

IOSUD – UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI

Școala doctorală de Inginerie mecanică și industrială



REZUMAT
TEZĂ DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII PRIVIND
EXPUNEREA POPULAȚIEI LA
RADIAȚII IONIZANTE

Doctorand,

Violeta NICOLOV (Pintilie)

Conducător științific,

Prof. Univ. Dr. Ing. PUIU LUCIAN GEORGESCU

Seria I4: Inginerie Industrială Nr. 58

GALAȚI

2019

IOSUD – UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI

Școala doctorală de Inginerie mecanică și industrială



TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

CONTRIBUȚII PRIVIND EXPUNEREA POPULAȚIEI LA RADIAȚII IONIZANTE

Doctorand

Violeta NICOLOV (Pintilie)

Președinte

Prof. Univ. Dr. Ing. LUMINIȚA MORARU
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Conducător științific:

Prof. Univ. Dr. Ing. PUIU LUCIAN GEORGESCU
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Referenți științifici:

Prof. Univ. Dr. Ing. CRISTIAN VASILE DOICIN
Universitatea POLITEHNICA din București

Prof. Univ. Dr. OCTAVIAN G. DULIU
Universitatea din București

Prof. Univ. Dr. Habil. Ing. ANTOANETA ENE
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Seria I4: Inginerie Industrială Nr. 58

GALAȚI

2019

Seriile tezelor de doctorat susținute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:

Domeniul fundamental ȘTIINȚE INGINEREȘTI

- Seria I 1: **Biotehnologii**
Seria I 2: **Calculatoare și tehnologia informației**
Seria I 3: **Inginerie electrică**
Seria I 4: **Inginerie industrială**
Seria I 5: **Ingineria materialelor**
Seria I 6: **Inginerie mecanică**
Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**
Seria I 8: **Ingineria sistemelor**
Seria I 9: **Inginerie și management în agricultură și dezvoltare rurală**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE SOCIALE

- Seria E 1: **Economie**
Seria E 2: **Management**
Seria SSEF: **Știința sportului și educației fizice**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE UMANISTE ȘI ARTE

- Seria U 1: **Filologie- Engleză**
Seria U 2: **Filologie- Română**
Seria U 3: **Istorie**
Seria U 4: **Filologie - Franceză**

Domeniul fundamental MATEMATICĂ ȘI ȘTIINȚE ALE NATURII

- Seria C: **Chimie**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE BIOLOGICE ȘI BIOMEDICALE

- Seria M: **Medicină**

Cuvânt înainte

doamnei Dr. fizician Dana Mossang, fără de care nu aş fi început acest studiu, soţului meu Valeriu şi fiicei mele Adelina, fără de care nu aş fi finalizat această teză.

Sunt profund recunoscătoare tuturor celor care m-au sprijinit şi îndrumat pe tot parcursul acestor studii, direct sau indirect, coordonatorului meu ştiinţific, domnului Profesor Univ. Dr. Ing. Puiu-Lucian Georgescu, care m-a susţinut permanent, mi-a deschis mintea către noi posibilităţi de explorare şi viziuni asupra temei cercetate şi sub îndrumarea căruia cercetările mele au fost transformate din *caiete de laborator* într-o *lucrare de teză*.

Mulţumesc din suflet doamnei Profesor Univ. Dr. Habil. Ing. Antoaneta Ene, care încă de pe băncile facultăţii mi-a stârnit curiozitatea şi mi-a sădit dorinţa de cunoaştere către domeniul *radioactivităţii*, în care de altfel am elaborat lucrarea de licenţă şi care, cu multă răbdare, pricepere şi înalt profesionalism m-a iniţiat în elaborarea lucrărilor ştiinţifice.

Aduc sincere mulţumiri doamnei Profesor Univ. Dr. Habil. Cătălina Iticescu, care alături de doamna Profesor Univ. Dr. Habil. Ing. Antoaneta Ene, m-a implicat în proiecte de cercetare şi mi-a dat şansa să îmi îmbunătăţesc experienţa profesională. De asemenea, îi sunt recunoscătoare pentru promptitudinea şi ajutorul acordat pe perioada studiilor doctorale.

Doamnei Profesor Univ. Dr. Ing. Luminiţa Moraru, îi mulţumesc pentru preţioasele sfaturi oferite, dar şi pentru criticile aduse cu înalt profesionalism, în toţi aceşti ani de studii doctorale, foarte utile în abordarea direcţiilor de cercetare din cadrul tezei.

Doresc să aduc mulţumirile mele doamnei Ş.L. Dr. Ing. Dana Moraru, care a fost un motor permanent pentru mine, m-a sprijinit, m-a încurajat, şi mi-a ridicat moralul atunci când am avut nevoie.

Cu deosebit respect, doresc să îmi exprim recunoştinţa doamnei dr. Constanţa Apostu – Şef Laborator Igiena Radiaţiilor Ionizante Galaţi din cadrul Departamentului de Supraveghere în Sănătate Publică – care m-a ajutat şi care a manifestat înţelegere faţă de mine, în această perioadă solicitantă din punct de vedere profesional. De asemenea, mulţumesc colegelor mele de laborator care au ştiut să mă susţină cu discreţie.

Nu în ultimul rând, mulţumesc fiicei mele minunate, Adelina, izvor de energie, care, cu inteligenţă şi umor m-a învăţat să trec peste perioadele grele, care mi-a iertat cu generozitate absenţa din ultima perioadă şi care mi-a fost un bun cenzor. Mulţumesc soţului meu, cel mai bun prieten şi iubit, omul care a crezut în mine tot timpul, m-a încurajat, mi-a transmis convingerea că pot mai mult şi fără ajutorul căruia nu aş fi finalizat această teză.

Mulţumesc, de asemenea, membrilor comisiei de evaluare a lucrării pentru sfaturile şi sugestiile oferite.

Cuvintele sunt prea puţine pentru a exprima toate gândurile şi sentimentele de apreciere şi recunoştinţă faţă de toţi cei care au fost alături de mine în această frumoasă perioadă de studii doctorale.

Fără ajutorul, sprijinul, îndrumările şi încurajările dumneavoastră, lucrarea aceasta nu ar fi existat.

Vă mulţumesc !

Violeta NICOLOV (Pintilie)

CUPRINS:

Pagină din TEZĂ	Pagină din rezumat
INTRODUCTION1	1, 48
INTRODUCERE5	
1.STUDIUL DOCUMENTAR9	4
1.1.Căi de expunere a populației la radiații ionizante.....9	
1.2.Mărimi și unități dozimetrice.....12	
1.3.Caracterizare radionuclizi determinați în prezentul studiu.....14	6
1.4.Metode de determinare a conținutului radioactive.....16	
1.5.Reglementări legislative.....21	
2.MATERIALE ȘI METODE25	9
2.1.Metode de determinare a conținutului radioactiv din apă potabilă.....26	10
2.2.Determinarea conținutului radioactiv din alimente și evaluarea dozei efective anuale datorate consumului acestora.....36	13
2.3.Evaluarea dozei efective datorate inhalării ^{222}Rn din aerul spațiilor clădirilor publice și de locuit.....46	
2.4.Evaluarea efectelor negative asupra organismului uman datorat radiațiilor ionizante.....47	
3.STUDIUL EXPERIMENTAL49	17
3.1.Evaluarea dozei efective anuale datorate ingestiei radionuclizilor naturali prin consumul apei potabile, studii comparative pentru algoritmi de calcul.....49	16
3.2.Determinarea activității alfa și beta globale din apa potabilă în județul Galați, în perioada 2014-2017 și evaluarea dozei efective anuale datorate consumului acesteia.....57	19
3.3.Determinarea activității alfa și beta globale din apa potabilă în județul Vrancea, în perioada 2015-2018 și evaluarea dozei efective anuale datorate consumului acesteia.....64	24
3.4.Determinarea activității alfa și beta globale din apa potabilă în județul Brăila, în perioada 2014-2018 și evaluarea dozei efective anuale datorate consumului acesteia.....70	
3.5.Determinarea concentrației de ^{210}Po , ^{210}Pb și ^{226}Ra din apa potabilă și evaluarea dozei efective anuale datorate consumului acesteia, în județul Galați, 2015.....75	
3.6.Determinarea concentrației de ^{210}Po , ^{210}Pb și ^{226}Ra din apa potabilă și evaluarea dozei efective anuale datorate consumului acesteia, în județul Vrancea, 2015-2017.....79	
3.7.Determinarea concentrației de ^{210}Po , ^{210}Pb și ^{226}Ra din apa potabilă și evaluarea dozei efective anuale datorate consumului acesteia, în județul Brăila, în perioada 2016-2018.....86	
3.8.Determinarea concentrației de ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra și ^{40}K din apă minerală și evaluarea dozei efective anuale datorate consumului acesteia.....92	
3.9.Determinarea conținutului radioactiv din pâine și evaluarea dozei efective anuale datorate consumului acesteia.....95	
3.10.Determinarea conținutului radioactiv din lapte pasteurizat și evaluarea dozei efective anuale datorate consumului acestuia.....98	
3.11.Determinarea conținutului radioactiv din carne și evaluarea dozei efective anuale datorate consumului acesteia.....100	

3.12.Determinarea conținutului radioactiv din lapte praf și evaluarea dozei efective anuale datorate consumului acestuia.....	105	
3.13.Determinarea conținutului radioactiv din meniul zilnic și evaluarea dozei efective anuale datorate consumului acestuia.....	109	
3.14.Evaluarea dozei efective anuale datorate inhalării radonului din spațiile clădirilor publice și de locuit.....	111	
4.CONCLUZII ȘI PERSPECTIVE DE CERCETARE	115	47
4.1.Evaluarea dozei efective anuale datorate consumului de apă potabilă și apă mineral.....	116	21
4.2.Evaluarea dozei efective anuale datorate consumului de alimente.....	135	37
4.3.Evaluarea dozei efective anuale datorate inhalării radonului din aerul spațiilor clădirilor publice și de locuit.....	150	
4.4.Perspectivă de cercetare.....	152	49
ANEXE	153	

DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRII, ÎN PERIOADA STUDIILOR DOCTORALE

PUBLICAȚII ÎN REVISTE INDEXATE ISI :

Violeta Pintilie, Antoaneta Ene, Puiu Lucian Georgescu, Luminita Moraru, Cătălina Iticescu, **Measurement of gross alpha and beta activity in drinking water from Galati region, Romania**, Romanian Reports in Physics, Vol. 68, No. 3 (2016), p. 1208–1220, Editura Academiei Romane, ISSN 1221-1451 43 822, On-line ISSN 1841-8759
http://www.rrp.infim.ro/2016_68_3/A28.pdf, (IF 2015=1,367)

Violeta Pintilie, Antoaneta Ene, Puiu Lucian Georgescu, Adelina Georgiana Pintilie, Dana Iulia Moraru, Catalina Iticescu, **Gross alpha, gross beta and ^{40}K activities and daily effective dose due to natural radionuclides from food supplements**, Romanian Journal of Physics 62, 703 (2017), ISSN 1221-146X.
http://www.nipne.ro/rjp/2017_62_7-8/RomJPhys.62.703.pdf, (IF 2016 =1,758)

Articol premiat de UEFISCDI: Subprogram 1.1 - Resurse Umane - Premiarea rezultatelor cercetarii - Articole, Competitia 2017 Rezultate evaluare_Lista 4 - Articole publicate în anul 2017_actualizata 20.12.2017- pag. 22, poz. 57

<https://uefiscdi.gov.ro/resource-87104?&wtok=&wtkps=XY1BDolwEEXvMmvFTkstDncwJp4AaZWJCEqBhhjvbsGF0dX8TN77vyBDT0+a1PTX2kO+zz0pAs8WYkqRYNqyqrZpN1XCj9fHOTSPctCs1BptapwPa6zEKVR6FiLP85UEGuHTVdrYy4S4mwFDYO29ORw3ygiZyUzobDGi+v2sJKJWiArVUqsXa//noCD4BeNucMtuTLfWDrVL2u6SDO7MvrSciOxCUnQ9I20N+esN&wchk=642328d97899c664b68229f2c92e312fe63591b2>

Violeta Pintilie, Antoaneta Ene, Puiu Lucian Georgescu, Dana Iulia Moraru, Adelina Georgiana Pintilie, **Determination of gross alpha, gross beta, and natural radionuclides (^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K) activity concentrations in bread and their contribution to the effective dose**, Romanian Journal of Physics, 63, 801 (2018), ISSN 1221-146X.
http://www.nipne.ro/rjp/2018_63_1-2.html, (IF 2017=1,433)

Violeta Pintilie, Antoaneta Ene, Puiu Lucian Georgescu, Adelina Georgiana Pintilie, Dana Iulia Moraru, Catalina Iticescu, **Gross alpha, gross beta and radionuclides (^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K) exposure assessment due to meat consumption**, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 318:991-1000 (2018), DOI: 10.1007/s10967-018-6156-y.
<https://link-springer-com.am.e-nformation.ro/content/pdf/10.1007%2Fs10967-018-6156-y.pdf>, (IF 2017=1,181)

Articol premiat de UEFISCDI: Subprogram 1.1 - Resurse Umane - Premiarea rezultatelor cercetarii - Articole, Competitia 2018 Rezultate evaluare_Lista 11 - Articole publicate în anul 2018_actualizata 21.12.2018- pag. 74, poz. 245

<https://uefiscdi.gov.ro/resource-80290?&wtok=&wtkps=XY5RDolwEETv0m/BbksLLncwJp4A2mo2qBAKQmO8u4Ufo1872cybmQo1vjkZJ4sKz1mHJm2ecP7UcvAuxBqo0Xm3ARUJ7DoMLWUrGszcLX5ARitVyBTslkYZaxnJSFkp82QI7N2eFyuR5lzUYiCq2InIvr9HASAkgAS5B6rdur8x0Bc92uMvYvbe6Pqej3Lu3Hezq7G3ljKX2SW9JqnMj0LSvfHw==&wchk=df49f1ae9103017f01dc07452bc6e57d4ef172c>

Catalina Iticescu, Lucian P. Georgescu, Gabriel Murariu, Catalina Topa, Mihaela Timofti, **Violeta Pintilie** and Maxim Arseni, **Lower Danube Water Quality Quantified through WQI and Multivariate Analysis**, Water, 11(6), 1305, (2019), <https://doi.org/10.3390/w11061305>,

PUBLICAȚII ÎN JURNALE INDEXATE BAZE DE DATE INTERNAȚIONALE (BDI)

Violeta Pintilie, Puiu Lucian Georgescu, Luminița Moraru, Antoaneta Ene, Catalina Iticescu, **Natural radioactivity in drinking water from Galati, Romania**, rad-journal.org, ISSN 2466-4294 (online) Vol. 1 | Issue 3 | pp. 165 – 170, doi: 10.21175/RadJ.2016.03.031.

<http://www.rad-journal.org/index.php?id=3>

Lucrare nominalizată la premiul "Best full paper contributions nomination"

<http://www.rad-conference.org/rad2016/awards.php>

Violeta Pintilie, Puiu Lucian Georgescu, Antoaneta Ene, Luminița Moraru, **Monitoring of gross alpha and beta activity in drinking water from Galati during 2013-2014**, Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati , FASCICLE II, YEAR VIII (XXXIX),(2016), No. 1, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, ISSN 2067-2071.

http://www.phys.ugal.ro/Annals_Fascicle_2/Year2016/SummaryII.htm

(<https://web.b.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=20672071&AN=124713182&h=x%2fMH6yY8y3KbRvgZOA%2fLB8pcVanykkLffT4F8qDZKDbk9zJssg8JaCxB3fr5vVg0%2b%2bj2kUEjs7vL9pQQ3BIbA%3d%3d&crI=f&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d20672071%26AN%3d124713182>)

Antoaneta Ene, Marina Frontasyeva, Alina Cantaragiu, **Violeta Pintilie**, Eugenia Pascu, Daniela Soimu, Elena Chirac, Valeriu Coguteac, Ana Buliga, Mirela Tobol, **Nuclear and X-ray Method used in Environmental and Material Science**, Annals of "Dunarea de Jos " University of Galati , FASCICLE II, YEAR VIII (XXXIX) 2016, No. 1, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, ISSN 2067-2071.

http://www.phys.ugal.ro/Annals_Fascicle_2/Year2016/SummaryII.htm

Arseni Maxim, Rosu Adrian, Iticescu Catalina, Georgescu Puiu Lucian, Timofti Mihaela, **Pintilie Violeta**, Calmuc Madalina, Roman Octavian, **A review of bathymetric measurements from august 2018 campaign on the lower course of Danube river**, Annals of "Dunarea de Jos " University of Galati , FASCICLE II, YEAR X (XLI) 2018, No. 2, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, ISSN 2067-2071,

LUCRĂRI PREZENTATE LA CONFERINȚE:

A. Conferințe naționale

Violeta Pintilie, Antoaneta Ene, Puiu-Lucian Georgescu, Luminița Moraru, **Monitoring of gross alpha and beta activity in drinking water from Galati during 2013-2014**, Scientific Conference of the Doctoral School of "Dunărea de Jos" University of Galati, 4-th edition (CSSD-UDJG) (prezentare orală), Galați, Romania, 2-3 iunie 2016.

http://www.cssd-udjg.ugal.ro/files/invitatie/Program_detaliat_al_conferintei_2016.pdf

Prezentare premiată – Second prize - Scientific Conference of the Doctoral School of "Dunărea de Jos" University of Galati, 4-th edition

Antoaneta Ene, Marina Frontasyeva, Alina Cantaragiu, **Violeta Pintilie**, Eugenia Pascu, Daniela Soimu, Elena Chirac, Valeriu Coguteac, Ana Buliga, Mirela Tobol, **Nuclear and X-ray Method used in Environmental and Material Science**, Scientific Conference of the Doctoral School of "Dunărea de Jos" University of Galati, 4-th edition (CSSD-UDJG) (prezentare orală), Galati, Romania, 2-3 iunie 2016.

http://www.cssd-udjg.ugal.ro/files/invitatie/Program_detaliat_al_conferintei_2016.pdf

Violeta Pintilie, Antoaneta Ene, Puiu Lucian Georgescu, Dana Iulia Moraru, Oana Andrei, **Determination of the concentrations of ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{238}U in tap water and estimation of the related radiation dose**, Scientific Conference of the Doctoral School of "Dunărea de Jos" University of Galati, 5-th edition (CSSD-UDJG), (prezentare orală), Galati, 8-9 iunie 2017.

http://www.cssd-udjg.ugal.ro/files/2017/Program_detaliat_al_conferintei_2017_FINAL.pdf

Prezentare premiată – Third prize - Scientific Conference of the Doctoral School of "Dunărea de Jos" University of Galati, 5-th edition

Antoaneta Ene, **Violeta Pintilie**, Dana Iulia Moraru, Puiu Lucian Georgescu, Oana Andrei, **Measurements of trace element (Li, Na, K, Mg, Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Ag, Pb) concentrations in food supplements**, Scientific Conference of the Doctoral School of "Dunarea de Jos" University of Galati, 5-th edition (CSSD-UDJG), poster, 8-9 iunie 2017, Galați

http://www.cssd-udjg.ugal.ro/files/2017/Program_detaliat_al_conferintei_2017_FINAL.pdf

Violeta Pintilie, Puiu-Lucian Georgescu, Antoneta Ene, Dana Iulia Moraru, **Determination of natural radionuclides in powder milk**, Scientific Conference of the Doctoral School of "Dunărea de Jos" University of Galati, 6-th edition (SCDS-UDJG 2018), prezentare orală, Galați, Romania,

http://www.cssd-udjg.ugal.ro/files/2018/05_Program_detaliat_al_conferintei_2018.pdf

O.P.2,6, pag 11, 7-8 June 2018.

<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/abstracts-2018>

Prezentare premiată – First prize - Scientific Conference of the Doctoral School of "Dunărea de Jos" University of Galati, 6-th edition

B. Conferințe internaționale

Violeta Pintilie, Puiu Lucian Georgescu, Luminița Moraru, Antoaneta Ene, Catalina Iticescu, **Natural radioactivity in drinking water from Galati and Vrancea areas, Romania**, Fourth international conference on radiation and applications in various field of research (RAD4) (prezentare orală), Nis, Serbia, 23-27 mai 2016, (pag 5).

http://www.rad2016.rad-conference.org/title_list.php,

<http://www.rad2016.rad-conference.org/pdf/RAD%202016%20Programme%20PDF%20sm.pdf>

Violeta Pintilie, Antoaneta Ene, Puiu Lucian Georgescu, Oana Andrei, **Assessment of effective dose from natural radionuclides intake through bread**, Conferința internațională: 16th International Balkan Workshop on Applied Physics (IBWAP 2016), (poster), Constanța, România, 7-9 iulie 2016.

http://ibwap.univ-ovidius.ro/2016/uploads/template/Program_IBWAP2016%20.pdf

Violeta Pintilie, Antoaneta Ene, Puiu Lucian Georgescu, Luminița Moraru, **Natural radionuclides in diet and their effective dose**, Conferința internațională: 16th International Balkan Workshop on Applied Physics (IBWAP 2016), (poster), Constanța, România, 7-9 iulie 2016.

http://ibwap.univ-ovidius.ro/2016/uploads/template/Program_IBWAP2016%20.pdf

Violeta Pintilie, Antoaneta Ene, Puiu Lucian Georgescu, **Gross alpha and gross beta activities from natural supplements**, Fourth international conference on radiation and applications in various field of research (RAD5) (prezentare orală), Budva, Muntenegru, 12-16 iunie 2017.

<http://www.rad2017.rad-conference.org/pdf/RAD%202017%20Final%20Programme.pdf>, pag1

prezentare:

<https://onedrive.live.com/?authkey=%21AB7FY8BKB6NGPXc&cid=36E85E208D363CBE&id=36E85E208D363CBE%211192&parId=36E85E208D363CBE%211173&o=OneUp>

Violeta Pintilie, Antoaneta Ene, Puiu Lucian Georgescu, Oana Andrei, **The evaluation of the gross alpha and the gross beta activities from foodstuff**, 17th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science (poster), Constanta, 11-14 iulie 2017.

http://ibwap.univ-ovidius.ro/2017/uploads/template/IBWAP_2017_program.pdf

Violeta Pintilie, Antoaneta Ene, Puiu Lucian Georgescu, Dana Iulia Moraru, **Determination of natural radionuclides in milk**, 17th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science (poster), Constanta, România, 11-14 iulie 2017.

http://ibwap.univ-ovidius.ro/2017/uploads/template/IBWAP_2017_program.pdf

Violeta Pintilie, Antoaneta Ene, Puiu Lucian Georgescu, Dana Iulia Moraru, **The evaluation of the gross radioactivity from the meat samples**, The 8th international symposium Euroalimint 2017, (poster), Galati, Romania, 7-8 septembrie 2017.

<http://www.euroalimint.ugal.ro/Programme-EA17.pdf>

Catalina Iticescu, Lucian Georgescu, Gabriel Murariu, Maria Catalina Topa, Mihaela Timofti, **Violeta Pintilie**, **Multivariate analysis of physico-chemical parameters and WQI of Lower Danube water to identify potential pollution sources**, International Conference on Environment Pollution and Prevention (ICEPP 2017) (poster), Singapore, 14-16 dec. 2017.
<http://www.icepp.org/history/program-2017.pdf>

Catalina Iticescu, Lucian Georgescu, Gabriel Murariu, **Violeta Pintilie**, Antoaneta Ene, Manuela Sidoroff, **The assessment of Danube water quality in the Galați area, Romania, through water quality index (WQI)**, 8th International Conference on Environment and BioScience (ICEBS 2018), Seoul, South Korea, October 10-12, 2018, Poster S2013, p.43.
<http://www.icebs.org> .

Violeta Pintilie, Antoneta Ene, Puiu Lucian Georgescu, Adelina Georgiana Pintilie, Dana Iulia Moraru, **Determination of ²²⁶Ra, ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb in natural mineral water**, Sixth international conference on radiation and applications in various field of research (RAD6) (poster), 18-22 iunie 2018, Ohrid, Macedonia.
http://rad2018.rad-conference.org/pdf/RAD_2018_Final_Programme.pdf

Violeta Pintilie, Adelina Georgiana Pintilie, Puiu Lucian Georgescu, Antoaneta Ene, **Indoor radon measurements in the City Galați**, 18th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science (poster), Constanta, Romania 10-13 iulie 2018.
http://ibwap.ro/wp-content/uploads/2018/07/IBWAP2018_program.pdf,
<http://ibwap.ro/wp-content/uploads/2018/07/IBWAP-2018-BOOK-of-ABSTRACTS.pdf>

Violeta Pintilie, Antoaneta Ene, Cătălina Iticescu, Puiu Lucian Georgescu, **Natural radioactivity in surface water from Galați, Romania**, UGAL International Conference: Multidisciplinary HUB for the Higher Education Internationalization by Means of Innovative Interaction with the Labour Market and Society (poster), Galați, Romania, 26-27 oct. 2018, ACADEMIC project, CNFIS – FDI – 2018 – 0054.
<http://www.fdi.ugal.ro/index.php/ro/conference-home>

Arseni Maxim, Rosu Adrian, Iticescu Catalina, Georgescu Puiu Lucian, Timofti Mihaela, **Pintilie Violeta**, Calmuc Madalina, **Review on bathymetric measurements from August 2018 campaign on the lower course of Danube River**, UGAL International Conference: Multidisciplinary HUB for the Higher Education Internationalization by Means of Innovative Interaction with the Labour Market and Society, 26-27 oct, 2018, ACADEMIC project, CNFIS – FDI – 2018 – 0054.
<http://www.fdi.ugal.ro/index.php/ro/conference-home>

Antoaneta Ene, **Violeta Pintilie**, Ana Pantelica, **Assessment of radon, thoron and their descendants in selected indoor environments in Romania**, International Symposium on Natural Radiation Sources – Challenges, Approaches and Opportunities, 21-24 May 2019, Bucharest, Romania.

Antoaneta Ene, **Violeta Pintilie**, **Radon and Thoron Activity Concentrations in Selected Indoor Environments in Lower Danube and Danube Delta Region, Romania**, Abstract book MONITOX International Symposium “Deltas and Wetlands”, September 15th-17th, 2019, Tulcea, Romania, pp. 70-71.

PARTICIPĂRI LA PROIECTE NAȚIONALE ȘI INTERNAȚIONALE:

1. Programul Operational Comun “Bazinul Mării Negre” 2014-2020, Contract de grant nr. 105067/14.09.2018, Proiect **“Creating a system of innovative transboundary monitoring of the transformation of the Black Sea river ecosystems under the impact of hydropower development and climate change” - HydroEcoNex** – cod BSB165, (expert);
2. Programul de cercetare, dezvoltare și inovare pentru sistemele fluvii, delte, mări – Danubius, Codul proiectului: 4/07.05.2018, Titlul proiectului: **Strategie și acțiuni pentru pregătirea participării naționale la Proiectul DANUBIUS–RI**, DANS;
3. Programul: **Rețeaua de cooperare interdisciplinară în Bazinul Mării Negre pentru monitorizarea comună durabilă a migrației compușilor toxici în mediu, evaluarea îmbunătățită a stării ecologice și a impactului substanțelor dăunătoare asupra sănătății umane și prevenirea expunerii populației – MONITOX**, cod BSB27 (voluntar);
4. Proiect nr. 80/2017: **Investigation of advanced functional materials using atomic and nuclear analytical technique and imaging microscopy**, Tema 03-4-1128-2017/2019 din planul tematic IUCN Dubna, Ordin IUCN nr. 220/10.04.2017 Dubna – Director proiect: Prof. Dr. Habil. Antoaneta Ene; (membru);
5. Proiect nr. 81/2017: **Applied research on air and soil pollution with toxic elements using nuclear and related analytical techniques**, Tema 03-4-1128-2017/2019 din planul tematic IUCN Dubna, Ordin IUCN nr. 220/10.04.2017 Dubna – director Proiect: prof. Dr. habil. Antoaneta Ene; (membru);
6. Grant IUCN Dubna nr. 24/2016, Ord. IUCN nr. 94 din 15.02.2016, (Tema 03-4-1104-2011/2016), **Development of infrastructure of spectroscopy and microscopy laboratories used for the characterization of environmental and crystalline materials**, voluntar, Director Grant IUCN Dubna: Prof. Dr. Habil. Antoaneta Ene; (membru);
7. Proiect IUCN Dubna Nr. 104/2016, Ord. IUCN nr. 96 din 15.02.2016, (Tema 03-4-1104/2011/2016), **Investigation of crystalline materials (diamonds and boron nitrides) using atomic and nuclear analytical techniques and imaging microscopy**, voluntar, Director Proiect Prof. Dr. Habil. Antoaneta Ene; (membru).

INTRODUCERE

Teza de doctorat, denumită: „*Contribuții privind expunerea populației la radiații ionizante*”, a avut ca obiectiv cuantificarea principalelor surse de expunere a populației la radiații ionizante prin: ingestia apei potabile, apei minerale și alimentelor, pe de o parte, și prin inhalarea aerului din spațiile clădirilor publice și de locuit, pe de altă parte.

În acest scop, s-au determinat parametrii de radioactivitate corespunzători apei potabile, apei minerale și alimentelor, din regiunile județelor Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2015-2018. Aceste date au fost utilizate la evaluarea *dozei efective anuale* datorate ingestiei radionuclizilor naturali prin consumul apei și alimentelor, după care a fost evaluat *detrimentul asupra sănătății*, datorat radiațiilor ionizante. De asemenea, a fost determinată concentrația de radon și toron din aerul spațiilor clădirilor publice și de locuit iar pe baza acestuia a fost evaluată *doza efectivă anuală* datorată inhalării aerului din aceste spații.

Capitolul 1 al tezei prezintă studiul documentar al datelor din literatura de specialitate cu privire la:

- principalele căi de expunere a populației la radiații ionizante,
- mărimi și unități dozimetrice,
- metode de determinare a radionuclizilor investigați în prezentul studiu,
- caracterizarea radionuclizilor cuantificați în acest studiu,
- tehnici de determinare a conținutului radioactiv din apă și alimente,
- reglementări legislative privind conținutul radioactiv în apă potabilă și alimente.

Aceste aspecte au fost urmărite având în vedere indicatorii de radioactivitate determinați în prezentul studiu, din apă și alimente, respectiv: activitatea alfa și beta globale, precum și radionuclizii naturali ^{210}Po , ^{210}Pb , $^{\text{nat}}\text{U}$, $^{\text{nat}}\text{Th}$, ^{226}Ra , ^{40}K .

Capitolul 2 prezintă metodele utilizate, în prezentul studiu pentru determinarea parametrilor de radioactivitate propuși a fi evaluați din apa potabilă și alimente. Se au în vedere, de asemenea, date cu privire la modul și zona de prelevare a probelor analizate.

Capitolul 3 prezintă datele experimentale pe următoarele direcții de cercetare:

- evaluarea expunerii populației la radiații ionizante datorate ingerării radionuclizilor naturali prin consumul apei potabile,
- evaluarea expunerii populației la radiații ionizante datorate ingerării radionuclizilor prin consumul alimentelor: pâine, lapte pasteurizat, carne, lapte praf destinat copiilor din categoria de vârstă 0-12 luni, meniu pentru preșcolari 2-7 ani (județele Galați, Brăila și Vrancea),
- evaluarea expunerii populației la radiații ionizante prin ingerarea radionuclizilor ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra prin consumul apei minerale
- evaluarea expunerii populației la radiații ionizante datorate radonului din aerul spațiilor clădirilor publice și de locuit.

Capitolul 3 debutează cu prezentarea metodelor de evaluare a *dozei efective anuale* datorate ingestiei radionuclizilor prin consumul apei potabile și alimentelor. Acesta deoarece, în literatura de specialitate, se utilizează mai multe metode de evaluare a dozei efective anuale care afectează populația prin ingerarea radionuclizilor. Dintre aceste metode, unele pot supraestima, altele pot subestima rezultatul evaluării dozei efective. Capitolul se încheie cu prezentarea concluziilor primare rezultate în urma studiului experimental cu privire la tema abordată în această teza.

Capitolul 4 prezintă cele mai importante interpretări și concluzii desprinse din datele experimentale efectuate în cadrul acestei teze, precum și evaluări privind *detrimentul datorat radiațiilor ionizante* asupra sănătății populației prin consumul apei și alimentelor. De asemenea, sunt expuse posibilități de extindere ale temei abordate în viitoare direcții de cercetare.

Teza s-a realizat sub coordonarea științifică a comisiei de îndrumare cu următoarea componență:

- Prof. Univ. Dr. Ing. PUIU LUCIAN GEORGESCU – coordonator științific,
- Prof. Univ. Dr. Ing. LUMINIȚA MORARU,
- Prof. Univ. Dr. Habil. Ing. ANTOANETA ENE,
- Prof. Univ. Dr. Habil. CĂTĂLINA ITICESCU.

Teza de doctorat cuprinde 152 de pagini, în care sunt incluse 85 figuri și 42 tabele. Studiul documentar reprezintă - 15 %, iar partea experimentală - 85 %.

Rezultatele cercetărilor au fost prezentate în cadrul a 3 conferințe naționale și 9 conferințe internaționale. De asemenea, rezultatele cercetărilor din cadrul acestei teze au fost valorificate în 9 articole științifice publicate, din care: 5 articole publicate în reviste cotate ISI și 4 articole indexate în baze de date internaționale. Lucrările publicate în revistele cotate ISI au primit în total 8 citări (în revistele: *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, *International Journal of Ambient Energy*, *IOSR Journal JAP of Applied Physics*, *Romanian Journal of Physics*, *Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, *Networking of Mutagens in Environmental Toxicology*, *Environmental Geochemistry and Health*, *Water* și în Conference Proceedings: *RAD Conference Proceedings*, [Abbasi A., 2017], [Oghenevovwero E. Esi, 2018], [Abbdy A. G. E., 2017], [Timofti M., 2019], [Ion I., 2019], [Gupta M., 2019], [Călin M. R., 2019], [Aydogdu M. H., 2019], (<http://www.rad-proceedings.org/index.php?id=2>, 2017).

Motivarea temei abordate:

Studiile de specialitate naționale și internaționale au arătat corelații între anumite boli și radioactivitatea în general. O componentă foarte importantă este radioactivitatea naturală, fapt pentru care ideea acestei teze a fost concentrarea cercetărilor și interpretarea acestora prin prisma datelor complexe referitoare la radioactivitatea naturală. Teza de doctorat, denumită: „*Contribuții privind expunerea populației la radiații ionizante*”, abordează tematica privind evaluarea expunerii populației la radiații ionizante datorate ingerării și inhalării radionuclizilor naturali. Acest studiu și-a propus cuantificarea dozei efective anuale, pentru populația din județele Galați, Brăila și Vrancea, datorate consumului apei potabile și al alimentelor, în perioada 2015-2018. S-au ales aceste unități administrativ-teritoriale, pentru studiu, deoarece prezintă caracteristici geologice variate ale solurilor de proveniență, a surselor de apă utilizate în procesul de potabilizare, în vederea distribuirii drept apă potabilă către populație. Elementele evaluate din punct de vedere al conținutului radioactiv sunt: apa potabilă, apa minerală, precum și alimentele de bază: pâinea, laptele și carnea. Consumul acestora reprezintă principalele căi de introducere în organismul uman, prin ingerare, a radionuclizilor naturali. Apa potabilă este o componentă indispensabilă vieții. Apa, prin ingerare, transferă radionuclizii naturali din mediul pe care îl străbate, organismului uman. În lapte sunt transferați cu rapiditate radionuclizii din mediu (lanțul de transfer: hrană pentru animale – animal – lapte),

fiind un foarte bun indicator al radioactivității mediului. Pâinea – ca element de studiu al cuantificării *dozei efective anuale*, a fost aleasă datorită faptului că în România, acest aliment este des utilizat în alimentația zilnică. Alegerea radionuclizilor a căror conținut a fost determinat în apă și alimente, respectiv ^{210}Po , ^{210}Pb , $^{\text{nat}}\text{U}$, $^{\text{nat}}\text{Th}$, ^{226}Ra , ^{40}K , s-a făcut pe baza coeficienților de conversie de la activitate specifică la doză - noțiune explicată în Capitolul 3.

Datele obținute în această teză, pot fi utilizate în observarea modificărilor ulterioare privind conținutul radioactiv din apă și alimente.

De asemenea, s-a evaluat *doza efectivă anuală* datorată inhalării radonului din aerul spațiilor clădirilor publice și de locuit, deoarece acesta reprezintă 43% din contribuția expunerii populației la radiații ionizante naturale.

Evaluarea expunerii populației la radiații ionizante s-a făcut în acord cu recomandările: Comisiei Internaționale de Protecție Radiologică (ICRP) și Comitetului Științific al Națiunilor Unite privind Efectul Radiațiilor Ionizante (UNSCEAR).

Cuvinte cheie: activitate alfa/beta globală, activitate specifică/concentrație de ^{210}Pb , ^{210}Po , $^{\text{nat}}\text{U}$, ^{226}Ra , ^{40}K , $^{\text{nat}}\text{Th}$, Galați, Brăila, Vrancea, apă potabilă și apă minerală, alimente, doză efectivă anuală (D_{ef}), detriment asupra sănătății.

1. STUDIU DOCUMENTAR

1.1. Căile de expunere a populației la radiații ionizante

Comitetul Științific al Națiunilor Unite privind Efectul Radiațiilor Ionizante (UNSCEAR) estimează *doza efectivă anuală* datorată contribuțiilor naturale la expunerea populației la radiații ionizante, la nivel global, în valoare de 2,4 mSv (valoare ce include 0,4 mSv datorată radiației cosmice; 0,5 mSv datorată radiației gama terestre; 1,2 mSv datorată inhalării în principal a radonului; 0,3 mSv datorată ingestiei de alimente, apă, etc.), [UNSCEAR, 2000].

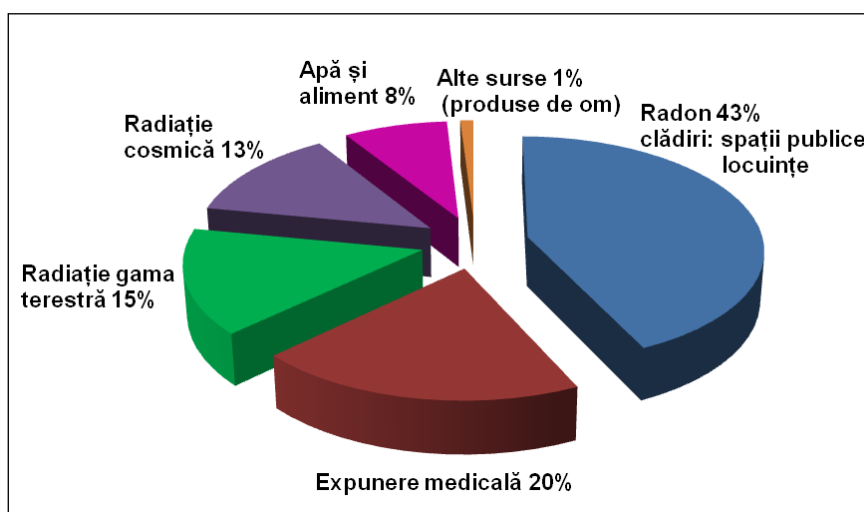
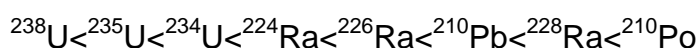


Figura 1.1 - Surse de expunere a populației la radiații ionizante și contribuția lor la doza efectivă totală

Doza efectivă anuală (D_{ef}) reprezintă o măsură a tuturor efectelor biologice ale radiațiilor ionizante asupra organismului uman [Chiosilă I., 2014]. Doza efectivă anuală pentru persoane din populație este suma dintre doza efectivă dintr-un an datorată expunerii externe și doza efectivă datorată ingerării radionuclizilor pe parcursul aceluiași an. *Doza efectivă datorată radiațiilor primite de o persoană reprezintă suma ponderată pe țesut a dozelor echivalente în toate organele și țesuturile specifice ale corpului. Aceasta reflectă faptul că organele și țesuturile corpului uman prezintă sensibilități diferite.* Unitatea pentru *doza efectivă* este $J \cdot kg^{-1}$ și are numele special de *Sievert*, (Sv) [WHO, 2008], [ICRP, Publication 103].

Principalele surse de expunere a populației la radiații ionizante, [UNSCEAR, 2000], sunt exemplificate în [Figura 1.1](#).

Radionuclizii naturali din apa potabilă provin din cele trei serii radioactive naturale: seria toriului, seria actiniului și seria uraniului. Pentru radionuclizii din seria uraniului și toriului, factorul de conversie de la activitate la doză, în cazul ingestiei, pentru adulți, crește în ordinea:



Cele trei serii radioactive naturale, seria toriului, seria actiniului și seria uraniului au următorii capi de serie: izotopul ^{232}Th , ^{235}U , respectiv ^{238}U .

Seria naturală radioactivă a uraniului-238, este exemplificată în [Figura 1.2](#):

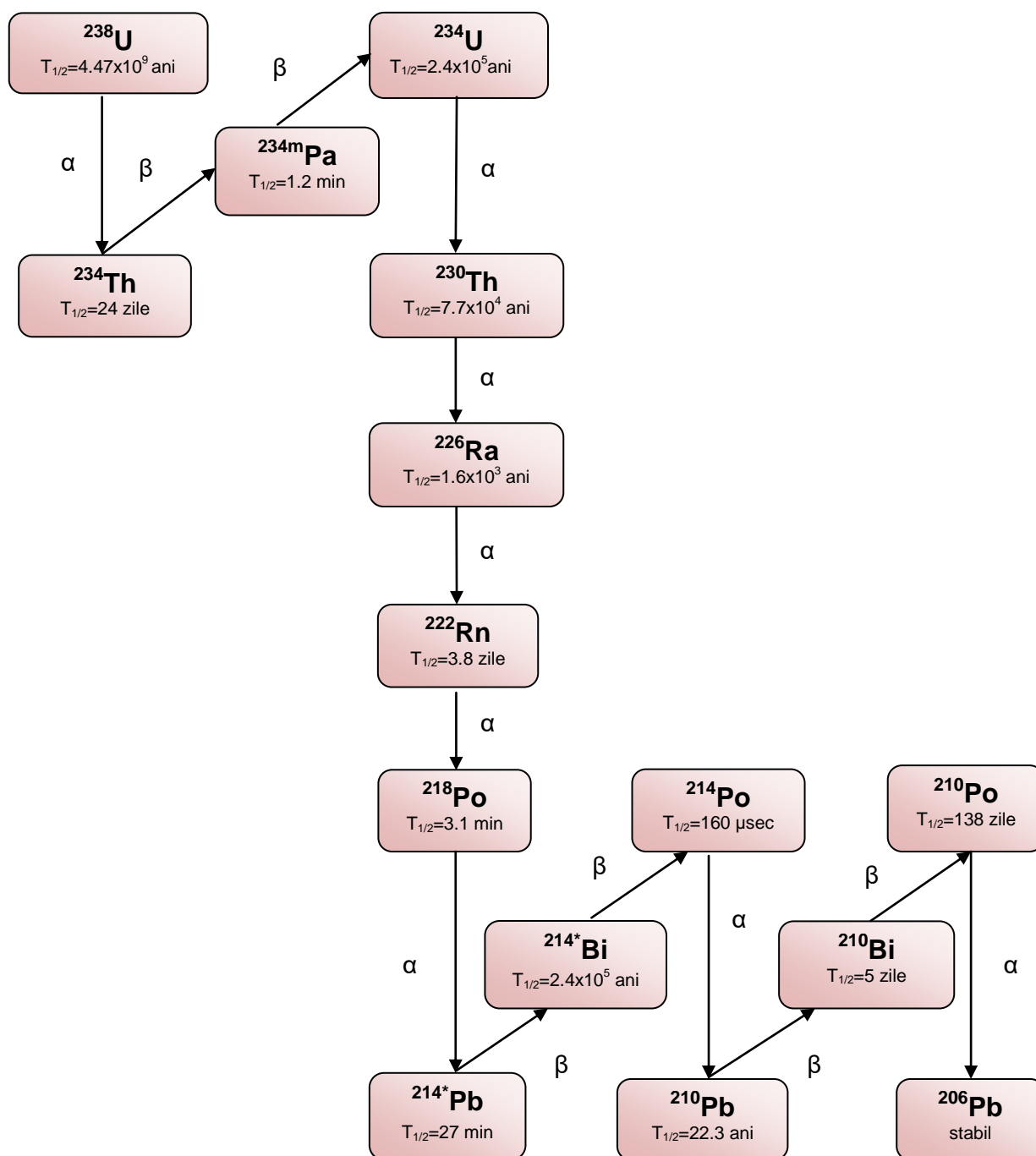


Figura 1.2 - Seria radioactivă naturală a ^{238}U (seria $4n+2$)

Apa, componentă indispensabilă vieții, poartă amprenta radioactivă, microbiologică și chimică a mediului parcurs, fiind un veritabil transportor al acestor elemente. O influență majoră a compoziției și mobilității componentelor din apă o reprezintă geologia regională [Spanos T., 2015], [Calin M. R., 2016]. Gestionarea resurselor de apă constituie o problemă națională și internațională. Calitatea apei trebuie strict controlată în ceea ce privesc parametrii fizico-chimici, biologici și de radioactivitate [Spanos T., 2015], [Calin M. R., 2016], [Calmet D., 2013], [Murkren Al-J. H., 2015].

Consumul de alimente, apă și inhalarea aerului reprezintă cele mai importante procese ce contribuie la expunerea internă a organismului uman la radiații ionizante.

Contribuția la doză datorată ingestiei radionuclizilor naturali depinde de rata de ingestie, de concentrația radionuclizilor și de factorul de conversie de la activitate specifică la doză. Pentru evaluarea *dozei efective anuale* (D_{ef}) datorate ingestiei radionuclizilor este necesară determinarea concentrației acestora în alimente [Solecki J., 2011], [Štok M., 2011], [Pintilie V., 2017], [Pintilie V., 2018a], [Pintilie V., 2018b], [Ene A., 2017] și în apă [Rožmarič M., 2012], [Gorur F. K., 2014], [Ogundare F. O., 2015], [Pintilie V., 2016a], [Pintilie V., 2016c], [Pintilie V., 2017a], [Abassi A., 2017].

1.2. Caracterizare radionuclizi determinați în prezentul studiu

Caracterizarea radionuclidului ^{210}Po :

^{210}Po este cel mai radiotoxic alfa emițător cu cel mai mare factor de conversie de la activitate la doză, mai mare decât majoritatea radionuclizilor [UNSCEAR, 2000]. Datorită energiei relativ ridicate de 5,3 MeV, se concentrează în țesuturile moi, mușchi, ficat și produce modificări sclerotice ale vaselor de sânge [Kristan U., 2015], [Štok M., 2011]. În urma determinărilor de ^{210}Po efectuate asupra creierului unei victime a bolii Alzheimer [Momčilović, 2006], s-a observat că acesta s-a acumulat în hipocamp și amigdale. Anterior s-a observat că în urma injectării intravenoase cu ^{210}Po a șoarecilor, acesta nu s-a acumulat în creier [Söremark, 1966], ceea ce sugerează că boala Alzheimer nu ar fi legată de ingestia directă a radionuclidului ^{210}Po , ci mai degrabă de producția de dezintegrare ai radonului (^{222}Rn). Radionuclidul ^{210}Pb este produs de dezintegrare al radionuclidului ^{210}Po .

Tabel 1.3 - Caracteristici ale izotopului ^{210}Po

Caracteristici	Desciere/valoare numerică
Masă atomică, A	209,98 g/mol
Număr atomic, Z	84
Timp de înjumătățire, $T_{1/2}$	138,38 zile
Apartenență la familia radioactivă	Familia ^{238}U
Nucleul fiică	^{206}Pb
Mod de dezintegrare	100% alfa
Energie maximă	5304,33 keV (100%)
Activitate specifică	$44,98 \times 10^2 \text{ Ci/g}$

Caracterizarea radionuclidului ^{210}Pb :

^{210}Pb este cel mai radiotoxic beta emițător. Acesta tinde să se acumuleze în oase, dar se distribuie, de asemenea, în creier, ficat și rinichi, [UNSCEAR, 2000]. Acest radionuclid este toxic atât datorită proprietăților chimice, cât și datorită proprietăților radiologice [Strumińska, 2016]. Radionuclizii ^{210}Po și ^{210}Pb pot fi prezenți în organismul uman și datorită dezintegrării radionuclidului ^{226}Ra , [UNSCEAR, 2000].

Tabel 1.4 - Caracteristici ale izotopului ^{210}Pb

Caracteristici	Desciere/valoare numerică
Masă atomică, A	209,98 g/mol
Număr atomic, Z	84
Timp de înjumătățire, $T_{1/2}$	22,20 ani
Apartenență la familia radioactivă	Familia ^{238}U
Nucleul fiică	^{210}Bi
Mod de dezintegrare	100% beta
Activitate specifică	76,4 Ci/g

Caracterizarea radionuclidului ^{226}Ra :

^{226}Ra are metabolism asemănător cu cel al calciului, de aceea o cantitate considerabilă se acumulează în oase [J. Molinari, 1990]. ^{226}Ra are o contribuție importantă la doza efectivă primită de organismul uman atât prin inhalare, cât și prin ingestie, având totodată un factor de conversie de la activitate la doză ridicat, dar și un timp de înjumătățire mare [Abbasi A., 2018].

Tabel 1.5 - Caracteristici ale izotopului ^{226}Ra

Caracteristici	Desciere/valoare numerică
Masă atomică, A	226,02 g/mol
Număr atomic, Z	88
Timp de înjumătățire, $T_{1/2}$	1600 ani
Apartenență la familia radioactivă	Familia ^{238}U
Nucleul fiică	^{222}Rn
Mod de dezintegrare	100% alfa
Activitate specifică	0,989 Ci/g

Caracterizarea radionuclidului ^{232}Th :

^{232}Th pătruns în organism prin ingestie este absorbit și transportat de sânge, acumulându-se preferențial în ficat și oase. Aceasta deoarece, sub forma de Th(IV), este apropiat în dimensiuni de Fe(III) - din sânge, fapt pentru care este transportat cu ușurință în organism și depus în ficat [UNSCEAR, 2000]. Dacă pătrunde în organism prin inhalare, acesta se acumulează cu precădere în plămâni, ficat și mușchi [Akhter P., 2007], [Adeniji A. E., 2013].

Tabel 1.6 - Caracteristici ale izotopului ^{232}Th

Caracteristici	Desciere/valoare numerică
Masă atomică, A	232,038 g/mol
Număr atomic, Z	90
Timp de înjumătățire, $T_{1/2}$	$1,4 \times 10^{10}$ ani
Apartenență la familia radioactivă	Familia ^{232}Th - cap de serie
Nucleul fiică	^{228}Ra
Mod de dezintegrare	100% alfa
Activitate specifică	$1,1 \times 10^{-7}$ Ci/g

Caracterizarea radionuclidului ^{238}U :

Uraniul se găsește în natură în starea de oxidare IV. Această formă este solubilă în sânge, drept urmare nu formează compuși stabili, rezultatul fiind excreția din organism după un timp biologic de aproximativ 4 zile. Datorită acestei proprietăți de a fi excretat din organism, uraniul este cunoscut ca fiind nefrotoxic, acumulându-se astfel în rinichi [Rožmarić M., 2012]. ^{238}U este reținut în organism și în schelet. S-au determinat concentrații similare în diferite tipuri de oase: vertebre și femur [UNSCEAR, 2000].

Tabel 1.7 - Caracteristici ale izotopului ^{238}U

Caracteristici	Desciere/valoare numerică
Masă atomică, A	238,05 g/mol
Număr atomic, Z	92
Timp de înjumătățire, $T_{1/2}$	4.46×10^9 ani
Apartenență la familia radioactivă	Familia ^{238}U - cap de serie
Nucleul fiică	^{234}Th
Mod de dezintegrare	100% alfa
Activitate specifică	$3,36 \times 10^{-7}$ Ci/g

2. MATERIALE ȘI METODE

În scopul evaluării *dozei efective anuale* datorate ingestiei radionuclizilor naturali prin consumul de apă potabilă și alimente, a fost determinat conținutul radioactiv din acestea. Au fost determinați următorii parametri de radioactivitate:

- activitatea alfa și beta globală, activitatea specifică de ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra , $^{\text{nat}}\text{U}$, $^{\text{nat}}\text{Th}$ din apă potabilă și apă minerală,
- activitatea alfa și beta globală, activitatea specifică de ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra , $^{\text{nat}}\text{U}$, $^{\text{nat}}\text{Th}$, ^{40}K din alimente.

Determinările din cadrul acestei teze s-au desfășurat în cadrul: Laboratorului de Igiena Radiațiilor Ionizante al Direcției de Sănătate Publică Galați, Centrului European de Excelență pentru Mediu – Facultatea de Științe și Mediu, Universitatea „Dunărea de Jos” Galați, Laboratoarelor din Rețeaua Interdisciplinară Internațională RO-UA-MD creată în cadrul Proiectului European MIS ETC 1676 (INPOLDE) și în cadrul proiectului *Strategie și acțiuni pentru pregătirea participării naționale la Proiectul DANUBIUS–RI (DANS)*, finanțat de Ministerul Cercetării și Inovării, (nr. 4/2018).

Asigurarea calității rezultatelor se face în acord cu cerințele standardului ISO IEC 17025. O modalitate de asigurare a calității rezultatelor este participarea la teste de competență. Laboratorul de Igiena Radiațiilor Ionizante participă anual la astfel de teste de competență, unul dintre aceste teste, organizat de către Joint Research Centre - Institute for Reference Materials and Measurements, Geel, Belgia, a fost descris în literatura de specialitate de Jobbágy și colaboratori (2014), de Sobiech-Matura și colaboratori (2015), [Jobbágy et al. 2014], [Sobiech-Matura et al. 2015], [Jobbágy et al. 2016].

Probele de apă și alimente au fost prelevate din regiunea a trei județe situate în sud-estul României: Galați, Brăila și Vrancea - *Figura 2.1*.



Figura 2.1 - Aria de studiu a evaluării expunerii populației la radiații ionizante

Județul Galați este situat la extremitatea est-centrală a României, între $45^{\circ}25'$ și $46^{\circ}10'$ - latitudine nordică și între $27^{\circ}20'$ și $28^{\circ}10'$ - longitudine estică, [<http://statistici.insse.ro:8077/tempo-online/#/pages/tables/insse-table>], județul Brăila este cuprins între coordonatele geografice $44^{\circ}50'$ și $45^{\circ}20'$ - latitudine nordică și între $21^{\circ}15'$ și $20^{\circ}00'$ - longitudine estică, [<http://statistici.insse.ro:8077/tempo-online/#/pages/tables/insse-table>], iar județul Vrancea este situat în sud-estul României, la curbură Carpaților Orientali,

cuprins între coordonatele geografice 45°23' și 46°11' - latitudine nordică și între 26°23' și 27°32' - longitudine estică. [<http://statistici.insse.ro:8077/tempo-online/#/pages/tables/insse-table>]

2.1. Metode de determinare a conținutului radioactiv din apă potabilă

A. Determinarea activității alfa și beta globale

Caracterizarea radiologică primară a apei potabile se face prin screening-ul general din punct de vedere al conținutului de substanțe radioactive și anume: determinarea activității alfa și beta globale. Metodele utilizate pentru determinarea activității alfa și beta globale sunt ISO 9696, respectiv ISO 9697.

Inițial s-a determinat substanța solidă total dizolvată (mg/l) pentru a estima cantitatea necesară a fi evaporată în vederea obținerii de suficient reziduu, utilizat mai apoi la determinările radiometrice. S-a trecut apoi la evaporarea probei urmată de sulfatare și calcinare. Reziduu obținut s-a depus uniform pe tăvițe de măsurare.

În studiul de față s-au utilizat instalații de măsurare alfa și beta de fond scăzut de tipul MPC-2000-DP și MPC-900-DP, producător Protean Instrument Corporation, acestea fiind sisteme de măsurare cu detector dual fosfor în formă de potcoavă (ZnS și betaplastic). Instalațiile de măsurare a activității alfa, respectiv beta globală, etalonate la Institutul Național de C&D pentru Fizică și Inginerie Nucleară IFIN - HH, București, sunt calibrate cu o sursă alfa (sursa ²⁴¹Am, seria:2830 LMRI France), respectiv beta etalon (sursa ⁹⁰(Sr+Y), seria:9891). S-a observat că între masa de reziduu depusă pe tăviță pentru măsurători alfa și cea pentru măsurători beta este un raport de 1:10 [Pintilie V., 2016a]. Uzual, timpul de măsură utilizat în prezentul studiu este de 100 min/măsurătoare.

Activitatea volumică alfa, respectiv beta, pentru probele de apă, se exprimă în Bq/l și se calculează cu formula:

$$A_{\alpha \text{ sau } \beta} = \frac{(R_{\text{probă}} - R_0) \times TDS}{\varepsilon \times m} \quad \left(\frac{\text{Bq}}{\text{l}} \right) \quad (2.1)$$

unde: $A_{\alpha \text{ sau } \beta}$ - activitatea alfa sau beta globală a probei de apă, $R_{\text{probă}}$ - viteza de numărare pulsuri-proba/sec, R_0 - viteza de numărare pulsuri-fond/sec, TDS - substanța total dizolvată g/l, ε - eficiența de măsurare a instalației (determinată în cadrul ridicării curbelor de autoabsorbție) imp/sec/Bq, m - masa de reziduu, corespunzător probei, depusă pe tăvița de măsurare - g.

B. Determinarea concentrației de ²¹⁰Po și ²¹⁰Pb

În prezentul studiu, pentru determinarea concentrației de ²¹⁰Po și ²¹⁰Pb din apă, s-a utilizat metoda de separare radiochimică pe rășina SR [4,4' (5') - diterțbutil-dicilohehexaoxacilooctadecan], metodă deprinsă în cadrul programului "Training in radiochemistry measurements for practitioners from countries eligible under the JRC Enlargement & Integration Policy", desfășurat la Institutul de Fizică "Jožef Stefan", Ljubljana - Slovenia, în perioada 10-21 nov. 2014. Metoda a fost publicată în numeroase lucrări [Benedik L., 2009], [Rožmarić M., 2012], [Benedik L., 2012] - metodă adoptată și validată în Laboratorul de Igiena Radiațiilor Ionizante Galați.

Principiul determinării izotopilor de ^{210}Po și ^{210}Pb constă în: concentrarea probei prin coprecipitarea poloniului și plumbului, dizolvarea precipitatului și trecerea acestuia în soluție cu componente active (^{210}Po , ^{210}Pb), separarea poloniului de plumb pe rășină SR - când rezultă eluat de poloniu, respectiv eluat de plumb, *Figura 2.3*.



Figura 2.3 - Concentrarea ^{210}Po , ^{210}Pb prin coprecipitare, separarea pe coloane cu rășină SR și purificare eluaturi ^{210}Po , ^{210}Pb

Calculul activității specifice de ^{210}Po se face cu formula:

$$\Lambda_{210Po} = \frac{(R_{disc} - R_0)}{V \times \varepsilon \times \eta} \quad (\text{Bq/l}) \quad (2.14)$$

unde : Λ_{210Po} – activitatea specifică de ^{210}Po , (Bq/l); R_{disc} – viteza de numărare a discului depus electrochimic în probă, (imp·sec⁻¹); R_0 – viteza de numărare corespunzătoare fondului, (imp·sec⁻¹); V – volum de probă luat în lucru la separarea radiochimică a $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ (L); ε – eficiența de măsurare a instalației (imp/sec/Bq); η – randament de separare radiochimica (%).

Calculul activității specifice de ^{210}Pb se face cu formula:

$$\Lambda_{210Pb} = \frac{(R_{210Bi} - R_0)}{\varepsilon \times \eta \times \left(1 - e^{-\frac{\ln 2 \times \Delta t}{T_{1/2}}}\right) \times V} \quad \left(\frac{\text{Bq}}{\text{l}}\right) \quad (2.16)$$

unde : Λ_{210Pb} – activitatea specifică de ^{210}Pb , (Bq·L⁻¹); R_{210Bi} – viteza de măsurare a precipitatului depus pe tăvița de măsurare, (imp·sec⁻¹); R_0 – viteza de măsurare corespunzătoare fondului, (imp·sec⁻¹); V – volum de probă luat în lucru la separarea radiochimică a $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ (L); ε – eficiența de măsurare a instalației (imp/sec/Bq); η – randament de separare radiochimica (%); Δt – intervalul de timp dintre separarea ^{210}Pb și măsurarea radiometrică a ^{210}Bi (zile); $T_{1/2}$ – timpul de înjumătățire al ^{210}Bi (zile).

C. Determinarea concentrației de ^{226}Ra din apă

Determinarea concentrației de ^{226}Ra , în prezentul studiu, s-a făcut cu ajutorul instrumentului de măsurare dedicat acestei determinări: SARAD-RTM-1688-2. Proba de apă stocată anterior timp de 30 zile (*Figura 2.5*) este cuplată la instrumentul de măsurare a $^{226}\text{Ra}/^{222}\text{Rn}$ în apă și supusă măsurătorii (*Figura 2.6*).



Figura 2.5 – Probe închise ermetic pentru stocare timp de 30 zile

După încheierea perioadei de stocare de 30 de zile, recipientul de stocare este conectat la modulul de măsurare SARAD RTM 1688-2, **Figura 2.6**, fără a deschide recipientul, prin intermediul clemelor Hoffman, astfel încât proba de apă să nu vină în contact cu aerul exterior.



Figura 2.6 - Sistem de măsurare a $^{226}\text{Ra}/^{222}\text{Rn}$ în apă, închiderea circuitului format din modulul de măsurare - vas intermediar - vas cu probă [Pintilie V., 2016b]

Instrumentul de măsurare a $^{226}\text{Ra}/^{222}\text{Rn}$ în apă SARAD-RTM-1688-2 afișează valoarea: R_n (Bq/m^3), T_n ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$). Valoarea concentrației de $^{226}\text{Ra}/^{222}\text{Rn}$ în aerul barbotat în probă (Bq/m^3) este convertită în concentrație $^{226}\text{Ra}/^{222}\text{Rn}$ (Bq/l) în apă, astfel:

$$A_{226\text{Ra}/222\text{Rn}} = \frac{1}{V_{\text{probă}} \times \eta_{\text{natTh}}} \times C_{\text{aer}} \times [k \times V_{\text{probă}} + V_{\text{aer}}] \quad (\text{Bq} / \text{l}) \quad (2.28)$$

unde: $A_{226\text{Ra}/222\text{Rn}}$ – activitatea specifică de $^{226}\text{Ra}/^{222}\text{Rn}$ (Bq/l), $V_{\text{probă}}$ – volumul de probă luat în lucru și pus la stocare timp de 30 zile (l), C_{aer} – valoarea pentru ^{222}Rn indicată de instrumentul de măsurare ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$), V_{aer} – volumul de aer din conexiunile și vasul intermediar al sistemului de măsurare (l), k – factor corecție a volumului cu temperatura.

Pentru determinarea acestor parametri de radioactivitate, corespunzători probelor de apă minerală, s-au utilizat aceleași metode folosite în cazul analizării probelor de apă potabilă.

2.2. Metode de determinare a conținutului radioactiv din alimente

Schema generală de prelucrare primară utilizată în prezentul studiu pentru toate probele alimentare (pâine, lapte, carne, suplimente alimentare), precum și repartitia cotelor de probă prelucrată, astfel încât să se poată determina toți radionuclizii de interes din acest studiu (^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K) este redată în *Figura 2.8*.

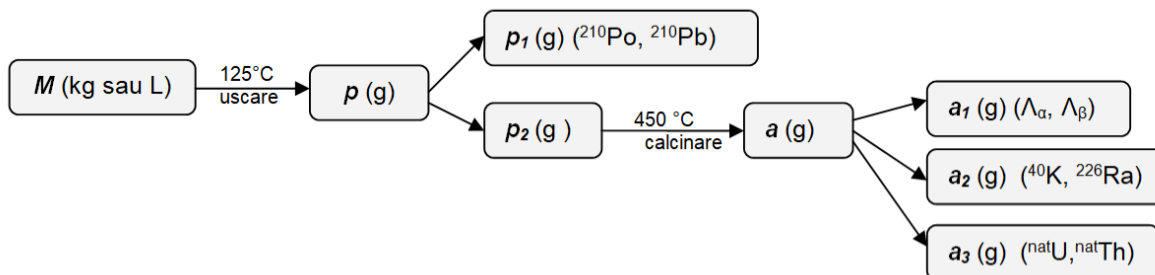


Figura 2.8 - Schema generală de prelucrare primară a probelor alimentare în vederea determinării activității alfa globale, beta globale, a concentrației de ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra și ^{40}K [Pintilie V., 2018b]

A. Determinarea activității alfa și beta globale

Activitatea alfa, respectiv beta globală, (Λ), pentru probele alimentare se calculează cu formula:

$$\Lambda_{\alpha \text{ sau } \beta} = \frac{(R_{\text{probă}} - R_0) \times p \times a}{\varepsilon \times M \times p_2 \times a_1} \quad (\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (2.29)$$

unde: $R_{\text{probă}}$ – pulsuri-proba/sec; R_0 – pulsuri-fond /sec; p – masa reziduuului total (g), rezultat la uscarea la 125 °C; ε – eficiența de măsurare a aparatului (determinată în cadrul ridicării curbelor de autoabsorbție); a – masa totală de cenușă rezultată în urma calcinării la 450°C (g); M – masa probă proaspătă (Kg); p_2 – porțiunea de reziduu (din cel rezultat la 125°C) pusă la calcinare (g); a_1 – masa de cenușă depusă pe tăvița de numărare.

B. Determinarea concentrației de ^{210}Po și ^{210}Pb

Datorită volatilității izotopului ^{210}Po , pentru determinarea acestuia se utilizează o cotă parte, (p_1 grame, *Figura 2.8*), din reziduuul rezultat la uscarea din care se face mineralizarea umedă.

Conținutul de ^{210}Po depus pe discul de nichel se determină prin măsurarea la o instalație de determinare a activității alfa, pe un timp suficient de mare (cel puțin 400 min).

Calculul activității specifice de ^{210}Po se face cu formula:

$$C_{210\text{Po}} = \frac{(R_{\text{disc}} - R_0) \times p}{\varepsilon \times \eta \times M \times p_1} \quad (\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (2.33)$$

unde : $C_{210\text{Po}}$ – activitatea specifică de ^{210}Po , ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$); R_{disc} – viteza de numărare a discului corespunzătoare probei, ($\text{imp} \cdot \text{sec}^{-1}$); R_0 – viteza de numărare corespunzătoare fondului, ($\text{imp} \cdot \text{sec}^{-1}$); M – masa probă proaspătă (Kg); η – randament de separare radiochimică, (%); p

– masă reziduu rezultat la uscarea la 125 °C, (g); p_1 – porțiunea de reziduu (din cel rezultat la 125 °C) utilizată la separarea radiochimică a $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$, (g).

Calculul activității specifice de ^{210}Pb se face cu formula:

$$C_{210\text{Pb}} = \frac{(R_{\text{disc}} - R_0) \times p}{\varepsilon \times \eta \times M \times p_1 \times 0.37} \quad (\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (2.34)$$

unde: $C_{210\text{Pb}}$ – activitatea specifică de ^{210}Pb , ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$); R_{disc} – viteza de numărare a discului rezultat în urma celei de-a doua depunerii spontane, ($\text{imp} \cdot \text{sec}^{-1}$); 0,37 – factor de corecție pentru echilibrul secular $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$, după trei luni.

C. Determinarea concentrației de $^{\text{nat}}\text{U}$ și $^{\text{nat}}\text{Th}$

Partea de cenușă, a_3 (g), destinată determinării de $^{\text{nat}}\text{U}$ și $^{\text{nat}}\text{Th}$, este supusă extracției acide a cationilor, când rezultă extract acid cu componente active. Acesta este supus separării $^{\text{nat}}\text{U}$ de $^{\text{nat}}\text{Th}$ și purificării. În *Figura 2.11*, volumele de reactivi sunt corespunzătoare unei probe de aproximativ 5 g cenușă luată în lucru.

Schema de separare radiochimică a uraniului și toriului din probele alimentare este redată în *Figura 2.11*.

Întrucât măsurarea finală a probei se face la spectrofotometru, determinarea randamentelor radiochimice de separare se face separat, pe probe fortificate cu materiale de referință certificate. Valoarea medie obținută pentru randamentul radiochimic este de 61% - pentru $^{\text{nat}}\text{U}$, respectiv de 59% - pentru $^{\text{nat}}\text{Th}$. Luând în considerare abundența izotopică a ^{238}U (99.27%) și a ^{232}Th (100%) se calculează activitatea specifică a acestor izotopi.

D. Determinarea gamaspectrometrică a concentrației de ^{40}K și ^{226}Ra

Pentru determinările concentrațiilor de gamanuclizi [Pintilie V., 2017] s-a utilizat gamaspectrometru cu detector de NaI (TI), analizor multicanal și soft Maestro-32. Etalonarea se face pe un set de surse etalon gama spectrometrice sau sursă mixtă volumică. În cazul de față s-a utilizat sursă mixtă SEG 8-471 (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{241}Am) produsă de IFIN-HH. Concentrația de ^{40}K a fost determinată pe baza picului de 1460 keV, abundența de 0,0117%, iar eficiența de măsurare a ^{40}K determinată este $\varepsilon = (7.40 \pm 0.44) \times 10^{-3} \text{ puls} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$. Concentrația de ^{226}Ra a fost determinată pe baza picului de 1120 keV, corespunzător descendentului său ^{214}Bi , eficiența de măsurare în acest caz fiind $\varepsilon = (10.00 \pm 0.54) \times 10^{-3} \text{ puls} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$. Probele stocate anterior, 4 săptămâni, au fost măsurate cel puțin 7200 sec.

Geometria de măsurare utilizată este identică cu geometria de calibrare a spectrometrului gama, *Figura 2.12*.



Figura 2.12 - Sursa radioactivă utilizată pentru calibrarea gamaspectrometrului și proba de măsurat – geometrie identică

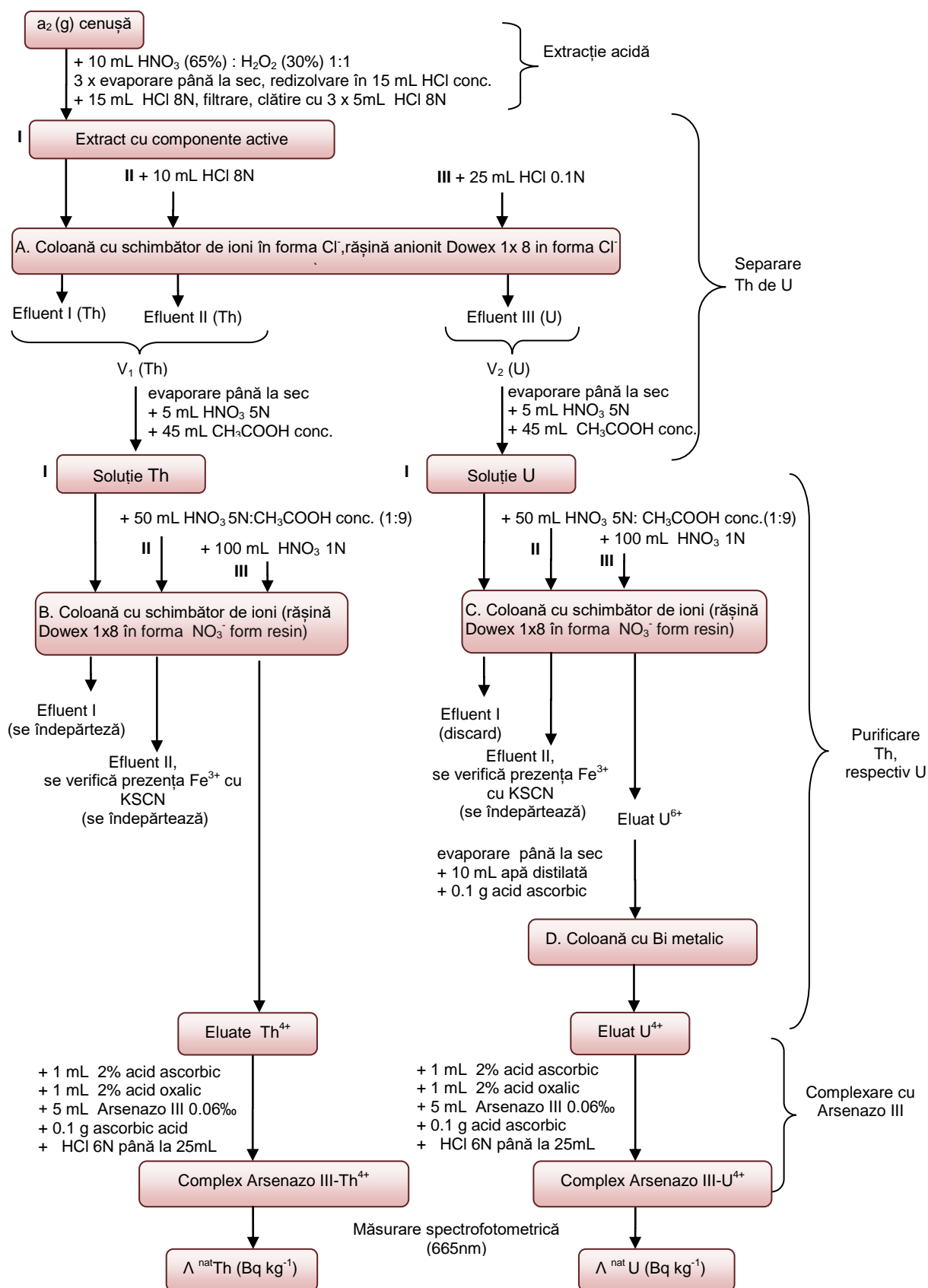


Figura 2.11 - Schema de separare radiochimică a ^{nat}U și ^{nat}Th din probele alimentare

E. Evaluarea dozei efective anuale datorate ingestiei radionuclizilor prin consumul alimentelor

Utilizând factorii de conversie de la activitate la doză, publicați în *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA 2014* (Tabel III-2A) și rata anuală de consum a tipului de aliment, pentru România, [<http://statistici.insse.ro>. Accesat 30 Nov 2017], se calculează doza anuală efectivă datorată ingestiei radionuclizilor prin consumul de alimente [Ene A., 2017], [Pintilie V., 2018a], [Pintilie V., 2018b], cu formula:

$$D_{ef} = \sum(\Lambda_X \times R \times CF) \text{ (Sv} \cdot \text{an}^{-1} \text{)} \quad (2.48)$$

unde:

Λ_X – este concentrația radionuclidului X ($X = {}^{210}\text{Po}, {}^{210}\text{Pb}, {}^{238}\text{U}, {}^{232}\text{Th}, {}^{40}\text{K}, {}^{226}\text{Ra}$) ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$),

R – este rata anuală de consum ($\text{kg} \cdot \text{an}^{-1}$),

CF – este factorul de conversie pe tip de radionuclid și categorie de vârstă ($\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$), [IAEA, 2014]. Factorii de conversie de la activitate specifică la doză utilizați, în cazul adulților sunt: $1.2 \times 10^{-6} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ - pentru ${}^{210}\text{Po}$, $6.9 \times 10^{-7} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ - pentru ${}^{210}\text{Pb}$, $4.5 \times 10^{-8} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ - pentru ${}^{238}\text{U}$, $2.3 \times 10^{-7} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ - pentru ${}^{232}\text{Th}$, $6.9 \times 10^{-9} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ - pentru ${}^{40}\text{K}$ și $2.8 \times 10^{-7} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ - pentru ${}^{226}\text{Ra}$, [IAEA, 2014].

F. Evaluarea dozei efective anuale datorate ingestiei radionuclizilor prin consumul apei

Cuantificarea efectelor radiațiilor ionizante asupra organismului uman datorate consumului de apă potabilă, se face prin evaluarea mărimii fizice numită: *doza efectivă totală de referință*, exprimată în $\text{Sv} \cdot \text{an}^{-1}$, definită în *Directiva europeană 51/2013* ca fiind "doza efectivă angajată rezultată din ingestia apei potabile în decursul unui an datorată tuturor radionuclizilor a căror prezență a fost detectată într-o rezervă de apă destinată consumului uman, de origine naturală sau artificială, cu excepția tritiului, a potasiului-40, a radonului și a produșilor de viață scurtă rezultați din dezintegrarea radonului".

Legislația europeană [Directiva 51/2013], transpusă în legislația națională (L301/2015), recomandă ca acest parametru valoric să nu depășească valoarea de 0,1 mSv/an.

În literatura de specialitate s-au identificat mai multe moduri de evaluare a dozei efective anuale datorate ingestiei radionuclizilor, prin consumul apei potabile:

- pe baza **concentrațiilor determinate ale radionuclizilor investigați** [Rožmarić M., 2012], [Rajashekara K. M., 2011], [Jia G., 2009], [Walsh M., 2014], [Altıkulaç A., 2015], [Pintilie V., 2016a], [Pintilie V., 2016b], [Farhabadi N., 2019];
- utilizând **activitatea alfa globală** [Turhan Ş., 2013], [Kobyas Y., 2015], [Abbasi A., 2017];
- utilizând **activitățile alfa și beta globale** [Gorur F. K., 2014], [Pintilie V., 2016a], [Korkmaz M. E., 2016], [Ogundare F. O., 2015];
- atribuind **activitatea alfa globală și beta globală emițătorilor alfa**, (ex. ${}^{210}\text{Po}$, ${}^{226}\text{Ra}$, ${}^{232}\text{Th}$, ${}^{238}\text{U}$), **respectiv emițătorilor beta** (ex. ${}^{228}\text{Ra}$, ${}^{210}\text{Pb}$) [Gorur F. K. și Camgoz H., 2014], [Akbulut S. și Tarkin H., 2015], [Ogundare F.O., 2015], [Pintilie V., 2016a].

Expunerea avantajelor și dezavantajelor cu privire la algoritmi de calcul pentru D_{ef} datorată ingestiei radionuclizilor prin consumul apei potabile este redată în *Tabelul 3.5*.

Au fost analizați, exemplificați și comentați algoritmi de calcul ai *dozei efective anuale* (D_{ef}) datorate ingestiei radionuclizilor naturali, prin consumul apei potabile. Aceasta s-a făcut pe baza parametrilor de radioactivitate determinați, pe de-o parte, și pe baza parametrilor

de radioactivitate asumați, pe de altă parte, utilizând raționamente de calcul acceptate în literatura de specialitate.

Tabel 3.5 - Avantajele și dezavantajele algoritmilor de calcul ai Dozei efective datorate consumului de apă potabilă

Nr. crt	Metoda	Avantaje	Dezavantaje
1	Evaluarea <i>Dozei efective anuale</i> prin utilizarea concentrațiilor determinate ale radionuclizilor investigați - formula (3.3)	-acuratețea rezultatului este ridicată, -oferă informații despre contribuția radionuclizilor determinați la doză.	-timp de răspuns mare, -sunt necesare determinari radiochimice (consumatoare de reactivi și timp) ale radionuclizilor cu factor de conversie de la activitate la doză mari.
2.	Evaluarea <i>Dozei efective anuale</i> prin utilizarea activităților alfa și beta globale - formula (3.5)	-timp de răspuns rapid -acoperă riscul maxim -sunt necesare doar determinări radiometrice: activitate alfa și beta globale -acoperă riscul maxim datorat efectelor radiațiilor	-acuratețea rezultatului este scăzută -nu este substrasă contribuția ⁴⁰ K, din activitatea beta globală
3.	Evaluarea <i>Dozei efective anuale</i> prin utilizarea activității alfa globală - formula (3.6.)	-timp de răspuns rapid -este necesar doar un tip de determinare: activitate alfa globală	-acuratețea rezultatului este scăzută -nu oferă informații despre contribuția radionuclizilor la doză
4.	Evaluarea <i>Dozei efective anuale</i> prin atribuirea activității alfa și beta globale emițătorilor alfa (ex. ²¹⁰ Po, ²²⁶ Ra, ²³² Th, ²³⁸ U), respectiv emițătorilor beta (ex. ²²⁸ Ra, ²¹⁰ Pb) - formula (3.7)	-timp de răspuns rapid, -sunt necesare doar determinări radiometrice: activitate alfa și beta globale.	-acuratețea rezultatului este scăzută, -nu este substrasă contribuția ⁴⁰ K, care este atribuită radionuclizilor emițători beta alții decât ⁴⁰ K, -nu oferă informații despre contribuția de radionuclizi la doză.

În funcție de datele disponibile, de timpul de răspuns avut la dispoziție, de scopul impus, de capacitatea tehnică a laboratorului, de resursa umană specializată se alege metoda cea mai adecvată de evaluare a *dozei efective anuale* datorate ingestiei radionuclizilor prin consumul de apă potabilă, fiecare dintre acestea oferind informații valoroase cu privire la cuantificarea expunerii populației la radiații ionizante prin consumul de apă potabilă.

G. Detriment datorat radiației ionizante asupra sănătății

Cuantificarea efectelor negative asupra sănătății organismului uman datorat radiațiilor ionizante se face prin mărimea fizică numită: *detriment datorat radiației*. Evaluarea detrimentului datorat radiației, se face utilizând formula:

$$\text{Detriment datorat radiației} = D_{ef} \times DV \times FR \quad (2.50)$$

unde: D_{ef} – doza efectivă anuală (Sv/an), DV – durata de viață (ani), FR – coeficient nominal de risc ajustat la detrimentul pentru cancer și efecte genetice, (Sv^{-1}). Actualmente, pentru acest coeficient, este utilizată valoarea de $5,5 \times 10^{-2} Sv^{-1}$ [ICRP, Publicația 103].

3. REZULTATE EXPERIMENTALE ȘI DISCUȚII

Acesta este primul studiu detaliat privind evaluarea expunerii populației la radiații ionizante datorate ingerării radionuclizilor naturali (^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra , $^{\text{nat}}\text{U}$, ^{40}K) prin consumul apei potabile, apei minerale și alimentelor în județele Galați, Brăila, Vrancea. De asemenea, este primul studiu detaliat privind determinarea conținutului radioactiv natural din apa potabilă, apă minerală și alimente, precum pâine, lapte pasteurizat, carne, lapte praf destinat copiilor din categoria de vârstă 0-12 luni, meniu zilnic destinat copiilor din categoria de vârstă 2-7 ani. Pentru evaluarea *Dozei efective anuale* (D_{ef}) datorate ingestiei radionuclizilor naturali prin consumul apei potabile și alimentelor, în cadrul acestei teze, s-au desfășurat următoarele direcții de cercetare:

- determinarea parametrilor de radioactivitate din apă potabilă - probele au fost prelevate de la rețelele publice de alimentare cu apă potabilă din județele Galați, Brăila și Vrancea;
- determinarea parametrilor de radioactivitate din apă minerală - probele au fost prelevate din supermarket-uri situate în județul Galați;
- determinarea parametrilor de radioactivitate din lapte praf destinat copiilor din categoria de vârstă 0-12 luni - probele au fost prelevate din farmacii situate în județul Galați;
- determinarea parametrilor de radioactivitate din meniul zilnic - probele au fost prelevate din grădinițe cu program prelungit situate în județele Galați, Brăila și Vrancea;
- determinarea parametrilor de radioactivitate din pâine - probele au fost prelevate din supermarket-uri situate în județele Galați, Brăila și Vrancea;
- determinarea parametrilor de radioactivitate din lapte pasteurizat - probele au fost prelevate din supermarket-uri situate în județele Galați, Brăila și Vrancea;
- determinarea parametrilor de radioactivitate din carne - probele au fost prelevate din supermarket-uri situate în județele Galați, Brăila și Vrancea.

Pe baza parametrilor de radioactivitate determinați, pentru populația din regiunea județelor Galați, Brăila și Vrancea, a fost evaluată *Doza efectivă anuală* datorată consumului de apă potabilă, apă minerală și alimente.

Pentru evaluarea *dozei efective anuale* (D_{ef}) datorate consumului de apă potabilă s-au utilizat doi algoritmi de evaluare, descriși la Capitolul 3, paragraf 3.1 – teza in extenso și anume: primul bazat pe valorile activităților alfa și beta globale, iar cel de-al doilea, bazat pe valorile concentrațiilor de radionuclizi ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}R și $^{\text{nat}}\text{U}$. Discuții privind avantajele și dezavantajele algoritmilor de calcul ale D_{ef} , sunt expuse în Capitolul 3.

Utilizând parametrii primari de radioactivitate din apa potabilă: activitatea alfa și beta globale, au fost efectuate hărți privind distribuția spațială a acestora, pentru județele Galați și Vrancea, respectiv hărți privind distribuția spațială a D_{ef} datorate consumului de apă potabilă.

Pentru evaluarea D_{ef} datorate consumului de alimente s-a utilizat un singur algoritm de calcul și anume acela bazat pe concentrațiile determinate ale radionuclizilor de ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra , $^{\text{nat}}\text{U}$ și ^{40}K .

Utilizând valorile D_{ef} , astfel determinate, a fost evaluat *detrimentul datorat radiațiilor ionizante* asupra sănătății populației prin consumul de apă potabilă și alimente și s-a comparat cu detrimentul maxim evaluat pentru populația județelor Galați, Brăila și Vrancea, corespunzător aceleiași perioade de studiu.

O altă direcție de cercetare a acestei teze a constituit-o evaluarea *dozei efective anuale* (D_{ef}) datorate inhalării radonului din aerul spațiilor clădirilor publice și de locuit. Pentru aceasta a fost măsurat radonul din școli și locuințe, după care fost evaluată D_{ef} corespunzătoare.

3.1. Evaluarea *dozei efective anuale* datorate consumului de apă potabilă și apă minerală

A. Evaluarea *dozei efective anuale* pe baza activităților alfa și beta globale

Pe baza activităților alfa și beta globale, au fost evaluate:

- doza efectivă anuală datorată consumului de apă potabilă în județul Galați, în perioada 2014-2017,
- doza efectivă anuală datorată consumului de apă potabilă în județul Vrancea, în perioada 2015-2018,
- doza efectivă anuală, datorată consumului de apă potabilă în județul Brăila, în perioada 2014-2018.

În perioada 2014-2017, au fost determinați parametri de radioactivitate din apa potabilă, distribuită în sistem centralizat de alimentare publică din județul Galați. Valorile activității alfa și beta globale din apa potabilă analizată au fost transpuse în hărți de distribuție spațială a conținutului radioactiv în apă potabilă.

În urma analizei hărților din Figurile 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 (Capitolul 3, subcapitolul 3.2), reprezentând domeniile valorice ale activității alfa, respectiv beta globală, corespunzătoare probelor prelevate din județul Galați, în perioada 2014-2017 (în prezentul rezumat sunt redată *Figura 3.1* și *Figura 3.2*), se observă o dinamică a modificărilor de concentrație mai accentuată în primii doi ani ai intervalului studiat și mai slabă în ultimii doi ani. Aceasta se datorează faptului că, pe durata desfășurării studiului, multe dintre alimentările cu apă potabilă, inițial aflate în grija unităților administrativ teritoriale, au trecut în proprietatea principalului producător de apă potabilă din județul Galați, acesta intervenind asupra surselor utilizate (modificare de foraje - în unele cazuri, îmbunătățire, modernizare) - rămânând în ultimii doi ani în proprietatea aceluiași producător.

Suprapunând harta concentrațiilor alfa și beta globale cu harta reliefului județului Galați, se observă că, în general, dinamica modificărilor privind activitatea alfa și beta globale din apa potabilă depinde mai mult de structura geologică a zonei din care aceste ape provin și mai puțin de procesele tehnologice de potabilizare a apei. Altfel, ar fi trebuit să existe o concentrație constantă a parametrilor de radioactivitate (activitatea alfa și beta globală) pe toată întinderea zonelor de prelevare a probelor de apă potabilă din județului Galați.

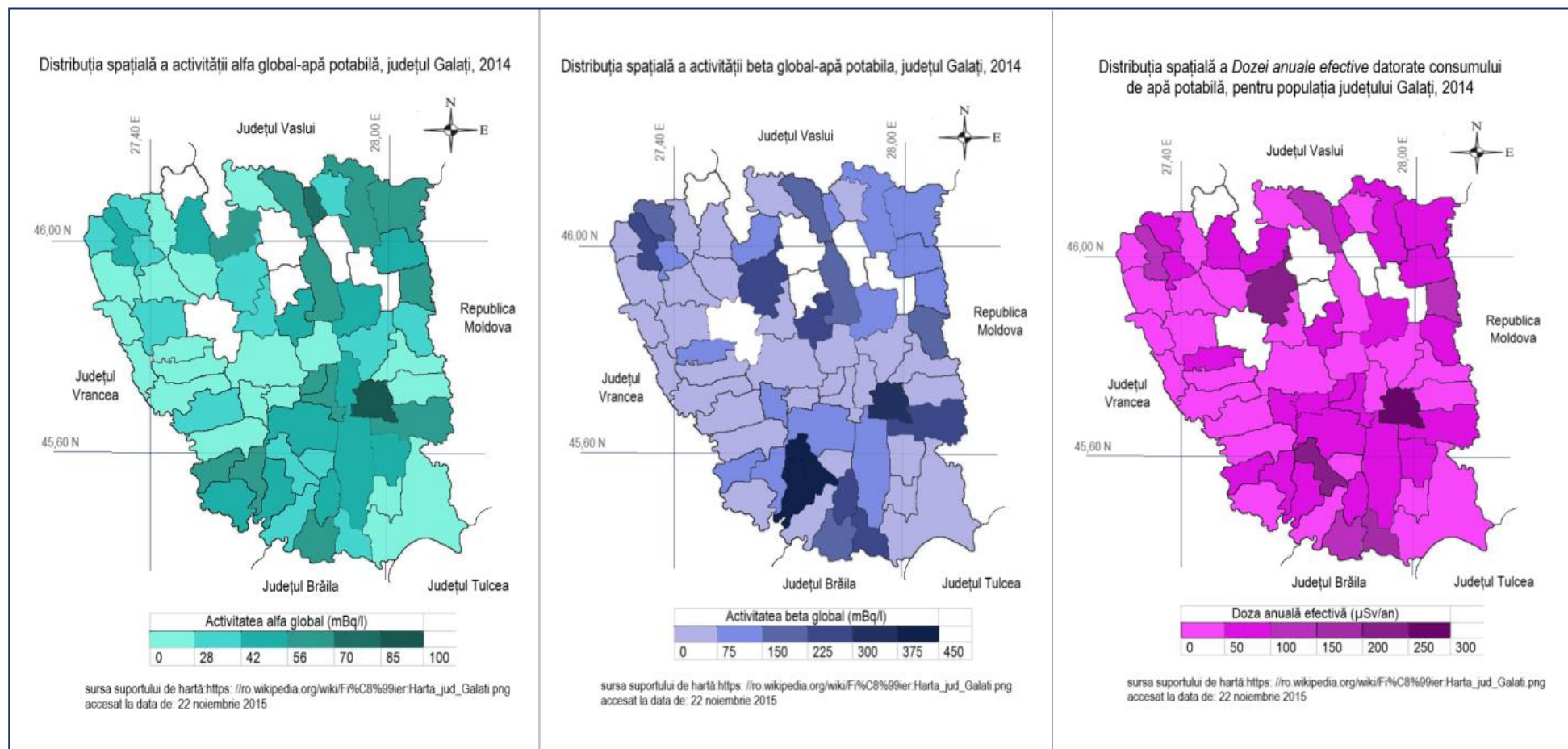


Figura 3.1 - Distribuția spațială a activității alfa și beta globală în apa potabilă, precum și a Dozei efective anuale datorate consumului apei potabile, în județul Galați, 2014 (zonele marcate cu alb nu au avut instalații centralizate în perioada studiului)

Analiza multivariată a parametrilor de radioactivitate determinați în apa potabilă prelevată din județul Galați, în anul 2014, conduce la dendrograma din [Figura 4.1](#), din care se observă că o similaritate ridicată de 87-98% (primele două clusteruri) o prezintă probele prelevate de pe unități geomorfologice asemănătoare din punct de vedere al structurii acestora. Astfel, o similaritate a domeniului de concentrații, mai ridicate, a activității alfa globale, se observă în cazul probelor prelevate din comunele aflate pe Câmpia Tecuciului, Câmpia Covurluiului și Lunca Siretului Inferior. Aceste unități geomorfologice ale județului Galați sunt situate peste Orogenul Nord-Dobrogean, prin urmare au un fundament și o acoperitură sedimentară comună. Similaritatea, din punct de vedere al compoziției, al acestor trei unități geomorfologice (Câmpia Tecuciului, Câmpia Covurluiului și Lunca Siretului Inferior) ale județului Galați, poate explica similaritatea conținutului radioactiv a probelor de apă prelevate de pe acestea.

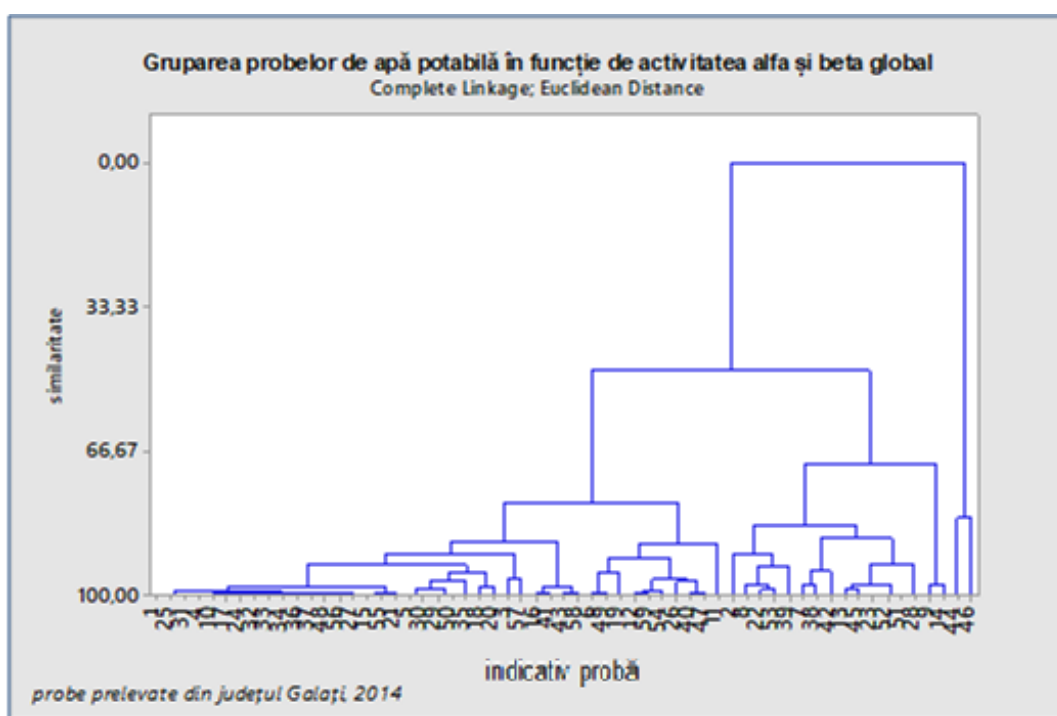


Figura 4.1 - Dendrograma probelor de apă potabilă în funcție de activitatea alfa și beta globală (probe prelevate din județul Galați în 2014)

Observații similare se desprind din dendrogramele corespunzătoare probelor prelevate din județul Galați, în perioada 2015-2017.

Pentru perioada investigată, respectiv 2014-2017, din punct de vedere al parametrilor de radioactivitate ai apei potabile, în județul Galați, s-au determinat valori în intervalul 6-80 mBq/l - pentru activitatea alfa globală, în timp ce pentru activitatea beta globală s-au găsit valori în domeniul 25-435 mBq/l. Media valorilor activității alfa și beta globale este de 35 ± 7 mBq/l, respectiv 78 ± 16 mBq/l - reprezentând 35%, respectiv 7,8% din concentrațiile maxim admise pentru acești parametri de radioactivitate. Activitatea beta globală în aceste probe este mai mare decât activitatea alfa globală. Pentru toate probele analizate din județul Galați, în perioada 2014-2017, nu s-au înregistrat depășiri ale concentrațiilor maxim admise ale parametrilor de radioactivitate.

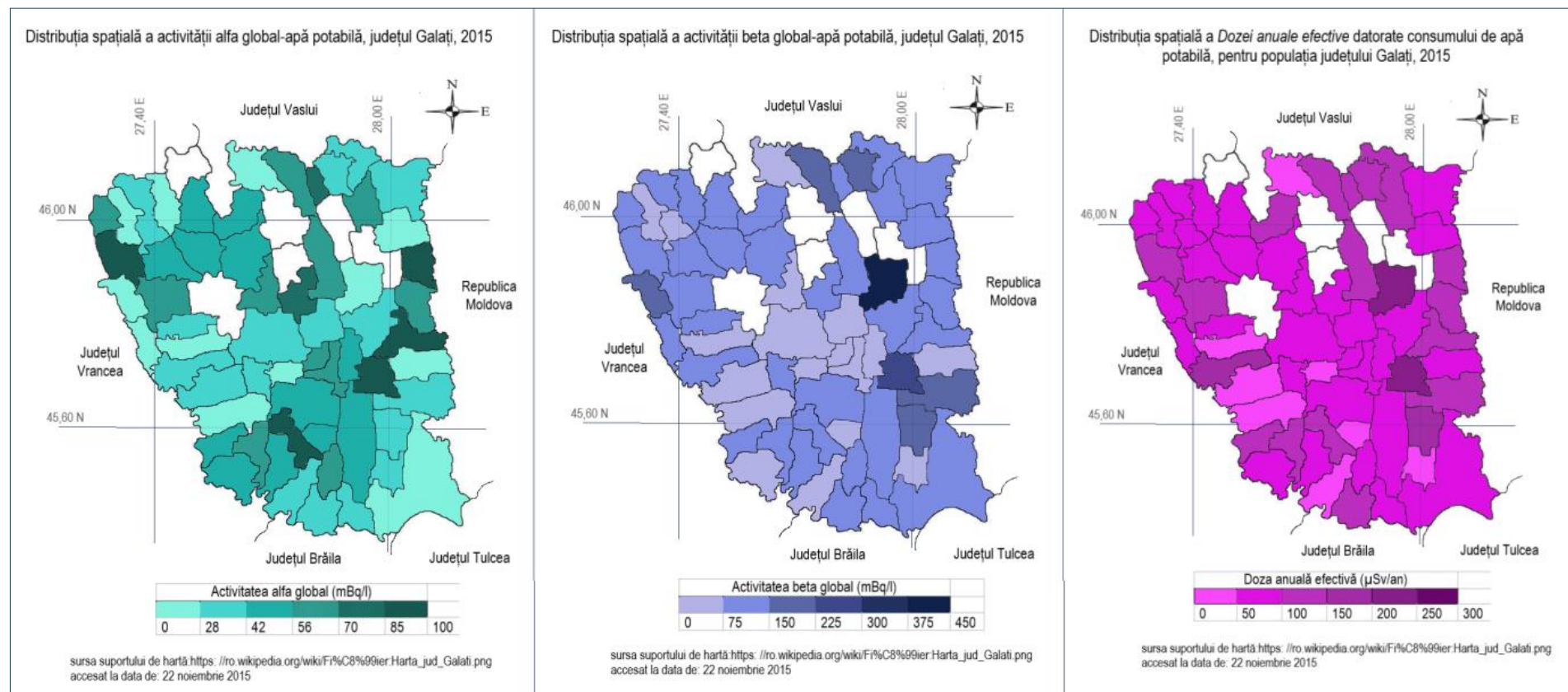


Figura 3.2 - Distribuția spațială a activității alfa și beta globale în apa potabilă, precum și a Dozei efective anuale datorate consumului apei potabile, în județul Galați, 2015 (zonele albe nu au avut instalații centralizate în perioada studiului)

Variația parametrilor de radioactivitate corespunzător probelor de apă potabilă prelevate, în perioada 2014-2017, din județul Galați este redată în *Figura 4.2*.

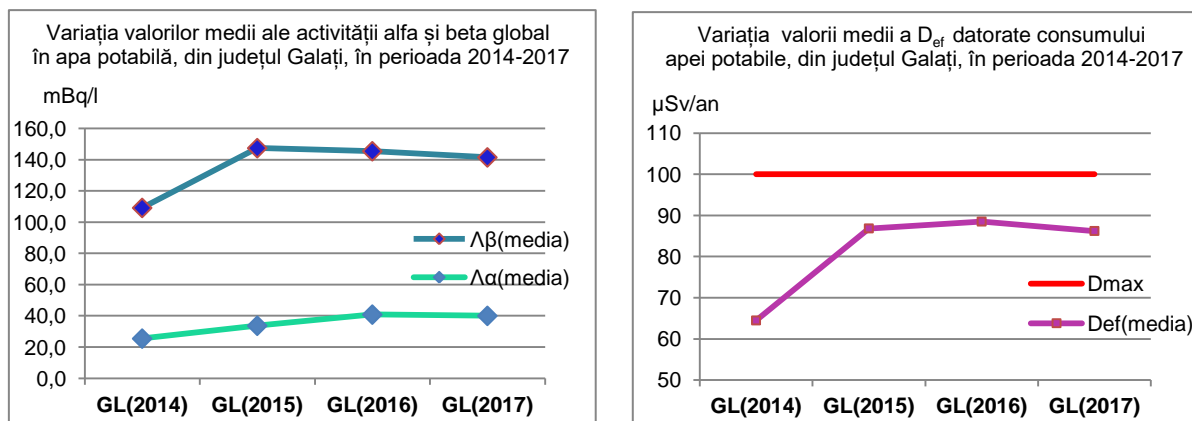


Figura 4.2 - Variația valorilor medii pentru parametrii de radioactivitate (activitatea alfa și beta globale) din apa potabilă și a Dozei efective anuale datorate consumului acesteia, în județul Galați, în perioada 2014-2017

Apa de suprafață din fluviul Dunărea, a cărei caracteristici sunt redată în literatura de specialitate [Iticescu C., 2019], [Banescu A., 2018], [Apetrei C., 2019], [Popa P., 2018], [Iticescu C., 2013], este utilizată drept sursă de apă potabilă pentru populația județelor Galați și Brăila. De aceea, au fost efectuate determinări ale conținutului radioactiv din apa de suprafață a fluviului Dunărea. Prelevările de probe și determinările efectuate s-au derulat în cadrul *Programul de cercetare, dezvoltare și inovare pentru sistemele fluvii, delte, mări – Danubius, proiectul Strategie și acțiuni pentru pregătirea participării naționale la Proiectul DANUBIUS-RI (DANS) finanțat de Ministerul Cercetării și Inovării (proiect 4/2018).*

Acestea s-au desfășurat în două etape: iunie 2018 și septembrie 2018. Variația parametrilor de radioactivitate determinați în prima etapă de prelevare este redată schematic în *Figura 3.14*.

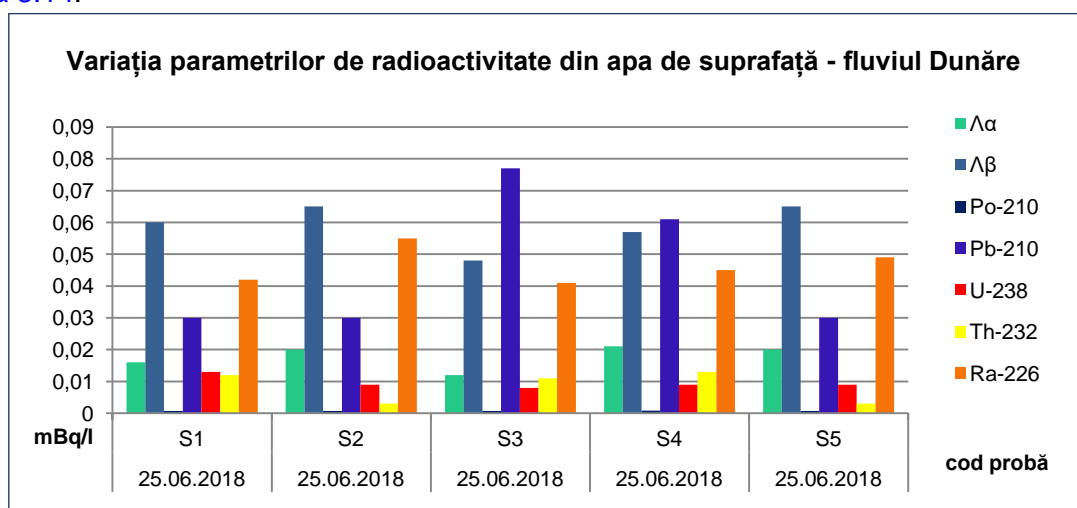


Figura 3.14 - Variația parametrilor de radioactivitate (activitate alfa globală, activitate beta globală, concentrație de ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra în apa de suprafață – fluviul Dunărea, pentru prelevări – etapa I

În prima etapă de prelevare, valorile medii ale parametrilor de radioactivitate determinați sunt: $17,8 \pm 5,3$ mBq/l - pentru activitatea alfa globală; $59,0 \pm 14,5$ mBq/l - pentru activitatea beta globală, $0,7 \pm 0,2$ mBq/l - pentru concentrația de ^{210}Po ; $45,6 \pm 13,6$ mBq/l - pentru concentrația de ^{210}Pb ; $9,6 \pm 2,4$ mBq/l - pentru concentrația de ^{238}U ; $8,4 \pm 2,1$ mBq/l - pentru concentrația de ^{232}Th ; $46,4 \pm 11,6$ mBq/l - pentru concentrația de ^{226}Ra .

Nu s-au înregistrat modificări majore în ceea ce privește concentrația radionuclizilor naturali (^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra) în apa de suprafață a fluviului Dunărea, în segmentul gălățean, funcție de anotimpul de prelevare al probelor, semn că migrația radionuclizilor naturali în apă depinde foarte puțin de anotimpul de prelevare și probabil mai mult de conținutul radioactiv și chimic al straturilor geologice străbătute.

Deși pentru concentrațiile de radionuclizii naturali din apele de suprafață nu sunt prevăzute în legislație limite maxim admise, comparând rezultatele obținute, pentru parametrii de radioactivitate determinați, cu concentrațiile maxim admise prevăzute pentru apa potabilă, se observă că acestea nu sunt depășite în cazul determinărilor efectuate în apa de proveniență fluviul Dunărea, exceptând concentrația de ^{210}Pb ($\text{CMA}_{\text{Pb-210}}=0,025$ Bq/l). Acest radionuclid provine din seria radioactivă naturală a uraniului-238, prezentă în toate componentele naturale ale mediului.

Doza efectivă anuală (D_{ef}) datorată consumului apei potabile, în județul Galați, în perioada 2014-2017, a fost evaluată, prin intermediul formulei (3.7) - (Capitolul 3, subcapitolul 3.1 – teza in extenso), la valoarea medie de $81,5 \pm 15,6$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$. Variația D_{ef} în județul Galați, în perioada 2014-2017, are aceeași tendință corespunzătoare variației activității alfa și beta globale, *Figura 4.2*.

Evaluarea riscului asupra sănătății, datorat D_{ef} primite de către populația județului Galați prin consumul apei potabile, pentru perioada 2014-2017, a condus, pentru adulți, la valoarea de $34,9 \times 10^{-5}$, față de $42,8 \times 10^{-5}$ - valoare a riscului calculat în cazul în care D_{ef} ar atinge valoarea de 100 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, reprezentând limita maxim admisă, conform *Legii 301/2015* și valoarea recomandată a nu fi depășită - conform *Directivei europene 51/2013*. În evaluarea acestui risc, s-a utilizat formula (3.5) - (Capitolul 3, subcapitolul 3.1), în care pentru D_{ef} s-a utilizat valoarea mediei determinate în județul Galați, pentru perioada 2014-2017, de $81,5 \pm 15,6$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$. Pentru durata de viață, s-a utilizat valoarea de 75,20 ani, reprezentând durata medie de viață în județul Galați, în perioada 2014-2017, [<http://statistici.insse.ro:8077/tempo-online>, accesat la data de 12.02.2018], (vezi Tabelul 4.7) și pentru coeficientul nominal de risc ajustat la detrimentul pentru cancer și efecte genetice s-a utilizat valoarea actuală de $5,7 \times 10^{-2}$ Sv^{-1} , [*ICRP, Publicația 103*].

Pentru populația din județul Vrancea, în perioada 2015-2018, pe baza determinării parametrilor primari de radioactivitate, activitate alfa și beta globală, a fost evaluată D_{ef} datorată consumului apei potabile.

Datele obținute sunt transpuse în hărțile de distribuție spațială a activității alfa globală, beta globală, precum și a dozei efective anuale datorate consumului de apă potabilă - redate în Figurile 3.5, 3.6, 3.7 și 3.8. (*în prezentul abstract sunt redate doar Figura 3.7 și 3.8*)

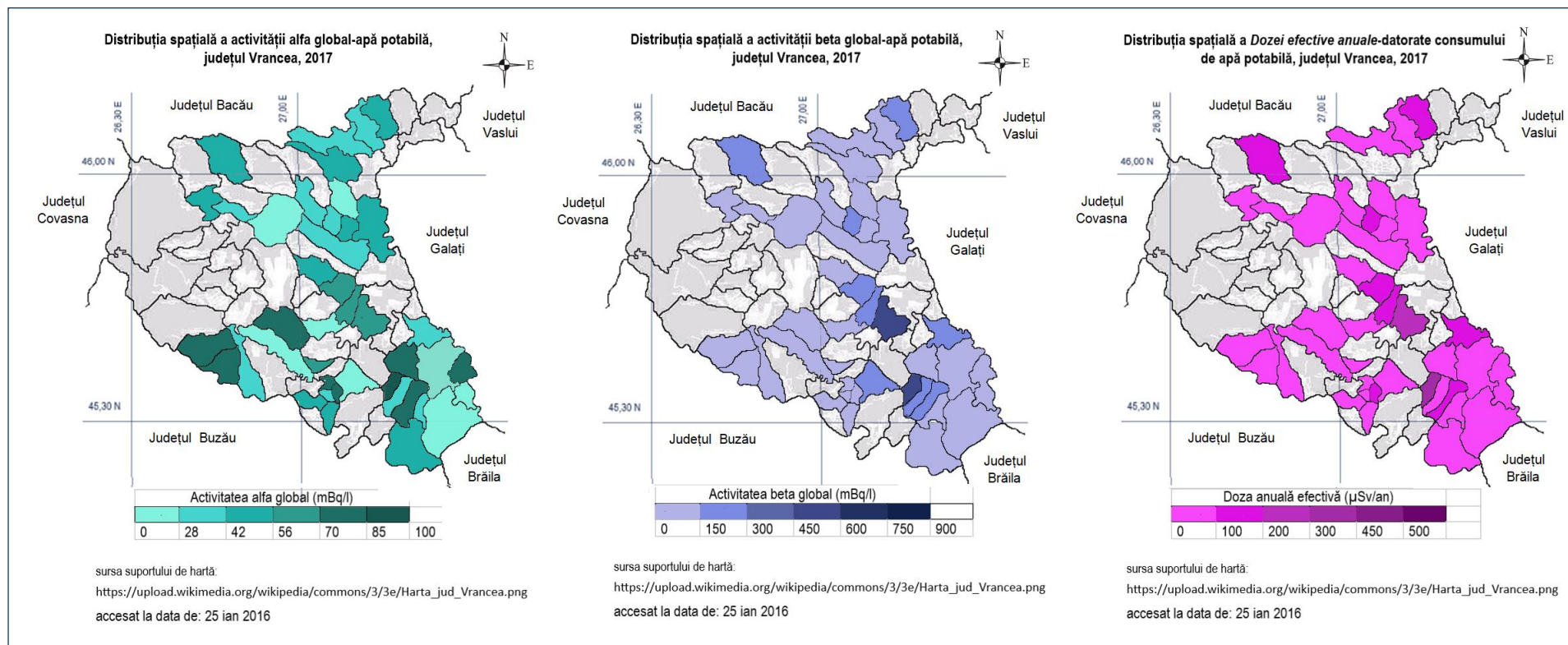


Figura 3.7 - Distribuția spațială a activității alfa și beta globale în apa potabilă, precum și a Dozei efective anuale datorate consumului apei potabile, în județul Vrancea, 2017 (zonele marcate cu gri sunt zonele din care nu s-au prelevat probe)

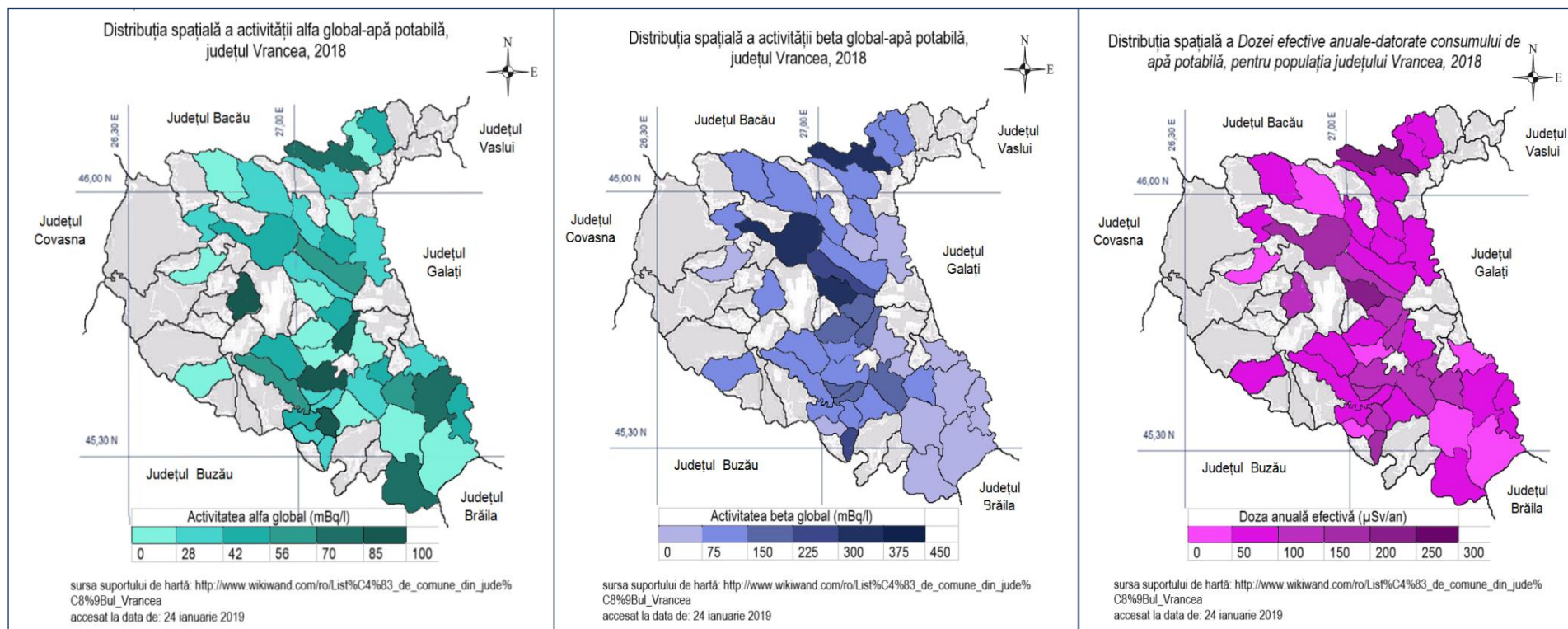


Figura 3.8 - Distribuția spațială a activității alfa și beta globale în apa potabilă, precum și a Dozei efective anuale datorate consumului apei potabile, în județul Vrancea, 2018 (zonele marcate cu gri sunt zonele din care nu s-au prelevat probe)

În cazul probelor de apă potabilă prelevate pe parcursul anului 2015, din județul Vrancea, utilizând tehnica de analiză multivariată prin gruparea probelor de apă potabilă funcție de valorile activităților alfa și beta globale, rezultă dendrograma din *Figura 4.3*.

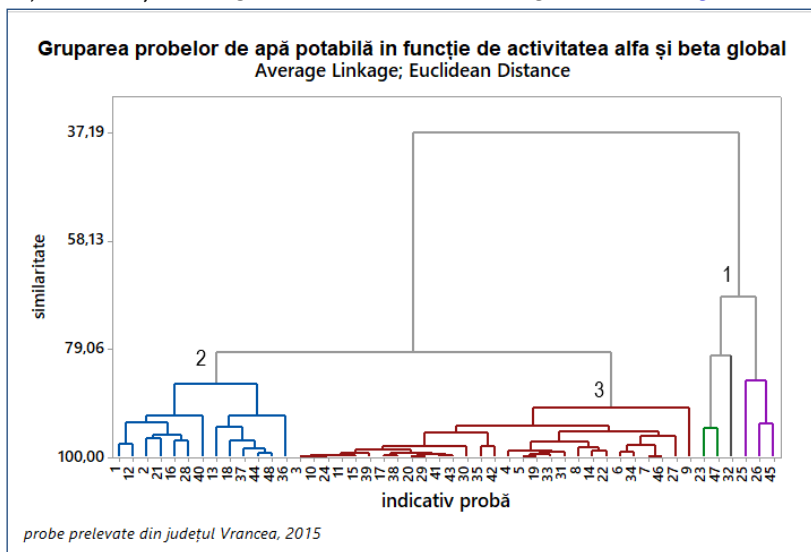


Figura 4.3 - Dendrograma – Gruparea probelor de apă potabilă în funcție de activitatea alfa și beta globale (probe prelevate din județul Vrancea, în 2015)

Clusterul nr. 3, marcat în Figura 4.3 cu culoarea roșie, grupează probele ce prezintă o similaritate, din punct de vedere al conținutului radioactiv global, de 90%. Acestea au fost amplasate, evidențiat cu culoare verde, pe harta geografică a județului Vrancea, corespunzător locului de prelevare, pentru o mai bună vizualizare a legăturii dintre conținutul radioactiv și amplasarea pe unități geomorfologice.

Analizând amplasarea geografică a locurilor de prelevare a probelor de apă potabilă ce aparțin clusterului nr. 3, se observă că aceasta conturează Câmpia Siretului Inferior, mai precis Câmpia Înaltă din cadrul acesteia, *Figura 4.4*.

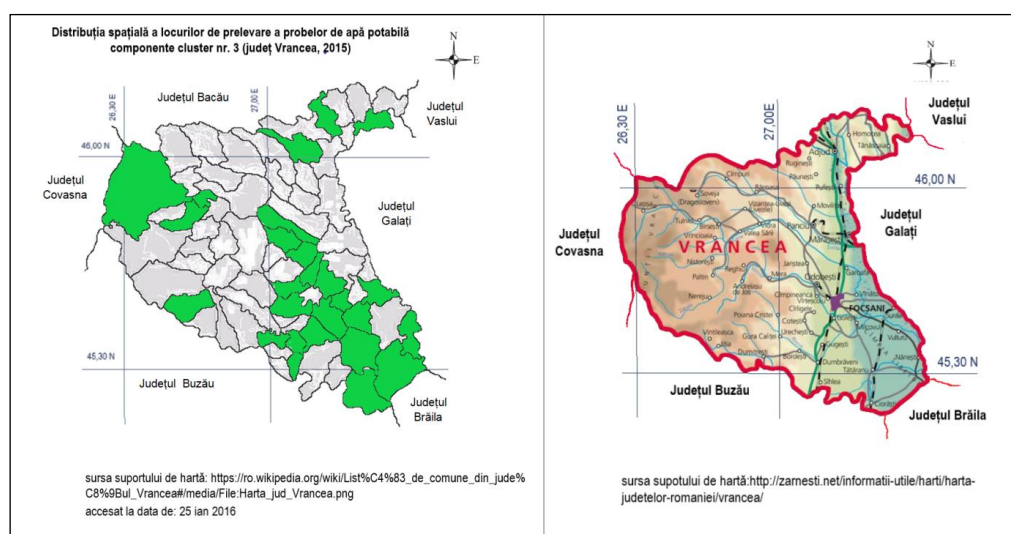


Figura 4.4 - Distribuția spațială a locurilor de prelevare – probe de apă potabilă – componente ale clusterului nr. 3, în oglindă cu harta relief a județului Vrancea

Similitudinea dintre probele componente ale clusterului nr. 3 poate fi pusă pe seama similitudinii geologice a locurilor de prelevare a probelor.

Pe parcursul a 4 ani de studiu, în județul Vrancea, valoarea medie anuală pentru activitatea alfa globală variază într-un domeniu mult mai restrâns față de media anuală a valorilor activității beta globală, astfel că cea mai mică valoare medie anuală (pentru activitatea alfa globală) se înregistrează în anul 2018, pe când cea mai mare valoare medie anuală se înregistrează în anul 2015, vezi *Figura 4.6*.

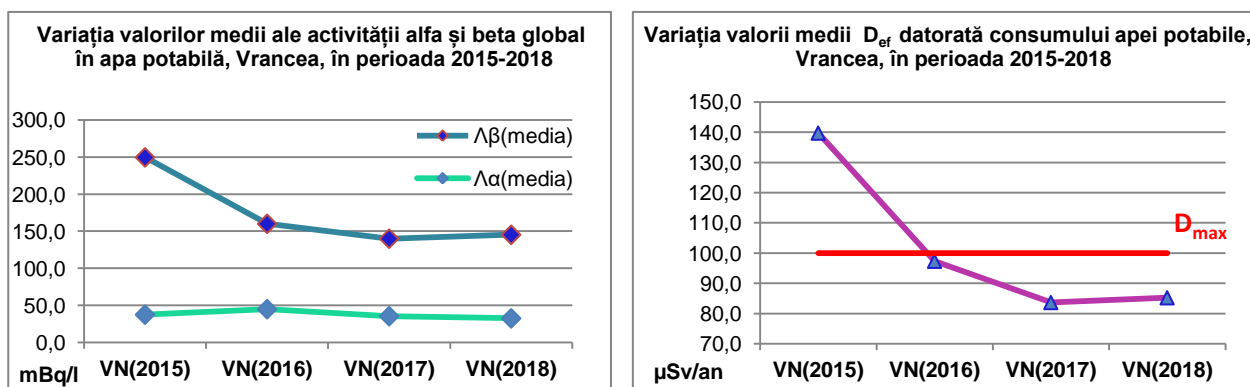


Figura 4.6 - Variația valorilor medii pentru parametrii de radioactivitate (activitatea alfa și beta globale) din apa potabilă și a Dozei efective anuale datorate consumului acesteia, în județul Vrancea, în perioada 2015-2018

Valoarea medie anuală a activității beta înregistrează un maxim în anul 2015 și un minim în anul 2017. Dinamica în ceea ce privește utilizarea surselor de apă, modernizarea ori îmbunătățirea acestora induce, probabil, o dinamică a intervalelor de valori ale parametrilor de radioactivitate determinați, *Figura 4.6*.

Valoarea D_{ef} datorate consumului de apă potabilă evaluată pentru perioada 2015-2018, în județul Vrancea, variază în domeniul $21 \div 473 \mu\text{Sv}/\text{an}$, media fiind de $102 \pm 19 \mu\text{Sv}/\text{an}$.

Riscul datorat D_{ef} primite de către populația județului Vrancea prin consumul apei potabile, pentru perioada 2015-2018, a fost evaluat la valoarea de $42,4 \times 10^{-5}$, ușor depășit față de $41,3 \times 10^{-5}$, valoare a riscului calculată în cazul în care D_{ef} ar atinge valoarea limită de $100 \mu\text{Sv}/\text{an}$. În evaluarea acestui coeficient de risc s-a utilizat: valoarea medie a D_{ef} de $102 \mu\text{Sv}/\text{an}$, determinată în județul Vrancea, pentru perioada 2015-2018, valoarea de 75,70 ani - reprezentând durata de viață în județul Vrancea, în perioada 2015-2017, [<http://statistici.insse.ro:8077/tempo-online> - accesat la data de 12.12.2018] și factorul de risc pentru cancer și efecte genetice pentru întreaga populație de $5,7 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$, [ICRP, Publicația 103].

În perioada 2014-2018, activitatea alfa și beta globală determinată în apa potabilă prelevată din județul Brăila, variază în domeniul $6 \div 75 \text{ mBq}/\text{l}$, respectiv $25 \div 720 \text{ mBq}/\text{l}$, D_{ef} datorată consumului apei potabile, în județul Brăila, evaluată pentru perioada 2014-2018, pe baza formulei (3.5) - (Capitolul 3, subcapitolul 3.1 – teza in extenso), a condus la valoarea medie de $87 \pm 17 \mu\text{Sv}/\text{an}$, aflată în intervalul valoric de $18 \div 428 \mu\text{Sv}/\text{an}$.

Riscul datorat *dozei efective anuale* primite de către populația județului Brăila prin consumul apei potabile, pentru perioada 2014-2018, a fost evaluat la valoarea de $37,3 \times 10^{-5}$, plasată sub valoarea de $42,7 \times 10^{-5}$ - valoare a riscului calculată în cazul în care D_{ef} ar atinge

valoarea limită de 100 $\mu\text{Sv}/\text{an}$. Pentru durata medie de viață din județul Brăila, pentru perioada 2014-2017, a fost utilizată valoarea de 74,94 ani, [<http://statistici.insse.ro:8077/tempo-online> - accesat la data de 12.12.2018]

În perioada 2014-2018, în regiunea județelor Galați, Brăila și Vrancea, media valorică cea mai ridicată a activității alfa globale (14,5÷57,5 mBq/l) a fost identificată în probele prelevate din județul Galați, după care în cele din județul Brăila, urmată de cele din județul Vrancea. Valorile medii ale activității beta globale (68,3÷223,5 mBq/l), în funcție de locul de prelevare, cresc în ordinea: Galați, Brăila și Vrancea - variație redată în *Figura 4.7*.

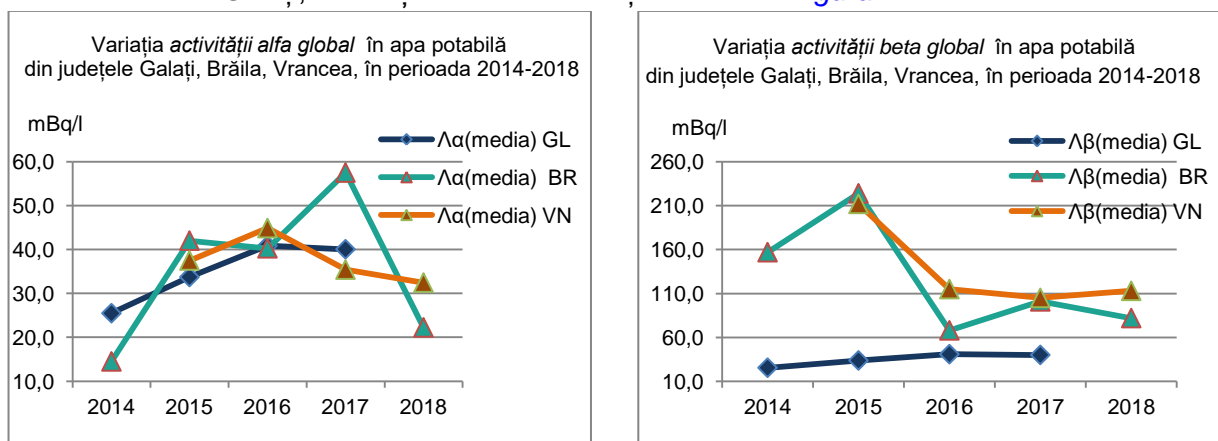


Figura 4.7 - Variația activității alfa și beta globale în apa potabilă în județele Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2014-2018

Pentru a exemplifica comparația dintre domeniul valoric al activității alfa și beta globale determinat în apa potabilă din județele Galați, Brăila și Vrancea, prelevate în perioada 2014-2018, cu cel determinat în alte țări, s-a redat graficul din *Figura 4.8*.

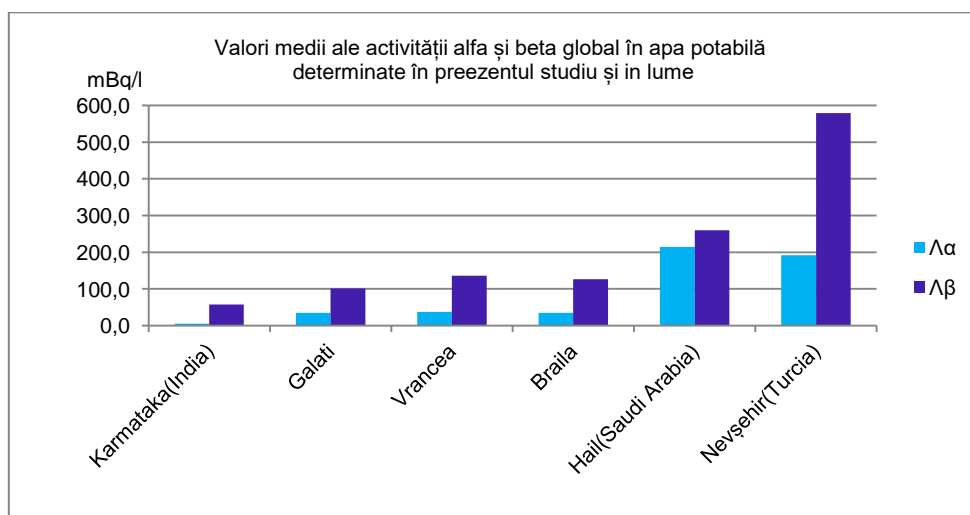


Figura 4.8 - Comparația valorilor medii ale activității alfa și beta globale în apa potabilă din județele Galați, Brăila și Vrancea, determinate în perioada 2014-2018, cu valori medii din lume

Pentru toate probele analizate, prelevate în perioada 2015-2018, din județele Galați, Brăila și Vrancea, distribuția valorilor activităților alfa, respectiv beta globale, pe grupe de valori, este exemplificată în *Figura 4.9*.

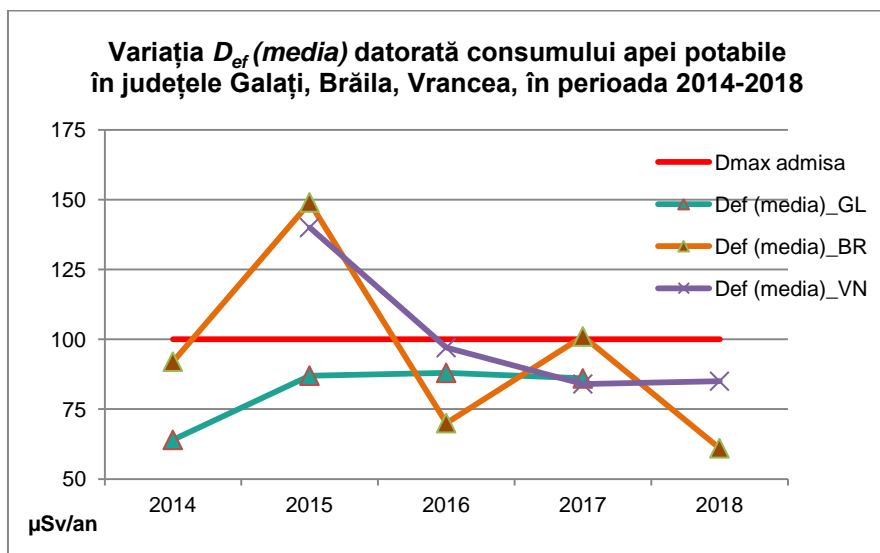


Figura 4.10 - Variația Dozei efective anuale datorate consumului de apă potabilă, în județele Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2014-2018

Se observă că pentru 21% din totalul probelor de apă potabilă, analizate în perioada 2014-2018, valorile activității alfa globale (se găsesc în intervalul 0÷10 mBq/l), în timp ce, pentru 61% dintre probe, activitatea beta globală are valori în domeniul 0÷100 mBq/l.

Doza efectivă anuală datorată consumului de apă potabilă, evaluată în perioada 2014-2018, în județele Galați, Brăila și Vrancea, variază în domeniul 18÷473 $\mu\text{Sv}/\text{an}$. Variația în timp a mediilor anuale determinate ale Dozei efective anuale este redată în [Figura 4.10](#).

Doza efectivă anuală datorată consumului de apă potabilă, evaluată pe baza activității alfa și beta globale, în regiunea județelor Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2014-2018, variază astfel:

- pentru populația din județul Galați, D_{ef} datorată consumului de apă potabilă variază în domeniul 18÷222 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, cu o medie de 81 ± 14 $\mu\text{Sv}/\text{an}$;
- pentru populația din județul Vrancea, D_{ef} variază în domeniul 21÷473 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, media fiind de 102 ± 19 ;
- pentru populația din județul Brăila, D_{ef} variază în domeniul 18÷428 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, cu media 87 ± 17 $\mu\text{Sv}/\text{an}$.

Detrimentul datorat radiației adus asupra sănătății populației prin consumul apei potabile, evaluat pentru perioada 2014-2018, pentru populația din județele Galați, Brăila și Vrancea, variază astfel: $34,9 \times 10^{-5}$ (față de valoarea maximă de $42,8 \times 10^{-5}$), $37,3 \times 10^{-5}$ (față de valoarea maximă de $42,7 \times 10^{-5}$), respectiv $44,8 \times 10^{-5}$ (față de valoarea maximă de $43,1 \times 10^{-5}$).

În concluzie, evaluarea D_{ef} datorate consumului de apă potabilă în județele Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2014-2018, pe baza activității alfa și beta globale, utilizând formula 3.5 (Capitolul 3, subcapitolul 3.1.), conduce la valori medii situate sub valoarea maxim admisă (100 $\mu\text{Sv}/\text{an}$), cu excepția celei evaluate pentru județul Brăila.

De menționat este faptul că, acest algoritm de evaluare a dozei efective anuale datorate consumului apei potabile, bazat pe activitatea alfa și beta globală conduce la supraestimarea mărimii Doză, reprezentând o evaluare a riscul maxim. De aceea, pentru evaluarea dozei efective anuale datorate consumului de apă potabilă, s-a utilizat și algoritmul evaluării pe baza concentrațiilor determinate de radionuclizi, (vezi și detalii în Capitolul 3, Subcapitolul 3.1 – teza in extenso).

B. Evaluarea dozei efective anuale pe baza activității specifice de radionuclizi: ^{210}Po , ^{210}Pb , $^{\text{nat}}\text{U}$, ^{226}Ra

Pe baza concentrației de radionuclizi ^{210}Po , ^{210}Pb , $^{\text{nat}}\text{U}$, ^{226}Ra au fost evaluate:

- doza efectivă anuală datorată consumului de apă potabilă în județul Galați, în 2015;
- doza efectivă anuală datorată consumului de apă potabilă în județul Vrancea, în perioada 2015-2017;
- doza efectivă anuală datorată consumului de apă potabilă în județul Brăila, în perioada 2016-2018;
- doza efectivă anuală datorată consumului de apă minerală în județul Galați, în 2016.

În județul Galați, pe parcursul anului 2015, pe un set de 11 probe, s-a determinat concentrația de ^{210}Po , ^{210}Pb și ^{226}Ra .

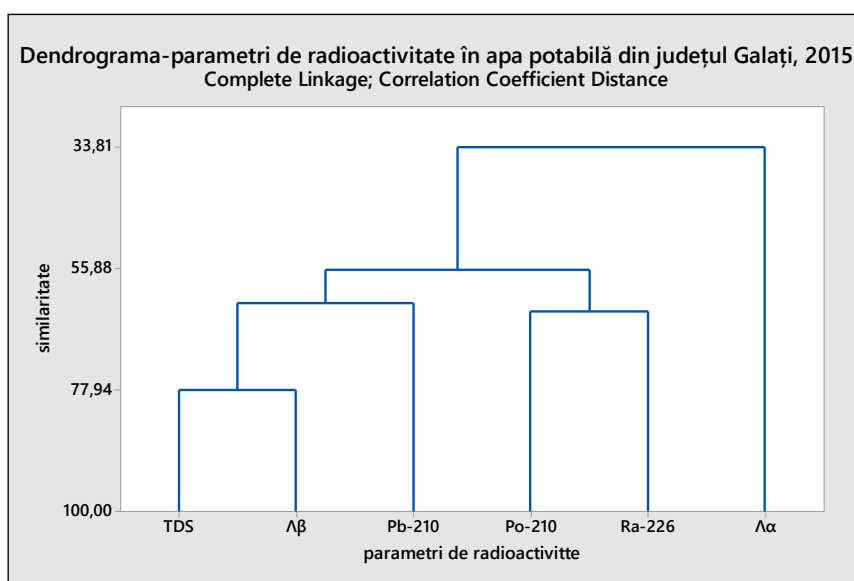


Figura 4.11 - Dendrograma - gruparea parametrilor de radioactivitate: activitate alfa globală, activitate beta globală, concentrație de ^{210}Po , ^{210}Pb și ^{226}Ra și a parametrului chimic (TDS) - determinată în apa potabilă din județul Galați, în 2015

Din dendrograma corespunzătoare probelor prelevate din Galați, în 2015, se observă gruparea parametrilor de radioactivitate împreună cu parametrul chimic - substanța total dizolvată, în clustere astfel:

- ^{226}Ra și ^{210}Po cu o similaritate de 63,5 %, se grupează într-un cluster. ^{226}Ra , ^{210}Po sunt ambii alfaemițători și fac parte din aceeași serie naturală radioactivă a ^{238}U ;
- substanța total dizolvată împreună cu activitatea beta globală, cu o similaritate de 77,9% se grupează într-un cluster, care se conectează cu parametrul ^{210}Pb - cu o similaritate de 62,2%; ^{210}Pb este beta emițător și aparține seriei naturale radioactive ^{238}U , determinarea lui se face prin măsurarea beta a precipitatului rezultat în urma separării radiochimice.

Detrimentul datorat radiației asupra sănătății populației prin consumul apei potabile, în județul Galați, pe parcursul anului 2015, a condus la valoarea de $5,3 \times 10^{-5}$, reprezentând 12,8% din detrimentul datorat radiației, dacă D_{ef} ar atinge valoarea maximă de $100 \mu\text{Sv}/\text{an}$. Pentru această evaluare s-au utilizat: valoarea medie a dozei efective totale de referință corespunzătoare consumului apei potabile în județul Galați, pe parcursul anului 2015, de $12,3 \mu\text{Sv}/\text{an}$; durata medie de viață din județul Galați pentru anul 2015 de 75,21 ani,

[<http://statistici.insse.ro:8077/tempo-online> - accesat la data de 12.12.2018] și coeficientul nominal de risc ajustat la detrimentul pentru cancer și efecte genetice de: $5,7 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ [ICRP, Publicația 103].

În urma analizării posibilităților de grupare a parametrilor de radioactivitate determinați în apele potabile prelevate din județul Vrancea, în perioada 2015-2017, au rezultat 5 clustere - fapt redat în *Figura 4.12*.

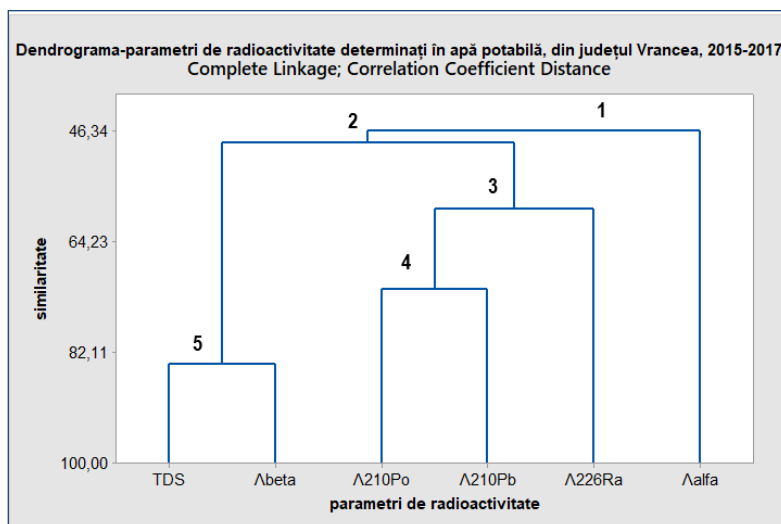


Figura 4.12 - Dendrograma - parametri de radioactivitate determinați în apa potabilă, în județul Vrancea, 2015-2017

Indicatorii valorici corespunzători dendrogramei din Figura 4.12 care indică numărul grupărilor (clustere), procentul de similaritate între aceste grupări, modul de corelare a clusterilor, sunt redați în *Tabelul 4.4*.

Tabel 4.4 - Indicatorii valorici corespunzători Dendrogramei - parametri de radioactivitate determinați în apa potabilă, în județul Vrancea, 2015-2017

Nivel	Nr. cluster	Similaritate	Distanță	Clusteri conectați		Cluster nou	No. clusteri conectați în clusteri noi
1	5	83,87	0,32	1	3	1	2
2	4	71,80	0,56	4	5	4	2
3	3	58,83	0,82	4	6	4	3
4	2	48,15	1,04	1	4	1	5
5	1	46,34	1,07	1	2	1	6

Gruparea prin clusterizare a parametrilor de radioactivitate determinați în apa potabilă din județul Vrancea, în perioada 2015-2018, indică:

- apartenența la aceeași grupă a variabilelor: substanța total dizolvată și activitatea beta globală (cluster nr. 5) cu o similaritate de 83,3%, acestea conectate la rândul lor cu variabila activitatea alfa globală cu o similaritate mult mai mică de aproximativ 46,3%, explicată astfel: atât activitatea beta globală cât și activitatea alfa globală sunt determinate pe reziduu obținut în urma prelucrărilor primare ale probei. Calculul final al acestor parametri este influențat de valoarea TDS a probei, mai mult în cazul activității beta globale - caz în care particulele beta

emise de nucleu se caracterizează printr-un spectru continuu de energie, și mai puțin în cazul activității alfa globale - caz în care parcursul radiației alfa este foarte mic.

- apartenența la aceeași grupă a variabilelor $\Lambda_{210\text{Po}}$ și $\Lambda_{210\text{Pb}}$, cu un procent de similaritate destul de ridicat, de aproximativ 71,8%, acestea conectate la rândul lor cu variabila $\Lambda_{226\text{Ra}}$. Acest fapt se explică astfel: radionuclidul ^{210}Po este produs de dezintegrare al radionuclidului ^{210}Pb , prin urmare, conținutul de ^{210}Pb din probă depinde foarte mult de conținutul de ^{210}Po . De altfel, unele metode radiochimice de determinare a ^{210}Pb din apă se bazează tocmai pe această legătură de radionuclid părinte (^{210}Pb) - radionuclid fiică (^{210}Po). Radionuclizii amintiți anterior împreună cu ^{226}Ra , cu care se observă o grupare, sunt componenți ale aceleiași serii radioactive naturale - seria Uraniului 238.

În apele potabile prelevate în perioada 2015-2018, din județele Galați, Brăila și Vrancea, concentrația de ^{210}Po variază de la 0,5 mBq/l până la 12,5 mBq/l, media fiind de $2,7 \pm 0,6$ mBq/l, iar mediana având valoarea de $2,0 \pm 0,4$ mBq/l, în timp ce, pentru concentrația de ^{210}Pb se determină o medie de $4,7 \pm 0,7$ mBq/l, înscrisă în domeniul de valori 0,6÷19,5 mBq/l, caracterizat de o mediană de $3,4 \pm 0,5$ mBq/l. Distribuția valorilor concentrațiilor de ^{210}Po și ^{210}Pb din apă potabilă, în județele Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2015-2018, este ilustrată în *Figura 4.13*.

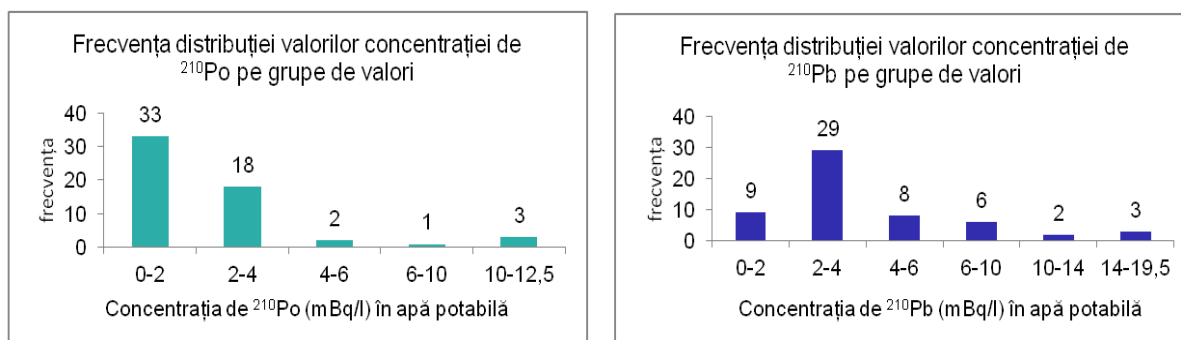


Figura 4.13 - Distribuția valorilor concentrațiilor de ^{210}Po și ^{210}Pb din apă potabilă, în județele Galați Brăila și Vrancea, în perioada 2015-2018, pe grupe de valori

Pentru apele potabile din Karnataka (India) sunt menționate valori pentru concentrația de ^{210}Po în domeniul 1,89÷4,18 mBq/l, cu o medie de 3,22 mBq/l [Kavitha E., 2017]. Domeniu mult mai larg de valori (0÷114,2 mBq/l) - pentru concentrația de ^{210}Po , se determină pentru apele potabile prelevate din Western Australia [Walsh, 2014], în timp ce pentru concentrația de ^{210}Pb , aceeași sursă indică valori similare prezentului studiu (LLD -13,4 mBq/L, unde LLD - limita de detecție). Valori mult mai scăzute de ^{210}Po și ^{210}Pb , în domeniile: 0,25÷0,7 ($0,6 \pm 0,1$) mBq/l, respectiv 0,7÷2,7 ($1,9 \pm 1,5$), sunt determinate în ape minerale plate comercializate în Croația [Rožmarić M., 2012]. Aceste valori, mult mai mici, s-ar putea datora fie compoziției mai scăzute în radionuclizi, fie timpului scurs între îmbuteliere și efectuare determinări radiochimice, având în vedere timpii de înjumătățire relativ mici pentru ^{210}Po ($T_{1/2}=138$ zile) și ^{210}Pb ($T_{1/2}=22,3$ ani). În apa potabilă din Germania, concentrația de ^{210}Po se află în domeniul 0,2÷180 mBq/l (cu mediana de 1,4 mBq/l) [Beyermann, 2019], cu o maximă mult mai ridicată față de maxima prezentului studiu.

În județele Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2015-2018, probele de apă au un conținut de ^{226}Ra cuprins între 8 și 45 mBq/l, media fiind de $18,5 \pm 5,6$ mBq. Pentru apa potabilă din Kumasi (Gana) se determină o medie de 22,41 mBq/l [Darko G., 2015]. Sunt semnalate valori vecine, de o parte și de alta domeniului determinat în acest studiu, pentru concentrația de ^{226}Ra și anume: 6,43÷12,59 mBq/l - în ape potabile din Ondo (Nigeria) și 2,08÷78,36 mBq/l - în

ape potabile din Ekiti (Nigeria) [Ayodele A.E., 2017]. Valori foarte ridicate de ^{226}Ra în apă potabilă sunt determinate în Ramsar (Iran): $16\div 524$ mBq/l [Fathabadi N., 2019], Ramsar aflându-se printre zonele cu cea mai înaltă radioactivitate naturală de pe Pământ [Fathabadi N. 2017].

Distribuția valorică a concentrațiilor de ^{226}Ra și ^{238}U din apă potabilă, în județele Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2015-2018, este redată în *Figura 4.14*.

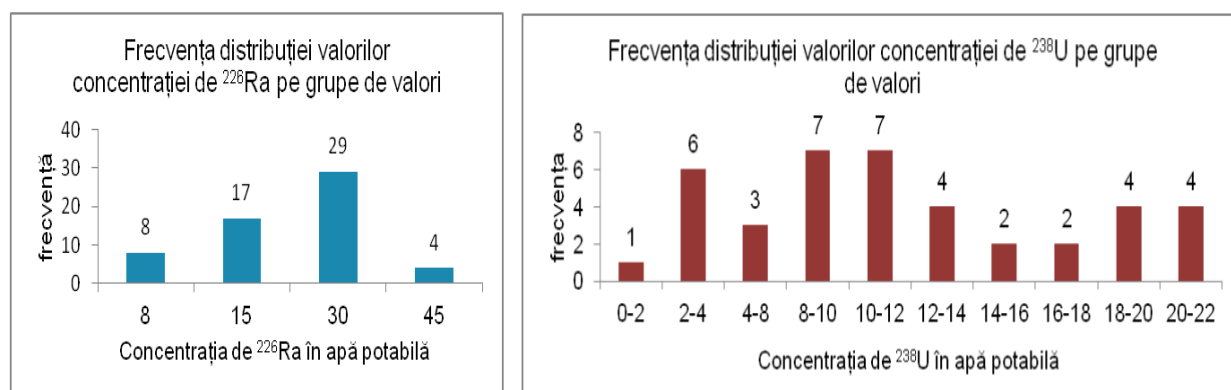


Figura 4.14 - Distribuția valorilor concentrațiilor de ^{226}Ra și ^{238}U (mBq/l) din apa potabilă, în județele Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2015-2018, pe grupe de valori

Concentrația de ^{238}U , determinată în probele de apă potabilă prelevate în perioada 2015-2018 din județele Galați, Brăila și Vrancea, are valori cuprinse în domeniul $1,0\div 22,0$ mBq/l, media fiind de $11,9 \pm 1,3$ mBq/l. Valori ușor mai scăzute, de la 0 la $14,3$ mBq/l - cu o medie de $2,3$ mBq/l, sunt determinate în apele potabile din Western Australia, [Walsh, 2014]. Maxime mult mai ridicate se înregistrează pentru apele minerale din Italia, în domeniul $0,206\div 103$ mBq/l (media $21,4$ mBq/l) [Jia G., 2009].

Valoarea medie a *dozei efective totale* de referință, primită de populația adultă prin consumul apei potabile, evaluată în regiunea județelor Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2015-2018, este de $10,4 \pm 1,3$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$. Aceasta este compusă din: doza efectivă datorată ingestiei ^{210}Po , de $4,1 \pm 0,5$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$, doza efectivă datorată ingestiei ^{210}Pb , de $2,1 \pm 0,4$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$, doza efectivă datorată ingestiei ^{226}Ra , de $3,0 \pm 0,4$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$ și doza efectivă datorată ingestiei ^{238}U , de $0,39 \pm 0,04$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$, fapt ilustrat în *Figura 4.17*.

Contribuția cea mai mare în regiunea județelor Galați, Brăila și Vrancea la D_{ef} adusă populației prin consumul apei potabile o aduce ingestia radionuclidului ^{210}Po , urmată de cea a ^{226}Ra , a ^{210}Pb și apoi a ^{238}U . Se observă că cei mai importanți radionuclizi, din punct de vedere al contribuției la D_{ef} , sunt ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{210}Pb . Cea mai mică contribuție la *Doza efectivă anuală* datorată consumului apei potabile o aduce ingestia izotopului ^{238}U , cu un procent de doar 4%.

Unii autori consideră că ar trebui luată în considerare, pe lângă contribuția radionuclizilor amintiți și contribuția radionuclidului primordial ^{40}K [Jia G., 2009], ceea ce ar contravine regulii de calcul din legislația europeană [Directiva europeană 51/2013] și transpunerea acesteia în legislația națională [Legea 301/2015], privind stabilirea cerințelor de protecție a sănătății populației în ceea ce privește substanțele radioactive din apa potabilă.

Contribuția radionuclizilor la *Doza efectivă anuală* datorată consumului de apă potabilă și apă minerală este ilustrată în *Figura 4.17* și *Figura 4.18*.

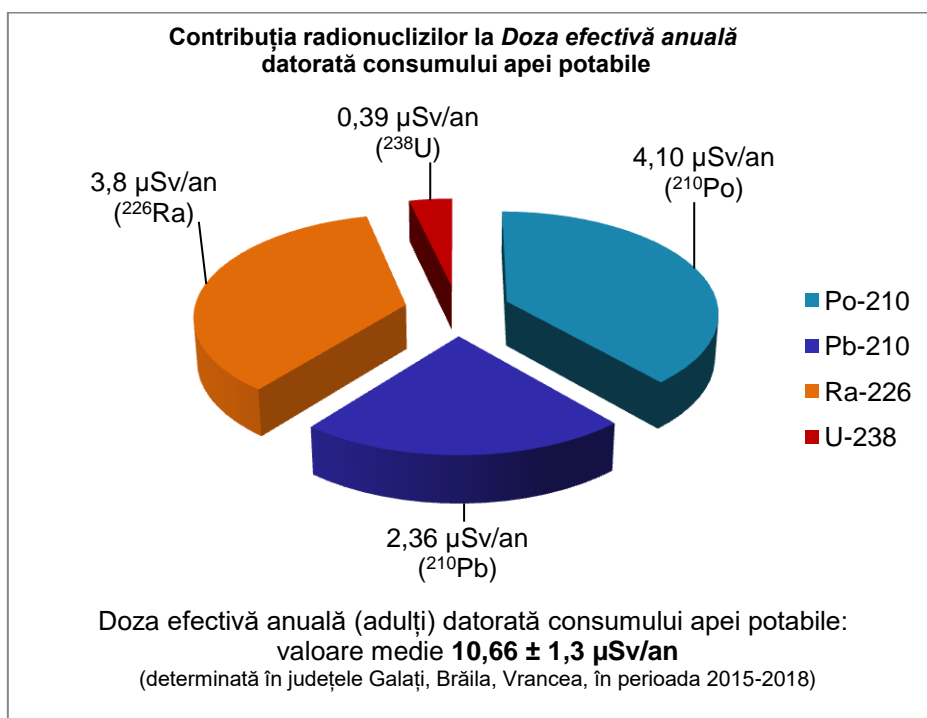


Figura 4.17 - Contribuția radionuclizilor ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{238}U la Doza efectivă anuală datorată consumului de apă potabilă, evaluată în județele Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2015-2018, pentru populația adultă.

Valoarea medie a Dozei efective anuale datorate ingestiei radionuclizilor ^{226}Ra , ^{210}Po și ^{210}Pb prin consumul apei minerale este de $5,34 \pm 0,81 \mu\text{Sv/an}$, valoric în cazul acestui studiu, reprezentând 1/2 din doza adusă organismului uman prin consumul apei potabile, *Figura 4.18*.

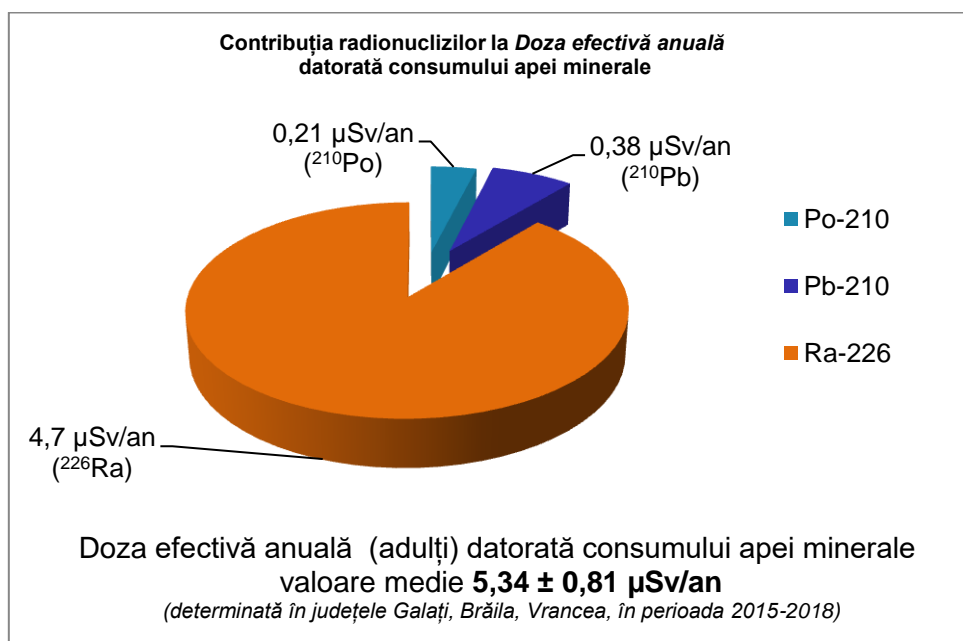


Figura 4.18 - Contribuția radionuclizilor ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra la Doza efectivă anuală datorată consumului de apă minerală (probe prelevate în anul 2016 din supermarketuri, Galați)

Pentru evaluarea D_{ef} datorate consumului de apă minerală, s-a determinat: activitatea alfa și beta globale, concentrația de ^{210}Po , ^{210}Pb și ^{226}Ra . Valorile parametrilor de radioactivitate determinați în apa minerală sunt comparate cu valorile determinate în ale țări, Tabel 4.5.

Tabel 4.5 - Statistica valorilor activităților alfa (Λ_α) și beta globale (Λ_β), concentrația de ^{226}Ra ($\Lambda_{226\text{Ra}}$), ^{210}Po ($\Lambda_{210\text{Po}}$), ^{210}Pb ($\Lambda_{210\text{Pb}}$), din probele de apă minerală din diferite țări: min-max, (media)

Loc/Țară	Λ_α	Λ_β	$\Lambda_{226\text{Ra}}$	$\Lambda_{210\text{Po}}$	$\Lambda_{210\text{Pb}}$	Sursa bibliografică
	min-max (media) (mBq/l)					
Bucovina, Romania	0.40–45.40 (12.13)	1.51–47.45 (11.34)				[Călin M. R., 2016]
Serbia		–	1–13	–	41–173	[Janković M. M., 2012]
Croatia			0,67-38,1 (6,8)	0,51-3 (1,3)	0,8-7,6 (3,8)	[Rožmarić M., 2012]
Belgia, Franța Italia, Polonia	(329.3)		1.5-632	1.5-10.8		[Jobbágy V., 2013]
Ungaria	35-1749 (189)	33-2015 (209)				[Jobbágy V., 2011]
Turcia			<0.56-165			[Erden P.E., 2014]
Turcia	(125)	(170)	(129)			[Kobyá Y., 2011]
Slovenia			0.14-32 (10.57)	0.24-2.1 (0.86)	0.6-13.2 (0.86)	[Benedik L., 2012]
Bucovina, Romania	1.03-5.50	15.9-31.4	110-450	-	-	[Călin M. R., 2019]
România	9-81 (17,9)	85-659 (198)	5-70 (33)	0.02-0.97 (0.34)	0.151-2.85 (1.10)	prezentul studiu

Valorile concentrațiilor de radionuclizi naturali în apa minerală sunt foarte diferite datorită varietății structurii geologice a zonelor de proveniență a surselor de apă.

Contribuția radionuclidului ^{226}Ra la *Doza efectivă anuală* datorată consumului apei minerale este similară ca ordin de mărime ca și în cazul consumului apei potabile, trecând însă pe primul loc, ca aport la Doza efectivă totală.

Concentrațiile de ^{210}Po , respectiv ^{210}Pb sunt mai mici în apa minerală față de cea determinată în apa potabilă, la aceasta contribuind în mare măsură și timpul scurs între îmbuteliere și efectuare determinări, știut fiind faptul că acest radionuclid are un timp de înjumătățire relativ mic ($T=138,38$ zile).

Detrimentul datorat radiației, asupra sănătății populației din județul Galați, prin consumul apei minerale în 2016, este evaluat la valoarea de $2,3 \times 10^{-5}$, ceea ce reprezintă 5,1% din valoarea detrimentului datorat radiației, dacă D_{ef} datorată consumului apei potabile ar atinge valoarea maxim admisă de 100 $\mu\text{Sv/an}$.

Bazându-ne pe rezultatele de mai sus, se concluzionează că atât apa potabilă din județele Galați, Brăila și Vrancea, cât și apa minerală comercializată în Galați este sigură pentru consumul populației, din punct de vedere al conținutului în radionuclizi naturali și al aportului la *Doza efectivă anuală* pe care îl aduc prin consumul acestora.

3.2. Evaluarea Dozei efective anuale datorate consumului de alimente

Scopul acestei direcții de cercetare s-a realizat în trei pași: (1) - determinarea activității alfa globale, activității beta globale și a concentrației de ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra și ^{40}K în produse alimentare prelevate din trei județe din România (Galați, Brăila, Vrancea); (2) - evaluarea dozei efective anuale datorate ingestiei radionuclizilor prin consumul de alimente și (3) - evaluarea detrimentului adus sănătății omului datorat radiației ionizante corespunzător consumului de alimente.

A. Evaluarea Dozei efective anuale datorate consumului de pâine

Sunt foarte puține date în literatura de specialitate în ceea ce privește conținutul de radionuclizi din pâine, majoritatea autorilor raportând conținutul radionuclizilor în făină, biscuiți și produse făinoase [Abojassim A. A., 2014], [Abojassim A. A., 2015a], [Abojassim A. A., 2015b], [Turtiainen T., 2011], [Meli M. A., 2014]. Au fost găsite, în literatura de specialitate, [Meli M. A., 2014], pentru concentrația de ^{210}Po valori în domeniul $0,020\div 0,114$ Bq/kg - pentru probe de făină prelevate din Italia, similar în partea de început a domeniului de concentrații (^{210}Po) determinat în prezentul studiu ($0,014\div 0,031$ Bq/kg), dar cu o medie mai ridicată de $0,061 \pm 0,026$ Bq/kg față de cea a prezentului studiu.

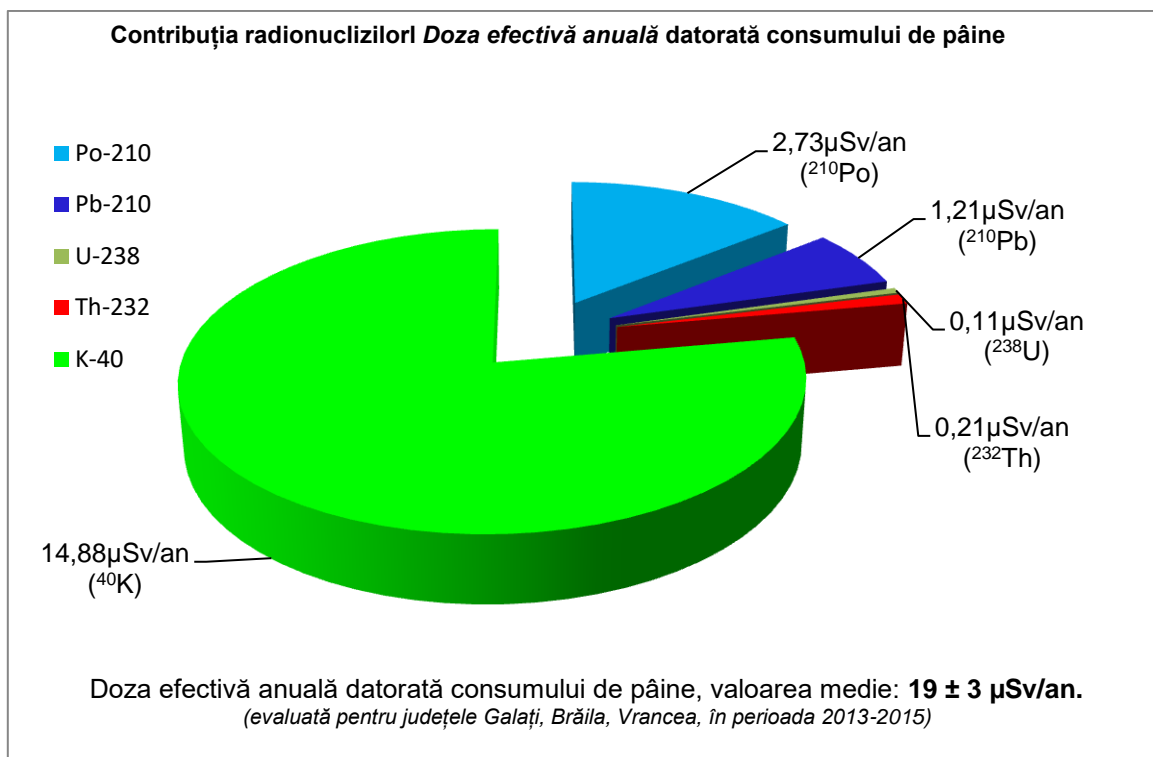


Figura 4.19 - Contribuția radionuclizilor ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th , și ^{40}K la Doza efectivă anuală datorată consumului de pâine, evaluată pentru regiunea județelor Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2013-2015

În raportul UNSCEAR [Unscear, 2000], a fost declarat pentru probe de grâu, domeniul de valori pentru concentrația de ^{210}Po de: $0,020 \div 0,360$ Bq/kg. În făină albă, prelevată din Finlanda [Turtiainen T., 2011], concentrația de ^{210}Pb se află într-un domeniu de valori mai ridicat ($0,058 \div 0,300$ Bq/kg) față de domeniul prezentului studiu ($0,006 \div 0,080$ Bq/kg) și față de domeniul de valori pentru grâu, publicat în raportul UNSCEAR [Unscear, 2000].

Pentru concentrația de ^{238}U , în prezentul studiu, s-au determinat valori în domeniul $0,009 \div 0,040$ Bq/kg. Pentru grâu, raportul UNSCEAR [Unscear, 2000] arată valori ale ^{238}U , ușor mai ridicate. Pentru biscuiți, în Irak, au fost raportate valori ale ^{238}U în domeniul: $0,009 \div 0,040$ Bq/kg [Abojassim A. A., 2014]. De menționat ca Abojassim și colaboratori [Abojassim A. A., 2014], au determinat ^{238}U prin spectrometrie gama cu detector de NaI(Tl), caz în care sensibilitatea metodei este de ordinul Bq, față de sensibilitatea metodelor radiochimice de separare care este de ordinul mBq. Pentru concentrația de ^{232}Th , domeniul valoric determinat în acest studiu de: $0,001 \div 0,021$ Bq/kg este similar celui din raportul UNSCEAR: $0,0016 \div 0,033$ Bq/kg. Domeniu mult mai ridicat, valoric, explicat prin utilizarea principiului de măsurare gamaspectrometric (cu detector de NaI(Tl)), pentru același radionuclid, este obținut de Ashahri și colaboratori: $5,6 \div 26$ Bq/kg [Alshahri F., 2016]. Tufail și colaboratori obțin valori pentru ^{232}Th , în domeniul $1,0 \div 1,5$ Bq/kg [Tufail M., 2010], utilizând gamaspectrometru cu detector de Germaniu hiperpur. Abojassim și colaboratori [Abojassim A. A., 2014] a determinat ^{232}Th prin spectrometrie gama cu detector de NaI(Tl), obținând în probe de făină valori în domeniul: $0,126 \div 4,298$ Bq/kg. Pentru ^{40}K , în prezentul studiu s-au obținut valori în domeniul $10,4 \div 31,4$ Bq/kg. În probe de făină, în Spania, se obțin valori pentru ^{40}K , în domeniul: $67 \div 122,7$ Bq/kg, [Ballesteros L., 2015a].

În Polonia, pe probe de grâu, se obțin valori în domeniul $127,9 \div 145,1$ Bq/kg - pentru ^{40}K [Solecki J., 2011b], în timp ce pentru sudul Indiei este raportată o medie de $482,7$ Bq/kg, [Shanthi G., 2010].

Pentru probe de făină de grâu prelevate din Irak, sunt raportate valori ale ^{40}K în domeniul $41,84 \div 264,72$ Bq/kg, [Abojassim A. A., 2014]. În probe de pâine albă, prelevate din Arabia Saudită, sunt determinate valori ale ^{40}K , în domeniul $203 \div 297$ Bq/kg [Alshahri F., 2016]. În probe de făină de grâu, prelevate din Pakistan, sunt declarate valori ale ^{40}K în domeniul $95,7 \div 146,9$ Bq/kg [Tufail M., 2010].

Evaluarea *Dozei efective anuale* datorate ingestiei radionuclizilor ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th și ^{40}K , prin consumul de pâine, pentru regiunea județelor Galați, Brăila și Vrancea a condus la valoarea medie de: 19 ± 3 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ și a relevat faptul că cea mai mare contribuție la aceasta aparține izotopului ^{40}K , Figura 4.18 .

Valoarea medie a *Dozei efective anuale* datorate consumului de pâine, evaluată în acest studiu este mult mai mică decât valoarea de 110 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, reprezentând *Doza efectivă anuală* datorată ingestiei radionuclizilor din seria uraniului și toriului, derivată din consumul alimentar pentru adulți (alimente și apă), evaluată de UNSCEAR [Unscear, 2000].

Evaluarea riscului, ca detriment datorat radiației ionizante adus populației, prin consumul de pâine, luând în considerare media duratei de viață, pe perioada 2013-2015 în județele Galați, Brăila și Vrancea (73,3 ani) [<http://statistici.insse.ro/shop/>, accesat la data de 12.12.2016], conduce la valoarea de $8,1 \times 10^{-5}$, cu mult sub valoarea de $10,3 \times 10^{-3}$, reprezentând detrimentul datorat tuturor surselor naturale, evaluat pentru regiunea județelor Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2013-2015.

B. Evaluarea Dozei efective anuale datorate consumului de lapte pasteurizat

Laptele pasteurizat, unul dintre alimentele frecvent întâlnite în alimentația omului, aduce în organismul uman radionuclidul ^{40}K - radionuclid primordial, cât și radionuclizi naturali provenind din cele trei serii radioactive naturale.

Tabel 4.6 - Corelația Pearson între parametrii de radioactivitate determinați în probele de lapte pasteurizat.

Parametri radioactivitate	Λ_{α}	Λ_{β}	$\Lambda_{^{210}\text{Po}}$	$\Lambda_{^{210}\text{Pb}}$	$\Lambda_{^{238}\text{U}}$	$\Lambda_{^{232}\text{Th}}$	$\Lambda_{^{40}\text{K}}$
Λ_{α}	1						
Λ_{β}	-0,14	1					
$\Lambda_{^{210}\text{Po}}$	-0,50	-0,26	1				
$\Lambda_{^{210}\text{Pb}}$	-0,22	0,16	0,40	1			
$\Lambda_{^{238}\text{U}}$	0,44	0,45	-0,57	0,46	1		
$\Lambda_{^{232}\text{Th}}$	0,73	-0,15	-0,64	-0,55	0,30	1	
$\Lambda_{^{40}\text{K}}$	0,28	0,08	-0,40	0,43	0,80	0,38	1

Semnificație statistică: $p < 0,05$

Corelarea între concentrațiile de radionuclizi ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{40}K , ^{238}U , determinate în lapte pasteurizat și redată în Tabelul 4.6, a arătat următoarele:

- o corelație pozitivă înaltă între ^{40}K și ^{238}U , explicată prin faptul că ambii radionuclizi primordiali, cu timpi de înjumătățire foarte mari ($T_{1/2(\text{K-40})} = 1,28 \times 10^9$ ani, $T_{1/2(\text{U-238})} = 4,5 \times 10^9$ ani), existenți în toate componentele naturale ale mediului, se transferă din hrana animalelor în produsele acestora;
- o corelație negativă înaltă între radionuclizii ^{238}U și ^{210}Po , care se explică astfel: radionuclidul ^{210}Po este produs de dezintegrare al familiei radioactive naturale a uraniului-238, care se formează pe măsură ce se dezintegrează radionuclidul ^{238}U , prin urmare, în cadrul unei matrice de produs proaspăt, pe măsură ce radionuclidul ^{238}U se dezintegrează, concentrația în radionuclizi generați, printre care radionuclidul ^{210}Po , crește;
- o corelație pozitivă înaltă între activitatea alfa și concentrația de ^{232}Th , datorată faptului că ^{232}Th este alfa emițător;
- o corelație pozitivă rezonabilă se observă între radionuclidul ^{238}U și activitatea alfa și beta globală, explicată prin faptul că radionuclidul părinte ^{238}U generează prin dezintegrare atât radionuclizi emițători alfa, cât și radionuclizi emițători beta.

În Rostov (Rusia) în probe de lapte, s-au găsit pentru ^{210}Po și ^{210}Pb concentrații de 0,008 Bq/kg, respectiv de 0,020 Bq/kg, [Ladinskaya L., 2013], față de valorile medii determinate în acest studiu: de $0,041 \pm 0,012$ Bq/l - pentru ^{210}Po și $0,016 \pm 0,004$ Bq/l - pentru ^{210}Pb . Activitatea specifică de ^{40}K este evaluată la valoarea de 43 Bq/kg în Coreea [Chae J.S., 2016], la valoarea de 34 Bq/kg - în India [Shanti G., 2010], la valoarea de $56,8 \pm 13,3$ Bq/kg - în Olanda [Brandhoff P.N., 2016], în domeniul $17,7 \div 72,37$ Bq/l - în Spania [Ballesteros L., 2015], față de valoarea medie de $45,48 \pm 6,82$ Bq/l, determinată în acest studiu.

În Ramsar, Iran, zonă cu radioactivitate naturală crescută [Sohrabi M., 2013], [Fathabadi N., 2017], a fost evaluată Doza efectivă anuală datorată ingestiei radionuclidului ^{226}Ra , la valoarea maximă de 1,52 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, valoarea medie fiind de 0,93 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, [Fathabadi N.,

2019]. În Coreea s-a evaluat un aport de 1182 Bq/an datorat ingestiei radionuclidului ^{40}K , ceea ce generează o doză efectivă anuală de 7,3 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ [Chae J. S., 2016].

Evaluarea *Dozei efective anuale* datorate ingestiei radionuclizilor ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{40}K și ^{238}U prin consumul de lapte pasteurizat, evaluată pentru adulți, în regiunea județelor Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2014-2016, a condus la valoarea medie de $24,99 \pm 3,25 \mu\text{Sv}/\text{an}$, contribuția radionuclizilor la aceasta fiind exemplificată în *Figura 4.21*.

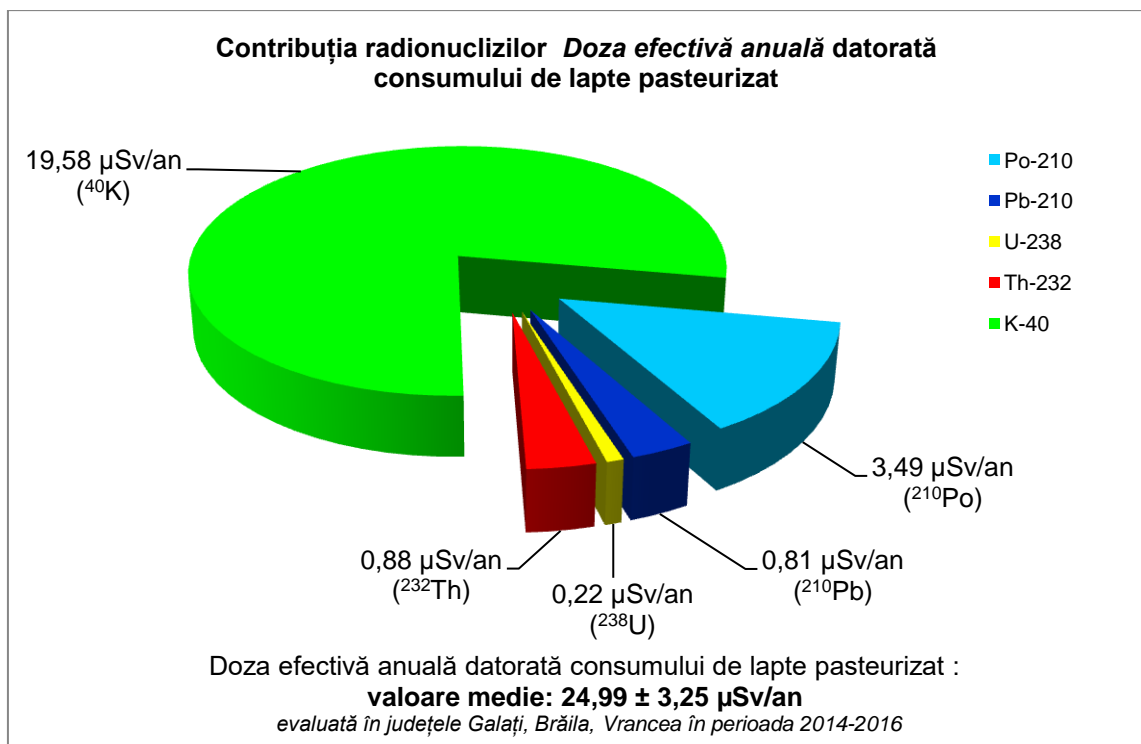
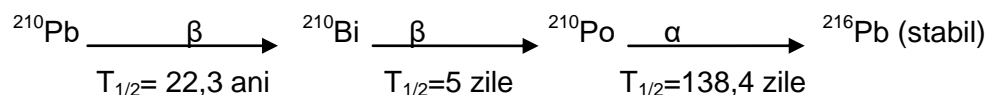


Figura 4.21 - Contribuția radionuclizilor ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , din lapte pasteurizat, la Doza efectivă anuală, datorată consumului acestuia, evaluată în județele Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2014-2016

Contribuția cea mai ridicată la *Doza efectivă anuală* datorată consumului de lapte pasteurizat aparține radionuclidului ^{40}K , cu un procent de 78,35 %, în timp ce contribuția cea mai scăzută se datorează radionuclidului ^{238}U , cu un procent de 0,88%. Radionuclizii ^{232}Th , ^{210}Pb și ^{210}Po contribuie la *Doza efectivă anuală* cu un procent de 3,52%, 3,24%, respectiv 13,96%.

Interesant este faptul că în cazul probelor de lapte pasteurizat, concentrația de ^{210}Po este mai mare decât concentrația de ^{210}Pb , situație inversă față de cazul probelor de lapte praf destinat copiilor din categoria de vârstă 0-12 luni. Aceasta se poate explica pe baza următorului raționament: ^{210}Pb se dezintegrează în ^{210}Bi și apoi în ^{210}Po , timpul de înjumătățire relativ scurt al descendenților menționați ($T_{1/2}(\text{Bi-210})=5$ zile, $T_{1/2}(\text{Po-210})=138$ zile) nu este suficient pentru stabilirea echilibrului secular în probele proaspete cu timp de procesare scurt. Schema de dezintegrare a ^{210}Po până la ^{216}Pb stabil este descrisă mai jos [Hou X., 2008]:



În cazul probelor de lapte praf, pe lângă timpul de procesare mai lung, termenul de valabilitate mai larg - fapt ce contribuie la mărirea intervalului de timp de dezintegrare a ^{210}Pb în ^{210}Po , intervine și temperatura de procesare, știut fiind faptul ca la temperaturi de peste 80°C , ^{210}Po se volatilizează, astfel că uscarea și procesarea laptelui praf contribuie la scăderea concentrației de ^{210}Po . Mai mult, este foarte posibil ca în cadrul matricei de aditivi adăugați laptelui praf să nu fi fost suficient timp pentru realizarea echilibrului secular $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$, fapt ce contribuie la creșterea concentrației de ^{210}Pb față de cea a radionuclidului ^{210}Po .

Evaluarea riscului ca detriment datorat radiației ionizante adus populației, prin consumul de lapte pasteurizat, evaluat în regiunea județelor Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2014-2016, a condus la valori în domeniul $8,01 \times 10^{-5} \div 13,32 \times 10^{-5}$, cu o medie de $10,71 \times 10^{-5}$. În această evaluare s-a ținut cont de durata medie de viață din județele Galați, Brăila și Vrancea, pentru perioada 2014-2016, (<http://statistici.insse.ro/shop/>, accesat la data de 18.01.2017) și de coeficientul nominal de risc ajustat la detriment pentru cancer și efecte genetice recomandat de Publicatia 103-ICRP, în valoare de $5,7 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$.

Tabel 4.7 - Durata medie de viață pentru populația din județele Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2014-2017

Județ	2013	2014	2015	2016	2017
	Durata medie de viață				
Galați	74,65	74,89	75,21	75,53	75,18
Brăila	74,44	74,65	74,62	75,29	75,22
Vrancea	75,55	75,49	75,54	75,84	75,73

<http://statistici.insse.ro/shop/>

Valoarea riscului, astfel calculat, este cu mult sub valoarea de $10,29 \times 10^{-3}$, reprezentând detrimentul datorat tuturor surselor naturale de: $2,4 \text{ mSv/an}^{-1}$ [UNSCLEAR, 2000], evaluat pentru regiunea județelor Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2015-2016.

C. Evaluarea Dozei efective anuale datorate consumului de carne

În vederea evaluării *Dozei efective anuale* datorate consumului de carne din regiunea județelor Galați, Brăila și Vrancea au fost determinați, în diferite tipuri de carne, în perioada 2014-2016, următorii parametri de radioactivitate: activitatea alfa și beta globală, concentrațiile de ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra și ^{40}K . S-au ales pentru a fi investigați în probele de carne, pe de o parte, radionuclizii cu factorii de conversie de la activitate specifică la doză cei mai ridicați și pe de altă parte, radionuclidul cu cea mai mare prezență în natură.

Literatura de specialitate este foarte săracă cu privire la activități alfa și beta în probe de carne. Sunt raportate pentru activitate alfa globală, valori de $0,625 \pm 0,379 \text{ Bq/g}$ (probă calcinată la 600°C) - pentru pește proaspăt și activitate nedectabilă - pentru pește sărat, [Zorer Ö. S., 2015], iar pentru activitate beta globală, valori de $2,863 \pm 1,096 \text{ Bq/g}$ (probă calcinată la 600°C) - pentru pește.

În prezentul studiu, cea mai mare concentrație a izotopului de ^{210}Po a fost determinată în pește, valoarea medie fiind de $52 \pm 7 \text{ mBq/kg}$, care este mai scăzută decât valorile raportate în literatură. Unii autori [Štok M., 2011], raportează valori ale concentrației de ^{210}Po în pește proaspăt, în domeniul $56 \div 180 \text{ mBq/kg}$. Concentrațiile de ^{210}Po în peștele de apă dulce sunt mai mici decât concentrațiile de ^{210}Po în peștele marin. Valori mai mari ale

concentrației de ^{210}Po au fost raportate pentru probe de ton [Khan M. F., 2016], în domeniul $40,09 \pm 5,2 \text{ mBq/kg} \div 92,5 \pm 7,9 \text{ Bq/kg}$ (media $65,55 \text{ Bq/kg}$). Alți autori [Aoun M., 2015], raportează pentru ^{210}Po următoarele concentrații: $1,9 \pm 0,2 \text{ Bq/kg}$ - pentru specii de pește Erytrinus și $46,9 \pm 3,5 \text{ Bq/kg}$ - pentru specia de pește P. Rivulatus.

În acest studiu, cu ajutorul activității specifice a ^{210}Po în apă și a factorului de bioacumulare a acestui radionuclid în mușchi, pentru peștii de apă dulce, publicații de IAEA ca fiind în valoare de 36 l/kg (masă proaspătă), [IAEA, Technical report series 472, 2010], a fost estimată predicția transferului acestui radionuclid din apă în biotă. Valoarea activității specifice a ^{210}Po în apa potabilă ce utilizează drept sursă fluviul Dunărea, aceeași sursă de apă pentru peștele local, raportată la nivelul anului 2015, [Pintilie V., 2016b], este de $2,0 \pm 0,4 \text{ mBq/l}$. Utilizând aceste valori, predicția concentrației de ^{210}Po în pește a fost calculată la valoarea de 72 mBq/kg , valoare comparabilă cu cea determinată în acest studiu ($52 \pm 7 \text{ mBq/kg}$).

Valoarea medie a concentrației de ^{210}Po în probele de carne de porc, în acest studiu, este de $24 \pm 3 \text{ mBq/kg}$, raportat la masă proaspătă, valoare similară cu cea obținută pe probe similare prelevate în Italia, [Meli M. A., 2013] și anume: $20 \pm 10 \text{ mBq/kg}$. Valorile concentrațiilor de ^{210}Pb obținute în acest studiu variază de la $7 \pm 1 \text{ mBq/kg}$, până la $21 \pm 3 \text{ mBq/kg}$ - pentru probele de pește, de la $8 \pm 1 \text{ mBq/kg}$ până la $28 \pm 4 \text{ mBq/kg}$ - pentru probele de porc și de la $9 \pm 1 \text{ mBq/kg}$, până la $21 \pm 3 \text{ mBq/kg}$ - pentru probele de pui. Aoun și colaboratorii, [Aoun M., 2015], raportează pentru probe de pește prelevate din regiunea coastei libaneze Byblos valori ale concentrației de ^{210}Pb : de la BDL (sub limita de detecție), la $18,2 \text{ Bq/kg}$.

Valorile obținute pentru concentrația de ^{238}U variază: de la $9 \pm 1 \text{ mBq/kg}$, până la $37 \pm 3 \text{ mBq/kg}$ - pentru probele de pește, de la $10 \pm 1 \text{ mBq/kg}$, până la $58 \pm 5 \text{ mBq/kg}$ - pentru probele de porc și de la $12 \pm 1 \text{ mBq/kg}$, până la $57 \pm 5 \text{ mBq/kg}$ - pentru probele de pui. Valorile concentrațiilor de ^{232}Th : de la $5 \pm 0,5 \text{ mBq/kg}$, până la $12 \pm 1 \text{ mBq/kg}$ - pentru probele de pește, de la $6 \pm 1 \text{ mBq/kg}$, până la $19 \pm 2 \text{ mBq/kg}$ - pentru probele de porc și de la $9 \pm 1 \text{ mBq/kg}$, până la $17,2 \pm 2 \text{ mBq/kg}$ - pentru probele de pui. Pietrzak-Flis și colaboratorii, [Pietrzak-Flis Z., 1997], obțin valori mai scăzute pentru concentrațiile de ^{238}U și ^{232}Th în probe de porc - prelevate din Walbrzych (Polonia) și anume: $1,68 \pm 0,46 \text{ mBq/kg}$, respectiv $0,52 \pm 0,19 \text{ mBq/kg}$.

Valorile concentrației de ^{40}K , din acest studiu, variază de la $51 \pm \text{Bq/kg}$, până la $126 \pm 21 \text{ Bq/kg}$ - pentru probele de pește, de la $41 \pm 7 \text{ Bq/kg}$, până la $56 \pm 10 \text{ Bq/kg}$ - pentru probele de porc și de la $18 \pm 3 \text{ Bq/kg}$, până la $30 \pm 5 \text{ Bq/kg}$ - pentru probele de pui. Acestea sunt similare cu cele raportate de alți autori. Ballesteros și colaboratorii, [Ballesteros, 2015], care obțin valori pentru concentrația de ^{40}K de la 58 Bq/kg , până la $158,9 \text{ Bq/kg}$ - pentru probele de pește. Unii autori [Shanthi G., 2010] obțin pentru probe de pește o concentrație specifică de ^{40}K de $88,91 \pm 6,7 \text{ Bq/kg}$ - raportat la masă proaspătă, alții [Chae J. S., 2016] raportează o valoare medie a concentrației de ^{40}K de: $85 \pm 34 \text{ Bq/kg}$ (variind între 48 Bq/kg și 178 Bq/kg) - pentru probele de porc și o valoare medie de $69 \pm 16 \text{ Bq/kg}$ (variind între 44 Bq/kg și 94 Bq/kg) - pentru probele de pui.

În acest studiu, valorile concentrației de ^{226}Ra variază de la $0,7 \pm 0,1 \text{ Bq/kg}$, până la $5,7 \pm 0,7 \text{ Bq/kg}$ - pentru probele de pește, de la $3,1 \pm 0,4 \text{ Bq/kg}$, până la $4,0 \pm 0,5 \text{ Bq/kg}$ - pentru probele de porc și de la $2,4 \pm 0,3 \text{ Bq/kg}$, până la $4,6 \pm 0,6 \text{ Bq/kg}$ - pentru probele de pui. Valorile obținute sunt în general mai mari decât cele raportate în literatura de specialitate pentru alte regiuni. În literatura de specialitate sunt raportate, pentru probele de pește, concentrații de ^{226}Ra de $0,05 \pm 0,01 \text{ Bq/kg}$, [Shanthi G., 2010]. Pentru probe de carne de pui s-au găsit valori de $27 \pm 15 \text{ mBq/kg}$ în Ramsar (Iran), [Shooshtari M. G., 2017]. Pentru probe de carne de porc prelevate din regiunea Walbrzych (Polonia) s-au găsit valori de $11,6 \pm 1,36 \text{ mBq/kg}$, [Pietrzak-Flis Z.,

1997] – valoare raportată la masă proaspătă. Trebuie menționat faptul că valoarea concentrației de ^{226}Ra în apa din această regiune (Walbrzych-Polonia) este de: $1,70 \pm 0,15$ mBq/l, [Pietrzak-Flis Z., 1997] - valoare mai mică decât cea raportată pentru apa din zona prelevării probelor prezentului studiu: 30 ± 9 mBq/l, [Pintilie V., 2016b].

Concentrația radionuclizilor în probele de carne în diferite părți ale lumii, depinde de hrana utilizată în fermele de animale, așa după cum se poate vedea în raportul UNSCEAR, [UNSCEAR, 2000], pentru diferite țări de pe diferite continente.

Doza efectivă anuală datorată ingestiei radionuclizilor ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra și ^{40}K prin consumul de carne, variază de la $3,4 \pm 0,5$ Bq/kg, până la $13,2 \pm 1,9$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$ - pentru probele de pește, de la $35,9 \pm 5$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$, până la $47,5 \pm 6,6$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$ - pentru probele de porc și de la $19,8 \pm 2,7$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$, până la $32,3 \pm 4,4$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$ - pentru probele de pui.

Contribuțiile radionuclizilor la *Doza anuală efectivă* datorată consumului de carne sunt: 76,20% - datorată ^{226}Ra , 20,06% - datorată ^{40}K , 2,69% - datorată ^{210}Po , 0,74% - datorată ^{210}Pb , 0,18% - datorată ^{232}Th și 0,11% - datorată ^{238}U .

În acest studiu, *Doza efectivă anuală* datorată ingestiei ^{40}K prin consumul de carne de pui este de: $3,17 \pm 0,54$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$, ceea ce este comparabil cu valoarea de $3,8$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$ - găsită în literatura de specialitate [Chae J. S., 2016]. Deși cea mai mare doză efectivă raportată la kg de masă proaspătă a fost calculată pentru probele de pește, cea mai mare *Doză efectivă anuală* a fost calculată în cazul consumului de carne de porc. Aceasta se datorează consumului de carne de porc în România, de aproximativ 5,5 ori mai mare decât consumul de pește.

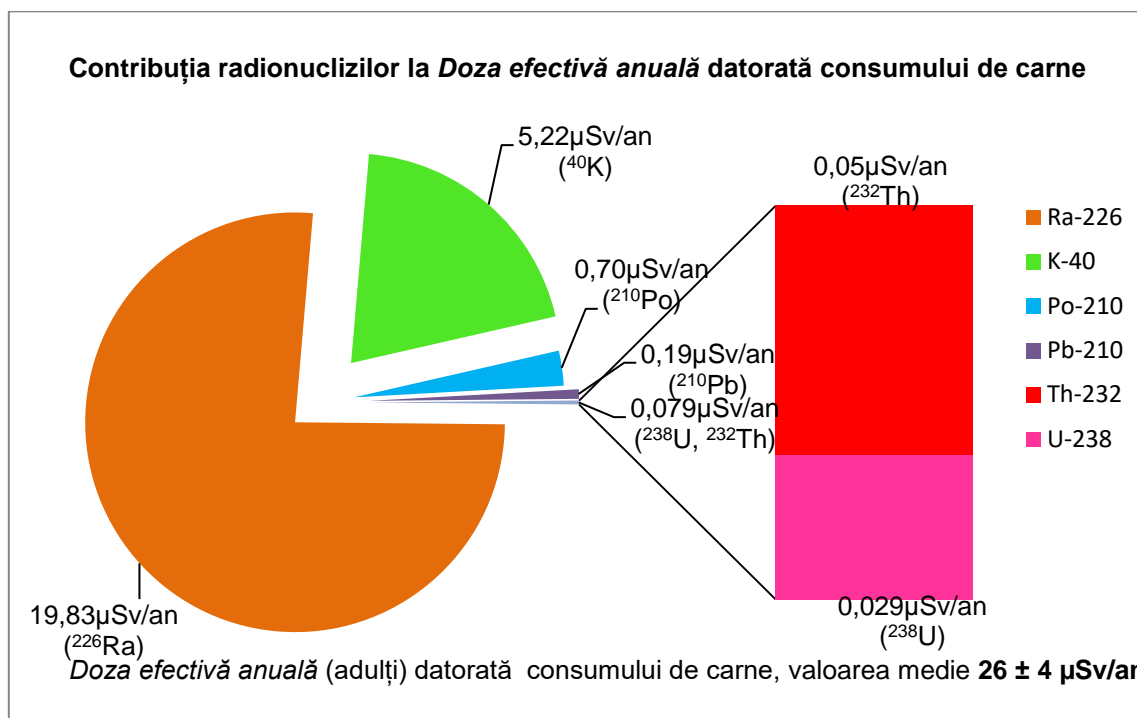


Figura 4.22 - Contribuția radionuclizilor ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra și ^{40}K . la *Doza efectivă anuală* datorată consumului de carne, evaluată pentru regiunea județelor Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2014-2016.

Valoarea *Dozei efective anuale* datorată ingestiei radionuclizilor prin consumul de carne, evaluată în prezentul studiu, este de 26 ± 4 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ - pentru adulți. Aceasta este mai mică decât *Doza efectivă anuală* datorată ingestiei radionuclizilor din seria uraniului și toriului,

derivată din consumul alimentar pentru adulți (alimente și apă), evaluată de UNSCEAR, pentru adulți, la valoarea de: 110 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, [UNSCEAR, 2000]. Pentru a putea atinge această valoare de 110 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ ar fi necesar un consum anual de carne de: 68,3 kg pește, 84,64 kg porc și 91,76 kg carne pui, ceea ce ar însemna o creștere anuală a consumului de carne în medie de 12,5 ori - pentru pește, de 2,7 ori - pentru porc și de 4 ori - pentru pui, raportat la consumul mediu din România.

Contribuțiile radionuclizilor la *Doza efectivă anuală* datorată consumului de carne este readată în *Figura 4.22*. Utilizând alfaspectrometria, în locul gamaspectrometriei, pentru o mai bună sensibilitate a măsurătorilor de ^{226}Ra , contribuția radionuclizilor la *Doza efectivă anuală* ar putea fi semnificativ schimbată.

Pentru evaluarea riscului, ca detriment datorat radiației ionizante adus populației, prin consumul de carne, s-au luat în considerare: coeficientul nominal de risc ajustat la detrimentul pentru cancer și efecte genetice - recomandat de Publicația 103-ICRP, în valoare de: $5,7 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$, media duratei de viață pe perioada 2014-2016, în județele Galați (75,22 ani), Brăila (74,87 ani), Vrancea (75,64 ani) și pe toate județele (75,24 ani) (<http://statistici.INSSE.ro/shop/>) și doza efectivă anuală datorată ingestiei radionuclizilor determinați în acest studiu prin consumul de carne. Valorile detrimentului datorat radiației prin consumul de carne, calculat în acest studiu, se află în domeniul $1,44 \times 10^{-5} \div 20,37 \times 10^{-5}$, cu o medie de $11,14 \times 10^{-5}$. Această valoare este neglijabilă față de detrimentul datorat tuturor surselor naturale de 2,4 mSv/an - [UNSCEAR, 2000] și anume $10,27 \times 10^{-3}$ - evaluat pentru regiunea județelor Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2014-2016.

Acesta este primul studiu detaliat al determinării concentrației de radionuclizi naturali (^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K) în probe de pește, porc, pui și al evaluării dozei efective anuale datorată consumului acestora în zona județelor Galați, Brăila și Vrancea.

D. Evaluarea Dozei efective anuale datorate consumului de lapte praf destinat copiilor din categoria de vârstă 0-12 luni

Evaluarea *Dozei efective anuale* datorate ingestiei radionuclizilor ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th și ^{40}K prin consumul de lapte praf destinat copiilor (0-12 luni) s-a făcut pe baza parametrilor de radioactivitate determinați în 24 de probe de lapte praf prelevate din farmacia de pe teritoriul județului Galați, în perioada 2016-2017. S-au luat în studiu 5 tipuri de lapte praf destinat copiilor (0-12 luni).

Valorile concentrațiilor radionuclizilor determinate au fost comparate cu datele din literatura de specialitate. Valoarea concentrației ^{210}Po , cel mai radiotoxic radionuclid natural, determinată în prezentul studiu, se află în domeniul: $0,014 \div 0,052 \text{ Bq}/\text{kg}$, media fiind de $0,026 \text{ Bq}/\text{kg}$. Pentru concentrația de ^{210}Po , în Slovenia, au fost determinate valori în domeniul: $0,055 \div 0,467 \text{ Bq}/\text{kg}$, [Štrobek M., 2011] și în domeniul: $0,162 \div 0,358 \text{ Bq}/\text{kg}$, [Trdin M., 2017]. În Italia s-a determinat o valoare medie de $0,013 \text{ Bq}/\text{kg}$, [Meli M. A., 2014], iar în India (Mumbai) au fost raportate valori în domeniul: $0,08 \div 0,23 \text{ Bq}/\text{kg}$, [Prabhath R. K., 2015].

Valorile concentrației de ^{238}U variază în prezentul studiu în domeniul: $0,01 \div 0,014 \text{ Bq}/\text{kg}$, în timp ce în Slovenia acestea variază în domeniul: $1,02 \div 2,06 \text{ Bq}/\text{kg}$ [Trdin M., 2017], în Malaezia acestea variază în domeniul: $0,20 \div 3,02 \text{ Bq}/\text{kg}$, [Mei-Wo-Yii, 2019], iar în Iraq acestea variază în domeniul: $0,115 \div 25 \text{ Bq}/\text{kg}$, [Abbojassim A. A., 2015].

Radionuclidul ^{40}K se găsește în concentrația cea mai ridicată, așa cum era de așteptat, deoarece ^{40}K este un radionuclid primordial dispersat pe scară largă în mediu și ușor

transferabil în lanțul alimentar. Valoarea medie a radionuclidului ^{40}K , determinată în prezentul studiu, este de 44,64 Bq/kg, în timp ce în Malaesia s-a determinat valoarea medie de 99,1 Bq/kg [Uwatse O. B., 2015], în Irak s-au determinat valori în domeniul: 104÷461 Bq/kg, [Abbojassim A. A., 2015], în Nigeria s-au determinat valori în domeniul: 17,8÷55,1 Bq/kg, [Kolapo A. A., 2014], în Arabia Saudită s-au determinat valori în domeniul: 29÷149 Bq/kg, [Alamoudi Z. M., 2013].

În laptele praf produs în Malaesia concentrația de ^{232}Th s-a găsit în valoare de $2,55 \pm 2,48$ Bq/kg, [Uwatse O. B., 2015], în domeniul 0,20÷2,83 Bq/kg, [Mei-Wo-Yii, 2019] și în domeniul 0,40÷1,86 Bq/kg, [Priharti W., 2016]. În laptele praf produs în Irak, concentrația de ^{232}Th a fost determinată în domeniul valoric de: 1,59÷13,57 Bq/kg, [Abbojassim A. A., 2015], în laptele praf produs în Arabia Saudită, s-au găsit valori în domeniul: 0,56-2,93 Bq/kg [Alamoudi Z. M., 2013]. În studiul de față, concentrația de ^{232}Th a înregistrat valori în domeniul 0,011÷0,014 Bq/kg (cu o medie de $0,12 \pm 0,001$ Bq/kg).

Doza efectivă cumulată a rezultat prin însumarea valorilor medii ale dozelor corespunzătoare consumului de lapte praf destinat categoriei de vârstă 0-6 luni și 6-12 luni. În prezentul studiu, evaluarea Dozei efective cumulate pe baza parametrilor de radioactivitate determinați (^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th și ^{40}K) a condus la valori în domeniul: 194,20÷325,61 μSv - pentru primul an de viață, trecând prin media 267,44 $\mu\text{Sv}/\text{an}$.

Contribuția radionuclizilor ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th și ^{40}K la Doza efectivă anuală datorată consumului de lapte praf este redată în *Figura 4.24*.

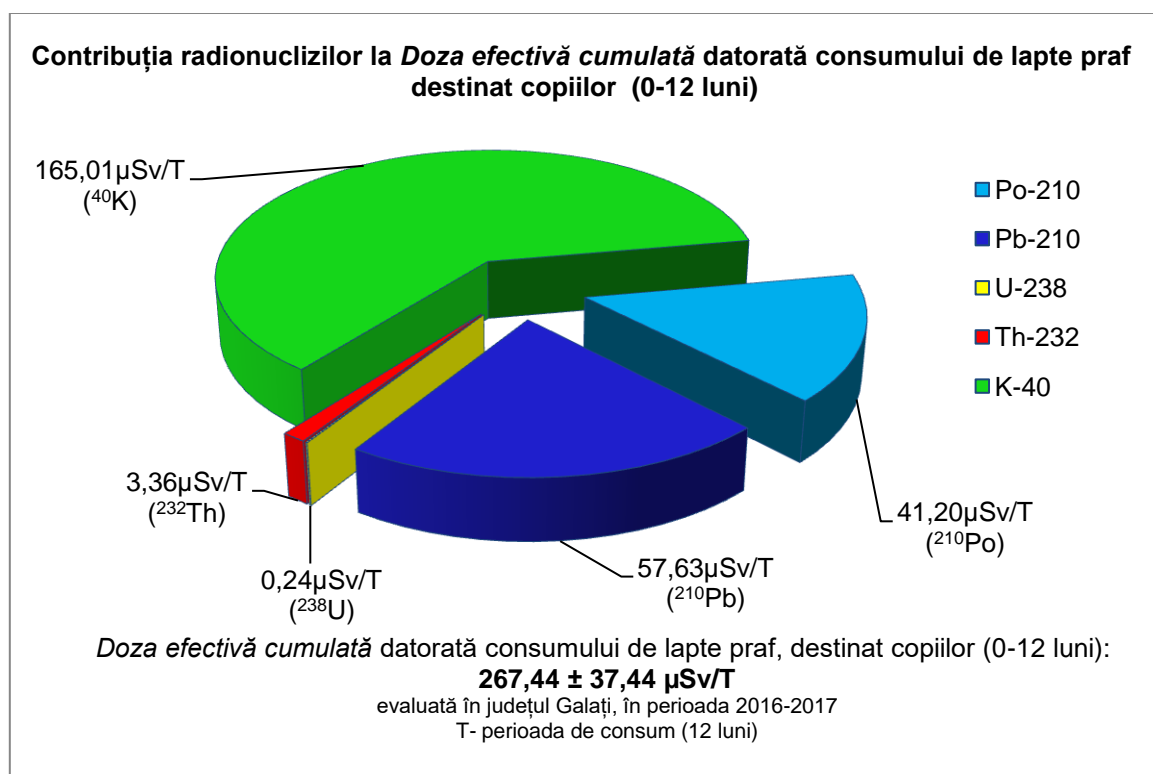


Figura 4.24 - Contribuția radionuclizilor ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , din lapte praf destinat copiilor (0-12 luni), la Doza efectivă cumulată, datorată consumului acestuia, în județul Galați, în perioada 2016-2017

Tinând cont de faptul că, în vederea consumului de lapte praf, acesta se reconstituie prin adăugare de apă, la evaluarea Dozei efective cumulate trebuie să se aibă în vedere și contribuția radionuclizilor naturali din apa utilizată la prepararea laptelui.

Pe baza concentrațiilor de radionuclizi determinați în prezentul studiu, a fost evaluată *doza efectivă anuală* primită de populația din categoria de vârstă sub 1 an, la valoarea medie de: 72,3 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ - în județul Galați, în perioada anului 2015, drept pentru care valoarea medie a Dozei efective cumulate datorate ingestiei radionuclizilor atât din laptele praf, cât și din apa potabilă utilizată la reconstituirea acestuia, în vederea consumului, se ridică, estimativ, la valoarea de: 339,74 $\mu\text{Sv}/\text{an}$.

Contribuția la *doza efectivă cumulată* datorată ingestiei radionuclizilor prin consumul de lapte praf crește în ordinea: ^{238}U (0,09%), ^{232}Th (1,25%), ^{210}Po (15,40%), ^{210}Pb (21,54%), ^{40}K (61,70%). *Doza efectivă cumulată* datorată ingestiei radionuclizilor ^{238}U , ^{232}Th , ^{210}Po , ^{210}Pb , luată prin consumul de lapte praf, este evaluată la valoarea de 102,43 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, comparabilă cu valoare de 110 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ - estimată de UNSCEAR, ca fiind Doza efectivă anuală datorată ingestiei radionuclizilor din seria uraniului și toriului.

4. CONCLUZII, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI PERSPECTIVE DE CERCETARE

Concluzii

✓ Determinarea parametrilor de radioactivitate din apa potabilă analizată, prelevată de pe teritoriul județelor Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2014-2018, a relevat faptul că activitatea alfa și beta globală depinde mai mult de structura geologică a zonei din care acestea provin și mai puțin de procesele tehnologice de potabilizare. Dintre radionuclizii determinați (^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{226}Ra), concentrația cea mai mare a fost observată în cazul izotopului ^{226}Ra , iar cea mai scăzută a fost observată în cazul izotopului ^{238}U .

✓ Evaluarea dozei efective datorate consumului de apă prin metoda atribuirii întregii activități alfa și beta globale, radionuclidului ^{210}Po , respectiv radionuclidului $^{210}\text{Pb}/^{228}\text{Ra}$, conduce la o supraevaluare a *dozei efective anuale*. Cu toate acestea, metoda este utilizată, fiind rapidă și acoperind riscul maxim cu privire la efectele radiațiilor ionizante asupra organismului uman datorate ingestiei radionuclizilor prin consumul apei potabile.

✓ Pentru regiunea și perioada luată în studiu, cea mai mare contribuție la *Doza efectivă anuală* datorată ingestiei radionuclizilor naturali (^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra) prin consumul de apă potabilă, în cazul adulților, aparține radionuclidului ^{210}Po , în timp ce, cea mai mică contribuție este adusă de radionuclidul ^{238}U .

✓ Consumul apei minerale introduce în organismul uman, în cazul adulților, o doză de aproximativ două ori mai mică, decât cea introdusă de consumul apei potabile. Contribuția cea mai mare la D_{ef} datorată consumului apei minerale aparține radionuclidului ^{226}Ra .

✓ Contribuția consumului de apă și alimente la *Doza efectivă anuală*, evaluată pentru populația adultă de pe teritoriul județelor Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2013-2017, crește în cadrul produselor analizate astfel: apă minerală ($5,34 \pm 0,81 \mu\text{Sv/an}$), apă potabilă ($10,4 \pm 1,3 \mu\text{Sv/an}$), pâine ($19,1 \pm 3,4 \mu\text{Sv/an}$), lapte pasteurizat ($29,4 \pm 3,2 \mu\text{Sv/an}$), carne ($26 \pm 4 \mu\text{Sv/an}$), meniu ($483,5 \pm 71,6 \mu\text{Sv/an}$).

✓ Contribuția la *Doza efectivă cumulată* datorată ingestiei radionuclizilor prin consumul de lapte praf crește în ordinea: ^{238}U (0,09%), ^{232}Th (1,25%), ^{210}Po (15,40%), ^{210}Pb (21,54%), ^{40}K (61,70%). Doza efectivă cumulată datorată ingestiei radionuclizilor ^{238}U , ^{232}Th , ^{210}Po , ^{210}Pb , primită prin consumul de lapte praf, este evaluată la valoarea de $102,43 \mu\text{Sv/an}$, comparabilă cu valoare de $110 \mu\text{Sv/an}$ - estimată de UNSCEAR, ca fiind Doza efectivă anuală datorată ingestiei radionuclizilor din seria uraniului și toriului.

✓ Evaluarea *Dozei efective anuale*, pe baza concentrației radionuclizi (^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{238}U) pentru populația județelor Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2013-2018, datorate consumului de apă și alimente, a condus la valori mai mici de $100 \mu\text{Sv/an}$ - în cazul apei (valoare recomandat a nu fi depășită conform [Directivei europene 51/2013](#)), respectiv de $110 \mu\text{Sv/an}$ - pentru alimente (valoare estimată de UNSCEAR ca fiind Doza efectivă anuală datorată ingestiei radionuclizilor din seria uraniului și toriului).

✓ Determinarea concentrației de ^{222}Rn din aerul spațiilor clădirilor publice și de locuit, în județul Galați, a relevat valori cu mult sub valoarea de avertizare, adică de 300Bq/m^3 - conform [Directivei europene 59/2013](#).

✓ În urma determinărilor efectuate în cadrul acestei teze se concluzionează că apa potabilă, apa minerală și alimentele, de pe teritoriul județelor Galați, Brăila și Vrancea sunt sigure din punct de vedere al conținutului radioactiv natural, aducând un aport la *Doza efectivă anuală* a populației sub limitele stabilite de legislația în vigoare.

Contribuții originale

Acesta este primul studiu integrat de cuantificare a expunerii populației la radiații ionizante datorate ingestiei radionuclizilor prin consumul de apă și alimente și a detrimentului asupra sănătății corespunzător consumului acestora. Acest studiu face referire la o populație de 1,15 milioane de persoane - reprezentând 5,84 % din populația României.

Aspecte de noutate

- *constituirea unei baze semnificative de date pe o durată de 4 ani, cu privire la conținutul radioactiv natural din apă, apă minerală și alimente utilizate într-o regiune de 14085 km², (<http://statistici.insse.ro>) din teritoriul României reprezentând trei județe (Galați, Brăila și Vrancea) populate de un număr de 1,15 milioane de oameni, (<http://statistici.insse.ro:8077/tempo-online/#/pages/tables/insse-table>, accesat la data de 13.07.2019);*
- *studiu comparativ, consistent din punct de vedere al conținutului seriilor de date, de evaluare a dozei efective anuale datorate consumului de apă, pe de o parte, pe baza activității alfa și beta global, iar pe de altă parte, pe baza concentrațiilor radionuclizilor cu factori de conversie de la activitate specifică la doză, ridicați ca valoare numerică (²¹⁰Po, ²¹⁰Pb, ^{nat}U, ^{nat}Th, ²²⁶Ra);*
- *construcția de hărți privind distribuția spațială a activității alfa și beta global în apa potabilă, precum și a dozei efective anuale datorită consumului acesteia în județul Galați, în perioada 2014-2017 și în județul Vrancea, în perioada 2015-2018;*
- *evaluarea conținutului de radionuclizi naturali în apa potabilă utilizată în trei județe din România: Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2014-2018, prin determinarea activității alfa și beta global, precum și a activității specifice de ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb, ^{nat}U, ^{nat}Th, ²²⁶Ra;*
- *evaluarea conținutului radioactiv natural din alimente precum: pâine, carne, lapte pasteurizat, meniu destinat copiilor preșcolari, lapte praf destinat copiilor din categoria de vârstă 0-12 luni, în județele Galați, Brăila și Vrancea, în perioada 2014-2018, prin determinarea concentrației de ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb, ^{nat}U, ^{nat}Th, ²²⁶Ra și a activității alfa/beta globale;*
- *evaluarea dozei efective anuale pentru populația județelor Galați, Brăila și Vrancea, datorate ingestiei radionuclizilor (²¹⁰Po, ²¹⁰Pb, ^{nat}U, ^{nat}Th, ²²⁶Ra) prin consumul de apă și alimente, în perioada 2014-2018;*
- *evaluarea detrimentului datorat radiațiilor ionizante asupra sănătății, prin consumul apei și alimentelor;*
- *evaluarea dozei efective anuale datorate inhalării radonului din aerul spațiilor clădirilor publice și de locuit din județul Galați.*

Direcții de cercetare

Acest studiu deschide următoarele direcții de cercetare:

- studii epidemiologice privind asocierea radionuclizilor din apa potabilă și alimente cu boli conexe ingerării radionuclizilor prin consumul acestora;
- studiul privind corelația dintre conținutul radioactiv al apei forate și componența geologică a solurilor de proveniență a acesteia;
- studiul conținutului de radionuclizi artificiali din apă și alimente și evaluarea dozei efective anuale datorate acestora, respectiv evaluarea detrimentului adus sănătății, prin ingestia lor;
- studii privind determinarea concentrației de ^{228}Ra în apă potabilă precum și în componentele alimentare și completarea dozei efective anuale datorate consumului acestora, determinată în prezentul studiu cu contribuția corespunzătoare radionuclidului ^{228}Ra ;
- studiul expunerii populației la radiații ionizante provenite din alte surse (exemplu: expunerea medicală);
- studii privind conținutul radioactiv din materialele de construcție;
- studii privind îmbunătățirea metodelor de separare radiochimică în vederea determinării conținutului de radionuclizi din apă și alimente (ex: prin scurtarea timpului de determinare, creșterea specificității, reducerea necesarului de trăsori radioactive, etc.), standardizare de metode.

BIBLIOGRAFIE

- Abbady A. G. E. (2017). **Natural radioactivity in drinking water and associated agedependent dose in Luxor, Upper Egypt**. IOSR Journal of Applied Physics, 09(01), 17–21. <https://doi.org/10.9790/4861-0901011721>
- Abbasi A., Mirekhtyari F. (2017). **Gross alpha and beta exposure assessment due to intake of drinking water in Guilan, Iran**. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. <https://doi.org/10.1007/s10967-017-5493-6>
- Abbasi A. (2018). **A review of the analytical methodology to determine Radium-226 and Radium-228 in drinking waters**. Radiochimica Acta, 106(10), pp. 819-829. Retrieved 16 Aug. 2019, from <https://doi.org/10.1515/ract-2018-2967>
- Abd-Elmoniem A. Elzain (2013). **Assessment of indoor radon doses received by the students and staff in schools in some towns in Sudan**, International Journal of Science and Research (IJSR) 4 (1) 2566–2571, Paper ID: SUB15973 ISSN (Online): 2319-7064. <https://www.ijsr.net/archive/v4i1/SUB15973.pdf>
- Abojassim A. A. (2015). **NORM in instant noodles (Indomie) sold in Iraq**. Environmental Analytical Chemistry, 2: 1-4.
- Abojassim A. A., Al-Asadi L. A., Shitake A. R., Al-Tememie F. A. (2015). **Long lived gamma emitters in Biscuit Samples consumed in Iraq**. International Journal of Environmental Sciences 5(5), 956–963. <https://doi.org/10.6088/ijes.2014050100090>
- Abojassim A. A., Al-Gazaly, H. H. (2014). **^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in wheat flour samples of Iraq markets**. Ukrainian Food Journal 3(3), 333–340.
- Abojassim A. A., Al-Gazaly H. H., Kadhim S. H., Guida M., (2015). **Natural radioactivity and radon activity concentrations in canned milk samples in Iraq**. In: *Mastorakis NE (ed) Advances in environmental and agricultural science*, pp 354–362. ISBN:978-1-61804-270-5
- Adeniji A. E., Alatise O. O., Nwanya A. C. (2013). **Radionuclide concentrations in some fruit juices produced and consumed in Lagos, Nigeria**. American Journal of Environmental Protection: 2: 37-41.
- Aguado J. L., Bolivar, J. P., Garcia-Tenorio, R. (2008). **^{226}Ra and ^{228}Ra determination in environmental samples by alpha-particle spectrometry**. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 278(1), 191–199. <https://doi.org/10.1007/s10967-007-7176-1>
- Ahmad N., Jaafar M. S., Bakhsh M., Rahim M. (2015). **An overview on measurements of natural radioactivity in Malaysia**. Journal of Radiation Research and Applied Sciences; 8:136-141
- Aydogdu M. H. (2019). **Farmers' Attitudes to the Pricing of Natural Resources for Sustainability: GAP-Şanlıurfa Sampling of Turkey**. Water, 11(9), 1772.
- Akbulut S, Taskin H (2015). **Determination of natural radioactivity by gross α and β measurements in tap waters in Rize province**. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 303(1):413–420
- Akhter P., Rahman K., Orfi S. D., Ahmad N. (2007). **Radiological impact of dietary intake of naturally occurring radionuclides on Pakistani adults**. Food and Chemical Toxicology: 45: 272-277
- Akinloye M. K., Isola G. A. Ayanlola P. S. (2018). **Assessment of annual effective dose equivalent and excess lifetime cancer risk due to radionuclide present in water obtained from Oloru, Kwara State, Nigeria**; International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP) 8(9) (ISSN: 2250-3153), DOI: <http://dx.doi.org/10.29322/IJSRP.8.9.2018.p8181>
- Alamoudi Zain M. (2013). **Assessment of natural radionuclides in powdered milk consumed in Saudi Arabia and estimates of the corresponding annual effective dose**. Journal of American Science 9(6):267–273
- Al-Hamarneh I. F., Almasoud, F. I. (2017). **A comparative study of different radiometric methodologies for the determination of ^{226}Ra in water**. Nuclear Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1016/j.net.2017.10.009>
- Alsaffar M. S., Jaafar M. S., Kabir N. A., Ahmad N. (2015). **Distribution of ^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{40}K in rice plant components and physico-chemical effects of soil on their transportation to grains**. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 8(3): 300-310, ISSN 1687-8507, <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2015.04.002>
- Alshahri F. (2016). **Evaluation of radionuclides contamination in wheat flour and bread using gamma-ray spectrometry**. Life Science Journal, 13(3), 34–42. <http://www.lifesciencesite.com>
- Amin Sahar A., AL-Kafaje Mohammed S. M., Al-Ani Rana R. (2016). **Assessment of Natural Radionuclides in Powdered Milk Consumed in Iraq** Journal of Natural Sciences Research 6(13):112-115. www.iiste.org ISSN 2224-3186 (Paper) ISSN 2225-0921 (Online) Vol.6, No.13, 2016
- Aoun M., El Samad O., Bou Khozam R., Lobinski R. (2015). **Assessment of committed effective dose due to the ingestion of ^{210}Po and ^{210}Pb in consumed Lebanese fish affected by a phosphate fertilizer plant**. Journal of Environmental Radioactivity, 140, 25–29. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.10.014>
- Apetrei C., Iticescu C., Georgescu L. P. (2019). **Multisensory System Used for the Analysis of the Water in the Lower Area of River Danube**. Nanomaterials 9- 6: 891. <https://doi.org/10.3390/nano9060891>
- Arseni M., Rosu A., Iticescu C., Georgescu P. L., Timofti M., Pintilie V., Calmuc M., Roman O. (2018a) **A review of bathymetric measurements from august 2018 campaign on the lower course of Danube**

- river*, Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, FASCICLE II, YEAR X (XLI) 2018, No. 2, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, ISSN 2067-2071
- Arseni M., Rosu A., Iticescu C., Georgescu P. L., Timofti M., Pintilie V., Calmuc M. (2018b), **Review on bathymetric measurements from August 2018 campaign on the lower course of Danube River**, UGAL International Conference: Multidisciplinary HUB for the Higher Education Internationalization by Means of Innovative Interaction with the Labour Market and Society, 26-27 oct, 2018, ACADEMIC project, CNFIS – FDI – 2018 – 0054.
<http://www.fdi.ugal.ro/index.php/ro/conference-home>
 - Asaduzzaman K. H., Khandaker M. U., Amin Y. M., Bradley D. A., Mahat R. H., Nor. R. M. (2014). **Soil-to-root vegetable transfer factors for ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , and ^{88}Y in Malaysia**. Journal of Environmental Radioactivity; 135:120-127
 - Aydan A., Turhan Ş., Gümüş H. (2015). **The natural and artificial radionuclides in drinking water samples and consequent population doses**. Journal of Radiation Research and Applied Sciences 8(4): 578–82, ISSN 1687-8507
 - Ayodele A. E., Arogunjo A. M., Ajisafe J. I., Arije O. T. (2017). **Radioactivity level of dug well water across selected cities in two states of Nigeria**. Environmental Forensics, 18 (4), pp. 331-338.
<https://doi.org/10.1080/15275922.2017.1368041>
 - Ballesteros L., Ortiz J., Gallardo S., Martorell S. (2015). **An overview of measurements of radionuclides in foods of the Comunidad Valenciana (Spain)**. Radiation Physics and Chemistry.
<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.05.022>
 - Ballesteros L., Ortiz J., Gallardo S., Martorell S. (2015). **An overview of measurements of radionuclides in foods of the Comunidad Valenciana (Spain)**. Radiation Physics and Chemistry. 116,111-115, ISSN 0969-806X <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.05.022>
 - Ballesteros L., Ortiz J., Gallardo S., Martorell S. (2015). **An overview of measurements of radionuclides in foods of the Comunidad Valenciana (Spain)**. Radiation Physics and Chemistry, 116, 111–115.
<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.05.022>
 - Banescu A., Georgescu L. P., Iticescu C., Rusu E. (2018). **Analysis of river level and of the volume flow on the danube close to the city of tulcea, based on in situ measurements**, Journal of Marine technology and Environment, 1, 7-13, ISSN (Online): 1884-6116, <https://cmu-edu.eu/jmte/>
 - Basma A. El-Badry, Tayseer I. Al-Naggar (2018). **Estimation of indoor radon levels using etched track detector**. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 11:4, 355-360,
<https://doi.org/10.1016/j.jrras.2018.07.002>
 - Benedik L., Vasile M., Spasova Y., Wätjen U. (2009). **Sequential determination of ^{210}Po and uranium radioisotopes in drinking water by alpha-particle spectrometry**. 67, 770–775.
<https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2009.01.033>
 - Benedik, L., Jeran, Z. (2012). **Radiological of natural and mineral drinking waters in Slovenia radiological of natural and mineral drinking. (February)**. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncs009>
 - Beyermann M., Büniger T., Schmidt, K., Obrikat, D. (2010). **Occurrence of natural radioactivity in public water supplies in Germany: ^{238}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Po and gross alpha activity concentrations**. Radiation Protection Dosimetry 141 (1), 72-81 [10.1093/rpd/ncq139](https://doi.org/10.1093/rpd/ncq139)
 - Bonotto D. M., Bueno T.O., Tessari B.W., Silva A. (2009). **The natural radioactivity in water by gross alpha and beta measurements**. Radiation Measurements 44, 92–101.
<https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2008.10.015>
 - Brandhoff P. N., van Bourgondiën M. J., Onstenk C. G. M., Vos van Avezathe, A., Peters, R. J. B. (2016). **Operation and performance of a National Monitoring Network for Radioactivity in Food**. Food Control, 64(March), 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.12.008>
 - Calmet D., Ameon R., Bombard A., Forte M., Fournier M., Herranz M., Jerome S., Kwakman P., Llauro M., Tokonami S. (2013). **ISO standards on test methods for water radioactivity monitoring**, Applied Radiation and Isotopes 81, 21–25
 - Calin M. R., Rădulescu I., Ion, A. C., Sirbu, F. (2016). **Radiochemical investigations on natural mineral waters from Bucovina region, Romania**. Romanian Journal of Physics, 61(5–6), 1051–1066
 - Calin M. R., Rădulescu I., Ion A. C., Capra L., Almasan E. R. (2019). **Investigations on chemical composition and natural radioactivity levels from salt water and peloid used in pelotherapy from the Techirghiol Lake, Romania**. Environmental Geochemistry and Health <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00382-8>
 - Chae J. S., Kim T. H., Kim H. J., Yun J. Y. (2016). **Estimation of annual effective dose from ingestion of ^{40}K and ^{137}Cs in foods frequently consumed in Korea**. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 310(3), 1069–1075. <https://doi.org/10.1007/s10967-016-4891-5>
 - Chae J. S., Kim T. H., Kim H. J., Yun J. Y. (2016). **Estimation of annual effective dose from ingestion of ^{40}K and ^{137}Cs in foods frequently consumed in Korea**. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 310(3), 1069–1075. <https://doi.org/10.1007/s10967-016-4891-5>
 - Chiosilă I. (2014). **Radiațiile și viața**. Ploiești: Karta-Graphic, ISBN 978-606-693-031-4
 - Cosma C., Cucuș A., Papp B., Begy R., Dicu T., Moldovan M., Truță L. A., Niță D. C., Burgehele B. D., Suciuc L., Sainz C. (2013). **Radon and Remediation Measures near Băița-Ștei Old Uranium Mine (Romania)**. Acta Geophysica, 61-9, 859-875 <https://doi.org/10.2478/s11600-013-0110-8>

- Council Directive 2013/51 – *Euratom laying down requirements for the protection of the health of the general public with regard to radioactive substances in water intended for human consumption.*
- Damla N., Cevik U., Karahan G., Kobya A.I., Kocak M., Isik U. (2009). *Determination of gross α and β activities in waters from Batman, Turkey.* Desalination 244, 208–2014
- Darko G., Faanu A., Akoto O., Mary, F. A., Aikins A., Agyemang B., Ibrahim, A. (2015). *Assessment of the activity of radionuclides and radiological impacts of consuming underground water in Kumasi, Ghana.* 399–404. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3433-0>
- Degerlier M., Karahan G. (2010). *Natural radioactivity in various water in Adana, Turkey.* Desalination 261, 126–130. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.05.020>
- Directiva 2013/59/EURATOM a Consiliului din 5 decembrie 2013 de stabilire a *normelor de securitate de bază privind protecția împotriva pericolelor prezentate de expunerea la radiațiile ionizante* și de abrogare a Directivelor 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom și 2003/122/Euratom. DOI <https://doi-org.am.e-nformation.ro/10.1007/978-1-4419-0720-2>
- Directiva 96/29/Euratom a Consiliului din 13 mai 1996 de stabilire a *normelor de securitate de bază privind protecția sănătății lucrătorilor și a populației împotriva pericolelor prezentate de radiațiile ionizante*
- Ene A., Frontasyeva M., Cantaragiu A., Pintilie V., Pascu E., Soimu D., Elena Chirac, Coguteac V., Buliga A., Tobol M. (2016a). *Nuclear and X-ray Method used in Environmental and Material Science*, Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, FASCICLE II, YEAR VIII (XXXIX) 2016, No. 1, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, ISSN 2067-2071, http://www.phys.ugal.ro/Annals_Fascicle_2/Year2016/SummaryII.htm
- Ene A., Frontasyeva M., Cantaragiu A., Pintilie V., Pascu E., Soimu D., Elena Chirac, Coguteac V., Buliga A., Tobol M., (2016b), *Nuclear and X-ray Method used in Environmental and Material Science*, Scientific Conference of the Doctoral School of "Dunarea de Jos" University of Galati, 4-th edition (CSSD-UDJG) (prezentare orală), Galati, Romania, 2-3 iunie 2016. http://www.cssd-udjg.ugal.ro/files/invitatie/Program_detaliat_al_conferintei_2016.pdf
- Ene A., Pintilie V., Moraru D. I., Georgescu L. P., Andrei O. (2017) *Measurements of trace element (Li, Na, K, Mg, Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Ag, Pb) concentrations in food supplements*, Scientific Conference of the Doctoral School of "Dunarea de Jos" University of Galati, 5-th edition (CSSD-UDJG), poster, 8-9 iunie 2017, Galați http://www.cssd-udjg.ugal.ro/files/2017/Program_detaliat_al_conferintei_2017_FINAL.pdf
- Ene A., Pintilie V., Pantelica A. (2019). *Assessment of radon, thoron and their descendants in selected indoor environments in Romania*, International Symposium on Natural Radiation Sources – Challenges, Approaches and Opportunities, 21-24 May 2019, Bucharest, Romania.
- Ene A., Pintilie V. (2019). *Radon and Thoron Activity Concentrations in Selected Indoor Environments in Lower Danube and Danube Delta Region, Romania*, Abstract book MONITOX International Symposium "Deltas and Wetlands", September 15th-17th, 2019, Tulcea, Romania, pp. 70-71.
- EPA Federal Guide report No.11, (1988). *Limiting Values of the Radionuclide Intake and Air Concentration and Dose Conversion Factors for Inhalation, Submersion and Ingestion*, EPA 520/1-88-020. Washington, USA
- EURACHEM/CITAC (2012) *Guide Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement*
- Fathabadi N., Salehi A. A., Naddafi K., Kardan M. R., Yunesian M., Nodehi, R. N., Karimi, M. (2017). *Radioactivity levels in the mostly local foodstuff consumed by residents of the high level natural radiation areas of Ramsar, Iran.* Journal of Environmental Radioactivity, 169–170, 209–213. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.12.011>
- Fathabadi N., Salehi A. A., Nadda K., Kardan M. R., Yunesian M., Nodehi R. N., Deevband M. R., Shoostari M. G. (2019). *Public ingestion exposure to ^{226}Ra in Ramsar, Iran.* Journal of Environmental Radioactivity 198: 11–17, ISSN 0265-931X <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.11.016>
- Fernandez, J. F., Lozano, J. C., Gomez, J. M. G. (1992). *Natural radionuclides in ground water in western Spain.* Radiation Protection Dosimetry, 45, 227–279. <https://doi.org/10.1093/rpd/45.1-4.227>
- Gooniband Shoostari M., Deevband M. R., Kardan M. R., Fathabadi N., Salehi A. A., Naddafi, K., Hosseini S. S. (2017). *Analytical study of ^{226}Ra activity concentration in market consuming foodstuffs of Ramsar, Iran.* Journal of Environmental Health Science and Engineering, 15(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s40201-017-0281-3>
- Gorur F. Korkmaz, Camgoz H. (2014). *Natural radioactivity in various water samples and radiation dose estimations in Bolu Province, Turkey.* Chemosphere 112: 134–40. ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.02.074>
- *Guidelines for Drinking-water Quality*, fourth edition, WHO 2008
- Gupta M., Dhasmana A. (2019). *Burden of Occupational and Environmental Hazards of Cancer.* In: Kesari K. (eds) Networking of Mutagens in Environmental Toxicology. Environmental Science and Engineering. Springer, Cham, ISBN 978-3-319-96510-9, Online ISBN 978-3-319-96511-6
- Al-Khateeb H. M., Aljarrah K. M., Alzoubi F. Y., Alqadi M.K., Ahmad A. A., (2016). *The correlation between indoor and in soil radon concentrations in a desert climate.* Radiation Physics and Chemistry, 130, 142–147, ISSN 0969-806X, <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.08.005>
- Hosseini T., Fathivand A. A., Barati H., Karimi M. (2006). *Assessment of radionuclides in imported foodstuffs in Iran.* Iranian Journal of Radiation Research; 4: 149-153

- Hou X., Roos P. (2008). **Critical comparison of radiometric and mass spectrometric methods for the determination of radionuclides in environmental, biological and nuclear waste samples.** *Analytica Chimica Acta*, 608(2), 105–139. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.12.012>
- <http://statistici.insse.ro:8077/tempo-online/#/pages/tables/insse-table>
- <http://www.cjgalati.ro/index.php/judeul-galai>
- https://chemistry.sciences.ncsu.edu/msf/pdf/IsotopicMass_NaturalAbundance.pdf,
- <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2015.06.007>.
- <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.07.018>.
- https://ro.wikipedia.org/wiki/Lista_cartierelor_din_municipiul_Gala%C8%9Bi
- IAEA (2014). **Safety Standards for protecting people and the environment, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standard:General Safety Requirements Part 3**, Vienna,
- ICRP, (2007). **The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.** ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
- International Atomic Energy Agency (2010). **Handbook of parameter value for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and fresh water environment**, Technical reports series no. 472, IAEA, Vienna
- International Commission on Radiological Protection ICRP (2007) **The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.** ICRP Publication 103. Ann ICRP 37(2–4):1–332
- Ion I., Ion A. C., Calin M. R., Rădulescu I., Bogdan D. (2019). **Assessment of chemical parameters and natural radionuclides concentrations in carbonated natural mineral water and contribution to radiation dose.** *Romanian Journal of Physics*, 64(1–2), 1–14.
- Ion I., Ion A. C., Calin M. R., Rădulescu I., Bogdan D. (2019). **Assessment of chemical parameters and natural radionuclides concentrations in carbonated natural mineral water and contribution to radiation dose.** *Romanian Journal of Physics*, 64(1–2), 1–14
- ISO 11704:2018 Water quality - **Gross alpha and gross beta activity - Test method using liquid scintillation counting.**
- ISO 9696:2013 Water quality - **Measurement of gross beta activity in non-saline water – Test method using thick source.**
- ISO 9696:2017 Water quality - **Measurement of gross beta activity in non-saline water – Test method using thick source.**
- ISO 9697:2013 Water quality- **Gross alpha activity – Test method using think source.**
- ISO 9697:2018 Water quality - **Gross alpha activity – Test method using think source.**
- Iticescu, C., Georgescu L. P., Topa M. C., (2013). **Assessing the Danube water quality index in the city of Galati, Romania.** *Carpathian J. Earth Environ. Sci.* 8, 155–164
- Iticescu C., Georgescu L P., Murariu G., Topa C., Timofti M., Pintilie V., Arseni Maxim (2019). **Lower Danube Water Quality Quantified through WQI and Multivariate Analysis.** *Water* 11(6), 1305; <https://doi.org/10.3390/w11061305>
- Iticescu C., Georgescu L. P., Murariu G., Topa M. C., Timofti M., Pintilie V. (2017) **Multivariate analysis of physico-chemical parameters and WQI of Lower Danube water to identify potential pollution sources**, International Conference on Environment Pollution and Prevention (ICEPP 2017) (poster), Singapore, 14-16 dec. 2017.
- <http://www.icepp.org/history/program-2017.pdf>
- Jamal Al-Hubail, Darwish Al-Azmi (2018). **Radiological assessment of indoor radon concentrations and gamma dose rates in secondary school buildings in Kuwait**, *Construction and Building Materials* 183, 1–6
- Janković M. M., Todorovića D. J., Todorović N. A., Nikolov J., (2012). **Natural radionuclides in drinking waters in Serbia**, *Applied Radiation and Isotopes* 70, 2703–2710. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apradiso.2012.08.013>
- Jia G., Jia J. (2012). **Determination of radium isotopes in environmental samples by gamma spectrometry, liquid scintillation counting and alpha spectrometry: A review of analytical methodology.** *Journal of Environmental Radioactivity*, 106, 98–119. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2011.12.003>
- Jia G., Torri G., Magro L., (2009). **Concentrations of ^{238}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{230}Th , ^{228}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{224}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb and ^{212}Pb in drinking water in Italy: reconciling safety standards based on measurements of gross α and β .** *Journal of Environmental Radioactivity* 100, 941–949. ISSN 0265-931X <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2009.07.002>
- Jiang H., Holtzman R. B. (1989). **Simultaneous determination of ^{224}Ra , ^{226}Ra and ^{228}Ra in large volumes of well waters.** *Health Physics* 57 (1), 167-168
- Jobbágy V., Kávási, N., Somlai J., Dombóvári P., Gyöngyösi C., Kovács T. (2011). **Gross alpha and beta activity concentrations in spring waters in Balaton Upland, Hungary.** *Radiation Measurements*, 46(1), 159–163. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2010.08.004>
- Jobbágy V., Merešová J., & Wätjen U. (2014). **Critical remarks on gross alpha/beta activity analysis in drinking waters: Conclusions from a European interlaboratory comparison.** *Applied Radiation and Isotopes*, 87, 429–434. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2013.11.073>

- Jobbágy V., Merešová, J., Altitzoglou T., Hult M. (2016). **Evaluation of the 2012 EC interlaboratory comparison on gross alpha / beta activity concentration in drinking water.** <https://doi.org/10.2789/573272>
- Jobbágy V., Merešová J., Wätjen U. (2014). **Critical remarks on gross alpha/beta activity analysis in drinking waters: Conclusions from a European interlaboratory comparison.** Applied Radiation and Isotopes, 87, 429–434. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2013.11.073>
- Kant K., Gupta R., Kumari R., Gupta N., Garg M. (2015). **Natural radioactivity in Indian vegetation samples.** International Journal of Radiation Research; 13: 143-150
- Khan M. F., Wesley S. G. (2016). **Baseline concentration of Polonium-210 (^{210}Po) in tuna fish.** Marine Pollution Bulletin, 107, 379–382
- Kitto M. E., Parech P. P., Torrs M. A., Schneider D.J. (2005). **Radionuclides and chemical concentration in mineral waters at Saratoga springs, New York** Journal of Environmental Radioactivity 80, 327–329
- Kobya Y., Cevik U., Damla N., Kobya A. I., Taskin H., Kemer B. (2010). **Radiological characterization of natural spring waters in Eastern Black Sea region, Turkey.** Environmental Forensics, 11(1–2), 187–192. <https://doi.org/10.1080/15275920903559230>
- Kobya Y., Taşkın H., Yeşilkanat M. C., Çevik U., Karahan G., Çakır B. (2015). **Radioactivity Survey and Risk Assessment Study for Drinking Water in the Artvin Province, Turkey.** Water, Air, & Soil Pollution 226:49. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2344-3>
- Kolapo A. A. (2014). **Assessments of natural radioactivity and heavy metals in commonly consumed milk in Oke-Ogun Area, Nigeria and estimation of health risk hazard to the population.** Journal of Environmental & Analytical Toxicology 4:253–257 <https://doi.org/10.1007/s10967-015-4172-8>
- Korkmaz M. E., Osman A., Mihriban Ş. (2016). **Gross α and β activity concentrations in various water from Karaman, Turkey.** Environmental Earth Sciences 75(1): 1–9, <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4909-2>
- Kristan U., Planinšek P., Benedik L., Falnoga I., Stibilj V. (2015). **Polonium-210 and Selenium in Tissues and Tissue Extracts of the Mussel *Mytilus Galloprovincialis* (Gulf of Trieste),** Chemosphere, 119: 231–41
- Ladinskaya L. A., Parfenov Y. D., Popov D. K., Fedorova A. V. (1973). **^{210}Pb and ^{210}Po Content in Air, Water, Foodstuffs, and the Human Body.** Archives of Environmental Health: An International Journal, 27(4), 254–258. <https://doi.org/10.1080/00039896.1973.10666364>
- Legea 301/2015 privind **stabilirea cerințelor de protecție a sănătății populației în ceea ce privește substanțele radioactive din apa potabilă** (Monitorul oficial nr. 904 din 07 decembrie 2015)
- Lozano J. C., Fernandez F., Gomez J. M. G. (1997). **Determination of radium isotopes by BaSO_4 coprecipitation for the preparation of alpha-spectrometric sources,** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 223(1-2), 133-137
- Lozano J. C., Tomé F.V., Rodríguez P. B., Prieto C. (2010). **A sequential method for the determination of ^{210}Pb , ^{226}Ra , and uranium and thorium radioisotopes by LSC and alpha-spectrometry.** Applied Radiation and Isotopes, 68(4–5), 828–831. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2009.09.053>
- Meli M. A., Desideri D., Roselli C., Feduzi L. (2014). **Assessment of ^{210}Po in Italian diet.** Food Chemistry, 155, 87–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.049>
- Moreno H. P., Absi A., Vioque J., Manjón G., Garcia-Tenorio R., (2000). **Application of LS technique to the measurement of ^{226}Ra and ^{224}Ra in samples affected by non-nuclear industries wastes.** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Articles, 245 (2), 309-315
- Nair R. R. Rajan B., Akiba S., Jayalekshmi P., Nair M. K., Gangadharan P., et al. (2009). **Background radiation and cancer incidence in Kerala, India -Karanagappally cohort study.** Health Physics, 96(1):55–66
- **Norme privind cerintele de baza de securitate radiologică,** aprobate prin Ordinul ministrului sanataii, al ministrului educatiei nationale si al presedintelui Comisiei Nationale pentru Controlul Activitatilor Nucleare nr. 752/3.978/136/ 2018 si publicate in Monitorul Oficial al Romaniei, Partea I nr. 517 bis din 25.06.2018.
- Nuccetelli C., Risica S. (2008). **Thorium series radionuclides in the environment: measurement, dose assessment and regulation.** Applied Radiation and Isotopes 66, 1657-1660
- Nuclear Chemistry, (1995). **Measurement of radium and thorium isotopes in environmental samples by alpha-spectrometry.** 191(1), 6–7
- Oghenevovwero E. Esi, Agbalagba Ezekiel O., Gregory O. Awwiri (2018). **Impact of produced water discharge on the gross alpha and gross beta activity concentrations and radiological health risk on drinking water sources in coastal areas of Nigeria.** International Journal of Ambient Energy, DOI: 10.1080/01430750.2018.1525577
- O Gundare F.O., Adekoya O.I., **Gross alpha and beta radioactivity in surface soil and drinkable water around a steel processing facility,** Journal of Radiation Research and Applied Sciences 8, 411–417, 2015. ISSN 1687-8507, <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2015.02.009>
- Parsa B., Obed R. N., Nemeth W. K., Suozzo G. (2004). **Concurrent determination of ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , and unsupported ^{212}Pb in a single analysis for drinking water and wastewater: dissolved and suspended fractions.** Health Physics. 86(2), 145
- Pietrzak-Flis Z., Suplinska M. M., Rosiak L. (1997). **The dietary intake of ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{232}Th , ^{228}Th and ^{226}Ra from food and drinking water by inhabitants of the Waibrzych region.** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 222(1–2), 189–193. <https://doi.org/10.1007/BF02034268>
- Pintilie V., Ene A., Georgescu L. P., Moraru L., Iticescu C. (2016a). **Measurements of gross alpha and**

- gross beta activity in drinking water from Galati region, Romania.** Romanian Reports in Physics, 68, No. 3 (2016), p. 1208–1220, ISSN 1221-1451 43 822, On-line ISSN 1841-8759, http://www.rp.infim.ro/2016_68_3/A28.pdf
- Pintilie V., Georgescu L. P., Moraru L., Ene A., Iticescu C. (2016b). **Natural radioactivity in drinking water from Galati and Vrancea areas, Romania***. rad-journal.org, ISSN 2466-4294 (online) Vol. 1 | Issue 3 | pp. 165 – 170, doi: 10.21175/RadJ.2016.03.031. <http://www.rad-journal.org/index.php?id=3>
 - Pintilie V., Georgescu L. P., Ene A., Moraru L. (2016c). **Monitoring of gross alpha and beta activity in drinking water from Galati during 2013-2014.** Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati , FASCICLE II, YEAR VIII (XXXIX),(2016), No. 1, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, ISSN 2067-2071. http://www.phys.ugal.ro/Annals_Fascicle_2/Year2016/SummaryII.htm
 - Pintilie V., Ene A., Georgescu L. P., Pintilie A. G., Moraru L. (2016d) **Monitoring of gross alpha and beta activity in drinking water from Galati during 2013-2014**, Scientific Conference of the Doctoral School of "Dunărea de Jos" University of Galati, 4-th edition (CSSD-UDJG) (prezentare orală), Galați, Romania, 2-3 iunie 2016.
http://www.cssd-udjg.ugal.ro/files/invitatie/Program_detaliat_al_conferintei_2016.pdf
 - Pintilie V., Georgescu L. P., Moraru L., Ene A., Iticescu C. (2016e) **Natural radioactivity in drinking water from Galati and Vrancea areas, Romania**, Fourth international conference on radiation and applications in various field of research (RAD4) (prezentare orală), Nis, Serbia, 23-27 mai 2016.
http://www.rad2016.rad-conference.org/title_list.php,
<http://www.rad2016.rad-conference.org/pdf/RAD%202016%20Programme%20PDF%20sm.pdf> (pg.5)
 - Pintilie V., Ene A., Georgescu L. P., Moraru D. I., Andrei O., (2016f) **Assessment of effective dose from natural radionuclides intake through bread**, Conferinta internationala: 16th International Balkan Workshop on Applied Physics (IBWAP 2016), (poster), Constanța, România, 7-9 iulie 2016.
http://ibwap.univ-ovidius.ro/2016/uploads/template/Program_IBWAP2016%20.pdf
 - Pintilie V., Ene A., Georgescu L. P., Moraru L., (2016g) **Natural radionuclides in diet and their effective dose**, Conferinta internațională: 16th International Balkan Workshop on Applied Physics (IBWAP 2016), (poster), Constanța, România, 7-9 iulie 2016.
http://ibwap.univ-ovidius.ro/2016/uploads/template/Program_IBWAP2016%20.pdf
 - Pintilie V., Ene A., Georgescu L. P., Pintilie A. G., Moraru D. I., Iticescu C. (2017a) **Gross alpha, gross beta and ⁴⁰K activities and daily effective dose due to natural radionuclides from food supplements**, Romanian Journal of Physics, vol. 62, nr. 7-8 (2017), ISSN 1221-146X. http://www.nipne.ro/rjp/2017_62_7-8/RomJPhys.62.703.pdf
 - Pintilie V., Ene A., Georgescu L. P., Moraru D. I., Andrei O. (2017b) **Determination of the concentrations of ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra, ²³⁸U in tap water and estimation of the related radiation dose**, Scientific Conference of the Doctoral School of "Dunărea de Jos" University of Galati, 5-th edition (CSSD-UDJG), (prezentare orală), Galati, 8-9 iunie 2017.
http://www.cssd-udjg.ugal.ro/files/2017/Program_detaliat_al_conferintei_2017_FINAL.pdf
 - Pintilie V., Ene A., Georgescu L. P. (2017c) **Gross alpha and gross beta activities from natural supplements**, Fourth international conference on radiation and applications in various field of research (RAD5) (prezentare orală), Budva, Muntenegru, 12-16 iunie 2017.
<http://www.rad2017.rad-conference.org/pdf/RAD%202017%20Final%20Programme.pdf>, pag1
prezentare:
<https://onedrive.live.com/?authkey=%21AB7FY8BKB6NGPXc&cid=36E85E208D363CBE&id=36E85E208D363CBE%211192&parId=36E85E208D363CBE%211173&o=OneUp>
 - Pintilie V., Ene A., Georgescu L. P., Andrei O. (2017d) **The evaluation of the gross alpha and the gross beta activities from foodstuff**, 17th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science (poster), Constanta, 11-14 iulie 2017.
http://ibwap.univ-ovidius.ro/2017/uploads/template/IBWAP_2017_program.pdf
 - Pintilie V., Ene A., Georgescu L. P., Moraru D. I. (2017e) **Determination of natural radionuclides in milk**, 17th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science (poster), Constanta, România, 11-14 iulie 2017.
http://ibwap.univ-ovidius.ro/2017/uploads/template/IBWAP_2017_program.pdf
 - Pintilie V., Ene A., Georgescu L. P., Moraru D. I. (2017f) **The evaluation of the gross radioactivity from the meat samples**, The 8th international symposium Euroalimint 2017, (poster), Galati, Romania, 7-8 septembrie 2017.
<http://www.euroalimint.ugal.ro/Programme-EA17.pdf>
 - Pintilie V., Ene A., Georgescu L. P., Moraru D. I., Pintilie A. (2018a). **Determination of gross alpha, gross beta, and natural radionuclides (²¹⁰Po, ²¹⁰Pb, ²³⁸U, ²³²Th and ⁴⁰K) activity concentrations in bread and their contribution to the effective dose.** Romanian Journal of Physics, 63(1–2), 801.
http://www.nipne.ro/rjp/2018_63_1-2/RomJPhys.63.801.pdf
 - Pintilie V., Ene A., Georgescu L. P., Pintilie A. G., Moraru D. I., Iticescu C. (2018b). **Gross alpha, gross beta and radionuclides (²¹⁰Po, ²¹⁰Pb, ²³⁸U, ²³²Th, ²²⁶Ra and ⁴⁰K) exposure assessment due to meat**

- consumption.** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 318(2), 991–1000. <https://doi.org/10.1007/s10967-018-6156-y>
- Pintilie V., Georgescu L. P., Ene A., Moraru D. I., (2018c), **Determination of natural radionuclides in powder milk**, Scientific Conference of the Doctoral School of "Dunărea de Jos" University of Galați, 6-th edition (SCDS-UDJG 2018), prezentare orală, Galați, Romania, http://www.cssd-udjg.ugal.ro/files/2018/05_Program_detaliat_al_conferintei_2018.pdf O.P.2,6, pag 11, 7-8 June 2018. <http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/abstracts-2018>
 - Pintilie V., Ene A., Georgescu L. P., Pintilie A. G., Moraru D. I. (2018d) **Determination of ^{226}Ra , ^{210}Po and ^{210}Pb in natural mineral water**, Sixth international conference on radiation and applications in various field of research (RAD6) (poster), 18-22 iunie 2018, Ohrid, Macedonia. http://rad2018.rad-conference.org/pdf/RAD_2018_Final_Programme.pdf
 - Pintilie V., Pintilie A. G., Georgescu L. P., Ene A., (2018e) **Indoor radon measurements in the City Galați**, 18th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science (poster), Constanta, Romania 10-13 iulie 2018. http://ibwap.ro/wp-content/uploads/2018/07/IBWAP2018_program.pdf, <http://ibwap.ro/wp-content/uploads/2018/07/IBWAP-2018-BOOK-of-ABSTRACTS.pdf>
 - Pintilie V., Ene A., Iticescu C., Georgescu L. P. (2018f) **Natural radioactivity in surface water from Galați, Romania**, UGAL International Conference: Multidisciplinary HUB for the Higher Education Internationalization by Means of Innovative Interaction with the Labour Market and Society (poster), Galați, Romania, 26-27 oct. 2018, ACADEMIC project, CNFIS – FDI – 2018 – 0054. <http://www.fdi.ugal.ro/index.php/ro/conference-home>
 - Prabhath R. K., Sreejith S. R., Nair Madhu G., Rao D. D., Pradeepkumar K. S. (2015). **Determination of ^{210}Po concentration in commercially available infant formulas and assessment of daily ingestion dose.** Journal of Radiation Research and Applied 8 (3), 470–476.
 - Priharti W., Samat S. B., Yasir M. S., Garba N. N. (2016). **Assessment of radiation hazard indices arising from natural radionuclides content of powdered milk in Malaysia.** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 307:297–303 <https://doi.org/10.1007/s10967-015-4172-8>
 - Qureshi, A. A., Tariq, S., Din K. U., Manzoor S., Calligaris C., Waheed, A. (2014). **Evaluation of excessive lifetime cancer risk due to natural radioactivity in the rivers sediments of Northern Pakistan.** Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 7(4), 438–447. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2014.07.008>
 - **Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards general safety:** No GSR part 3, IAEA 2014
 - Rajashekara K. M., Narayana Y., Narasimha S. A., Shetty P., Prakash V., (2011). **Effective doses due to intake of radiotoxic radionuclides ^{226}Ra , Po and ^{210}Pb through drinking water of Coastal Karnataka,** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 290: 137–40, ISSN 1588-2780, <https://doi.org/10.1007/s10967-011-1159-y>
 - Rodríguez-Alvarez M.J., Sánchez F. (1995). **Measurement of radium and thorium isotopes in environmental samples by alpha-spectrometry.** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Articles, 191(1), 3–13. <https://doi.org/10.1007/BF02035979>
 - Rožmarić M., Ivšić A. G., Grahek Ž. (2009). **Determination of uranium and thorium in complex samples using chromatographic separation, ICP-MS and spectrophotometric detection.** Talanta, 80(1), 352–362. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2009.06.078>
 - Rožmarić Martina, Rogić Matea, Benedik Ljudmila, Marko Štrok (2012). **Natural radionuclides in bottled drinking waters produced in Croatia and their contribution to radiation dose.** Science of the Total Environment 437: 53–60, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.07.018>
 - Sajo-Bohus L., Gomez J., Capote T., Greaves E.D., Herrera O., Salazar V., Smith A. (1997). **Gross alpha radioactivity of drinking water in Venezuela.** Journal of Environmental Radioactivity 35(3):305–312,
 - Salonen, L. (1994). **^{238}U series radionuclides as a source of increased radioactivity in groundwater originating from Finnish bedrock.** p. 71-84 in: Future Groundwater Resources at Risk (J. Soukko, ed.). IAHS Publication No. 222. IAHS Press, Oxfordshire .
 - Sarvajayakesavalu S., Divya L., Jessen G., Magesh S. B., Anilkumar, K. M., Brammanandhan G. M., Ravikumar, M. (2018). **Groundwater for Sustainable Development Geographic Information System mapping of gross alpha / beta activity concentrations in ground water samples from Karnataka, India: A preliminary study.** Groundwater for Sustainable Development, 6(January), 164–168. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2017.12.003>
 - Shabana E.I., Kinsara A.A. (2014). **Radioactivity in the groundwater of a high background radiation area.** Journal of Environmental Radioactivity 137, 181–189. ISSN 0265-931X, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.07.013>
 - Shanthy G., Kumaran J. T. T., Raj G. A. G., Maniyan C. G. (2010). **Natural radionuclides in the South Indian foods and their annual dose.** Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 619(1–3), 436–440. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2009.10.068>

- Sobiech-Matura K., Máté B., Altitzoglou T. (2015). **Radioactivity monitoring in foodstuff and drinking water - An overview of performance of EU laboratories based on interlaboratory comparisons.** Food Control, 72. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.04.043>
- Solecki J, Kruk M (2011). **Determination of ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{40}K radionuclides in food grain and commercial food grain products.** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 289(1):185–190. <https://doi.org/10.1007/s10967-011-1060-8>
- SR 10447-3 Apă. Determinarea conținutului de ^{226}Ra
- SR EN ISO 10704 Water quality – Measurement of gross alpha and gross beta activity in non saline water – Thin source deposit method.
- Standard Methods: 7110 Gross Alpha Radioactivity by Coprecipitation
- STAS 12130-82. APA - Determinarea uraniului și toriului natural.
- STAS 12130-82. Apă. Determinarea uraniului natural și toriului natural
- STAS 12380-85 Lapte și produse lactate. Determinarea conținutului de uraniu natural
- STAS 12435-86 Apa. Determinarea conținutului de poloniu-210
- STAS 12444-86 Apă. Determinarea conținutului de ^{210}Po
- STAS 12444-86 Apa. Determinarea conținutului de poloniu-210
- STAS 1342-1991 Apă potabilă. Condiții de calitate.
- Spanos T., Ene A., Xatzixristou C., Papaioannou A. (2015). **Assessment of groundwater quality and hydrogeological profile of Kavala area, Northern Greece,** Romanian Journal of Physics. 60, 7–8, 1139–1159
- Štok M., Smodiš B. (2011). **Levels of ^{210}Po and ^{210}Pb in fish and molluscs in Slovenia and the related dose assessment to the population.** Chemosphere 82, 970–976. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.10.075>
- Štok M., Smodiš B. (2011). **Natural radionuclides in milk from the vicinity of a former uranium mine.** Nuclear Engineering and Design, 241(4), 1277–1281. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2010.03.035>
- Štok, M., Smodiš B. (2011). **Levels of ^{210}Po and ^{210}Pb in fish and molluscs in Slovenia and the related dose assessment to the population.** Chemosphere 82, 970–976. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.10.075>
- Strom, D. J. (2009). Radiation Doses to Hanford Workers from Natural Potassium-40. (February)
- Strumińska-Parulska, Dagmara I. (2016). Radiollead ^{210}Pb and $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ activity ratios in calcium supplements and the assessment of their possible dose to consumers. Journal of Environmental Science and Health, Part A 51(10): 851–854. <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10934529.2016.1181457>.
- Tao Z. (2000). Cancer mortality in the high background radiation areas of Yangjiang, China during the period between 1979 and 1995. Journal of Radiation Research (Tokyo), 41 (Suppl.): 31–41
- Timofti M., Iticescu C., Arseni M., Calmuc M., Calmuc V.-A., Georgescu L. P. (2019). **Preliminary Analysis on the River Danube Water Quality by Using Different Kinds of Methods.** International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics, 9(1), 65–72. <https://doi.org/10.17706/ijbbb.2019.9.1.65-72>
- Titipornpun K., Gimsa J., Bhongsuwan T., Kongchou N. (2015). **Radon concentration measurements in secondary schools, Surat Thani province, southern Thailand.** in: Conference of the International Journal of Arts & Sciences, CD-ROM. ISSN: 1943-6114, 8(1):31–40.
- Todorovic N., Nikolov J., Tenjovic B., Bikit I., Veskovic M. (2012). **Establishment of a method for measurement of gross alpha/beta activities in water from Vojvodina region.** Radiat Meas 47 (11–12): 1053-1059, ISSN 1350-4487, <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2012.09.009>
- Trdin, M., Benedik, L. (2017). **Uranium, polonium and thorium in infant formulas (powder milk) and assessment of a cumulative ingestion dose.** Journal of Food Composition and Analysis, 64(January), 198–202. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.09.005>
- Tufail M., Sabiha J., Akhtar N., Akhter J. (2010). **Assessment of annual effective dose from natural radioactivity intake through wheat grain produced in Faisalabad, Pakistan.** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 283(3), 585–590. <https://doi.org/10.1007/s10967-009-0391-1>
- Turgay M. E., Yazici A. N., Taskin H., Kam E.I., Karahan G. (2016). **Assessment of gross α and β radioactivity for drinking water in Hatay province, Turkey,** Desalination and Water Treatment, 57:11, 4960-4965, <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.1000384>
- Turhan S., Özçtak E., Taşkn H., Varinlioğlu A. (2013). **Determination of natural radioactivity by gross alpha and beta measurements in ground water samples.** Water Research 47(9): 3103–8
- Turtiainen T., Kostiaainen E., Hallikainen A. (2011). **^{210}Pb and ^{210}Po in Finnish cereals.** Journal of Environmental Radioactivity, 102(5), 438–442. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2010.09.009>
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2000). (UNSCEAR), **Report to the General Assembly, with scientific annexes**, Vol. 1, Sources and Effects of Ionising Radiation
- Uwatse O.B., Olatunji M.A., Khandaker M.U., Amin Y.M., Bradley D.A., Alkhorayef M., Alzimami K., (2015). **Measurement of natural and artificial radioactivity in infant powdered milk and estimation of the corresponding annual effective dose.** Environmental Engineering Science 32, 1–9.
- Vértes A., Nagy S., Klencsár Z., Lovas Rezső G, Rösch F. (2011). **Handbook of Nuclear Chemistry.** Springer, Boston, MA, e-ISBN 978-1-4419-0720-2,
- Jobbágy V., Dirican A., Wätjen U. (2013). **Radiochemical characterization of mineral waters for a European interlaboratory comparison.** Microchemical Journal 110 (2013) 675–680

-
- Walsh M., Wallner G., Jennings P. (2014). **Radioactivity in drinking water supplies in Western Australia**. Journal of Environmental Radioactivity 130, 56–62
 - WHO (2017). **Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum** ISBN 978-92-4-154995-0
 - World Health Organisation, (2008). **Guidelines for drinking water quality - third edition**. Geneva
 - World Health Organisation, (2011). **Guidelines for drinking water quality – 4th edition**. Geneva
 - Yang Y. X., Wu X. M., Jiang Z. Y., Wang W. X., Lu J. G. (2005). **Radioactivity concentrations in soils of the Xiazhuang granite area, China**. Applied Radiation and Isotopes; 63: 255-259
 - Zorer Ö. S., Öter Ç. (2015). **Evaluation of gross radioactivity in foodstuffs**. Kerntechnik. 80(2), 174–179. <https://doi.org/10.3139/124.110492>
 - <http://nucleardata.nuclear.lu.se>)
 - (http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm).
 - (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687850715000540>)
(<http://www4vip.inl.gov/gammaray/catalogs/catalogs.shtml>)