



**Universitatea Națională de Știință și Tehnologie
POLITEHNICA BUCUREȘTI**

Școala Doctorală de Inginerie Energetică

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Contribuții la evaluarea distribuției de tritriu în jurul centralelor nucleare-electrice de tip CANDU

Student doctorand: Ing. Simona I. POPOACĂ (ZAHAROV)

Conducător de doctorat: Prof. dr. ing. Daniel DUPLEAC

COMISIA DE DOCTORAT:

| | |
|------------------------------|---|
| Președinte | Prof.dr.ing. Radu Florin PORUMB POLITEHNICA București |
| Conducător științific | Prof.dr.ing. Daniel DUPLEAC POLITEHNICA București |
| Referenți științifici | Conf.univ.dr.ing. Dumitru CHIRLEȘAN POLITEHNICA București |
| | CS.I.dr. Anca Mirela MELINTESCU IFIN-HH București |
| | CS.II.dr.ing. Irina Monica VAGNER ICSI Râmnicu-Vâlcea |

București, 2025

CUPRINS

| | |
|--|-----------|
| SINTEZA TEZEI DE DOCTORAT | 3 |
| A. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE TEZEI | 3 |
| B. MOTIVAȚIA REALIZĂRII TEZEI | 4 |
| C. CONȚINUTUL TEZEI..... | 6 |
| CONCLUZII GENERALE..... | 10 |
| CONTRIBUȚII ORIGINALE | 10 |
| PERSPECTIVE DE VIITOR | 11 |
| LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE DE AUTORUL TEZEI | 15 |
| BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ | 16 |

SINTEZA TEZEI DE DOCTORAT

A. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE TEZEI

Scopul principal al tezei a fost evaluarea distribuției concentrațiilor de tritii din compartimentele de mediu, din jurul centralelor nucleare-electrice de tip CANDU, în special pentru obiectivul nuclear – centrala nucleare-electrică CNE Cernavodă, filială a S.N. Nuclearelectrica S.A.

Având în vedere faptul că tritiul este prezent în toate mediile, sub diferite forme (gazoasă: HT, CH₄T, lichidă: vapori HTO, în apa liberă din țesut: HTO sau legat organic: OBT) și se formează atât pe cale naturală – prin interacția radiațiilor cosmice cu atomii de azot din atmosfera înaltă, cât și din surse antropogenice – fie rămas în urma perioadei de testare a armelor nucleare, fie din emisii de la instalații nucleare, etc., în condiții de funcționare normală sau în cazuri accidentale, studiul și-a propus atingerea următoarelor obiective specifice:

1. monitorizarea anuală a nivelurilor de tritii (HTO și OBT) din mediu, în vederea evaluării variațiilor spațiale și temporale, și realizarea unei baze de date, ce poate fi utilizată ca input pentru implementarea cât mai exactă a noii versiuni a standardului canadian CAN-CSA N288.1-20 „Ghid pentru modelarea transportului radionuclizilor în mediu, dispariția lor și expunerea în condiții normale de operare a instalațiilor nucleare”;
2. efectuarea de măsurători de tritii, decelarea și cuantificarea concentrațiilor de tritii (HTO și OBT) în principalele tipuri de probe de mediu, care fac parte din hrana unei persoane reprezentative din populația orașului Cernavodă, și care contribuie la doza suplimentară anuală, provenită din funcționarea normală a CNE Cernavodă;
3. validarea metodei de determinare a tritiului legat organic (OBT) prin participarea la studii care includ exerciții de comparare inter-laboratoare pentru matrici de probe de mediu, prelevate din zona Cernavodă;
4. calculul rapoartelor concentrațiilor OBT/HTO în diferite tipuri de probe de mediu;
5. calculul contribuției concentrațiilor OBT la doza anuală pentru o persoană reprezentativă din populația orașului Cernavodă.

B. MOTIVAȚIA REALIZĂRII TEZEI

Comportamentul complex al tritiului ($H-3$) din biosferă și evaluarea nivelurilor OBT din matricile de probe de mediu, precum și probabilitatea de creștere a concentrației în jurul obiectivelor nucleare au fost promotorii studiilor de cercetare-dezvoltare pentru stabilirea unor metode de laborator care să permită determinarea cu acuratețe a diferitelor forme ale tritiului din mediul înconjurător, în vederea asigurării protecției radiologice a populației și mediului, conform cerințelor impuse de organele de reglementare, din normele aplicabile.

Apa tritiată (HTO) este foarte asemănătoare cu apa normală (H_2O), având o diferență relativ mică a masei atomice. HTO este încorporată în organisme și în mediu mult mai rapid decât tritiul molecular (T_2), ea se împrăștie în tot corpul și emite radiații beta (β^-), generând o doză la nivelul țesuturilor moi, cu un timp de înjumătățire biologic de aproximativ 10 zile.

Deși radiațiile beta au un parcurs foarte scurt (nu pot penetra o foaie de hârtie) iar energia maximă a radiațiilor β^- emise de $H-3$ este scăzută (18,6 keV), timpul de înjumătățire fizic este de 12,3 ani, tritiu intră rapid în organism prin inhalare, ingestie, difuzie prin piele, unde se leagă rapid la nivel celular, inducând efecte radiative, care pot da naștere la aberații cromozomiale. Conform modelelor bio-kinetice dezvoltate de specialiști în domeniu, se estimează că timpul de înjumătățire biologic pentru tritiu legat organic (OBT) variază pentru fiecare individ (între 23 și 104 zile, cu o medie de 59 zile); modelul ICRP (Publicația ICRP 134/ 2016) utilizează valoarea medie de 40 zile (UNSCEAR, 2016).

Spre deosebire de metoda de determinare a apei tritiate (HTO) care a fost descrisă ca metodă standardizată în documentul ISO 9698, începând din anul 1989, cu o revizie în anul 2010 și actuala revizie SR EN ISO 9698:2019 “Calitatea apei. Tritiu. Metoda de încercare prin numărarea scintilațiilor în mediu lichid”, pentru a evalua comportamentul tritiului în mediul înconjurător a fost necesară îmbunătățirea metodei de determinare a concentrației de tritiu legat organic (OBT) în probe de mediu, testarea și validarea acesteia prin exerciții de intercomparare.

Problematika era în curs de dezvoltare la CNE Cernavodă iar primele rezultate obținute în cadrul programului de determinări OBT de la CNE Cernavodă, derulat în perioada 2018 – 2020, au fost prezentate la Conferința anuală a Societății Române de Radioprotecție – SRRp (octombrie 2021) și publicate ca articol în volumul de lucrări al conferinței: Simona Zaharov, Alexandru E. Nedelcu, Veronica Tudorache, „*Evaluarea nivelurilor de tritiu legat organic în*

probe de mediu din zona Cernavodă, în perioada 2018-2020”, Volumul Conferinței Naționale a SRRp 2021, Editura ETNA, ISBN 978-973-1985-75-6, pp.95-100.

Studiul descris în teza de doctorat a fost realizat în cadrul Laboratorului de Control Mediu (LCM), din Departamentul Radioprotecție al S.N. Nuclearelectrica S.A. – CNE Cernavodă, și s-a axat pe evaluarea nivelurilor de tritii liber (HTO) și de tritii legat organic (OBT), distribuția acestora în diferite tipuri de probe de mediu și cuantificarea contribuției OBT la doza anuală pentru o persoană reprezentativă din populația care locuiește în orașul Cernavodă.

O sinteză a rezultatelor programului de monitorizare OBT la CNE Cernavodă, din perioada 2018 – 2023, a fost prezentată la Conferința anuală a Societății Române de Radioprotecție – SRRp (octombrie 2024) și publicată în volumul de lucrări al conferinței: Simona Zaharov, Ștefan Babu, Alexandru E. Nedelcu, *“Dezvoltarea Programului de Monitorizare a Radioactivității Mediului pentru Analize de Tritii Legat Organic (OBT)”*, Volumul Conferinței Naționale a SRRp, 2024, Ediția online nr. 1, ISSN 3061 – 6166, ISSN - L 3061 – 6166, pp. 34-49, <https://srrp.ro/wp-content/uploads/2024/12/Conferinta-Nationala-SRRp-2024-cu-ISSN.pdf>

În cadrul tezei au fost introduse și rezultatele a două studii care au inclus exerciții de comparare inter-laboratoare pentru determinări ale concentrației OBT în matrici de probe de fructe (gutui și struguri), realizate în cadrul Laboratorului de Control Mediul de la CNE Cernavodă, la nivelul Grupului Internațional OBT – fondat în anul 2012, prin contribuția și dedicarea mai multor specialiști din diferite țări, precum: Franța, Canada, Marea Britanie, România, etc.

Provocarea cea mai mare a fost etapa de organizare a exercițiului internațional de intercomparare pentru determinări de tritii legat organic pentru probe de struguri, deoarece durata unui astfel de exercițiu se poate extinde până la 2 ani iar în unele cazuri nu se pot realiza sau finaliza dacă nu se poate obține un material de referință cu concentrație de tritii relativ scăzută (niveluri de mediu), compoziția nu este omogenă, stabilă, dacă nu se obține în cantitate suficientă pentru un număr de minim 20 laboratoare, sau dacă laboratoarele participante nu raportează la timp rezultatele sau intervin alți factori neprevăzuți.

În acest caz, exercițiul a fost un succes, prelevarea probei de struguri s-a realizat în luna septembrie 2023, a fost obținută o matrice fină, omogenă, cu o concentrație de tritii relativ mică dar detectabilă prin mai multe metode; derularea propriu-zisă a exercițiului s-a realizat în anul 2024, având o participare de 22 laboratoare din 11 țări: 8 țări din Europa, Canada, Coreea de Sud și Japonia; evaluarea statistică a rezultatelor s-a finalizat în trimestrul II, 2025.

Rezultatele obținute în cadrul studiului desfășurat pentru teza de doctorat au contribuit la îmbunătățirea metodei de determinare OBT și certificarea acesteia de către CNCAN, precum și la crearea unei baze de date, în vederea implementării cât mai exacte a standardului canadian CAN-CSA N288.1-20 „Ghid pentru modelarea transportului radionuclizilor în mediu, dispariția lor și expunerea în condiții normale de operare a instalațiilor nucleare”.

Diseminarea rezultatelor s-a efectuat în cadrul mai multor conferințe: Conferințele Societății Române de Radioprotecție (SRRp) în anii 2022, 2023, 2024; Tritium 2022 – București; ICRM2023 – București; ALMERA-IAEA în anul 2022 – Monaco și în anul 2023 – Viena; 9th OBT Workshop 2023 – Belgia; 10th OBT Workshop 2025 – București, precum și în jurnale științifice de specialitate: Volumele de lucrări ale Societății Române de Radioprotecție (2021, 2024); Fusion Science and Technology (FST, 2023); Applied Radiation and Isotopes (ARI, 2024); Buletinul Științific al Universității Politehnica din București, Seria B: Chemistry and Materials („in press”, 2025); Journal of Environmental Radioactivity („in press”, 2025).

C. CONȚINUTUL TEZEI

Teza este structurată pe 7 capitole astfel:

Capitolul I. Stadiul actual al tematicii privind evaluarea nivelurilor de tritii în jurul centralelor nucleare-electrice de tip CANDU

- Include o scurtă descriere a tehnologiei CANDU;
- Descrie scopul programelor de monitorizare a radioactivității mediului în jurul centralelor nucleare,
- Cuprinde date din literatura de specialitate privind estimarea nivelurilor de tritii produs în mod natural și din surse antropogene;

- Cuprinde stadiul actual privind estimarea nivelurilor de tritii legat organic, prin modele matematice, studiate în grupuri de lucru internaționale, formate din cercetători recunoscuți de către IAEA, Viena: proiectele BIOMASS și EMRAS.

Capitolul II. Cerințe de monitorizare a radioactivității mediului înconjurător pentru centralele de tip CANDU

- Prezintă cerințele de monitorizare pentru reactoarele din Canada, având tehnologie similară cu cea de la CNE Cernavodă; enumeră obiectivele nucleare din Canada;
- Include structura Sistemului de Management de Mediu pentru asigurarea protecției adecvate a mediului și standardele aplicabile, descrise în raportul organismului de reglementare și control în domeniul nuclear – CNSC din Canada;
- Specifică faptul că diferențele dintre programele de monitorizare a radioactivității mediului din Canada și din România apar în ceea ce privește cerințele referitoare la emisiile și evacuările stabilite de organele de reglementare din fiecare țară, pe baza cărora s-au stabilit Limitele Derivate de Emisie;
- Descrie Programul de Monitorizare a Radioactivității Mediului la CNE Cernavodă.

Capitolul III. Metode analitice de preparare și determinare HTO și OBT

- Descrie metodele analitice de preparare a probelor alimentare prin extragerea apei libere din țesut (HTO) și instalația de distilare azeotropă;
- Include schema protocolului de preparare a probelor pentru determinări de tritii, prin metoda de numărare a scintilațiilor în mediul lichid (LSC);
- Descrie procedura de calibrare, prin trasarea curbei de atenuare (stingere) și metoda de calcul a concentrației H-3 din proba măsurată;
- Descrie metoda de preparare a probelor alimentare prin extragerea apei de combustie; include echipamentele de laborator utilizate pentru etapa de uscare a probelor (cuptor de uscare, liofilizator) și diverse tipuri de echipamente de combustie cu schemele de funcționare ale acestora, precum și metodele de măsurare a concentrației OBT (LSC și „He ingrowth” cuplată cu spectrometria de masă).

Capitolul IV. Determinarea concentrației de tritii la CNE Cernavodă

- Include concentrațiile de H-3 în aer din diferite puncte de monitorizare aflate la distanțe cuprinse între 1,5 km și 25 km față de amplasamentul CNE Cernavodă, din perioada 2007 – 2023 și date despre fondul natural determinat înainte de punerea în funcțiune a Unității 1 de la CNE Cernavodă, extras din Raportul Pre-operațional;
- Include hărțile cu punctele de monitorizare pentru diferite tipuri de probe de mediu din programul de monitorizare al Centralei;
- Conține variațiile anuale ale concentrației medii de H-3 în apa potabilă, în perioada 2007 – 2023, comparativ cu limita legală;
- Prezintă rezultatele determinărilor de H-3 din probe alimentare: lapte, carne, pește, ouă, legume, fructe, cereale, de pe o suprafață cu raza de 30 km în jurul Centralei, în perioada 2007 – 2023; variațiile acestora pe tipuri de probe de legume și fructe;
- Descrie programul de monitorizare OBT și rezultatele determinărilor efectuate în perioada 2021 – 2024, pentru tipurile de probe de mediu: pește, vegetație spontană, caise, grâu și cartofi, prelevate din 2 locații: Cernavodă și Seimeni; concentrațiile OBT sunt reprezentate grafic atât pentru unitatea de măsură [Bq/kg masă uscată], cât și pentru unitatea de măsură [Bq/L apă de combustie];
- Include evaluarea rapoartelor concentrațiilor OBT/ HTO în probele alimentare (pește, caise, cartofi și grâu), exprimate în unitatea de măsură [Bq/kg probă proaspătă] – studiu efectuat pentru perioada 2021 – 2024.

Capitolul V. Determinarea concentrației OBT în probe de mediu

- Include un scurt istoric al Proiectului Internațional OBT, formarea Grupului Internațional OBT cu specialiști din diverse țări (Canada, Franța, Marea Britanie, România, etc.) în anul 2012, enumerarea exercițiilor de intercomparare OBT efectuate în perioada 2013 – 2025, și rezultatele obținute de Laboratorul de Control Mediu al CNE Cernavodă la aceste exerciții;
- Detaliază toate etapele parcurse pentru studiul care a inclus exercițiul de intercomparare OBT nr. 6, realizat în cadrul Laboratorului de Control Mediu al CNE Cernavodă, în perioada 2019 – 2020 pentru probe de gutui; evaluarea statistică a rezultatelor laboratoarelor participante – extrase din raportul final al acestui

exercițiu; toate rezultatele fiind publicate în timpul activității științifice desfășurate pentru teza de doctorat.

- Include studiul desfășurat pentru exercițiul de intercomparare OBT (exercițiul nr. 7) având ca matrice probe de struguri: prelevarea probelor (septembrie 2023), prepararea materialului de referință, transmiterea probelor și raportarea rezultatelor de către laboratoarele participante (în anul 2024), evaluarea statistică a rezultatelor, conform standardului ISO 13528:2022 (în anul 2025) și concluziile studiului; activitățile au fost efectuate în cadrul Laboratorului de Control Mediu al CNE Cernavodă.

Capitolul VI. Evaluarea contribuției nivelurilor de H-3 la doza pentru populația din zona Cernavodă

- Include un studiu de caz de la centrala Point Lepreau NGS din Canada, standardul canadian (CAN-CSA N288.1) aplicabil pentru modelarea transportului radionuclizilor în mediu, dispariția lor și expunerea în condiții normale de operare a instalațiilor nucleare;
- Descrie modul de calcul pentru estimarea contribuției tritiului la doza anuală pentru populație; studiu de caz pentru CNE Cernavodă.

Capitolul VII. Contribuții la evaluarea distribuției de tritii în jurul CNE Cernavodă. Concluzii generale. Contribuții originale. Perspective de viitor.

- Include concluziile generale desprinse din studiul detaliat pe parcursul tezei de doctorat;
- Prezintă contribuțiile originale și beneficiile obținute pe parcursul studiului și atingerea obiectivelor propuse;
- Sugerează perspective de viitor ce pot fi luate în considerare pentru continuarea studiilor și fructificarea rezultatelor obținute până în prezent.

CONCLUZII GENERALE

Nuclearelectrica – CNE Cernavodă acordă o importanță deosebită monitorizării mediului și acurateții măsurărilor de radioactivitate și calculelor de doză pentru populație, în conformitate cu cerințele Directivei 2013/59/EURATOM.

Începând din anul 2012, CNE Cernavodă participă activ în cadrul Proiectului Internațional OBT, pentru determinări de tritii legat organic în probe de mediu, având ca scop validarea metodelor de preparare și măsurare OBT în cadrul exercițiilor de intercomparare.

Rezultatele obținute de CNE Cernavodă au întrunit criteriile de acceptare, validând astfel metodele utilizate, pe baza cărora s-a elaborat și implementat un program suplimentar pentru determinări de tritii legat organic.

Programul de monitorizare a radioactivității mediului pentru CNE Cernavodă, extins în anul 2018 cu programul suplimentar de analize OBT, derulat de către Laboratorul de Control Mediu din cadrul Departamentului de Radioprotecție al CNE Cernavodă, stă la baza implementării cât mai exacte a standardului canadian CAN-CSA N288.1-20, astfel încât calculul dozelor pentru populație să se efectueze cu acuratețe mai mare față de modelele existente care supraestimează conservativ rezultatele evaluării.

Studiul derulat pe parcursul desfășurării tezei de doctorat, a contribuit la dezvoltarea programul de determinări OBT, prin testarea a noi matrici de probe de mediu, îmbunătățirea metodei de preparare prin combustie și de măsurare a concentrațiilor OBT, calculul rapoartelor concentrațiilor OBT/HTO în probe de mediu proaspete și prin calculul contribuției concentrației OBT la doza anuală pentru o persoană reprezentativă din populația orașului Cernavodă, deschizând noi oportunități de dezvoltare pentru programul de monitorizare a radioactivității mediului la CNE Cernavodă.

CONTRIBUȚII ORIGINALE

Studiul temei de cercetare “Contribuții la evaluarea distribuției de tritii în jurul centralelor nucleare-electrice de tip CANDU”, desfășurat în perioada de Doctorat, 2021 – 2025, a adus o contribuție importantă la dezvoltarea programului de monitorizare a radioactivității mediului pentru CNE Cernavodă și la cunoașterea în profunzime a formei de tritii legat organic în probele de mediu, din zona de influență a CNE Cernavodă, despre care nu se regăsesc studii de cercetare aprofundate din timpul funcționării acesteia.

În continuare sunt prezentate rezultate finale originale și beneficiile obținute în studiul expus în cadrul prezentei teze de Doctorat:

1. Alegerea matricilor de probe de mediu, prepararea și caracterizarea acestora în ceea ce privește concentrația HTO și OBT, în cadrul unui program suplimentar OBT;
2. Determinarea nivelurilor de tritii legat organic (OBT) în probe de mediu pe o perioadă de 4 ani, evaluând atât variațiile în timp, cât și variațiile pe tipuri de probe;
3. Determinarea concentrațiilor OBT în unitățile de măsură cunoscute anterior – Bq/L apă de combustie și Bq/kg probă uscată, precum și în transpunerea concentrațiilor OBT la proba proaspătă (Bq/kg probă proaspătă) – partea comestibilă ingerată de o persoană reprezentativă din populație;
4. Determinarea contribuției procentuale a concentrațiilor OBT și a rapoartelor concentrației OBT/ HTO în diferite tipuri de probe de mediu;
5. Validarea metodei de determinare a concentrației OBT din probe de mediu, care a permis includerea acesteia în Certificatul de Desemnare CNCAN a Laboratorului de Control Mediu, ca Laborator de Încercări, conform Ordinului CNCAN nr. 237/ 2019 “Norme privind procedura de desemnare a laboratoarelor pentru domeniul nuclear” și în acord cu cerințele standardului SR EN ISO/IEC 17025:2018 “Cerințe generale pentru competența laboratoarelor de încercări și etalonări”;
6. Compararea rezultatelor obținute prin monitorizarea nivelurilor HTO și OBT la CNE Cernavodă față de alte centrale de tip CANDU din Canada, similare în ceea ce privește eliberările anuale de H-3 în aer și în apă; precum și compararea cu rezultatele independente ale autorităților cu responsabilități în monitorizarea mediului înconjurător, care demonstrează veridicitatea rezultatelor obținute de CNE Cernavodă, demonstrând în același timp faptul că influența emisiilor de la centrală în mediul înconjurător este

nesemnificativă, iar dozele suplimentare astfel calculate se situează mult sub limita de doză admisă pentru o persoană reprezentativă din populație – 1 mSv pe an (limita de doză efectivă pentru expunerea publicului, excluzând valorile fondului natural);

7. Demararea unui studiu de determinare a contribuției concentrației OBT la doza pentru o persoană reprezentativă din populație, ceea ce conduce la creșterea gradului de încredere a populației în ceea ce privește preocuparea permanentă a CNE Cernavodă pentru protecția mediului și a populației;
8. Crearea unei baze de date statistice care vor constitui valorile de input în vederea implementării cât mai exacte a standardului canadian CAN-CSA N288.1-20 „Guidelines for modelling radionuclide environmental transport, fate, and exposure associated with the normal operation of nuclear facilities” (Ghid pentru modelarea transportului radionuclizilor în mediu, dispariția lor și expunerea în condiții normale de operare a instalațiilor nucleare), astfel încât calculul dozelor pentru populație să se efectueze cu mai mare acuratețe, bazat pe măsurători din mediu, față de modelele existente care se bazează pe estimări ale concentrațiilor OBT;
9. Evaluarea rezultatelor laboratoarelor participante la exercițiile internaționale de intercomparare OBT pentru matrici de probe de gutui – organizat în anul 2019 și amânat din cauza perioadei de pandemie; evaluarea s-a efectuat conform standardului ISO 13528:2015;
10. Dezvoltarea unei matrici de probe de struguri, caracterizată ca material de referință și organizarea unui studiu în care a fost inclus exercițiul internațional de intercomparare pentru determinări OBT în anul 2024; evaluarea rezultatelor celor 22 laboratoare participante, din România, Canada, Franța, Marea-Britanie, Belgia, Coreea de Sud, Japonia, IAEA Viena, etc., s-a realizat conform noii versiuni a standardului ISO 13528:2022 “Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons” (Metode statistice pentru utilizare în cadrul testării performanțelor prin comparații interlaboratoare);
11. Compararea rezultatelor diferitelor metode și echipamente de preparare și măsurare pentru determinări OBT și studiul dependenței acestor rezultate de diferiți parametri variabili, specifici fiecărei etape de preparare și măsurare;

12. Organizarea la nivelul SNN a evenimentului internațional „The 10th Organically-Bound Tritium Workshop” la București, în perioada 1-3 Aprilie 2025, pentru discutarea rezultatelor exercițiului de intercomparare OBT în probe de struguri, din anul 2024 și continuarea colaborării la nivel internațional în domeniul determinărilor OBT; eveniment ce a reunit membrii Comitetului Științific al Grupului Internațional OBT, reprezentanții laboratoarelor participante la exercițiul OBT, specialiști renumiți în domeniul măsurărilor de H-3, OBT și modelare matematică, precum și reprezentanți ai organelor de reglementare în domeniul nuclear (CNCAN din România, CNSC din Canada, ASNR din Franța, KINS din Coreea de Sud, etc.) și din cercetare (IFIN-HH București, ICSI Râmnicu-Vâlcea, ICN Pitești, CEA din Franța, SCK-CEN din Belgia, Canadian Nuclear Laboratories și Universitatea Ottawa din Canada, GAU Radioanalytical Laboratories și Universitatea Southampton din Marea Britanie, etc.);
13. Studiul stabilității și omogenității materialului de referință de la exercițiul de intercomparare nr. 6, organizat de Laboratorul de Control Mediu al CNE Cernavodă, pentru probe de gutui;
14. Evaluarea distribuției concentrațiilor OBT în mediu înconjurător necesară pentru evaluarea impactului funcționării CNE Cernavodă cu cele 2 Unități, cât și pentru stabilirea “nivelurilor de bază”, necesare pentru rapoartele de mediu solicitate de organismele de reglementare și control;
15. Diseminarea rezultatelor studiilor în cadrul mai multor conferințe:
 - Conferințele Societății Române de Radioprotecție din anii 2022, 2023 și 2024
 - The 13th International Conference on Tritium Science and Technology (TRITIUM2022)
 - The 23rd International Conference on Radionuclide Metrology and its Applications (ICRM 2023)
 - The 19th ALMERA-IAEA Coordination Meeting (2022)
 - The 20th ALMERA-IAEA Coordination Meeting (2023)
 - The 9th Organically Bound Tritium Workshop (2023)
 - The 10th Organically Bound Tritium Workshop (2025)
 - EURACHEM Workshop (2025),precum și prin publicarea articolelor științifice, referențiate în teza de doctorat.

PERSPECTIVE DE VIITOR

Monitorizarea distribuției concentrațiilor de tritii în general și OBT în mod particular în mediul înconjurător este necesară pentru evaluarea impactului funcționării CNE Cernavodă cu cele 2 Unități, cât și pentru stabilirea “nivelurilor de bază”, necesare în vederea demarării proiectelor viitoare de investiții ale SNN-CNE Cernavodă (Retehnologizarea Unității 1, Instalația de detritiere – CTRF, Unitățile 3&4, etc.).

Pentru realizarea cât mai exactă a calculelor de doză și implementarea standardului CAN-CSA N288.1-20 este necesară continuarea evaluării nivelurilor de tritii legat organic (OBT) în zona de posibilă influență a CNE Cernavodă, ceea ce implică monitorizarea probelor de mediu pe un interval de cel puțin 10 ani, așa cum se recomandă și la stabilirea nivelurilor de bază a fondului de radioactivitate înainte de punerea în funcțiune a unei instalații nucleare și în studiile de bilanț de mediu.

Rezultatele obținute prin monitorizarea periodică a tritiului în probele de mediu sunt necesare pentru integrarea în software-urile de modelare matematică a transferului în mediu, care conduc în final la calculul dozei pentru o persoană reprezentativă din populație.

Testarea de noi matrici de probe de mediu (lapte, carne, porumb, alte legume și fructe, etc.) și caracterizarea acestora în vederea utilizării ca materiale de referință pentru determinări OBT în cadrul exercițiilor de intercomparare/ teste de performanță și validarea rezultatelor în cadrul acestor exerciții.

Colaborarea în cadrul proiectelor de cercetare cu diverse institute/ laboratoare (IAEA, CEA și CETAMA din Franța, CONEXUS Nuclear Inc. (fost CANDU Owners Group Inc.), etc.) care dețin acreditarea ca laboratoare de etalonare, în vederea certificării materialelor de referință provenite din probe de mediu din zona Cernavodă și din împrejurimi; cu specialiști în modelare, pentru validarea unor modele de transfer și calcul de doză utilizând valori măsurate ale concentrațiilor OBT în locul celor estimate.

LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE DE AUTORUL TEZEI

1. Simona Zaharov, Alexandru E. Nedelcu, Liliana A. Samson, „*Evaluation of Environmental Tritium Activity Levels and the Impact on the Public Health around Cernavoda Nuclear Power Plant after 25 Years of Operation*”, Fusion Science and Technology, Volume 80 (Issue 3-4), 2023, pp. 576-581, <https://doi.org/10.1080/15361055.2023.2214701>
2. Simona Zaharov, Nicolas Baglan, Alexandru E. Nedelcu, Carmen Varlam, Irina Vagner, “*Interlaboratory comparison exercises for organically-bound tritium in the development of reference materials of environmental samples*”, Applied Radiation and Isotopes, Volume 210, 2024, 111336, ISSN 0969-8043, <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2024.111336>
3. Simona Zaharov, Alexandru E. Nedelcu, Veronica Tudorache, „*Evaluarea nivelurilor de tritii legat organic în probe de mediu din zona Cernavodă, în perioada 2018-2020*”, Volumul Conferinței Naționale a SRRp 2021, Editura ETNA, ISBN 978-973-1985-75-6, pp.95-100.
4. Simona Zaharov, Ștefan Babu, Alexandru E. Nedelcu, “*Dezvoltarea Programului de Monitorizare a Radioactivității Mediului pentru Analize de Tritii Legat Organic (OBT)*”, Volumul Conferinței Naționale a SRRp, 2024, Ediția online nr. 1, ISSN 3061 – 6166, ISSN - L 3061 – 6166, pp. 34-49, <https://srrp.ro/wp-content/uploads/2024/12/Conferinta-Nationala-SRRp-2024-cu-ISSN.pdf>
5. Simona Zaharov, Alexandru E. Nedelcu, Daniel Dupleac, „*Quantifying the organically-bound tritium levels in the environmental samples around the Cernavoda Nuclear Power Plant*”, UPB, Scientific Bulletin, Series B, Chimie și Știința Materialelor – submission 15707/20.11.2024 (“in press”, 2025).
6. Simona Zaharov, Alexandru E. Nedelcu, Daniel Dupleac, „*Evaluation of the Sample Preparation Method for Environmental Reference Matrices suitable for Organically-Bound Tritium Interlaboratory Comparison Exercises*”, Journal of Environmental Radioactivity – submission JENVRAD-D-25-00178 (“in press”, 2025).

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. IAEA-TECDOC-1738, "Transfer of Tritium in the Environment after Accidental Releases from Nuclear Facilities. Report of Working Group 7. Tritium Accidents of EMRAS II Topical Heading Approaches for Assessing Emergency Situations", International Atomic Energy Agency, IAEA, Vienna, 2014
2. S. Popoaca, C. Bucur și V. Simionov, „Determination of ^3H and ^{14}C in Organic Samples After Separation Through Combustion Method”, Journal of Energy and Power engineering, vol. 4, nr. 1, pp. 1687-1694, 2014
3. S.B. Kim, J. Olfert, N. Baglan, N. St-Amant, B. Carter, I. Clarck, C. Bucur, „Canadian inter-laboratory organically bound tritium (OBT) analysis exercise”, Journal of Environmental Radioactivity, vol. 150, nr. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.08.021>, pp. 236-241, 2015
4. A. Melintescu, D. Galeriu, „Uncertainty of current understanding regarding OBT formation in plants”, Journal of Environmental Radioactivity, Volume 167, 2017, Pages 134-149, ISSN 0265-931X, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.11.026>
5. N. Baglan, C. Cossonnet, E. Roche, S.B. Kim, I.W. Croudace, P.E. Warwick, "Feedback of the Third Interlaboratory Exercise Organised on Wheat in the Framework of the OBT Working Group", Journal of Environmental Radioactivity, vol. 181, no. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.09.009>, pp. 52-61, 2018
6. Canadian Standardization Association, „CAN/CSA-N288.1-20 Guidelines for modelling radionuclide environmental transport, fate, and exposure associated with the normal operation of nuclear facilities”, CSA, 2020
7. S. Zaharov and N. Baglan, "OBT International Group. 6th Inter-laboratory Exercise Report", SNN-Cernavoda NPP, Romania; CEA France, 2020
8. S. Zaharov, A.E. Nedelcu, V. Tudorache, „Evaluarea nivelurilor de tritii legat organic în probe de mediu din zona Cernavodă, în perioada 2018-2020”, Volumul Conferinței Naționale a SRRp 2021, Editura ETNA, ISBN 978-973-1985-75-6, pp.95-100, 2021
9. Canadian Nuclear Safety Commission, „Canadian National Report for Convention on Nuclear Safety, Ninth Report”, CNSC, August 2022
10. S. Zaharov, A.E. Nedelcu și L.A. Samson, „Evaluation of Environmental Tritium Activity Levels and the Impact on the Public Health around Cernavoda Nuclear Power Plant after 25 Years of Operation”, Fusion Science and Technology, vol. 80, pp. 576-581, 2023
11. S.N. Nuclearelectrica S.A.-CNE Cernavodă, „Raport de monitorizare a radioactivității mediului la CNE Cernavodă, în perioada 1996 - 2023”, 2024
12. S. Zaharov, N. Baglan, A.E. Nedelcu, C. Varlam, I. Vagner, „Interlaboratory comparison exercises for organically-bound tritium in the development of reference materials of environmental samples”, Applied Radiation and Isotopes, vol. 210 (2024) 111336, pp. 1-6, 8 May 2024
13. S. Zaharov, Ș. Babu, A.E. Nedelcu, “Dezvoltarea Programului de Monitorizare a Radioactivității Mediului pentru Analize de Tritii Legat Organic (OBT)”, Volumul Conferinței Naționale a SRRp, 2024, Ediția online nr. 1, ISSN 3061 – 6166, ISSN - L 3061 – 6166, pp. 34-49, <https://srrp.ro/wp-content/uploads/2024/12/Conferinta-Nationala-SRRp-2024-cu-ISSN.pdf>
14. S. Zaharov and N. Baglan, "OBT International Group. 7th Inter-laboratory Comparison Exercise Report", SNN-Cernavoda NPP, Romania; CEA France, 2025
15. S. Zaharov, A.E. Nedelcu, D. Dupleac, „Quantifying the organically-bound tritium levels in the environmental samples around the Cernavoda Nuclear Power Plant”, UPB, Scientific Bulletin, Series B, Chimie și Știința Materialelor – submission 15707/20.11.2024 (“in press”, 2025)
16. S. Zaharov, A.E. Nedelcu, D. Dupleac, „Evaluation of the Sample Preparation Method for Environmental Reference Matrices suitable for Organically-Bound Tritium Interlaboratory Comparison Exercises”, Journal of Environmental Radioactivity – submission JENVRAD-D-25-00178 (“in press”, 2025)