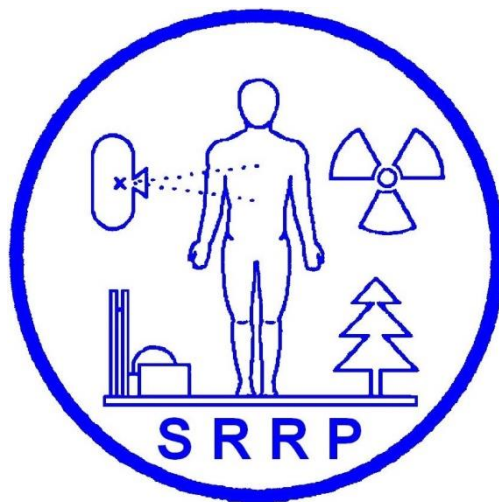




SOCIETATEA ROMÂNĂ DE RADIOPROTECȚIE

**CONFERINȚA NAȚIONALĂ A SOCIETĂȚII
ROMÂNE DE RADIOPROTECȚIE –**

(SRRp_2021) cu tema:

***Noi concepte, reglementării și evaluări în domeniul
protecției radiologice în practicile actuale***

Masa Rotundă:

***Planificarea și pregătirea răspunsului la urgența
nucleară în România după accidentul de la Fukushima***

**- P R O G R A M -
- L U C R Ă R I S E L E C T A T E -**

Vineri 22 octombrie 2021, *on – line* , orele 08:00 - 17:00

Editura ETNA

© SRRp

Comitetul de Program pentru Conferința Națională a SRRp:

**Dr. fiz. Constantin MILU
Dr. ing. Mirela Angela SAIZU
Dr. ing. Ruxandra SĂPOI
Dr. fiz. Nicolae Mihail MOCANU
Dr. biol. Ion CHIOSILĂ
Dr. fiz. Margareta CHERESTEȘ
Dr. fiz. Maria SAHAGIA
Dr. Felicia-Steliana POPESCU**

Tehnoredactarea volumului cu lucrările Conferinței Naționale:

Dr. fiz. Nicolae Mihail MOCANU

**La organizarea Conferinței Naționale a SRRp au contribuit și ceilalți membri ai
Comitetului de Conducere al Societății Române de Radioprotecție**



**Editare Tehnoredactare Publicitate Difuzare
București, str. Anton Pann 18A, sector 3, cod 030796, Tel: 0727 317800
www.etna.ro ; <https://www.facebook.com/EdituraEtna/>**

**Editura ETNA, înființată în anul 2001, este acreditată de CNCSIS la poziția 241
și de Colegiul Național al Medicilor din România.**

Este afiliată la:

- **Societatea Editorilor din România, membru fondator al Federației Editorilor și Difuzorilor de Carte din România (FEDCR),**
- **Asociația Internațională a Editorilor (IPA), cu sediul la Geneva.**

**Oferim redactori de specialitate, informații și sprijin privind realizarea cărților
medicale, ajutor pentru prezentarea lucrărilor în ziare și reviste, distribuția în librării,
la congrese și conferințe, târguri de carte.**

Răspunderea privind conținutul științific aparține autorilor.

Nici-o parte a acestui volum nu poate fi copiată fără acordul scris al autorilor.

Responsabil din partea Editurii ETNA: Dr. Ioana SOARE

ISBN 978-973-1985-75-6

© SRRp - 2021



**SOCIETATEA ROMÂNĂ DE
RADIOPROTECȚIE**
www.srrp.ro



Societatea Română de Radioprotecție (SRRp) este o asociație profesională a specialiștilor români în protecția împotriva radiațiilor ionizante, o organizație apolitică, nonprofit și nonguvernamentală. A fost fondată acum 31 de ani, în luna Mai 1990, este membră a Asociației Internaționale de Protecție Radiologică (IRPA) din 1992 și a aderat în anul 2000 la Asocierea Societăților IRPA din Europa. La 1 ianuarie 2021 SRRp număra 70 membri activi, medici, fizicieni, ingineri, chimiști și biologi din întreaga țară.

IRPA include în acest moment 53 societăți asociate din 68 țări și peste 18000 membrii

Vă mulțumim pentru că sunteți alături de noi în Spațiul Virtual.

Milu Constantin

Președinte SRRp

Informații privind programul conferinței pe:

www.srrp.ro

– PROGRAM / CUPRINS –

Interval orar /			Pag.
08:00 – 09:00		Înregistrarea participanților on-line	
09:00 – 09:15		Cuvânt de Bun Venit <i>Președintele SRRp, C. MILU</i>	
09:15 – 11:00		Secțiunea I: - Noi concepte și reglementări în domeniul protecției radiologice în practicile actuale <i>Moderatori: Maria SAHAGIA, A. COROIANU</i>	8
	1	Provocări aduse de noile Norme de Dozimetrie Individuală și Radon în expunerea profesională <i>Ruxandra SĂPOI, Margareta CHERESTEȘ, Alexandra NACU</i>	8
	2	Noi abordări ale ICRP privind aplicarea mărimilor dozimetrice în protecția radiologică <i>Mirela SAIZU</i>	14
	3	Aspecte privind aplicarea principiilor etice în domeniul protecției radiologice, prezentate în Codul de Etică al IRPA și în documentele recente ale ICRP <i>Maria SAHAGIA</i>	19
	4	Concepte actuale privind corelații între doză și modificări patologice radioinduse la nivelul cristalinului pentru personalul expus profesional <i>I. OSWALD, Margareta CHERESTEȘ, D. IANCU, Eva TODORUT, S. Haidu, Mihaela Cristiana COROI, Ioana TECSI</i>	26
	5	Noi concepte și limite introduse de Recomandările ICNIRP 2020 privind expunerea la câmpuri electromagnetice de radiofrecvență <i>C. GOICEANU, R. DĂNULESCU, Eugenia DĂNULESCU</i>	31
	6	Stadiul actual și perspectivele implementării în România ale sistemelor informatice pentru suport în luarea deciziei în situații de urgență nucleară <i>A.O. PAVELESCU, V.T. ACASANDREI, B.I. VAMANU, P. MIN</i>	37
	7	Noi reglementări în domeniul protecției radiologice în expunerea lucrătorilor din sectorul medical în Republica Moldova <i>Liuba COREȚCHI, Alexandra COJOCARI, V. ȘARGU, Aurelia ABABII</i>	47
	8	Dozimetria biologică a personalului expus profesional și	54

		accidental la surse de radiații ionizante ca parte componentă a protecției radiologice <i>Liuba COREȚCHI, Mariana GÎNCU, Angela CĂPĂȚÎNĂ, Aurelia ABABII, Irina-Anca POPESCU</i>	
	9	Tânărul absolvent. De la amfiteatru la o profesie în domeniul protecției radiologice <i>Alexandra NACU</i>	65
11:00–11:15		PAUZA DE CAFEA	
11:15 – 13:00		<u>Secțiunea II - Evaluări în domeniul protecției radiologice în practicile actuale</u> <i>Moderatori: Mirela SAIZU, I. CHIOSILĂ</i>	69
	10	Realizări recente ale Laboratorului de Dozimetrie Individuală în susținerea Programului de Dozimetrie și a Programului de Monitorizare a efluenților radioactivi lichizi și gazoși la CNE Cernavodă <i>D.- F. ALBU, A.- E. NEDELUCU, Liliana Aurelia SAMSON, Cătălina CHITU, V.- G. TOBOȘARU</i>	69
	11	Noi preocupări privind caracterizarea surselor de radiații gamma pentru optimizarea expunerii personalului și optimizarea managementului deșeurilor radioactive <i>V.-G. TOBOȘARU, A.-E. NEDELUCU, Liliana SAMSON, Cătălina CHITU, A. STAFIE</i>	79
	12	Noutăți privind monitorizarea echivalentului de doză la nivelul cristalinului, Hp(3) la CNE Cernavodă <i>Catalina CHITU, A.- E. Nedelcu, Liliana Aurelia SAMSON, D.- F ALBU, Georgeta THIERY</i>	88
	13	Evaluarea nivelurilor de tritii legat organic în probe de mediu din zona Cernavodă, în perioada 2018 -2020 <i>Simona ZAHAROV, A.- E. NEDELUCU, Veronica TUDORACHE</i>	95
	14	Evaluarea impactului radiologic al emisiilor de Gaze Nobile de la CNE Cernavodă <i>Liliana SAMSON; A. NEDELUCU, V. TOBOȘARU</i>	101
	15	Proiectul de re tehnologizare a Unității 1 de la CNE Cernavodă. Aspecte specifice privind gestionarea deșeurilor radioactive și protecția radiologică <i>I. POPESCU, D. DUMITRESCU, V. SIMIONOV</i>	113
	16	Studiu statistic recent privind expunerea profesională la radiații ionizante a personalului laboratorului de radioterapie cu energii înalte <i>Carmen Mariana HĂRDUȚ, Edina Morvay SZABO, Elisabeta PĂTCĂȘ, E.-V. MACOCIAN, Sanda Monica FILIP, Monica TODERAȘ</i>	120

	17	Evaluarea câmpurilor de radiații ionizante la experimente cu laseri de mare putere <i>I. O. MITU, I. AVRAM, M. COICIU, F. NEGOIȚĂ</i>	128
	18	Studiu comparativ al debitelor de doză potențial încasate de lucrătorii implicați în decontaminarea celulelor fierbinți ale unui Reactor Nuclear de Cercetare de tip VVR-S aflat în dezafectare <i>Carmen TUCA</i>	136
13:00–14:00		PAUZA DE PRÂNZ	
14:00-16:00		<u>Secțiunea III - MASĂ ROTUNDĂ: Planificarea și pregătirea răspunsului la urgența nucleară în România, după accidentul de la Fukushima</u> <i>Moderatori: Veronica ANDREI, P. Min și A. NEDELUCU</i> - DISCUȚII GENERALE	145
	19	SRRp – partener de încredere privind comunicarea riscurilor radiologice, pledoarie în acord cu preocupările internaționale actuale în domeniul protecției radiologice <i>Veronica ANDREI, Ruxandra SĂPOI, I. Chiosilă</i>	145
	20	Transpunerea și implementarea standardelor internaționale EPR în legislația românească după Fukushima; Sistemul de informare și comunicare publică pentru situații de urgență nucleară și radiologică din România, percepții și provocări <i>P. MIN</i>	152
	21	Actualizarea Planului de Urgență la CNE Cernavodă pentru transpunerea modificărilor legislative, cerințelor organismului de reglementare, noilor standarde și bune practici <i>A. NEDELUCU</i>	157
16:00 -17:00		<u>Secțiunea IV - ADUNAREA GENERALĂ A MEMBRILOR SRRp</u> <i>Moderatori: C. MILU, Mirela Angela SAIZU</i>	
		Informări de interes general – Discuții. <i>C. MILU, Mirela Angela SAIZU</i>	
News from IRPA		Selected parts from IRPA Bulletin 29	159
		IRPA Perspective on "Reasonableness" in the Optimisation of Radiation Protection	170
—		Imagini obținute prin programul <i>Microsoft Teams</i> din timpul Conferinței Naționale SRRp – 2021, on-line.	179 - 184

- L U C R Ă R I S E L E C T A T E -

SECȚIUNEA I: - NOI CONCEPTE ȘI REGLEMENTĂRI ÎN DOMENIUL PROTECȚIEI RADIOLOGICE ÎN PRACTICILE ACTUALE

MODERATORI: MARIA SAHAGIA, A. COROIANU

”Provocări aduse de noile Norme de Dozimetrie Individuală și Radon în expunerea profesională”

Ruxandra Săpoi (ruxandra.sapoi@dositracker.com)¹, Margareta Cheresteș², Alexandra Nacu¹

¹DOSITRACKER, Laboratorul de Măsurători de Mediu, Măgurele, România

²RODOS LABORATORIES, Laboratorul de Dozimetrie Individuală, Măgurele, România

Rezumat

Prin prezenta lucrare ne propunem să realizăm o sinteză a noutăților aduse de Normele de Dozimetrie Individuală și Radon, aprobate prin Ordinul Președintelui CNCAN nr. 180/2020 și publicate în Monitorul Oficial al României, nr. 1225 bis din 14.12.2020.

Introducerea acestor noi concepte a fost necesară din punctul de vedere al armonizării procedurilor de monitorizare dozimetrică la nivel European, iar scopul adoptării lor este acela de a îmbunătăți procesul de monitorizare dozimetrică individuală a lucrătorilor expuși, pentru asigurarea unui cadru de monitorizare dozimetrică transparent și relevant, care îndeplinește cerințele internaționale. Aceste concepte vor fi analizate prin prisma utilității lor și a provocărilor pe care le vor genera în rândul părților implicate, pentru evidențierea atât a avantajelor cât și a dificultăților aduse de implementarea acestor noi concepte.

1. Introducere

Până în decembrie 2020, ”Normele de dozimetrie individuală -NSR 06” cuprindeau cerințele referitoare la dozimetria individuală, sistemele dozimetrice și cerințele privind desemnarea organismelor de dozimetrie individuală acreditate [1]. În decursul celor 18 ani de la publicarea Normelor de Dozimetrie Individuală – NSR 06 (octombrie 2002) și până la abrogarea acestora prin publicarea Normelor de Dozimetrie Individuală și Radon (decembrie 2020), sistemele dozimetrice utilizate în monitorizarea dozimetrică individuală au evoluat, au apărut sisteme dozimetrice noi, au fost publicate o serie de recomandări europene și internaționale, au fost reînnoite standarde referitoare la cerințele ce trebuie îndeplinite de sistemele dozimetrice, de câmpurile de radiații de referință pentru testarea sistemelor de dozimetrie.

Dintre standardele de referință în domeniul dozimetriei modificate în această perioadă enumerăm mai jos câteva dintre acestea:

- ISO 14146:2018 - Criteria and performance limits for the periodic evaluation of dosimetry services
- familia de standarde ISO 4037:2019 - X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy
- ISO 11929:2019, Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the coverage interval) for measurements of ionizing radiation
- ISO 62387:2020 - Dosimetry systems with integrating passive detectors for individual, workplace and environmental monitoring of photon and beta radiation

Nu în ultimul rând, standardul ISO 17025:2018 - Cerințe generale pentru competența laboratoarelor de încercare/etalonare a fost modificat substanțial, prin introducerea unor cerințe noi (cum ar fi cele legate de acțiunile pentru tratarea riscurilor și oportunităților) sau accentuarea unor cerințe existente (cum ar fi imparțialitate, independență, confidențialitate).

De reținut că înregistrările de doză sunt considerate informații personale confidențiale și trebuie să fie puse la dispoziție doar unui număr restrâns de părți implicate și anume întreprinderii, autorităților competente, lucrătorului expus și serviciului de medicina muncii. Circulația informațiilor referitoare la înregistrările de doză, ca și a altor informații personale (de exemplu, date din cartea de identitate sau din pașaport) trebuie să îndeplinească cerințele legale privind protecția datelor personal și trebuie tratate conform Regulamentului (UE) 2016/679 al Parlamentului European și al Consiliului, privind protecția persoanelor fizice în ceea ce privește prelucrarea datelor cu caracter personal (GDPR).

Printre publicațiile ICRP și ale Comisiei Europene ale căror recomandări au fost incluse atât în Directiva 2013/59/EURATOM [2] cât și în noile norme din domeniul nuclear amintim următoarele:

- ICRP 103 "The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", International Commission on Radiation Protection, 2007.
- ICRP 115 "Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon" International Commission on Radiation Protection, 2010.
- ICRP 118 "ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context", International Commission on Radiation Protection, 2012.
- Radiation Protection RP160 "Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation, European Commission, 2009.
- Radiation Protection RP188 "Technical Recommendations for Monitoring Individuals for Occupational Intakes of Radionuclides"
- Radiation Protection RP193 – Radon in Workplaces [4].

Pentru implementarea cerințelor Directivei 2013/59/EURATOM în legislația din România, în iunie 2018 au fost publicate "Normele privind cerințele de bază și de securitate radiologică" [3], iar în ceea ce privește dozimetria individuală și monitorizarea dozimetrică individuală, aceste norme au fost completate cu "Normele privind estimarea dozelor efective și a dozelor echivalente datorate expunerii interne și externe" [4] în iulie 2018 și a "Normelor de dozimetrie individuală și radon" [5] în decembrie 2020.

Conceptele noi introduse de Normele de Dozimetrie Individuală și Radon sunt următoarele:

- **Responsabilitățile părților implicate în procesul de monitorizare dozimetrică** – atribuirea clară a responsabilităților în procesul de monitorizare dozimetrică individuală și definirea principalelor părți implicate în monitorizarea și evaluarea expunerii
- **Serviciul de Înregistrare a Dozelor** – o nouă parte implicată în procesul de monitorizare dozimetrică individuală
- **Doza noțională** – valoarea de doză de doză atribuită unui lucrător care și-a pierdut sau deteriorat dozimetrul individual
- **Expunerea la radon a lucrătorilor expuși și doza din expunerea la radon** este luată în calcul. Trebuie evaluat riscul ca un lucrător să primească 6 mSv din expunerea la radon. În cazul în care există riscul ca un lucrător să primească 6 mSv din expunerea la radon, atunci situația de expunere existentă trece în situație de expunere planificată și se aplică cerințele referitoare la expunerea planificată.

Aceste subiecte vor fi tratate punctual, pentru evidențierea utilității lor și a provocărilor pe care le vor genera în procesul de implementare.

2. Responsabilitățile părților implicate în procesul de monitorizare dozimetrică

2.1. Necesitatea atribuirii clare a responsabilităților părților principale implicate în evaluarea expunerii

Până la publicarea "Normelor de Dozimetrie Individuală și Radon" doar 2 părți implicate în procesul de monitorizare dozimetrică aveau definite responsabilități:

- Întreprinderea / Titularul de autorizație
- Serviciul de dozimetrie

"Normele de Dozimetrie Individuală și Radon" definesc în mod clar responsabilități pentru 6 părți implicate:

- Întreprindere
- Serviciul de dozimetrie
- **Serviciul de Înregistrare a Dozelor**
- **Lucrători**
- Expertul în protecție radiologică
- Serviciul de medicina muncii

Noutatea acestor norme ce ajută persoanele responsabile cu protecția radiologică să gestioneze mai ușor procesul de monitorizare dozimetrică în special cadrul instituțiilor cu mulți lucrători expuși este dată de introducerea serviciului de înregistrare a dozelor și a lucrătorilor ce preiau o bună parte din responsabilități: Serviciul de Înregistrare a dozelor poate prelua responsabilitatea de menținere a înregistrărilor de doză pentru fiecare lucrător expus, în baza unui acord între întreprindere și serviciu, iar lucrătorii sunt direct responsabili pentru purtarea dozimetrului și purtarea corectă a acestuia.

Este foarte important ca lucrătorii expuși să cunoască responsabilitățile care le revin în procesul de monitorizare dozimetrică, cum ar fi purtarea corectă a dozimetrului și returnarea acestuia la timp pentru asigurarea acurateței rezultatelor dozimetrice.

2.2. Provoacări în atribuirea responsabilităților

Este posibil ca delegarea responsabilității referitoare la păstrarea înregistrărilor de doză către Serviciile de Înregistrare a Dozelor să fie dificil de pus în aplicare, în special în cazul instituțiilor medicale publice, din cauza bugetelor mici pe care acestea le au la dispoziție.

În schimb, delegarea responsabilităților către lucrători poate fi pusă în aplicare fără costuri suplimentare, prin informarea și instruirea acestora. În conformitate cu ”Normele de Dozimetrie Individuală și Radon”, lucrătorii au următoarele **responsabilități**:

- Să îndeplinească toate cerințele referitoare la monitorizarea individuală aplicabile și procedurile specifice de protecție și securitate radiologică impuse de către întreprindere;
- să coopereze cu întreprinderea în asigurarea protecției și securității, cu serviciile de medicina muncii și cu serviciile de dozimetrie individuală;
- să aibă grijă de dozimetrul individual, să-l utilizeze corect și să-l returneze la intervale regulate întreprinderii, în vederea evaluării dozei;
- să aibă cunoștință de valorile dozelor primite și să coreleze rezultatele dozimetrice cu activitatea desfășurată, îndeosebi în situația în care lucrează la mai mulți angajatori și este monitorizat de mai multe servicii de dozimetrie individuală, pentru a evita depășirea limitelor de doză.

3. Serviciul de înregistrare a dozelor

3.1. Necesitatea introducerii unei noi părți implicate în procesul de monitorizare dozimetrică individuală

Întreprinderea este partea care deține responsabilitatea principală în ceea ce privește menținerea înregistrărilor expunerii profesionale a fiecărui lucrător. Autorizarea unui serviciu de înregistrare a dozelor vine astfel în întâmpinarea nevoii întreprinderii de a păstra și gestiona rezultatele monitorizării dozimetrice, asigurând protecția, securitatea și confidențialitatea datelor, cu respectarea cerințelor GDPR.

Întreprinderile care nu au capacitatea de a menține înregistrările de doză ale lucrătorilor expuși, în condițiile cerute de autoritatea de reglementare (păstrarea înregistrărilor datelor referitoare la expunerea profesională a fiecărui lucrător, atât pe perioada cât activează ca lucrător cât și după aceasta, cel puțin până atinge vârsta de 75 de ani, dar nu mai puțin de 30 de ani după încetarea activității ca lucrător expus profesional) pot avea înțelegeri contractuale cu un serviciu pentru înregistrarea dozelor, autorizat de către Comisia Națională pentru Controlul Activităților Nucleare (CNCAN).

Serviciul de înregistrare a dozelor va păstra, în numele întreprinderii, înregistrările de doză pentru lucrători, dând lucrătorilor posibilitatea de a obține informații privind înregistrările dozelor primite din expunerea sa profesională. Sunt soluționate astfel problemele legate de eliberarea istoricului de doze necesar în cazuri precum întocmirea dosarului de pensionare, istoricul dozelor în situații de expunere accidentală sau anormală etc.

Până în prezent, în astfel de cazuri, întreprinderea solicita laboratorului de dozimetrie cu care avea încheiat contract de monitorizare sau Comisiei Naționale pentru Controlul Activităților Nucleare eliberarea unui document din care să reiasă informațiile relevante cu privire la expunerea la radiații ionizante la locul de muncă al lucrătorului expus. În ambele situații însă, nu se putea obține imaginea de ansamblu a expunerii profesionale. Laboratorul putea să genereze un document în care se regăseau doar dozele evaluate pe perioada contractului, fără să acopere informații cu privire la supravegherea medicală, istoricul de doze de la intrarea în mediu cu radiații ionizante sau situațiile unor angajări multiple – frecvent întâlnite în domeniul medical.

Exemple:

- O persoană lucrează simultan în 3 locuri de muncă, fiind monitorizată de 3 laboratoare diferite.
- O întreprindere semnează 3 contracte de monitorizare cu 3 laboratoare, fiecare laborator oferind servicii pentru o anumită componentă a procesului de monitorizare: whole body / cristalin / extremități.

Serviciile de înregistrare a dozelor ar reprezenta astfel un punct central de colectare și menținere a dozelor generate de furnizorii de servicii de dozimetrie, fiind capabil să raporteze dozele provenite din diverse tipuri de monitorizare (la nivelul întregului organism, la cristalin și la extremități), dozele care provin din angajările multiple și dozele care provin din expunerea externă și expunerea internă.

În baza acordului încheiat între întreprindere și serviciul de înregistrare a dozelor, lucrătorul expus, expertul în protecție radiologică, responsabilul cu protecția radiologică vor avea acces la înregistrările de doză ținute de serviciul de înregistrare a dozelor, pe bază de user name și parolă și vor vizualiza cu ușurință datele dozimetrice, în condiții de asigurare a confidențialității și protecției datelor.

3.2. Autorizarea Serviciului de înregistrare a dozelor

Pentru autorizarea unui serviciu de înregistrare a dozelor sunt formulate cerințe specifice de desemnare, formulate în art. 54 din Normele de Dozimetrie Individuală și Radon. Obligațiile serviciilor de înregistrare a dozelor sunt:

- protejarea înregistrărilor individuale de doză împotriva pierderii accidentale, distrugerii și modificării neautorizate, cel puțin până s-ar atinge vârsta de 75 de ani pentru lucrătorul expus și pentru nu mai puțin de 30 de ani după încetarea activității ca lucrător expus profesional
- securizarea sistemului de înregistrare și păstrare împotriva copierii neautorizate
- asigurarea pe termen lung a datelor înregistrate și a transferului datelor către Registrul Național de Doze.

3.3. Provoacări în implementarea conceptului de Serviciu de înregistrare a dozelor

Rămâne de văzut dacă serviciile de dozimetrie, acum exonerate de responsabilitățile de gestionare a datelor dozimetrice vor opta sau nu pentru obținerea certificării ca serviciu de înregistrare a dozelor.

Deoarece resursele financiare ale întreprinderilor titulare de autorizație (în special în domeniul medical) sunt reduse, doar timpul va spune dacă va exista interes în rândul întreprinderilor pentru contractarea serviciilor de înregistrare a dozelor pentru păstrarea și gestiunea datelor dozimetrice conform cerințelor GDPR, pentru perioadele de timp specificate de autoritatea de reglementare.

4. Doza Noțională

4.1. Generalități

În cazul pierderii sau deteriorării dozimetrului, serviciul de dozimetrie trebuie să atribuie lucrătorului expus o doză noțională. Aceasta doză noțională se consideră a fi partea corespunzătoare intervalului de monitorizare, din valoarea limitei anuale a dozei respective. În tabelul nr. 1 sunt prezentate valorile de limită de doză și de doză noțională ce trebuie raportate de serviciile de dozimetrie.

Tabelul nr. 1 Valorile de limită de doză și doză noțională

Tip monitorizare	Limită de doză	Doză noțională
Whole body	20,00 mSv	1,67 mSv/lună
Extremități	500,00 mSv	41,67 mSv/lună
Cristalin	20,00 mSv	1,67 mSv/lună

În cazul în care lucrătorul expus pierde sau deteriorează dozimetrul individual, această situație trebuie comunicată atât serviciului de dozimetrie individuală cât și către CNCAN.

După primirea înștiințării, serviciul de dozimetrie atribuie valoarea dozei noționale corespunzătoare tipului de monitorizare, specificând pe buletinul dozimetric faptul că valoarea înregistrată nu este evaluată prin măsurare ci este atribuită, ca urmare a pierderii sau deteriorării dozimetrului individual.

Un expert în protecție radiologică va evalua teoretic expunerea lucrătorului, pe baza activității acestuia și va comunica rezultatul serviciului de dozimetrie și CNCAN, pentru înregistrarea dozei evaluate în locul dozei noționale.

4.2. Provoacări în raportarea dozelor noționale

Raportarea dozelor noționale pentru dozimetrele pierdute sau deteriorate este un concept bine venit ce contribuie la conștientizarea lucrătorilor și a reprezentanților întreprinderilor cu privire la faptul că **trebuie să existe înregistrări de doză pentru toți lucrătorii expuși**.

Cu toate acestea, dacă dozele noționale nu sunt raportate și gestionate corect în Bazele de date ale Serviciilor de Dozimetrie sau în Registrul Național de Doze, există riscul ca acestea să aibă un impact negativ asupra rezultatelor studiilor epidemiologice cu privire la expunerea ocupațională, precum European Study on Occupational Radiation Exposure (ESOREX).

5. Expunerea la radon la locul de muncă a lucrătorilor expuși

5.1. Generalități

Capitolul 7 din Normele de Dozimetrie Individuală și Radon este dedicat în întregime expunerii la radon a lucrătorilor expuși. Normele stabilesc o abordare graduală a expunerii la radon la locul de muncă, în baza dozei evaluate de serviciul de dozimetrie, astfel:

- Pentru un loc de muncă în care doza efectivă din expunerea la radon este mai mică de 1mSv/an, nu se impune luarea de măsuri de remediere, iar situația de expunere rămâne situație de expunere existentă.
- Pentru locurile de muncă unde doza efectivă este mai mare de 1 mSv dar mai mică de 6 mSv, trebuie efectuată o notificare către CNCAN, iar situația de expunere rămâne situație de expunere existentă.
- Când doza efectivă din expunerea la radon depășește 6 mSv, situația de expunere este considerată situație de expunere planificată și se aplică cerințele relevante specifice acestora: identificarea lucrătorilor expuși, încadrarea acestora în categoria de expus profesional, informarea acestora asupra riscului datorat expunerii la radon, monitorizarea dozei, înregistrarea dozei și supravegherea medicală.

De asemenea, în art. 63 se stipulează că în cazul locurilor de muncă pentru care doza efectivă anuală este mai mare de 6 mSv atunci întreprinderea trebuie să întocmească un program de măsuri necesare pentru reducerea cât mai mult posibil a concentrației de radon ca medie anuală, amplasarea măsurilor fiind stabilită gradual, în funcție de mărimea concentrației de radon prezentă la locurile de muncă.

Monitorizarea concentrației activității de radon este realizată de laboratoare desemnate de CNCAN și se face conform Metodologiei de determinare a concentrației activității de radon în aerul din interior, publicată în august 2019. Laboratorul desemnat pentru măsurători de concentrație a activității de radon eliberează un buletin de măsurare pe care-l transmite întreprinderii și notifică CNCAN despre locurile în care valoarea concentrației de radon depășește nivelul de referință de 300 Bq/m³.

Serviciul de dozimetrie autorizat pentru acest tip de evaluare notifică CNCAN asupra situațiilor în care valoarea dozei efective din expunerea la radon la locul de muncă depășește 6 mSv.

5.2. Doza efectivă din expunerea la radon

Doza efectivă din expunerea la radon se calculează folosind una din metodele stabilite prin Normele de Dozimetrie Individuală și Radon:

- Măsurarea concentrației activității de radon la locul de muncă, ca valoare medie anuală;
- Măsurarea concentrației activității de radon la locul de muncă, ca valoare medie calculată în timpul programului de lucru;
- Determinarea dozei efective ca urmare a purtării unor dozimetre individuale de radon;
- Determinarea dozei efective prin măsurări in vivo și in vitro.

Determinarea dozei efective pornind de la concentrația activității de radon la locul de muncă presupune utilizarea coeficientului de doză recomandat de ICRP Publicația 137. Un astfel de exemplu este prezentat în cele ce urmează.

Exemplu: pentru un loc de muncă în care concentrația medie anuală a activității de radon este egală cu nivelul de referință de 300 Bq/m³ un lucrător expus care petrece la locul de muncă un număr de 2000 de ore pe an va primi o doză efectivă din expunerea la radon de 4 mSv/an, luând în calcul coeficientul de doză de 3 mSv per mJ h m⁻³ care corespunde unui factor de $6,7 \cdot 10^{-6}$ mSv per Bq h m⁻³ pentru un factor de echilibru F = 0,4. Criteriul de decizie de 6 mSv pe an corespunde unei concentrații a activității de radon de 450 Bq/m³.

Un caz aparte îl constituie acele locuri de muncă în care este desfășurată o activitate fizică substanțială, caz în care concentrația de 300 Bq/m³ corespunde unei doze efective anuale de 8 mSv, deoarece coeficientul de doză din ICRP137 este dublu: 6 mSv per mJ h m⁻³; în situația în care la locul de muncă se desfășoară o activitate fizică substanțială, 6 mSv corespund unei concentrații de radon de 225 Bq/m³, pentru un timp de lucru efectiv de 2000 ore/an.

5.3. Recomandări europene cu privire la radonul la locul de muncă

Documentul Comisiei Europene Radiation Protection Nr. 193 "Radon in workplaces" publicat în 2020 aduce laolaltă cerințele Directivei 2013/59/EURATOM și cerințele IAEA GSR Part 3 și reprezintă un ghid de implementare a cerințelor referitoare la expunerea la radon. În evaluarea expunerii la radon, factorul de ocupare are o importanță deosebită, iar recomandarea EC RP 193 este ca locurile de muncă în care este de așteptat un factor de ocupare mai mare de 100 de ore pe an să fie incluse în evaluările expunerii la radon a lucrătorilor. Prin documentul EC RP193, Comisia Europeană recomandă o strategie de comunicare care să utilizeze campanii adresate în mod *specific* părților interesate.

Un alt document important care tratează subiectul expunerii la radon la locul de muncă este documentul Comisiei Europene Radiation Protection Nr. 188: "Technical Recommendations for Monitoring Individuals for Occupational Intakes of Radionuclides" care conține un capitol dedicat expunerii la radon a lucrătorilor expuși.

Conform recomandărilor celor 2 publicații ale Comisiei Europene, este important de reținut că în calculul dozei din expunerea la radon la locul de muncă este importantă cunoașterea concentrației de radon pe perioada timpului de lucru:

- "before mitigation is considered, it may be appropriate to undertake radon measurements to identify if there are significant cyclic variations in radon concentrations that would affect the dose assessment. Concentrations could follow a diurnal pattern and/or reflect regular periods (e.g. weekends) when the workplace is not occupied" [6].
- "if the ratio between average during working hours versus the week average, multiplied with the long term average is less than the reference level, it can be concluded that the reference level is not exceeded." [7]

5.4. Provoacări în raportarea dozelor din expunerea la radon

În conformitate cu articolul 68 din Normele de dozimetrie individuală și radon, "în termen de 1 an de la data intrării în vigoare a prezentelor norme, serviciile de dozimetrie individuală vor definitiva procedura de determinare a dozelor datorate din expunerea la radon și descendenții săi".

Această cerință reprezintă o provocare pentru toate serviciile de dozimetrie individuală deoarece este nevoie de personal cu experiență în domeniul evaluării dozelor din expunerea la radon, această evaluare nefiind echivalentă cu aplicarea unei simple formule și o serie de factori specifici trebuie luați în considerare de către serviciul de dozimetrie.

O altă provocare o reprezintă lipsa de interes a întreprinderilor pentru măsurarea concentrației de radon la locul de muncă, în condițiile în care există baza legală ce specifică obligativitatea acestor tipuri de măsurători.

6. Concluzii

Noile "Norme de dozimetrie individuală și radon" aduc o serie de concepte noi ce vin în sprijinul tuturor părților implicate în procesul de monitorizare dozimetrică individuală prin:

- Delegarea unei părți din responsabilitățile întreprinderii către Serviciul de Înregistrare a Dozelor și Lucrători
- Punerea la dispoziția întreprinderilor a Serviciilor de Înregistrare a Dozelor ca punct central de colectare și menținere a dozelor generate de furnizorii de servicii de dozimetrie, capabil să raporteze dozele provenite din diverse tipuri de monitorizare (la nivelul întregului organism, la cristalin și la extremități), dozele care provin din angajările multiple și dozele care provin din expunerea externă și expunerea internă.
- conștientizarea lucrătorilor și a reprezentanților întreprinderilor cu privire la importanța rezultatelor monitorizării dozimetrice individuale
- Introducerea dozei din expunerea la radon în calculul dozei efective

De asemenea noile norme vin și cu o serie de provocări în implementarea acestor noi concepte:

- Delegarea responsabilității de păstrare a înregistrărilor de doză către Serviciile de Înregistrare a Dozelor va fi dificil de pus în aplicare, în special în cazul instituțiilor medicale publice din cauza bugetelor mici pe care acestea le au puse la dispoziție
- valoarea relativ mare a dozei noționale poate descuraja lucrătorii sau reprezentanții întreprinderilor să informeze asupra pierderii sau deteriorării dozimetrului
- gestionarea incorectă a dozelor noționale poate avea impact negativ asupra rezultatelor studiilor epidemiologice cu privire la expunerea ocupațională, precum European Study on Occupational Radiation Exposure (ESOREX).
- Lipsa personalului cu experiență în evaluarea dozelor din expunerea la radon pentru autorizarea serviciilor de dozimetrie
- lipsa de interes a întreprinderilor pentru măsurarea concentrației de radon la locul de muncă, deși există baza legală ce specifică obligativitatea acestor tipuri de măsurători.

"Normele de Dozimetrie Individuală și Radon" aduc îmbunătățiri semnificative în procesul de monitorizare dozimetrică individuală, prin implementarea recomandărilor și cerințelor prezente la nivel internațional, iar provocările pot fi depășite prin colaborarea și sprijinul reciproc între părțile implicate în acest proces.

7. Bibliografie

- [1] Norme de dozimetrie individuală NSR 06, aprobate prin ordinul nr. 180/05.09.2002 al președintelui CNCAN și publicate în Monitorul Oficial, Partea I nr. 769 bis din 22 octombrie 2002.
- [2] 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
- [3] Norme privind cerințele de bază de securitate radiologică, aprobate prin Ordinul Ministrului Sănătății, al Ministrului Educației Naționale și al Președintelui Comisiei Naționale pentru Controlul Activităților Nucleare nr. 752/3.978/136/ 2018 și publicate în Monitorul Oficial al României, Partea I nr. 517 bis din 25.06.2018.
- [4] Normele privind estimarea dozelor efective și a dozelor echivalente datorate expunerii interne și externe, aprobate prin Ordinul CNCAN nr.145/2018 și publicate în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 555 bis din 3 iulie 2018.
- [5] Norme de dozimetrie individuală și radon, aprobate prin Ordinul președintelui CNCAN nr. 180/2020 și publicate în Monitorul Oficial al României, nr. 1225 bis din 14.12.2020.
- [6] Radiation Protection No. 188, Technical Recommendations for Monitoring Individuals for Occupational Intakes of Radionuclides, European Commission, Directorate - General for Energy, Directorate D - Nuclear Energy, Radiation Protection and Nuclear Safety, 2018.
- [7] Radiation Protection No 193, Radon in workplaces, European Commission, Directorate - General for Energy, Directorate D - Nuclear Energy, Radiation Protection and Nuclear Safety, 2020.

Noi abordări ale ICRP privind aplicarea mărimilor dozimetrice în protecția radiologică

Mirela Angela Saizu (saizu@nipne.ro)

Institutul Național de Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei (IFIN-HH). Str. Reactorului 30, P.O. Box MG-6, Măgurele, România

1. INTRODUCERE

Sistemul de protecție radiologică se bazează pe mărimi de doză pentru a stabili limite în vederea prevenirii reacțiilor tisulare precum și limite de doză, constrângeri de doză și niveluri de referință pentru efectele stocastice potențiale. În **Publicația 103 (ICRP, 2007)** a Comisiei Internaționale de Protecție Radiologică: “The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2–4)” sunt prezentate mărimile de doză de bază utilizate în protecția radiologică și anume: doza absorbită, doza echivalentă și doza efectivă precum și recomandări pentru utilizarea lor.

Noua publicație a ICRP cu nr. **147 (ICRP, 2020): «Use of Dose quantities in Radiological Protection»** are ca scop consolidarea și extinderea explicațiilor din ICRP Publication 103 (ICRP, 2007), precum și clarificarea utilizării mărimilor de doză în raport cu riscurile pentru sănătate, fiind formulate concluzii suplimentare importante. Unele aspecte identificate care au generat o oarecare confuzie și controverse se referă la:

- Confuzia dintre doza echivalentă și doza efectivă exprimate în aceleași unități de măsură Sv, când ele nu se disting cu atenție, mai ales când este vorba de dozele rezultate din incorporarea de radionuclizi care se concentrează în organe specifice, cum ar fi I-131
- Utilizarea dozei echivalente în stabilirea limitelor pentru evitarea reacțiilor tisulare în cazurile de expunere la radiații a mâinilor și picioarelor, a cristalinului și a pielii
- Confuzia dintre mărimile operaționale utilizate pentru evaluarea expunerilor profesionale datorate surselor de radiații externe și mărimile de protecție și anume dintre echivalentul de doză - mărime măsurabilă pentru expunerea externă - utilizată pentru estimarea dozei efective și doza echivalentă – o mărime intermediară în calculul dozei efective
- Inconsistența aparentă în stabilirea factorilor de ponderare a radiației, cu abordări diferite pe de o parte pentru toate radiațiile cu Transfer Linar de Energie (TLE) mic și radiațiile alfa, și pe de altă parte pentru neutroni, precum și în utilizarea factorului de calitate pentru mărimile operaționale.
- Utilizarea unui singur set de factori de ponderare tisulari pentru toate grupele de vârstă și ambele sexe, în ciuda variabilității identificate a riscului de producere a cancerului datorat expunerii la radiații în funcție de vârstă și sex
- Calculul dozei efective pentru Persoana de Referință în loc de un calcul separat pentru Bărbatul de Referință și Femeia de Referință,
- Domeniul de doză în care doza efectivă este aplicabilă, considerând expunerile semnificative ce pot avea loc în accidente și care pot conduce la doze absorbite mari în organe/țesuturi
- Utilizarea dozei efective la estimarea riscului, în particular la evaluarea expunerii pacienților în timpul procedurilor medicale
- Utilizarea dozei efective colective în evaluarea riscului la grupuri de persoane.

2. MĂRIMI DE DOZĂ

2.1 Doza absorbită

Doza absorbită este mărimea fizică de doză fundamentală în protecția radiologică utilizată pentru toate tipurile de radiații ionizante și orice geometrie de iradiere. *Doza absorbită* este o mărime măsurabilă fiind definită ca raportul dintre energia medie transmisă de radiația ionizantă materiei și masa acesteia. Unitatea SI pentru doza absorbită are denumirea de Gray (Gy) unde $1\text{Gy} = 1\text{Jkg}^{-1}$. Când doza absorbită este utilizată în protecția radiologică, dozele sunt mediate pe volumul/masa unui organ specific, a unui țesut sau a unei regiuni sensibile a unui țesut. La doze sau la rate de doză scăzute se presupune că valoarea medie a dozei absorbite mediată pe un organ/țesut specific poate fi corelată cu o precizie suficientă pentru scopurile protecției radiologice cu detrimentul datorat radiației pentru efectele stocastice.

Abordare nouă ce va fi implementată în viitoarele Recomandări generale ale ICRP: Doza absorbită este considerată cea mai potrivită mărime de doză care va fi utilizată în stabilirea limitelor de doză pentru organe / țesuturi în vederea prevenirii efectelor deterministice, tisulare.

2.2 Doza echivalentă

Doza echivalentă este suma ponderată a dozei absorbite mediate în volumul unui organ /țesut pentru toate tipurile de radiații R incidente pe corp sau emise de radionuclizii existenți în acesta. Ponderarea se face cu factorul de ponderare pentru radiație, w_R . Unitatea SI a dozei echivalente este Sievert (Sv) unde $1 \text{ Sv} = 1 \text{ Jkg}^{-1}$.

Valorile factorilor de ponderare pentru radiație w_R au fost definite și selectate pe baza eficacității biologice relative maxime (RBE_M) pentru diferite radiații și semnificative pentru efectele stocastice. Valorile atribuite factorilor de ponderare pentru radiație w_R considerați potriviți pentru obiectivele protecției radiologice sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabel 1. Factorii de ponderare a radiației (conf. Publicației 103, ICRP, 2007)

Tip de radiație	Factorul de ponderare w_R
Fotoni	1
Electroni și mioni	1
Protoni și pioni încărcăți	2
Particule alfa, fragmente de fisiune, ioni grei	20
Neutroni	Funcție continuă de energia neutronului

Justificări ale valorilor factorilor de ponderare pentru radiație:

- Atribuirea valorii 1 pentru factorul de ponderare w_R pentru toate emisiile de fotoni, electroni și mioni nu presupune că nu există diferențe între eficacitățile biologice la diferite energii. Abordarea mai simplă a fost considerată suficientă pentru aplicațiile prevăzute pentru doza efectivă
- Protonii de interes pentru protecția radiologică sunt cei din câmpurile de radiații cosmice sau din cele din apropierea acceleratoarelor de particule de energii înalte, având energii foarte mari. Cei de energie mică, de câțiva MeV sunt de importanță scăzută. S-a considerat potrivită pentru interesele protecției radiologice adoptarea unei singure valori egală cu 2, pentru factorul de ponderare w_R , fundamentată pe datele radiobiologice pentru protonii de mare energie, peste 10 MeV. Aceeași valoare a factorului de ponderare w_R a fost considerată și pentru pioni, întâlniți atât în câmpurile de radiații rezultate din interacția radiației cosmice primare cu nucleeele la mari altitudini, în atmosferă, cât și în câmpurile complexe de radiație din spatele protecției de la acceleratoarele de particule de mare energie contribuind la expunerea ocupațională a personalului.
- Inhalarea sau ingerarea radionuclizilor emițători de radiații alfa generează expunerea internă la particulele alfa. Valorile eficacității biologice relative diferă în funcție de organul/țesutul țintă al acestei expuneri. Distribuția radionuclizilor în organe/țesuturi și estimarea dozei sunt complexe fiindu-i asociate incertitudini semnificative. A fost adoptată valoarea 20 a factorului de ponderare w_R pentru radiațiile alfa, aceeași valoare fiind considerată și pentru fragmentele de fisiune și ionii grei.
- Factorul de ponderare w_R pentru neutroni pune în evidență eficacitatea biologică a neutronilor ca urmare a expunerii externe, aceasta fiind puternic dependentă de energie. Ținând seama că expunerile la neutroni implică o gamă de energii, s-a adoptat o funcție continuă de energia neutronului pentru calcularea factorilor de ponderare w_R pentru neutroni, prezentată în Tabelul 2..

Tabel 2. Factorii de ponderare a radiației pentru neutroni
(conf. Publicației 103, ICRP, 2007)

Energie neutroni	Funcție factor de ponderare w_R
$E_n < 1 \text{ MeV}$	$2,5 + 18,2e^{-[\ln(E_n)]^2/6}$
$1 \text{ MeV} < E_n < 50 \text{ MeV}$	$5,0 + 17,0e^{-[\ln(2E_n)]^2/6}$
$E_n > 50 \text{ MeV}$	$2,5 + 3,25e^{-[\ln(0,04E_n)]^2/6}$

Comentarii, propuneri, decizii :

- Subliniindu-se inconsistența aparentă în stabilirea factorilor de ponderare a radiației, cu abordări diferite. simpliste, pe de o parte, pentru toate radiațiile cu Transfer Liniar de Energie mic și radiațiile alfa și complexă, pe de altă parte pentru neutroni, a fost sugerată, ca pentru scopuri de protecție radiologică să fie suficiente două valori ale factorului de ponderare w_R și anume 1 pentru radiații cu Transfer Liniar de Energie scăzut și 10 pentru radiații cu Transfer Liniar de Energie mare, incluzând și componenta de TLE mare a dozei neutronilor. **ICRP va aborda această propunere** la revizia Recomandărilor generale viitoare.

- Pentru eliminarea confuziei dintre doza echivalentă și doza efectivă exprimate în aceleași unități de măsură Sv, când ele nu se disting cu atenție, mai ales când este vorba de dozele rezultate din incorporarea de radionuclizi care se concentrează în organe specifice, s-a decis ca **doza echivalentă să nu mai fie considerată ca o mărime de protecție radiologică distinctă.**
- Implicația imediată se referă la faptul că în Recomandările generale viitoare ale ICRP se va declara eliminarea utilizării dozei echivalente în stabilirea limitelor pentru organe/țesuturi în vederea prevenirii reacțiilor tisulare, și considerarea dozei absorbite în acest scop
- Doza echivalentă va rămâne ca o etapă importantă în calculul dozei efective

2.3 Doza efectivă

Doza efectivă este suma ponderată a dozelor echivalente la organe/țesuturi pentru toate organele/țesuturile corpului uman pentru care a fost estimat detrimentul datorat radiației, determinate separat pentru Bărbatul de Referință și Femeia de Referință și mediate. Ponderarea se face cu factorul de ponderare tisular pentru organul T, w_T . Unitatea SI a dozei efective este Sievert (Sv) unde $1 \text{ Sv} = 1 \text{ Jkg}^{-1}$.

Valorile factorilor de ponderare tisulari w_T au fost stabilite astfel încât ele să reflecte contribuțiile organelor și țesuturilor individuale la detrimentul total datorat radiației din efectele stocastice, mediate pentru toate vârstele și ambele sexe, nefiind asociate cu caracteristicile indivizilor particulari, ceea ce face ca doza efectivă să fie calculată pentru Persoana de Referință și nu pentru un anumit individ.

Ținându-se seama de incertitudinile asociate calculelor coeficienților nominali de risc și a detrimentului datorat radiației pentru expuneri la doze sau rate de doză scăzute, valorile atribuite factorilor de ponderare tisulari w_T de către ICRP, în număr de 4, se bazează pe un calcul simplificat prin rotunjirea valorilor detrimentului relativ ale organelor/țesuturilor. Este vorba de un singur set de valori ale factorilor de ponderare tisulari w_T în ciuda diferențelor importante observate în incidența cancerului și a estimărilor detrimentului în funcție de vârstă la momentul expunerii la radiații, dar și a diferențelor dintre bărbați și femei în dependența de vârstă a riscului de cancer. Aceste diferențe sunt luate în considerare în stabilirea constrângerilor de doză și nivelurilor de referință, iar prin medierea valorilor detrimentului determinat în funcție de vârstă, sex și populație a fost decis un singur set de valori pentru factorii de ponderare tisulari w_T , considerat adecvat pentru scopuri practice ale protecției radiologice. Valorile factorilor de ponderare tisulari w_T sunt prezentate în Tabelul 3.

Tabel 3. Factorii de ponderare tisulari (conf. Publicației 103, ICRP, 2007)

Organ / Țesut	w_T	$\sum w_T$
Măduva osoasă, Colon, Plămân, Stomac, Sân, Categorie Organe/Țesuturi rămase	0.12	0.72
Gonade	0.08	0.08
Vezica urinară, Esofag, Ficat, Tiroidă	0.04	0.16
Suprafața osului, Creier, Glande salivare, Piele	0.01	0.04

Doza efectivă reprezintă un instrument important pentru controlul și monitorizarea expunerilor ocupaționale și ale persoanelor din populație. *Doza efectivă*, ca mărime de protecție este utilizată pentru evaluarea dozei prospective pentru planificare și optimizare în protecția radiologică și demonstrarea conformității cu limitele dozei în evaluări retrospective, în scopuri de reglementare.

În ceea ce privește limita superioară de doză în care doza efectivă este aplicabilă, cu trimitere la expunerile semnificative ce pot avea loc în accidente și care pot conduce la doze absorbite mari în organe/țesuturi, **Publicația 103(ICRP, 2007)** face referire la stabilirea nivelelor de referință a dozelor reziduale cele mai mari planificate în situații de urgență radiologică în domeniul 20 – 100 mSv pentru doza proiectată, considerându-se valoarea de 100mSv, ca valoare maximă ce poate fi încasată fie acut, fără repetarea expunerii, fie în decursul unui an, în cazul expunerilor prelungite. Valori mai mari de 100mSv ale dozei efective pot fi justificate numai în cazuri excepționale cum ar fi salvarea de vieți omenești sau în cazul în care expunerea nu poate fi evitată.

Publicația 147 (ICRP, 2020) ridică **limita superioară** a aplicabilității dozei efective chiar la 1 Sv, dar cu considerarea realistă a doi factori la doze ridicate:

- Apariția potențială a reacțiilor tisulare mai ales în cazul radionuclizilor concentrați într-un organ/țesut particular sau al expunerilor externe localizate
- Riscul de inducere a cancerului poate fi de două ori mai mare decât cel estimat pentru doze și debite de doză scăzute întrucât valoarea 2 a factorului de efectivitate a dozei și debitului de doză (DDREF) aplicat la proiectarea riscului de cancer pentru doze și debite de doză mici nu se mai aplică.

2.4 Doza angajată

Doza angajată este doza care se așteaptă să fie primită de un individ într-un interval de timp specificat, datorată unui radionuclid incorporat care iradiază țesuturile pe perioade de timp determinate de timpul lor fizic de înjumătățire și de timpul lor de retenție biologică în corp. Pentru conformitate cu limitele de doză, *doza angajată* este atribuită anului în care a avut loc incorporarea de radionuclizi. Pentru lucrători și adulți, persoane din populație, *doza angajată* este evaluată pe o perioadă de 50 de ani, ceea ce asigură că și expunerile radionuclizilor cu timp de înjumătățire mare și timp de retenție biologic (conf. Publicației 103, ICRP, 2007) lung să fie luate în considerare, pe lângă cele ale celor mai mulți radionuclizi care livrează doza în întregime sau în cea mai mare parte în anul în care a avut loc incorporarea.

2.5 Doza efectivă colectivă

Doza efectivă colectivă este un instrument pentru optimizarea protecției radiologice care ia în considerare expunerea tuturor indivizilor dintr-un grup pe o perioadă de timp dată sau pe durata unei activități executate de acest grup în zonele de radiație desemnate. *Doza efectivă colectivă* este suma tuturor dozelor efective individuale pe o anumită perioadă de timp dedicată desfășurării activității grupului. *Doza efectivă colectivă* se bazează pe ipoteza unei relații liniare doza-efect pentru efectele stocastice fără prag, ceea ce face posibilă aditivitatea dozelor.

Unitatea dozei efective colective este "om sievert".

Doza efectivă colectivă nu este un instrument pentru studiile epidemiologice. Utilizarea acestei mărimi pentru predicția efectelor potențiale asupra sănătății trebuie făcută cu precauție, ținând seama de context, și judecată în raport cu rata de mortalitate de bază.

2.6 Mărimile operaționale

Mărimile operaționale sunt utilizate în reglementările practice și ghiduri, furnizând o evaluare conservativă pentru valoarea mărimilor pentru protecție asociate unei expuneri sau unei expuneri potențiale a persoanelor aflate în condițiile cu cea mai ridicată expunere la radiații.

Expunerea internă

Estimarea dozei datorată incorporării de radionuclizi se bazează pe determinarea *incorporării* fie prin măsurări directe (monitorizarea întregului corp sau a unor organe specifice) fie prin măsurări indirecte (măsurări ale produșilor de excreție sau ale probelor de mediu).

Publicația 147(ICRP,2020) menționează **noile publicații ICRP** și anume: **130(ICRP, 2015)**, **134(ICRP, 2016)**, **137(ICRP, 2017)** și **141(ICRP,2019)** care furnizează valori revizuite pentru datele de biocinetică și ale coeficienților de doză pentru expunerea internă ocupațională, calculați pe baza modelelor de tip voxel. Aceste modele, prezentate în **Publicația 110 (ICRP,2009)**, sunt fundamentate pe imaginile tomografice medicale și furnizează o reprezentare mult mai realistă a anatomiei corpului uman prin elementele de volum tridimensionale cu specificarea densităților, maselor și compozițiilor atomice ale diferitelor țesuturi și organe atribuite Bărbatului de Referință și Femeii de Referință pe care se vor baza calculele pentru Persoana de Referință, conform **Publicației 89 (ICRP, 2002)**.

Expunerea externă

Publicația 147(ICRP,2020) prezintă **ultimele revizii** ce au avut loc în legătură cu mărimile de doză operaționale pentru monitorizarea individuală și de arie la expuneri externe. Astfel, ca urmare a publicării în **Publicația 116(ICRP, 2010)** a valorilor revizuite pentru coeficienții de doză pentru expunerea ocupațională la surse externe utilizând fantomele de referință, **ICRU (2020)** a revizuit mărimile operaționale, odată identificate anumite deficiențe în definirea lor care duceau la concluzia că mărimile operaționale nu erau o bună aproximație pentru doza efectivă la energii joase și ridicate. Modificarea mărimilor operaționale existente se dorește a aduce mai multă coerență și simplificare în definirea lor astfel ca noile mărimi operaționale ce vor înlocui mărimile *echivalentul de doză personal* $H_p(10)$ și *echivalentul de doză ambiental* $H^*(10)$ vor fi *doza personală* H_p și respectiv, *doza ambientală* H^* , ambele mărimi fiind direct relaționate cu doza efectivă. Suplimentar, mărimile operaționale pentru evaluarea dozelor la cristalin și piele vor fi doze absorbite, pentru a fi în concordanță cu modificarea anunțată în viitoarele recomandări ale ICRP referitoare la utilizarea dozei absorbite în loc de doza echivalentă pentru stabilirea limitelor de prevenire a efectelor deterministice. Noile modificări vor face ca utilizarea mărimii $Q(L)$ pentru definirea calității radiației în calculul dozei echivalente să fie eliminată.

2.7 Expunerea medicală

Expunerea medicală la radiații a pacienților are loc în procedurile de diagnostic și terapie în care dozele de radiații primite de aceștia sunt înregistrate în termeni de mărimi ce pot fi măsurate pentru fiecare tehnică utilizată. *Doza efectivă* este utilizată pentru compararea dozelor din proceduri medicale prin care sunt expuse diferite părți ale

corpului. *Doza efectivă* dă o indicație importantă a detrimentului asupra sănătății asociat din diferite tehnici medicale folosite care generează distribuții ale dozei absorbite diferite în corpul uman. În acest fel, *doza efectivă* contribuie la creșterea conștientizării nivelurilor de doză din procedurile de diagnostic și oferă o înțelegere a riscului asociat cu expunerea la radiații.

Doza efectivă este utilizată în pregătirea cadrelor medicale în protecția radiologică. De asemenea, *doza efectivă* reprezintă un instrument de justificare a procedurilor medicale și de stabilire a constrângerilor de doză pentru îngrijitorii pacienților și pentru voluntari în cercetarea medicală.

Doza efectivă nu este indicată în mai multe aplicații și anume:

- Compararea dozelor din tehnici similare și în stabilirea nivelelor de referință pentru diagnostic
- Înregistrarea dozelor pacienților rezultate din proceduri medicale în rapoarte medicale
- Estimarea dozelor când este expus doar un organ

3. CONCLUZII

Publicația 147 (ICRP, 2020) face o trecere în revistă a mărimilor dozimetrice fundamentale ale sistemului de protecție radiologică în legătură cu riscul asupra sănătății, prezentând și baza științifică ale abordărilor susținute.

- **Doza efectivă** reprezintă un instrument utilizat pentru optimizarea protecției radiologice în ceea ce privește efectele stocastice, în principal cancerul, atât pentru expunerea profesională cât și cea a populației
- **Doza efectivă** poate fi utilizată în general la doze sub 100mSv, dar se poate extinde și până la 1 Sv, cu luarea în considerare a posibilității apariției reacțiilor tisulare datorate distribuțiilor de doză neuniforme în organe/țesuturi.
- **Doza efectivă** poate fi considerată un indicator aproximativ al riscului potențial, cu evidențierea variabilității riscului în funcție de vârsta persoanei în momentul expunerii la radiații, precum și de sex. Această utilizare nu reprezintă un substitut pentru estimarea riscului specific pentru tipuri de cancere individuale utilizând datele științifice relevante ce includ dozele absorbite în organe/țesuturi
- **Factorii de ponderare tisulari** w_T sunt utilizați în calculul dozei efective. Ei se bazează pe valorile detrimentului relativ mediate pentru toate vârstele, femeii și bărbați. Un set de valori unic ale factorilor de ponderare tisulari w_T a fost stabilit din rațiuni de aplicabilitate ale sistemului de protecție radiologică bazat pe criterii de doză și optimizare aplicate la toți lucrătorii și persoanelor din populație
- **Doza efectivă** este utilizată în medicină pentru compararea dozelor din diferite proceduri medicale
- **Doza efectivă** dă o indicație importantă a detrimentului asupra sănătății asociat cu diferite tehnici medicale folosite care generează distribuții ale dozei absorbite diferite în corpul uman.
- **Doza absorbită** este cea mai potrivită mărime pentru stabilirea limitelor pentru dozele pentru organ/țesut în scopul prevenirii efectelor deterministice. În acest fel se face o distincție clară între limitele ce se aplică pentru reacțiile tisulare, stabilite utilizând doza absorbită (Gy) și cele care se aplică pentru efectele stocastice, stabilite utilizând doza efectivă (Sv).
- **Doza echivalentă** va rămâne o etapă din calculul dozei efective.

BIBLIOGRAFIE

- [1] ICRP, 2002 - Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32(3/4)
- [2] ICRP, 2007- The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4)
- [3] ICRP, 2009-Adult reference computational phantoms. ICRP Publication 110. Ann. ICRP 39(2)
- [4] ICRP, 2015 -Occupational intakes of radionuclides, Part 1. ICRP Publication 130. Ann. ICRP 44(2)
- [5] ICRP, 2016 - Occupational intakes of radionuclides, Part 2. ICRP Publication 134. Ann. ICRP 45(3/4)
- [6] ICRP, 2017. Occupational intakes of radionuclides, Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46(3/4)
- [7] ICRP, 2019 - Occupational intakes of radionuclides, Part 4. ICRP Publication 141. Ann. ICRP 48(2/3)
- [8] ICRU, 2020. Operational Quantities for External Radiation Exposure. ICRU Report 95. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD
- [9] ICRP, 2021 - Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147. Ann. ICRP 50(1)

Aspecte privind aplicarea principiilor etice în domeniul protecției radiologice, prezentate în Codul de Etică al IRPA și în documentele recente ale ICRP.

Maria Sahagia (msahagia@nipne.ro)

Institutul Național de C&D pentru Fizică și Inginerie Nucleară, IFIN-HH, Str. Reactorului nr. 30 Măgurele, 077125, Jud. Ilfov

Rezumat

Lucrarea prezintă în mod succint evoluția și situația actuală a aplicării principiilor de etică în domeniul protecției radiologice, așa cum sunt prezentate în Codul de etică al IRPA din anul 2004, în Codul de etică al membrilor ICRP din anul 2014, în “Fundamente de Etică ale Sistemului de Protecție Radiologică (*Ethical Foundations of the System of Radiological Protection*)” ICRP PUBLICATION 138 din anul 2018, precum și în lucrări prezentate la cel de al cincilea Simpozion al ICRP privind Sistemul de Protecție Radiologică, Adelaide, Australia, noiembrie 2019.

1. Introducere

Așa cum a fost definit în Publicația ICRP nr. 103 din 2007 [1], rolul protecției radiologice (*Radiological Protection* – RP) este de “a contribui la protecția oamenilor și a mediului înconjurător față de efectele detrimentale ale expunerii la radiații, fără a limita acțiunile dezirabile ale oamenilor, care pot fi asociate cu aceste expuneri”. Dată fiind anvergura largă a domeniului protecției radiologice, gestionarea acțiunilor sale implică aspecte din domenii foarte diferite ale activității. Din acest motiv, la nivel internațional au fost create organisme cu roluri bine delimitate, astfel: Elaborarea principiilor de RP revine Comisiei Internaționale de Protecție Radiologică (*International Commission on Radiological Protection* – ICRP); Stabilirea bazelor științifice ale RP este în sarcina Comitetului Științific al Națiunilor Unite privind Efectele Radiațiilor Atomice (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* – UNSCEAR); Elaborarea de standarde și reglementări este în responsabilitatea Agenției Internaționale pentru Energia Atomică (*International Atomic Energy Agency* – IAEA) și a Comisiei Europene (*European Commission* – EC) pentru țările membre; Rezolvarea practică a problemelor de RP revine Asociației Internaționale pentru Protecție Radiologică (*International Radiation Protection Association* – IRPA).

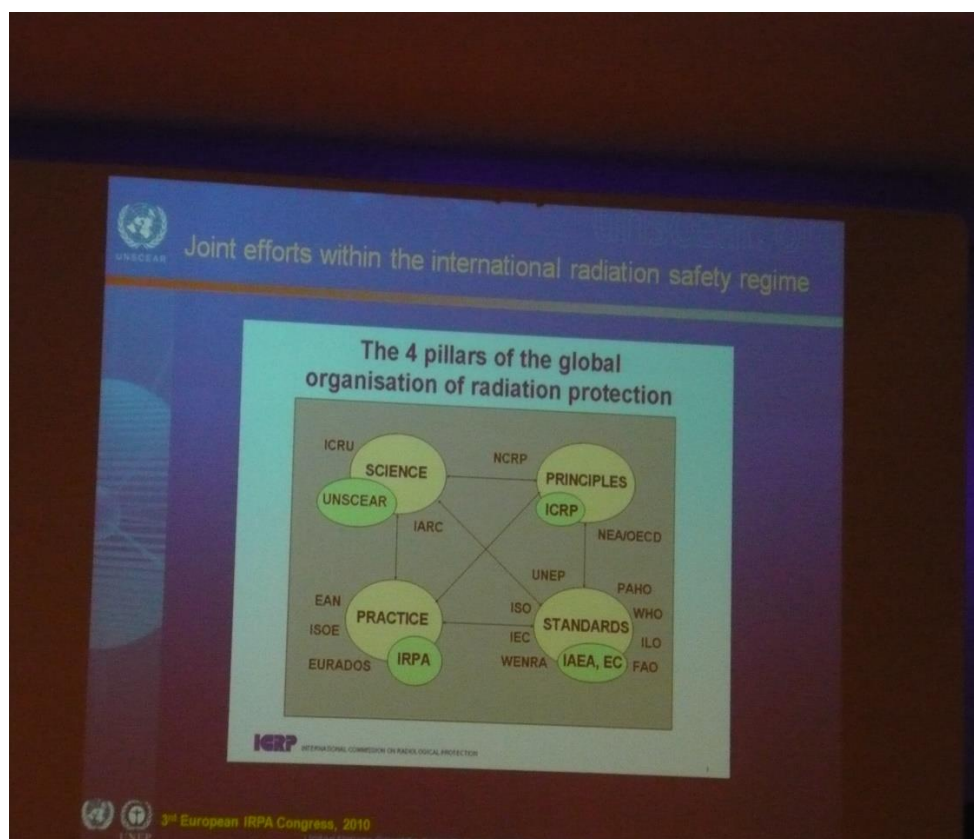


Figura 1

Figura 1 prezintă o fotografie realizată de autoare la Conferința Europeană IRPA, Helsinki, Finlanda, 2010, expusă în prezentarea reprezentantului UNSCEAR. În figură apar și alte entități și organisme, care au preocupări în acest domeniu. Desigur, organismele și asociațiile naționale sunt cele care preiau și aplică în practică, cele stabilite la nivel internațional.

Dintre aceste entități, preocupările deosebite privind aspectele etice au revenit domeniilor: conceptual, în responsabilitatea ICRP, și cel de practică, implementat de IRPA.

ICRP, încă de la înființarea sa, în cadrul Congresului internațional din anul 1928, a abordat, în mod implicit, în toate recomandările sale, respectarea principiilor etice. În anul 2014 ICRP a adoptat Codul său de Etică [2], conținând așteptările pe care le are de la membrii săi, în ceea ce privește angajamentul lor în beneficiul public, modul de acțiune independent, imparțial și contabilizabil, atunci când formulează recomandări și elaborează ghiduri. Primul document explicit, dedicat principiilor etice care trebuie să guverneze domeniul RP, a fost Publicația ICRP nr.138 din anul 2018 [3]. Conform glosarului acestui document, definiția ETICII este următoarea: “Etica este ramura filozofiei care explorează natura virtuților morale și evaluează acțiunile umane folosind seturi de principii și concepte morale pentru comportamentului său de guvernare sau conducere a unei activități” (*Ethics: The branch of philosophy that explores the nature of moral virtue and evaluates human actions using sets of moral principles and concepts to govern behaviour or the conducting of an activity.*) Au fost organizate mai multe ateliere de lucru sub egida ICRP înaintea elaborării publicației, iar cele mai recente lucrări referitoare la subiect au fost prezentate la al cincilea Simpozion privind sistemul internațional de protecție radiologică (*Fifth International Symposium on the System of Radiological Protection*) Adelaide, Australia, noiembrie 2019. Lucrările sale au fost publicate ca Proceedings în anul 2020. Menționăm că aceste simpozioane se organizează bianual, iar cel planificat în anul 2021 a fost amânat pentru anul 2022, 7-10 noiembrie, și va avea loc la Vancouver, Canada. Va avea titlul “*Radiological Protection – The Next Generation*”, și se anunță faptul că va fi dedicat revizuirii și rafinării sistemului de RP pentru viitoarea decadă. Sesiunile sale vor fi dedicate subiectelor:

(1) Revizuirea și rafinarea fundamentelor (*Review and Refinement of the Fundamentals*); (2) Domenii emergente (*Emerging Domains*); (3) Implicarea tinerilor profesioniști (*Involving Young Professionals*); (4) Protecția radiologică și publicul (*RP and the Public*); (5) Fundamente etice (*Ethical Foundations*); (5) Lărgirea optimizării protecției (*Broadening Optimization of Protection*); (6) Optimizarea protecției la răspunsul în situații de urgență și recuperare (*Optimization of Protection in Emergency Response and Recovery*); (7) Efecte asupra ființelor umane și asupra mediului (*Effects on Humans and the Environment*); (8) Efectele dozelor joase: știință și implicații (*Low-dose Effects: Science & Implications*); (9) Inovații în dozimetrie (*Innovations in Dosimetry*); (10) Noutăți în protecția radiologică medicală (*Advances in Medical Radiological Protection*); (11) RP în energetica nucleară și în ciclul combustibilului nuclear (*Radiological Protection in Nuclear Power and the Nuclear Fuel Cycle*); (12) Învățând din experiență (*Learning from Experience*).

2. Prezentarea Codului de Etică al IRPA (IRPA Code of Ethics - Document IRPA11/GA/4 (Rev.) Ref : IRPA 04/07)

Documentul se găsește la adresa: www.irpa.net/members/IRPA Code of Ethics.pdf. (accesat la 1.09.2021)

După cum se declară în preambul, principiile de etică enumerate sunt recomandări adresate membrilor Societăților Asociate la IRPA, așa cum este și Societatea Română de Radioprotecție (SRRp) pentru “a le ajuta să mențină un nivel profesional al comportamentului etic în legătură cu protecția radiologică. Ele pot fi utilizate ca ghid, pentru adecvarea comportamentului membrilor în toate relațiile în care ei își exercită expertiza profesională”. Sunt 11 principii aplicabile în exercitarea profesiei de specialist în RP, care au fost elaborate în luna mai 2004 și sunt prezentate în traducere, după cum urmează:

1. Membrii trebuie să - și exercite competențele profesionale și judecățile la cel mai înalt nivel al abilității lor și să - și îndeplinească responsabilitățile cu integritate. 2. Membrii nu trebuie să permită conflicte de interese, presiuni manageriale sau posibile interese personale, care ar compromite judecata profesională și consilierea lor. În particular, membrii nu trebuie să compromită bunăstarea publică și siguranța (*safety*) în favoarea vreunui interes al angajatorului. 3. Membrii nu vor îndeplini nici o angajare sau acțiune de consultanță care ar fi contrară bunăstării publice sau legii. 4. Membrii trebuie să păstreze confidențialitatea informațiilor obținute în îndeplinirea îndatoririlor lor profesionale, în condițiile în care acestea nu sunt neetice sau ilegale prin ele însele. 5. Membrii trebuie să asigure că relațiile cu terțe părți, cu alți specialiști și cu publicul larg să fie bazate pe, și să reflecte, cele mai înalte standarde de integritate, profesionalism și

corectitudine. 6. Membrii trebuie să satisfacă ei înșiși extinderea și conținutul funcțiilor profesionale cerute în orice circumstanțe particulare, în special în acelea care privesc siguranța publică. Membrii nu trebuie să-și asume obligații profesionale pentru care nu sunt calificați, sau nu se consideră competenți să le îndeplinească. 7. Membrii trebuie să ia toate măsurile rezonabile pentru a asigura că persoanele care lucrează sub supravegherea sau conducerea lor sunt competente și nu sunt supuse la presiunea supraîncărcării sau a altor cauze. 8. Membrii trebuie să-și perfecționeze propriile cunoștințe profesionale, abilitățile și competențele. 9. Rapoartele profesionale, declarațiile, publicațiile sau consultanța, produse de membri trebuie să fie bazate pe principii solide de protecție radiologică și științifice, să fie corecte la cel mai înalt nivel al cunoștințelor lor și să fie în mod adecvat distribuite. 10. Membrii trebuie ca, de câte ori este predictibil și potrivit, să corecteze dezinformarea, senzaționalul sau declarații nejustificate ale altora, în ceea ce privește radiațiile și RP. 11. Membrii trebuie să folosească avantajul oportunităților pentru a crește înțelegerea publică a RP și a scopurilor IRPA și ale propriei Societăți.

3. Prezentarea principiilor etice în protecția radiologică formulate de ICRP

3.1 Codul de etică al membrilor ICRP.

Primul document prezentat oficial de ICRP a fost codul propriu de etică [2], (ICRP ref: 4842-2907-2666. *ICRP CODE OF ETHICS, Approved by the Main Commission on 2014 April 10*). Recomandările privind calitatea membrilor ICRP și a colaboratorilor săi trebuie să respecte cinci principii fundamentale: 1. Să fie angajați în beneficiul public (*Committed to public benefit: ICRP acts to protect humans and the environment from the harmful effects of Radiation*) 2. Să fie independenți (*Independent: ICRP acts independently of governments and organisations, including industry and other users of radiation*) 3. Să fie imparțiali (*Impartial: ICRP acts impartially in its development of recommendations and guidance*) 4. Să acționeze în mod transparent (*Transparent: ICRP engages stakeholders and strives to be transparent in its actions and Judgements*) 5. Să poată fi contabilizabili (*Accountable: ICRP is accountable to the framework that governs the activities of a charity*).

Termenii se referă la managementul resurselor financiare și a bunurilor, precum și la obligația de raportare publică asupra activităților, finanțelor, bunurilor și afilierea membrilor Comisiei Principale.

3.2 Publicația 138/2018 și Simpozionul din 2019 privind Sistemul de Protecție Radiologică

Se face precizarea că “Principalul obiectiv al publicației este să sublinieze ceea ce poate fi de așteptat în mod rezonabil de la RP pentru indivizi și societăți. Publicația ajută la clarificarea valorilor inerente de judecată făcute în îndeplinirea scopului sistemului de RP, așa cum este subliniat în Publicația ICRP nr.103/2007, și astfel “să faciliteze procesele de luare a deciziilor și comunicarea asupra riscurilor radiațiilor”. Publicația a avut ca editor șef pe C.H. Clement, editor asociat pe H. Ogino, iar autorii în numele ICRP au fost: K-W. Cho, M-C. Cantone, C. Kurihara-Saio, B. Le Guen, N. Martinez, D. Oughton, T. Schneider, R. Toohey, F. Zölzer.

La începutul documentului se arată că Protecția Radiologică se bazează pe trei fundamente: activitatea științifică, aplicarea principiilor etice și activitatea practică (experiență) ce implică aspecte procedurale și organizatorice incluse în standarde internaționale, indisolubil legate unele de celelalte. Este interesant de menționat care sunt diferențele și interferențele dintre știință și etică, așa cum au fost prezentate de N. Martinez la Simpozionul din 2019 [4], Tabel 1 (întocmit conform Fig.2):

Tabel 1 Diferențele și interferențele dintre abordarea știință și cea etică,

Abordarea științifică	Abordări comune	Abordarea etică
1. Se fac afirmații descriptive, adică “aceasta este calea”	1. Se bazează pe rațiunea experienței umane	1. Se fac afirmații normative, adică “așa ar trebui să fie”
2. Înțelegerea lumii fizice și materiale	2. Urmărirea sistematică a adevărului	2. Înțelegerea conceptelor morale
3. Principii științifice	3. Justificarea afirmațiilor	3. Principii morale

Instrumentele științifice actuale ale RP, conform ICRP 138, sunt: (1). Studii epidemiologice privind analiza statistică a efectelor radiațiilor asupra categoriilor de expuși: oameni, animale și plante. Referitor la

oameni, se citează supraviețuitorii bombardamentelor de la Hiroshima și Nagasaki, lucrătorii din mine și din instalații nucleare, pacienții și expuși la radon. (2) Domeniul biologiei radiațiilor, în care se studiază efectele expunerii la radiații asupra indivizilor, țesuturilor, celulelor, sau nivel subcelular în laboratoare, pe culturi celulare sau animale de studiu. Eforturile prezente se concentrează asupra combinării și corelării informațiilor din cele două domenii, în scopul înțelegerii aprofundate a relației dintre expunerea la radiații și efectele biologice induse.

ICRP consideră că această abordare exclusiv științifică nu este suficientă pentru a face recomandări, de aceea trebuie să se ia în considerare aspectele etice și experiența practică în domeniul RP.

3.2.1 Valori etice fundamentale care dirijează sistemul de protecție radiologică (*Core ethical values underpinning the system of radiological protection*)

Publicația ICRP 138, la Secțiunea 3, consideră că sunt esențiale următoarele valori etice conceptuale, în aplicarea celor trei principii fundamentale ale protecției radiologice: justificarea, optimizarea și limitarea dozelor individuale:

I. A face bine și a nu face rău (*Beneficence/non-maleficence*), însemnând a promova și a face bine și a evita a face rău, oferind un nivel adecvat de protecție, fără a limita acțiunile dorite ale oamenilor (*Beneficence/non-maleficence: promoting or doing good, and avoiding doing harm. This is reflected, for example, in the primary aim of the system of radiological protection: . . . an appropriate level of protection . . . without unduly limiting . . . desirable human actions.*). Acest principiu etic stă de fapt la baza justificării, deoarece nici o sursă nouă de radiații sau procedură de lucru nu poate fi justificată, dacă nu se demonstrează faptul că produce mai mult bine decât rău. Exemple: Iradierea în scopuri medicale, funcționarea unei centrale nucleare, care nu sunt lipsite de efecte dăunătoare asupra sănătății, dar balanța dintre bine și rău trebuie să fie în favoarea binelui. Sănătatea trebuie să fie tratată în sensul foarte larg, al aspectelor fizice, psihologice, societale, așa cum este definită de către Organizația Mondială a Sănătății: “Sănătatea este o stare de bine din p.d.v. fizic, mental și social și nu se rezumă la absența unei boli sau a unei infirmități” (*In this respect, it is worth recalling the WHO definition of health: ‘Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity’ (WHO, 1948).* În același timp, judecata trebuie să se extindă asupra consecințelor acțiunilor prezente pentru generațiile viitoare și pentru mediul înconjurător.

II. Prudența (*Prudence*) înseamnă să te informezi și să consideri cu mare grijă hotărârile pe care le iei, atunci când nu cunoști în profunzime scopul și consecințele acțiunilor tale. Se pot cita incertitudinile prezente privind riscurile radiațiilor asupra oamenilor și mediului. (*Prudence: making informed and carefully considered choices without full knowledge of the scope and consequences of an action. Prudence is reflected, for example, in the consideration of uncertainty of radiation risks for both humans and the environment*). Un exemplu de abordare prudentă este adoptarea relației de tip linear fără prag (*Linear Non Threshold – LNT*) dintre doză și probabilitatea de apariție a efectelor stocastice în domeniul dozelor joase, contestată, dar care nu exclude nici un efect dăunător în acest domeniu și este valoarea etică de la baza aplicării principiului optimizării (ALARA). În domeniul dozelor semnificative, principiul prudenței impune a se lua măsuri de limitare a dozelor mai mari decât 100 mSv, datorită incertitudinilor privind valorile de prag pentru diverse tipuri de expuneri.

III. Justiția (*Justice*). Corectitudinea în distribuirea avantajelor și dezavantajelor. (*Justice: fairness in the distribution of advantages and disadvantages*). De exemplu, justiția este o valoare cheie care subliniază faptul că se împiedică situația ca o persoană să fie supraexpusă, fie că este expusă profesional sau face parte din public, ceea ce este în legătură directă cu principiul limitării dozelor individuale. În același timp, utilizarea constrângerii de doză, aplicabilă expunerilor planificate, a nivelurilor de referință în situații de urgență și a limitelor derivate de emisie sunt asociate cu principiul optimizării. Un alt aspect al valorii de justiție este recunoașterea dreptului factorilor interesați (stakeholders) de a participa la discuțiile și deciziile care îi privesc în materie de RP.

IV. Demnitatea (*Dignity*) se referă la respectul necondiționat pe care îl merită orice persoană, indiferent de atribuțiile sau circumstanțele personale. Autonomia personală este un corolar al demnității umane (*Dignity*:

the unconditional respect that every person deserves, irrespective of personal attributes or circumstances. Personal autonomy is a corollary of human dignity). Respectul demnității umane se referă la acceptul informat al pacienților și voluntarilor pentru aplicarea unei proceduri de iradiere în medicină, sau al factorilor interesați în acceptarea unei situații care privește mediul înconjurător, probleme legate de o situație de contaminare radioactivă, nivelul de radon din locuințe, screeningul din aeroporturi, riscul de iradiere în aviație, etc.

Nu se poate face delimitarea precisă, care valoare etică se aplică pentru fiecare din cele trei principii fundamentale, existând o intercorelare. De asemenea, există două concepte cheie în definirea valorilor etice, rezonabilitatea și tolerabilitatea (reasonableness and tolerability), care sunt în legătură cu principiile de bază ale optimizării și reglementării.

3.2.2 Valori procedurale (Procedural values)

În Secțiunea 4 a Publicației ICRP 138 sunt prezentate trei valori etice procedurale, menite să ajute la implementarea practică a principiilor RP în toate situațiile de expunere: contabilizarea, transparența și inclusivitatea (participarea factorilor interesați) [*accountability, transparency, and inclusiveness (stakeholder participation)*], care conțin puternice aspecte etice în activitatea practică, fiind intercorelate. Acestea privesc și aspectele procedurale și organizaționale, care sunt elaborate ca standarde internaționale, aflate în responsabilitatea AIEA [5] și a altor organisme de standardizare și reglementare, vezi și Figura 1 a prezentei lucrări.

I. Contabilizarea (Accountability) este o valoare etică procedurală care privește obligațiile factorilor decidenți de a răspunde pentru acțiunile lor în fața tuturor celor care ar putea fi afectați de acțiunile lor. (*Accountability can be defined as the procedural ethical value that people who are in charge of decision making must answer for their actions to all those who are likely to be affected by these actions*). Referitor la acțiunile de guvernare sau conducere (*governance*), acestea se traduc prin obligația ce revine decidenților să prezinte rapoarte asupra activității lor, să-și asume întreaga responsabilitate și să fie gata să dea socoteală pentru consecințele acțiunilor lor. Aceste cerințe privesc atât situația prezentă, cât transferul de resurse și cunoștințe pentru generațiile viitoare, chiar dacă modul lor de abordare a RP nu poate fi previzionat.

II. Transparența (Transparency) este o cale de implementare practică a valorii etice a justiției (*Transparency is also part of implementing the value of procedural justice*). Este modul în care trebuie distribuită informația între persoane individuale și instituții. Ea implică mai multe aspecte: comunicarea și consultarea, precum și accesul la informații, deliberări, decizii și interese; în același timp implică și claritatea și onestitatea informației transmise. Aceste precizări sunt în concordanță cu definiția dată de Organizația Internațională de Standardizare (ISO) [6] termenului transparență. “Transparența înseamnă deschiderea privind deciziile și activitățile care afectează societatea, economia și mediul înconjurător, și dorința de a comunica acestea într-o manieră clară, exactă, promptă, onestă și completă” (*Transparency means openness about decisions and activities that affect society, the economy and the environment, and willingness to communicate these in a clear, accurate, timely, honest and complete manner*). Transparența se asigură în diferite moduri, în funcție de situațiile practice. De exemplu, în medicină pacienții și voluntarii sunt informați și își exprimă acordul pentru o procedură de expunere, în contextual eticii biomedicale, iar în acțiunile de screening se informează toate persoanele din public implicate, etc. Prin modul de aplicare, transparența este și o virtute a autonomiei și demnității, ca valori etice fundamentale.

III. Inclusivitatea (Participarea factorilor interesați) [Inclusiveness (stakeholder participation)] se referă la participarea factorilor interesați, ca modalitate de aplicare practică a valorii. (*The value of inclusiveness is usually referred to using the phrase ‘stakeholder participation’, which is the way the value is applied in practice*). Inclusivitatea implică participarea acestora la procesele de luare a deciziilor în probleme majore de RP. Se citează implicațiile consecințelor contaminării mediului în urma experimentelor nucleare ale SUA și a accidentului de la Cernobîl pentru cetățeni, care au condus la o modificare fundamentală în abordarea conceptuală a RP. Astfel, de la abordarea bazată pe proces, considerând practici și intervenții conform ICRP,1991[7], s-a trecut la abordarea bazată pe situații: expunere existentă, planificată și de urgență, ICRP, 2007[1] (*This, in turn, led the Commission to replace the process-based approach of using practices and*

interventions to a situation-based approach with the distinction between existing, planned, and emergency exposure situations (ICRP, 2007) [1].

3.2.3.Exemplu practic de aplicare a valorilor etice în Protecția Radiologică.

Un exemplu ilustrativ al modului de aplicare a valorilor etice în medicină a fost prezentat la Simpozionul ICRP, 2019, Bochud et al. [8], document aflat încă în lucru. Se precizează că ICRP a solicitat Grupului de Lucru (*Task Group*) 109 să elaboreze un ghid pentru profesioniștii din medicină, pacienți familiile și asistenții (*carers*) lor, public și autorități, privind aspectele etice ale utilizării radiațiilor în medicină, în scop de diagnostic și terapie, având în vedere efectele lor adverse neneglijabile. Datorită acestui fapt, judecățile de valoare etice devin esențiale, mai ales în unele situații particulare, atât în privința alegerii și derulării procedurilor medicale, cât și a comunicării lor. În elaborarea ghidului autorii au avut în vedere atât aspecte științifice, cum este relația doză-efect cu incertitudinile sale, cât și particularitățile situațiilor de aplicare, pentru 10 situații diferite. Au fost analizate modele de aplicare a următoarelor șase valori etice . (i) Valori fundamentale: A face bine și a nu face rău (*Beneficence/non-maleficence*), Prudența/Precauția (*Prudence/Prcaution*), Justiția (*Justice*), Demnitatea/Autonomia (*Dignity/Autonomy*); (ii) Valori procedurale:Transparența/ Contabilizarea (*Transparency/ Accountability*), Inclusivitatea/Empatia (*Inclusivity/Empathy*).

A fost ilustrat modelul cu un exemplu practic: O persoană în vârstă de 66 ani a fost supusă unui test CT pentru suspiciunea de probleme renale, după ce ecografia nu a fost relevantă. S-a detectat o tumoră renală și s-a decis operația. Testul s-a făcut repede, întrucât persoana avea asigurare privată. La externare, în stare vindecată, persoanei i s-a recomandat să vină la monitorare repetată CT, odată la 4 luni, timp de 2 ani. Pacientul a dorit să aibă mai multe informații despre starea sa, dar nu le-a găsit pe site-ul spitalului, așa că a intrat pe site-ul Societății Naționale de Radiologie și a aflat că examinările CT repetate pot fi asociate cu inducerea unor tumori. Aceste informații l-au făcut foarte anxios, deși fusese tratat de tumoră inițială, dar se teme de apariția altui cancer secundar în timpul monitorării. Este interesant de văzut cum propune ghidul să se evalueze respectarea cerințelor etice în acest caz. Se propune un punctaj cu două puncte pentru maxima conformitate sau neconformitate, un punct pentru nivelul inferior și nu se acordă puncte pentru neaplicabilitatea criteriului.

A face bine și a nu face rău (*Beneficence/non-maleficence*). Procedura este pe deplin justificată, a identificat corect cauza bolii și s-a intervenit prompt. Se propun două puncte de conformitate. Totuși, nu i s-a spus nimic despre riscurile radiologice ale procedurii CT, deci se propune un punct de neconformitate.

Prudența (*Prudence*). Persoana este în vârstă, deci este mai puțin sensibilă la efectele iradierii, procedura CT este cea mai adecvată, și se propun două puncte de conformitate.

Justiția (*Justice*). Pacientul a fost examinat prompt și i s-a aplicat procedura de examinare recunoscută în țara sa din punctul de vedere al RP, deci se propun două puncte de conformitate. Există o discuție pentru că a fost examinat peste rând, având asigurare privată, dar acest aspect etic nu intră în sfera RP, deci nu se punctează.

Demnitate/Autonomie (*Dignity/Autonomy*). Pacientul a fost respectat ca persoană, fiind tratat repede și eficient și se propune un punct de conformitate. Pe de altă parte, referitor la autonomie, nimeni nu i-a oferit explicații despre riscurile asociate cu radiațiile ionizante, fiind tratat numai ca recipient de act medical și nu ca participant direct în viața sa, fiind expus la iradiere fără consimțământul său. Acest aspect se punctează cu două puncte de neconformitate.

Transparența/ Contabilizarea (*Transparency/accountability*) Pacientul nu a primit o informare promptă, completă și pe înțelesul său asupra procedurilor aplicate și a consecințelor lor, și nu a găsit-o nici pe site-ul spitalului. Se propune un punct de neconformitate.

Inclusivitatea/Empatia (*Inclusivity/empathy*) Personalul medical nu i-a dat asigurări pacientului că i s-a aplicat cel mai bun tratament, neținându-se cont de sentimentele și îngrijorările sale. Pentru acest considerent se propun două puncte de neconformitate.

Sumarizând punctajele propuse pentru toate valorile etice din acest exemplu, se observă că evaluarea are șapte puncte de conformitate și șapte puncte de neconformitate. Deși aspectele tehnico-științifice au fost relevante, pacientul fiind vindecat, balanța dintre conformitățile etice pozitive și cele negative a fost practic la echilibru. Modelul de tabel propus este un mod rapid și eficient de evaluare a aplicării valorilor etice ale RP în domeniul medical.

4. Concluzii

- Odată cu extinderea situațiilor de expunere la radiații ionizante, rolul sistemului de protecție radiologică este în continuă creștere, atât ca diversificare a ariei cât și ca responsabilitate. Se au în vedere factorii care influențează starea de bine a oamenilor și a mediului înconjurător. Complexitatea problemelor de aplicare a principiilor de bază ale RP: justificare, optimizare, limitare a dozelor pun probleme de natură tehnico-științifică, de natură etică și de reglementare, care trebuie rezolvate atât conceptual, cât și în activitatea practică.
- Prin elaborarea Publicației ICRP nr. 138/2018, Comisia a abordat într-o formă holistică toate aspectele etice. Conceptele etice de bază: A face bine și a nu face rău, Prudența, Justiția, Demnitatea; Aspectele procedurale: Contabilizarea, Transparența, Inclusivitatea.
- Codurile etice anterioare apariției Publicației ICRP 138, adresate membrilor IRPA și ai ICRP, practic tratează aspecte de natură procedurală și au fost ulterior sintetizate în conținutul publicației ICRP 138/2018.
- Principiile de etică în RP se așteaptă să fie aprofundate și extinse ca aplicabilitate în activitatea următoare a ICRP, așa cum rezultă din agenda viitorului său simpozion, din anul 2022.

Mulțumiri.

Această lucrare a fost suportată dintr-un grant al Ministerului Român al Educației și Cercetării, CNCS - UEFISCDI, proiectul numărul PN-III-PI-1.1-TE-2019-021, din cadrul PNCDI III.

Bibliografie

- [1] ICRP, 2007. The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2–4).
- [2] CRP, 2015. ICRP Code of Ethics. International Commission on Radiological Protection, Ottawa. Available at: <http://www.icrp.org/docs/ICRPCodeofEthics.pdf>. (Accesat la 9 septembrie 2021)
- [3] ICRP, 2018. Ethical foundations of the system of radiological protection. ICRP Publication 138. Ann. ICRP 47(1).
- [4] N.E. Martinez. 2020. The 2018 Bo Lindell Laureate Lecture: Finding common ground between science, ethics, and experience, Proceedings of the Fifth International Symposium on the System of Radiological Protection. Adelaide, Australia, Nov.2019. Ann ICRP49. S1., pp.9-31. ISSN 0146-6453; ISN 978159768541
- [5] IAEA, 2014. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements Part 3. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- [6] ISO, 2010. Guidance on Social Responsibility. ISO 26000:2010(E). International Organization for Standardization, Geneva.
- [7] ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann ICRP 21(1–3).
- [8] F. Bochud, M.C. Cantone, K. Applegate, M. Coffey, J. Damilakis, M. del Rosario Perez, F. Fahey, M. Jesudasan, C. Kurihara-Saio, B. Le Guen, J. Malone, M. Murphy, L. Reid and F. Zölzer. 2020. Ethical aspects in the use of radiation in medicine: update from ICRP Task Group 109. Proceedings of the Fifth International Symposium on the System of Radiological Protection. Adelaide, Australia, Nov.2019. Ann ICRP49. S1., pp.143-153. ISSN 0146-6453; ISN 978159768541

Concepte actuale privind corelații între dozele de iradiere și modificări patologice radioinduse la nivelul cristalinului pentru personalul expus profesional

I. Oswald (ioanoswald5@yahoo.com)¹, Margareta Cheresteș², D. Iancu³, Eva Todoruț⁴, S Haidu⁵,
Mihaela Coroi⁶, Ioana Tecsi⁷,
^{1,4,5,6}Spitalul Clinic Județean de Urgență Oradea, ³C.N.C.A.N- București, ²SC RODOS SRL
⁷Laboratorul Igiena Radiațiilor Oradea

ABSTRACT

Efectele biologice radioinduse prin dozele de iradiere încasate de personalul expus profesional la radiații ionizante în laboratoarele de angiografie (Radiologia intervențională) reprezintă un subiect de larg interes, ținând cont de riscurile de iradiere și consecințele acestora asupra stării de sănătate a persoanelor expuse la radiații ionizante pe o perioadă lungă de timp. Deoarece în radiologia intervențională nu putem vorbi de valori standardizate ai timpilor de expunere, problematica metodelor de optimizare și a măsurilor de radioprotecție ce se impun în astfel de activități reprezintă obiectivul principal al acestui studiu prin cuantificarea efectelor radiobiologice induse. În acest context propriile evaluări au ca și standard de referință standarde internaționale în domeniul dozimetriei radiațiilor ionizante (ISO 62387: 2012, ISO 15382: 2015 ISO 2700). Monitorizarea dozimetrică a fost efectuată individual, pe o perioadă de trei ani. S-au evaluat doze la nivelul membrelor superioare, doza la cristalin, cât și în afara acestora, respectiv în interiorul echipamentelor de radioprotecție. Evaluarea finală s-a efectuat printr-un studiu corelativ între valorile de doză obținute și analizele paraclinice oftalmologice specifice persoanelor expuse profesional la radiații ionizante.

Cuvinte cheie: dozimetrie, radiație ionizantă, echipament radioprotecție

INTRODUCERE

Radiația ca și noțiune fizică reprezintă o energie în tranziție. Radiația ionizantă are proprietatea fizică de a produce ionizări ale mediilor pe care le străbate. Dacă ne raportăm la interacțiunea cu mediile biologice pe care le străbate radiația ionizantă putem să definim faze de acțiune, funcție de timpul de acțiune cât și parametri fizici care caracterizează tipul de radiație ionizantă.

Astfel de la momentul primei interacțiuni cu durată cuprinsă 10-15 *mlsec* vor apărea excitări și ionizări, formare de radicali liberi și compuși moleculari. Durate mai îndelungate de acțiune, exemplu *ore*, produc efecte celulare precoce (moarte celulară) sau săptămâni care produc efecte tardive. Procesul cumulativ al dozelor de radiație peste limitele admise în *ani* vor produce patologii maligne.

Mecanismul care stă la baza acestor fenomene constă în faza moleculară, cauzată de ionizările indirecte ale atomilor și acțiunea indirectă a radicalilor liberi (HO_2 , H_2O_2 , $\text{OH}^\cdot$). Etapa biologică constă în secvența de reparare a ADN într-un interval de timp estimat în ore pentru leziunile simple sau dublu catenare, ori repararea imperfectă prin modificări celulare respective mutății.

Riscurile de iradiere pot avea mai mulți factori. Unul dintre cei mai importanți factori îl are poziția operatorului în raport cu sursa de radiații. Cunoscut fiind faptul că gradul de atenuare a intensității radiației este invers proporțională cu pătratul distanței în raport cu sursa de radiație, distanța față de acesta reprezintă o măsură de radioprotecție esențială. Acest lucru este schematic prezentat în figura de mai jos.

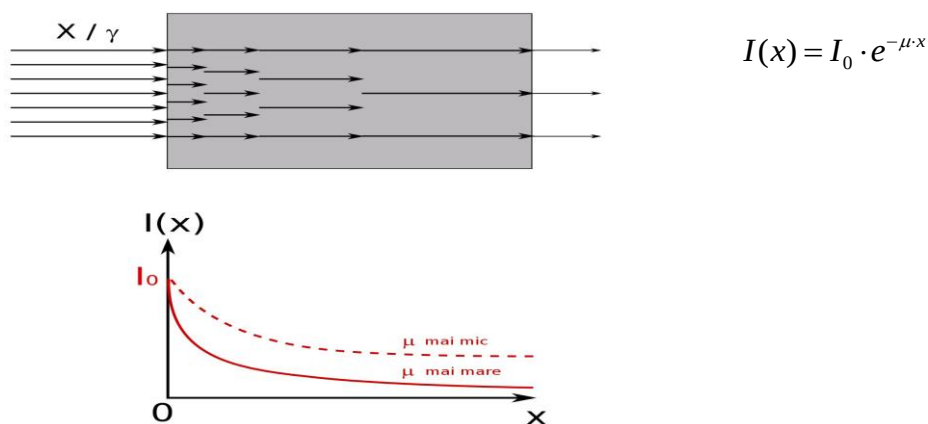


Fig. 1. Modul de atenuare a radiației ionizante într-o structură

unde " $I(x)$ " este intensitatea transmisă prin grosimea " x "

μ - coeficient de atenuare liniară

I_0 - intensitatea fascicolului incident

Factorul timp, prin reducerea perioadei de expunere, utilizarea și dimensionarea necorespunzătoare a ecranelor de protecție radiologică, respectiv a echipamentelor de radioprotecție, constituie factori decisivi în reducerea dozei de iradiere.

Principalii factorii de risc în patologia neoplazică radioindusă sunt enumerați în tabelul 1.

Tabel 1. Factori de risc ai cancerului radioindus

FIZIC	BIOLOGIC
Calitatea radiației	Factorul genetic estrogen
Doză	Vârsta la prima expunere
Debitul dozei	Sexul
	Organul iradiat

Efectele secundare ale *radiațiilor X* sunt dependente de doza de iradiere. Pornind de la acest aspect se poate defini efecte deterministice (care au un prag de apariție) cataracta, boala cutanată acută etc. iar severitatea acestora este dependentă de doza echivalentă.

Efecte stocastice (la care nu există prag de doză) pot produce modificări structurale și la valori cumulate. Pot apărea și la valori foarte mici ale echivalentului de doză.

Incidența apariției efectelor secundare sunt într-o corelație directă cu parametrii tehnici ai instalațiilor medicale de radiologie intervențională conform tabelului 2.

Tabelul 2. Parametrii specifici de expunere în radiologia intervențională

Parametrii tehnici	Domeniul
Tensiune Anodică	60-120 kVp
Intensitatea curentului prin tub	5-1000 mA
Filtrare Inerentă	3 –6 mm Aleq (tipic 4.5 mm Aleq)
Filtrare Adițională	0.2 –0.9 mmCu
Durata pulsului	1 -20 ms (tipic 10-20 ms)
Frecvența pulsului	1 –30 pps (tipic 15 pps)
Echivalentul de doză în fasciculul primar	2 - 360 Sv.h-1
Rata echivalentă a dozei în fasciculul împrăștiat (operator – în afara șortului de plumb)	5.10-3 to 10 Sv.h-1
Domeniul energetic al radiației împrăștiată	20 keV–100 keV

MATERIAL ȘI METODĂ

Pentru lotul luat în studiu s-au efectuat monitorizări la nivelul cristalinului cât și la nivelul întregului corp (*whole-body*). Tipurile de dozimetre utilizate la cristalin sunt de tip TLD produse de firma Panasonic care conține 3 detectori termoluminescenți realizați din material echivalent țesut (LiF) plasați astfel: în zona ochiului stâng, central și în zona ochiului drept. Filtru de PTFE asigură o filtrare echivalentă cu 3 mm țesut. Dozimetrul whole body (Panasonic) conține 4 detectori termoluminescenți din material echivalent țesut: 2 detectori din Li2B4O7:Cu și 2 detectori din CaSO4:Tm

S-a realizat un studiu descriptiv, de tip prevalență instantanee, în cadrul Spitalului Clinic Județean de Urgență din Oradea în perioada 2018-2020. Lotul de pacienți urmărit fiind reprezentat de medicii și personalul medical mediu expus profesional la radiații ionizante la locul de muncă.

Analiza cazurilor luate în studiu se face în funcție de următoarele criterii: sex, vârstă, antecedente personale patologice, vechimea la locul de muncă precum și în funcție de doza de iradiere lunară la care personalul este expus.

Opacitățile cristalinene sunt încadrate conform clasificării LOCS III (Lens Opacities Classification System ediția a III-a), utilizată în realizarea studiilor clinice pentru aprecierea severității și localizării tulburărilor de transparență cristaliniană.

Modificările de transparență cristaliniană sunt împărțite în modificări de tip opacitate sau modificări de tip culoare, iar în funcție de morfologia lor ele pot fi nucleare, corticale sau subcapsulare posterioare.

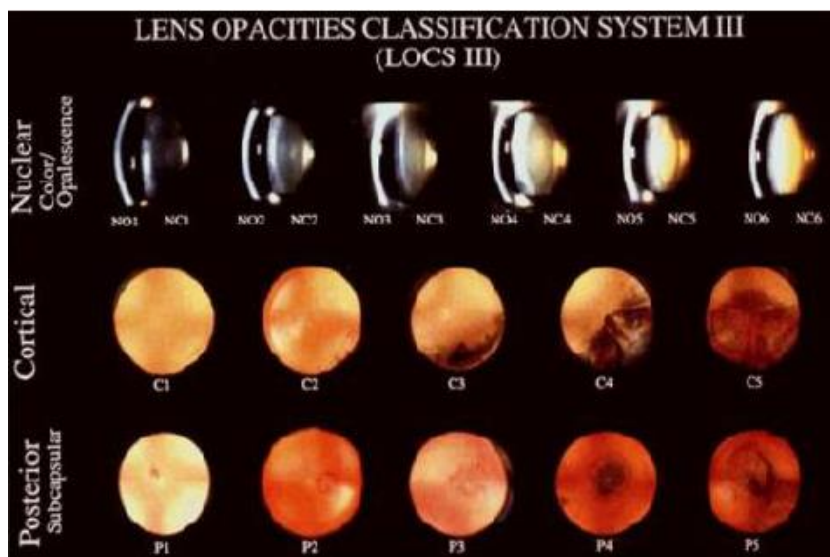


Fig. 1 – Clasificarea LOCS III

Au fost analizate posibilele corelații între modificările de transparență cristaliniană și doza de radiații la care au fost expuși participanții la studiu.

REZULTATE

Noua limită de doză echivalentă la cristalin este 20 mSv/an. Limita derivată lunară se definește conform formulei:

$$L = 20 \text{ mSv} / 12 \text{ months} = 1,66 \text{ mSv} \approx 1,7 \text{ mSv}$$

Persoane expuse profesional implicate în studiu sunt într-un număr de 89

Tabelul 3 Valori procentuale ale dozei echivalente

Intervalul valorii dozei	Ochi stâng (%)	Central (%)	Ochi drept (%)
< 0,10mSv	6	11	6
[0.1- 1,00] mSv	33	39	72
(1 – 1,70] mSv	22	33	22
(1,70-20] mSv	39	17	0
>20 mSv	0	0	0

Aproximativ 40% din persoanele participante la studiu au înregistrat valori explicite ale Hp(3) mai mari de 1,7 mSv.

Tabel 4 Valori ale dozei echivalente Hp(3) și Hp(10)

Nr crt.	Hp(3),mSv			Hp(10)[mSv]	Experiență
	Ochi stâng	Central zone	Ochi drept	Sub Șorț	
1	2.22	1.46	0.7	0,20	-
2	2.68	1.56	1.42	-	-
3	3.10	1.50	0.50	0,20	19 ani
4	1.40	0.50	0.20	0,25	10 luni
5	0.40	0.20	0.20	0,03	17 ani
6	1.90	2.00	1.40	0,20	1 an
7	2.40	1.90	1.80	0,15	2 ani
8	1.30	1.50	1.40	0,05	--
9	0.60	0.50	0.20	-	-
10	1.80	1.50	0.90	0,10	-
11	0.80	0.80	0.70	0,10	-
12	4.10	3.30	1.70	0,40	9 luni

Dozele la cristalin au valori semnificative în condițiile în care dozele la nivelul întregului organism au valori mici. Conform valorilor din tabele nr 3 și din nr 4 se observă că valorile de doză variază semnificativ de la ochiul stâng la ochiul drept.

CRITERII DE CLASIFICARE

A. Numărul pacienților cu opacități cristaliniene și tipul acestora:

Dintr-un total de 89 pacienți examinați, opacitățile cristaliniene sunt prezente la un număr de 44 ochi distribuite astfel conform clasificării LOCS III:

- opacități corticale descoperite la 21 ochi din care - C1: 7 ochi, C2: 9 ochi, C3: 4 ochi.
- opacități nucleare descoperite la 23 ochi din care - N1: 10 ochi, N2: 10 ochi, N3: 3 ochi.
- opacități subcapsulare posterioare descoperite la 11 ochi din care - P1: 5 ochi, P2: 3 ochi, P3: 3 ochi.

La un număr de 6 ochi au fost descoperite opacități de tip vacuole cristaliniene ce nu au putut fi încadrate în clasificarea LOCS III, 2 dintre pacienți având afectare cristaliniană vacuolară de tip bilateral. Tabel 4

Există un număr de 12 ochi la care sunt prezente opacități asociate atât la nivel cortical, nuclear sau subcapsular posterior. Aceste asocieri sunt: 2 de tip C2P2, 1 de tip C3P3, 1 de tip N1P1, 1 de tip N2C2, 1 de tip N1C2, 2 de tip C3N2, 4 de tip N1C1P1

B. Distribuția pacienților cu opacități cristaliniene în funcție de sex:

Dintr-un total de 67 de pacienți de sex feminin și 22 de pacienți de sex masculin aflați în studiu, s-a constatat o afectare de 32 ochi la pacienții de sex feminin și 11 ochi la pacienții de sex masculin.

Prin compararea acestor date, se poate evidenția o distribuție pe sexe aproape egală, cu un ratio: 2 masculin respectiv 2.09 feminin.

C. Distribuția pacienților cu opacități cristaliniene pe grupe de vârstă și sexe (decade):

Dintr-un total de 89 de pacienți aflați în studiu, cea mai numerică decadă expusă la risc este decada IV, cu un număr de 30 pacienți, iar cea mai redusă numeric este decada VI cu un număr de 1 pacient. Între aceste extreme numerice sunt localizate (crescător) decada V cu un număr de 15 pacienți, decada II cu 18 pacienți și decada III cu 25 pacienți.

Distribuția opacităților cristaliniene în funcție de vârstă este:

- în decada II - doar opacități tip vacuole observate la 2 pacienți, 3 ochi afectați în total
- în decada III - opacități de tip cortical, nuclear și subcapsular posterior observate la 8 pacienți, 13 ochi afectați în total.
- decada a IV - opacități de tip cortical, nuclear și subcapsular posterior observate la 10 pacienți, 17 ochi afectați în total.
- decada V - opacități de tip vacuolar, cortical, nuclear observate la 8 pacienți, 11 ochi afectați în total.
- decada VI - opacități de tip cortical și subcapsular posterior observate la 1 pacient cu afectare bilaterală.

D. Asocierea între prezența opacităților cristaliniene și doza de radiație acumulată în timp:

Din totalul celor 44 de pacienți afectați, se pot face următoarele observații fata de doza de radiație acumulată în timp (doza radiație / an):

- 1 pacient dezvoltă cataractă la o doză < 0.16 mSv
- 8 pacienți dezvoltă cataractă la o doză cuprinsă între 0.16-0.30 mSv
- 33 pacienți dezvoltă cataractă la o doză cuprinsă între 0.30-0.60 mSv
- 2 pacienți dezvoltă cataractă la o doză > 0.60 mSv

DISCUȚII

Consiliul EURATOM în cadrul Congresului de la Viena din Decembrie 2013, emite o directivă (2013/59) prin care trasează normele de muncă în condiții de securitate, acestea fiind situate la o valoare prag maximă de 20 mSv/an, până atunci fiind acceptate valori maxime de până la 150mSV/an.

În acest sens, deși valoarea dozei la cristalin a scăzut de la 150mS/an la 20mSv/an, efectul cumulativ al dozei de iradiere nu trebuie neglijat în practica medicală intervențională, iar acest lucru reiese încă din relația liniară identificată între timpul de lucru / vechimea la locul de muncă în mediu cu expunere la radiație și prezența opacităților cristaliniene.

În urma acestui studiu este că relația de cauzalitate între opacitățile cristaliniene și timpul petrecut în mediul ionizant, va putea fi sau nu demonstrată atunci când acest demers se va desfășura pe mai mulți ani, acesta fiind de altfel un obiectiv deja stabilit prin necesitatea reevaluării periodice a acestor pacienți. Statistica valorilor de doză echivalentă Hp(3) argumentează purtarea echipamentului de radioprotecție adică ochelari cu săruri de plumb.

Din toate valorile statistice prelucrate în studiul nostru nu am înregistrat nici o afecțiune cu caracter malign la nivelul analizatorului vizual având relația de cauzalitate dozele de iradiere pe o perioadă de trei ani. Însă din această perspectivă pentru supradoze pe perioade lungi și foarte lungi rămâne o temă de interes în ceea ce privește patologia malignă radioindusă.

CONCLUZII

Câteva dintre cele mai importante concluzii ale studiului efectuat sunt pe de-o parte faptul că nu poate fi demonstrată o relație de cauzalitate directă între vechimea la locul de muncă și existența opacităților cristaliniene; asocierile relevate în prezentul studiu sunt o bază bună de pornire pentru a trage un semnal de alarmă asupra importanței monitorizării permanente și periodice a personalului expus profesional la radiații ionizante.

Pe de altă parte, măsurile de radioprotecție se impun ca absolut necesare în vederea diminuării riscurilor de dezvoltare a cataractei de iradiere, astfel încât se impune cu mare strictețe purtarea filtrelor de protecție adecvate, destinate special acestui domeniu în vederea limitării dozei de radiație ionizantă absorbită de cristalini (ochelari de protecție și ecrane de protecție transparente). În cardiologia intervențională doza la cristalini variază semnificativ de la un ochi la celălalt. Purtarea ochelarilor de protecție prezintă în acest sens o condiție obligatorie conform normativelor legislative în vigoare

BIBLIOGRAFIE

1. Ghiassi-Nejed, Mortazavi, Cameron JR, Niroomand-rad A., Karam PA: *Very High Background Radiation Areas of Ramsar, Iran: preliminary biological Studies*. Health Physics 82(1)2002 87 - 93
- 2].Berrington A, Darby S, Weiss HA, Doll R: *100 years of observation on British radiologist: mortality from cancer and other causes 1897-1997*. The British Journal of Radiology 74, 2001, 505-519
3. van Dijk J W E, Bolognese-Milsztajn T, Fantuzzi E, Lopez Ponte M. A. and Stadtmann H. (editors), *Harmonising of Individual Monitoring in Europe*, Radiat. Prot. Dosim. 112 (1), 3–189, (2004)
4. EURADOS <http://www.eurados.org>. EURADOS Report 2015-01: A F McWhan et al. EURADOS Intercomparison 2010 for Whole Body Dosimeters in Photon Fields.
- 5 .Stadtmann H, Schmitzer C, Schuhmacher H. (editors), *European Workshop on Individual Monitoring of Ionising Radiation (IM2005)*. Radiat. Prot. Dosim. 125, (1-4), (2007)
- 6.Merriam GR.Jr., Worgul BV: *Experimental radiation cataract – Its clinical relevance*Bull. N.Y. Acad. Med. 1983; 59:372-392.
7. Vanhavere F., Carinou E., Gualdrini G., Clairand I., Sans Merce M., Ginjaume M., Nikodemova D., Jankowski J., Bordy J-M., Rimpler A., Wach S., Martin P., Struelens L., Krim S., Koukorava C., Ferrari P., Mariotti F., Fantuzzi E., Donadille L., Itié C., Ruiz N., Carnicer A., Fulop M., Domienik J., Brodecki M., Daures J., Barth I., Bilski P. *ORAMED Optimization of Radiation Protection of Medical Staff* EURADOS Report 2012-02 Braunschweig, April 2012.
- 8 .Alves J G. EURADOS Education and Training Activities. *MELODI - Multidisciplinary European Low Dose Initiative, Integrating observational and experimental research*, MELODI workshop, 6th to 8th October, Barcelona, Spain (2014), Available for download from:http://www.melodi2014.org/files/presentations/07102014/4_EURADOS_EandT_AlvesJG_141007.pdf
9. J. Daures, I. Clairand, J-M Bordy, E. Carinou, J. Debroas et colab.: *Guidelines for the use of active personal doseimeters in interventional radiology / cardiology – Oramed Project*, Barcelona 20-22 January 2011 Workshop on optimisation of Radiation Protection of Medical Staff
- 10.Low doses of gamma radiation effect on leucocytes, Ciorba D., **Cosma C.**, Environment and Progress, 3/2005, p. 79-85, Carpatica, ISSN 1584-6733, 2005.

Noi concepte și limite introduse de Recomandările ICNIRP 2020 privind expunerea la câmpuri electromagnetice de radiofrecvență

C. Goiceanu (*cristian.goiceanu@insp.gov.ro*), R. Dănulescu, Eugenia Dănulescu
INSP - CRSP Iași

Rezumat

Noile recomandări ale Comisiei Internaționale pentru Protecția față de Radiațiile Neionizante (ICNIRP) dedicate câmpurilor de radiofrecvență, apărute în 2020, sunt ultimele din seria de trei recomandări menite să le înlocuiască pe cele precedente, care datează din anul 1998 și care recomandau limite pentru expunerea la câmpuri electromagnetice variabile în timp. Astfel, noile recomandări, împreună cu cele din 2010 pentru câmpuri electrice și magnetice de joasă frecvență, precum și cu cele din 2014 pentru câmpuri magnetice lent variabile și mișcarea în câmpuri magnetice statice, formează un set de trei recomandări care acoperă complet spectrul celor din 1998, înlocuindu-le în totalitate.

Recomandările ICNIRP 2020 aduc modificări ale principiilor pentru limitarea expunerii la câmpuri de radiofrecvență începând cu conceptele referitoare la expunere și cu o abordare mai nuanțată a efectelor expunerii. În privința efectului termic, este luată în considerare dinamica procesului de încălzire tisulară printr-o abordare separată a creșterilor lente față de creșterile rapide de temperatură. La stabilirea nivelurilor de prag pentru apariția efectelor biofizice ale expunerii la câmpuri de radiofrecvență s-a ținut cont și de efecte similare induse de alți factori, ceea ce a condus la introducerea unui nou tip nivel de prag denumit nivel de prag operațional.

În ceea ce privește seturile de mărimi fizice utilizate pentru exprimarea limitelor de expunere și, respectiv, a nivelurilor de referință, apar mai multe schimbări de mărimi fizice, precum și ale unor valori stabilite pentru mărimile care se utilizează în continuare. Pe lângă utilizarea de mărimi noi, au apărut și modificări ale criteriilor utilizate pentru evaluarea expunerii umane în raport cu limitele de expunere, precum și a criteriilor pentru determinarea nivelurilor de câmpuri prezente în mediu.

În concluzie, recomandările ICNIRP 2020 prezintă multe modificări importante în comparație cu recomandările precedente, modificări care au condus la prevederi mai detaliate și mai precise, însă mai complexe și mai dificil de înțeles și de aplicat. Lucrarea prezintă principalele modificările aduse de noile recomandări și pune în evidență semnificația și rostul lor.

Cuvinte-cheie: câmpuri electromagnetice, radiofrecvență, standarde de protecție, limite de expunere.

1. INTRODUCERE

În ultimele două decenii, pe plan internațional s-a manifestat un interes deosebit pentru îmbunătățirea domeniului protecției sănătății față de expunerea la câmpuri electromagnetice, atitudine stimulată de proliferarea dispozitivelor care utilizează aceste câmpuri, precum și de apariția de noi tehnologii. Totodată, progresul tehnologic a condus și la dezvoltarea de echipamente de măsură moderne care permit o mai bună determinare a nivelurilor de câmpuri electromagnetice din mediu. În acest context au fost elaborate noi standarde și norme de expunere la câmpuri electromagnetice și au fost dezvoltate noi standarde de evaluare a expunerii.

Anul trecut Comisia Internațională pentru Protecția față de Radiațiile Neionizante (ICNIRP) a încheiat procesul de actualizare a recomandărilor privind limitarea expunerii la câmpuri electromagnetice variabile în timp. Acest proces de actualizare a recomandărilor precedente care datau din anul 1998 [1], a început cu recomandările din 2010 pentru câmpuri electrice și magnetice de joasă frecvență [2] și a continuat cu cele din 2014 pentru câmpuri magnetice lent variabile și mișcarea în câmpuri magnetice statice [3]. Recomandările ICNIRP 2020 privind câmpurile electromagnetice de radiofrecvență (RF) [4] finalizează efortul de actualizare a limitelor de expunere la câmpuri electromagnetice variabile în timp. În ceea ce privește expunerea la câmpurile magnetice statice, recomandările ICNIRP au fost actualizate în anul 2009 [5] și le-au înlocuit pe cele din 1990 [6].

Tot în domeniul limitării expunerii umane la câmpuri electromagnetice, după anul 2010, pe plan internațional au mai fost dezvoltate și publicate și alte reglementări și standarde care au inclus schimbări importante față de cele din deceniile anterioare, dar și unele elemente diferite față de cele trei noi recomandări ICNIRP. În Uniunea Europeană a fost adoptată Directiva UE nr. 35/2013 privind expunerea lucrătorilor la câmpuri electromagnetice [7]. Această directivă se bazează pe două dintre noile reglementări ICNIRP, cele din 2009 pentru câmpuri statice și cele din 2010 pentru câmpuri de joasă frecvență, însă pentru câmpurile de înaltă frecvență prevederile directivei se bazează pe vechile recomandări ICNIRP din 1998. Peste ocean, în anul 2019 apare standardul internațional IEEE C95.1-2019 [8] care propune limitarea expunerii umane la câmpuri electromagnetice la valorile calculate de specialiștii afiliați la societatea profesională denumită Institutul Inginerilor Electrotehniști și Electroniști (IEEE – Institute of Electric and Electronics Engineers).

În ceea ce privește evaluarea expunerii la câmpuri electromagnetice, pe plan internațional au fost elaborate standarde de măsurare a nivelurilor de câmp din mediu, precum și standarde de evaluare prin dozimetrie numerică – efectuată prin simulare pe calculator - a absorbției câmpurilor în organism. Principalele standarde de măsurare a câmpurilor electromagnetice și de realizare a studiilor de dozimetrie computerizată au fost dezvoltate de Comisia Electrotehnică Internațională (IEC - International Electrotechnical Commission), Comitetul European pentru Standardizare în Electrotehnică (CENELEC - Comité Européen de Normalisation Électrotechnique) și de IEEE.

Noile recomandări ICNIRP 2020 privind expunerea la câmpuri electromagnetice de radiofrecvență aduc modificări importante ale modurilor de aplicare a principiilor pentru limitare a expunerii. Astfel, apar noi conceptele sau nuanțări ale conceptelor utilizate anterior, precum și definiții mai exacte ale noțiunilor. Se observă o nouă manieră de a stabili niveluri de prag pentru apariția efectelor, precum și o diversificare a modului în care este abordat efectul termic. De asemenea, apar modificări ale limitelor de expunere (restricții de bază) și ale nivelurilor de referință care au vizat nu doar valorile propriu-zise, ci și mărimile fizice utilizate pentru exprimarea limitelor și a nivelurilor. În cele ce urmează, lucrarea prezintă modificările aduse de noile recomandări ICNIRP 2020 și pune în evidență semnificația și rostul al acestor schimbări.

2. EFECTE LUATE ÎN CONSIDERARE ȘI NOI NIVELURI DE PRAG

Un efect biologic poate consta din modificări fizice, chimice sau biologice induse în sistemul biologic de câmpul electromagnetic. Aceste modificări pot fi reversibile și, în multe situații, pot fi compensate de mecanismele compensatorii ale organismului, astfel încât nu se ajunge la apariția unor efecte asupra sănătății. Într-un document ICNIRP publicat tot în anul 2020, referitor la principiile pentru protecția față de radiațiile neionizante [9], se precizează că „Recomandările ICNIRP nu intenționează să protejeze față de efectele biologice ca atare, decât dacă este asociat și un efecte advers asupra sănătății. Limitele de expunere au fost dezvoltate pentru a proteja față de efectele adverse asupra sănătății dovedite științific.

În contextul sus-menționat, efectele senzoriale nu au fost luate în considerare pentru stabilirea de limite numai pentru că produc un disconfort, ci doar în situația în care pot compromite starea de bine. Ca o consecință a definirii mai exacte a conceptelor de efect senzorial și de efecte advers asupra sănătății, precum și datorită studiilor efectuate în ultimele două decenii, ICNIRP a renunțat la a mai lua în considerare efectul auditiv al microundelor pulsatorii la stabilirea de limite de expunere, apreciind că nu este necesară protejarea față de acest efect senzorial.

În contrast cu noua atitudine față de efectul auditiv, în privința efectului de stimulare a nervilor ICNIRP consideră că trebuie limitată expunerea nu doar sub nivelurile care pot provoca contracții musculare involuntare, ci și sub cele la care apare un efect senzorial descris ca senzație de furnicături deoarece această senzație este apreciată ca putând determina iritare, enervare și deranjare / perturbare.

Recomandările ICNIRP 2020 propun și o nouă manieră de stabilire a nivelurilor de prag pentru apariția efectelor adverse. A fost introdus un nou concept, *nivelul de prag operațional*, pentru situațiile în care:

- nu există date suficiente din studiile de expunere la câmpuri RF pentru a putea stabili relații doză-efect, dar se pot folosi date din studii care au dovedit apariția de efecte similare (termice) induse de alți factori.
- studiile care au dovedit apariția de efecte similare induse de alți factori au arătat niveluri de prag mai mici decât cele din studiile de expunere la câmpuri RF.

Noile recomandări ICNIRP au o abordare mai nuanțată a efectului termic al câmpurilor RF. Este luată în considerare și dinamica procesului de încălzire tisulară care ține cont atât de viteza procesului de absorbție a energiei electromagnetice, cât și de acțiunea mecanismelor de termoreglare. În consecință, s-a recurs la o abordare separată a două tipuri de încălzire:

- *creșterea temperaturii de echilibru* (creștere lentă) în contrast față de
- *creșterea rapidă de temperatură* în expunerile intense, dar de scurtă durată.

Pentru cele două tipuri de încălzire datorate expunerii la câmpurilor de radiofrecvență ICNIRP a stabilit, pentru prima dată, *niveluri de prag operațional* pentru *creșterea de temperatură*. Astfel, pentru *creșterea temperaturii centrale a corpului* a fost stabilit un nivel de prag operațional de 1°C, la fel ca standardul din 2017 al ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) [10]. Mai mult, pentru cazul expunerilor localizate s-au clasificat țesuturile în două tipuri și s-au stabilit două niveluri de prag operaționale pentru *creșterea temperaturii locale*:

- 2°C pentru țesuturile de tipul 1,
- 5°C pentru țesuturile de tipul 2.

Cele două tipuri de țesuturi sunt diferențiate prin temperatura de echilibru în condițiile în care nu este necesară intervenția mecanismelor termoreglatoare (normotermie) și care este, în mod tipic, sub 33-36°C pentru tipul 1 și sub 38.5°C pentru tipul 2 de țesut. Țesuturile de tip 1 sunt toate țesuturile din membrele superioare și inferioare, pavilionul urechii, precum și corneea, irisul și camera anterioară a ochiului. Țesuturile de tip 2 sunt toate țesuturile aflate în cap, ochi, abdomen, spate, torace și pelvis, cu excepția celor definite ca fiind de tipul 1. Cele două niveluri de prag operaționale pentru creșterea temperaturii locale au fost stabilite cu scopul ca încălzirea țesuturilor să nu se depășească temperatura locală de 41°C considerată potențial dăunătoare.

3. LIMITAREA EXPUNERII ȘI LĂRGIREA SETURILOR DE MĂRIMI UTILIZATE

Recomandările ICNIRP 2020 introduc noi mărimile fizice pentru asigurarea protecției față de expunerea la câmpuri electromagnetice de radiofrecvență în comparație cu cele utilizate în mod tradițional în acest domeniu. Astfel, față de precedentele recomandări, au fost incluse și alte mărimi fizice pentru exprimarea limitelor de expunere (restricții de bază) și a nivelurilor de referință (niveluri derivate).

Precizăm faptul că, spre deosebire de alte categorii de radiații, în domeniul câmpurilor electromagnetice în care sunt cuprinse și radiațiile electromagnetice de radiofrecvență, se utilizează mărimi fizice diferite pentru exprimarea limitelor de expunere în comparație cu de cele folosite pentru nivelurile de referință. Această diferențiere între cele două categorii de mărimi reflectă două concepte diferite utilizate în domeniul protecției sănătății față posibilele efecte adverse ale expunerii la câmpuri electromagnetice. Limitele de expunere sunt mărimi interne care nu pot fi măsurate și sunt menite să evalueze interacțiunea câmpului electromagnetic cu organismul și să o limiteze la niveluri care previn apariția efectelor adverse. În contrast, nivelurile de referință sunt exprimate printr-un set de mărimi fizice ușor măsurabile și au rostul de a oferi un mijloc rapid de verificare a respectării limitelor de expunere prin simpla măsurare a nivelurilor de câmp electromagnetic din mediu.

În noile recomandări, cele două seturi de mărimi fizice au fost îmbogățite cu mărimi noi dintre care majoritatea nu a mai fost utilizată anterior. Doar una dintre mărimi înlocuiește o mărime utilizată anterior, în timp ce alte patru mărimi au fost introduse în scopul evaluării și al limitării expunerilor localizate de scurtă durată.

3.1. LIMITE DE EXPUNERE SAU RESTRICȚII DE BAZĂ

Limitele de expunere, denumite de ICNIRP *restricții de bază* (BR – basic restrictions), vizează procesele fizice de interacțiune, precum și efectele senzoriale și de sănătate datorate expunerii la câmpuri electromagnetice. Astfel, limitele de expunere sunt exprimate prin mărimi fizice direct legate de procesele biofizice datorate interacțiunii câmpului electromagnetic cu țesuturile, organele și sistemele corpului uman.

Dezavantajul principal al limitelor de expunere este acela că mărimile fizice menite să evalueze expunerea, fiind mărimi interne, nu pot fi măsurate în practică. Din acest motiv, pentru a permite o evaluare nesofisticată și rapidă a expunerii la câmpuri electromagnetice, a fost necesar să se stabilească și niveluri de referință ale câmpurilor din mediu, niveluri exprimate prin alte mărimi fizice care sunt direct măsurabile.

În ceea ce privește limitele de expunere la câmpuri electromagnetice, o deosebire esențială față de domeniul radiațiilor ionizante rezidă în faptul că mărimea care se limitează este, în mod tradițional, intensitatea expunerii (în general intensitatea câmpului electric sau magnetic extern) sau rata dozei absorbite. Cu toate acestea, noile recomandări introduc, în premieră, pe lângă vechile limite pentru rata dozei, limite de doză pentru expunerile localizate intense și de scurtă durată. Astfel, în cazul efectului termic, noile recomandări aduc o abordare diferită a limitării expunerilor de scurtă durată în comparație cu cele de durate egale sau superioare timpului de mediere a expunerii locale care este de 6 minute. Ca limite pentru rata de doză, aceste recomandări preiau vechile mărimi:

- rata de absorbție specifică SAR (*Specific Absorption Rate*),
- densitatea de putere S .

În plus față de aceste limite, pentru expunerile localizate intense și de scurtă durată (sub 6 minute) la câmpuri de înaltă frecvență, a fost introdusă o limitare adițională ca limită de doză. Această limită de doză pentru efectul termic localizat are rolul de a preveni apariția de puncte fierbinți (hot spots) în țesuturi și se exprimă prin două mărimi fizice noi:

- absorbția specifică SA (*Specific Absorption*) și
- densitatea de energie absorbită U_{ab} .

Cele două mărimi au fost introduse în scopul limitării creșterilor prea rapide de temperatură localizate la nivelul capului, al trunchiului sau al membrilor în expunerile intense de durate scurte. Limitele de doză se aplică atunci când durata expunerii este mai mică decât timpul de mediere temporală de 6 minute pentru rata de doză exprimată ca rată de absorbție specifică localizată mediată pe un volum cubic de 10 g de țesut, SAR_{10g} . Aceste limite de expunere adiționale sunt limite de doză cu valori dependente de timp și sunt prezentate în tabelul 1.

În cazul efectului de stimulare a țesutului nervos, noile recomandări au înlocuit vechea mărime prin care se exprima intensitatea expunerii, *densitatea de curent indus* J , cu noua mărime stabilită de recomandările ICNIRP 2010 pentru câmpurile de joasă frecvență: *intensitatea câmpului electric indus* E_{ind} .

Tabelul 1. Limite de doză pentru expuneri RF localizate de durate sub 6 minute, la frecvențe de 400 MHz-300 GHz [4].

Categorია de populație	Frecvența (GHz)	Absorbția specifică SA, (kJ kg^{-1})		Densitatea de energie absorbită U_{ab} , (kJ m^{-2})
		Cap/trunchi	Membre	
Lucrători	0,4 – 6	$3,6[0,05+0,95(t/360)^{0,5}]$	$7,2[0,025+0,975(t/360)^{0,5}]$	-
	6 – 300	-	-	$36[0,05+0,95(t/360)^{0,5}]$
Populația generală	0,4 – 6	$0,72[0,05+0,95(t/360)^{0,5}]$	$1,44[0,025+0,975(t/360)^{0,5}]$	-
	6 – 300	-	-	$7,2[0,05+0,95(t/360)^{0,5}]$

3.2. NIVELURI DE REFERINȚĂ

Deoarece mărimile fizice prin care sunt exprimate limitele de expunere nu pot fi măsurate în interiorul corpului uman, s-a stabilit un set de alte mărimi fizice pentru determinarea nivelurilor de câmpuri electromagnetice prezente în mediu. Ulterior, prin studii de dozimetrie efectuate prin intermediul simulărilor pe calculator s-au stabilit relații aproximative între nivelurile câmpurilor electromagnetice din mediu și absorbția energiei electromagnetice în

organism. Astfel, a fost pusă în evidență distribuția absorbției câmpurilor electromagnetice pentru diverse configurații de expunere caracterizate, în principal, prin:

- frecvența câmpului,
- polarizare,
- zona de câmp,
- talia și conformația corporală,
- postura corporală.

Cu ajutorul acestor studii s-au găsit relații aproximative între nivelurile de câmpuri externe și absorbția lor în corpul uman pentru diverse configurații câmp-corp pe baza cărora s-au stabilit *niveluri de referință (NR)* pentru câmpurile prezente în mediu. Chiar dacă relația dintre mărimile externe și cele interne depinde mult de detaliile configurației de expunere, la stabilirea nivelurilor de referință s-a ținut cont de condițiile cele mai nefavorabile care pot apărea în mod obișnuit în practică. În acest mod s-au obținut valori conservative pentru nivelurile de referință ceea ce face ca, în marea majoritate a cazurilor, limitele de expunere să nu fie depășite dacă nivelurile câmpurilor din mediu sunt mai mici sau egale cu nivelurile de referință. Astfel s-a ajuns la o modalitate simplă și rapidă de verificare a conformității cu normele prin utilizarea unor mărimi ușor măsurabile, dar care diferă de mărimile prin care sunt exprimate limitele de expunere.

În mod tradițional, mărimile fizice utilizate ca *niveluri de referință* pentru câmpurile electromagnetice de radiofrecvență se referă la intensitatea câmpurilor externe, corespund limitelor pentru rata de doză și sunt exprimate prin următoarele mărimi:

- intensitatea câmpului electric incident E_{inc} ,
- intensitatea câmpului magnetic incident H_{inc} și / sau inducția magnetică incidentă B_{inc} ,
- densitatea de putere incidentă S_{inc} .

Pe lângă nivelurile de referință pentru aceste mărimi fizice, noile recomandări ICNIRP au introdus niveluri de referință menite să prevină creșterile prea rapide de temperatură. Astfel, pentru expunerile localizate de durate mai scurte de 6 minute, a fost introdus un nivel de referință pentru o nouă mărime fizică:

- densitatea de energie incidentă U_{inc}

care, în unele cazuri poate fi substituită cu:

- densitatea de energie echivalentă U_{eq} .

În ceea ce privește valorile stabilite pentru nivelurile de referință pentru mărimile tradiționale, E , H și S , spre deosebire de vechile recomandări, cele din anul 2020 prevăd valori diferite pentru expunerea întregului corp față de expunerea localizată. Pentru fiecare dintre cele două configurații ale expunerii, valorile pentru nivelurile de referință sunt cuprinse în câte un tabel și, în funcție de banda de frecvență, aceste valori sunt fie constante, fie dependente de frecvență.

La frecvențe mai mari de 400 MHz, au fost introduse niveluri de referință pentru expunerile localizate intense, dar de scurtă durată (sub 6 min.). Aceste niveluri de referință corespund limitelor de expunere adiționale exprimate ca limite de doză menite să prevină apariția de puncte fierbinți (hot spots) datorate creșterilor prea rapide de temperatură. Valorile nivelurilor de referință sunt dependente de timp și sunt prezentate în tabelul 2, atât pentru expunerea ocupațională, cât și pentru expunerea populației generale.

Tabelul 2. Niveluri de referință pentru expunerile RF localizate de durate sub 6 minute, la frecvențe de 400 MHz-300 GHz [4].

Categoria de populație expusă	Frecvența f (GHz)	Densitatea de energie incidentă U_{inc} (kJ m ⁻²)
Lucrători	0,4 – 2	$0,29 f_M^{0,86} \times 0,36[0,05+0,95(t/360)^{0,5}]$
	2 – 6	$200 \times 0,36[0,05+0,95(t/360)^{0,5}]$
	6 – <300	$275 / f_G^{0,177} \times 0,36[0,05+0,95(t/360)^{0,5}]$
	300	$100 \times 0,36[0,05+0,95(t/360)^{0,5}]$
Populația generală	0,4 – 2	$0,058 f_M^{0,86} \times 0,36[0,05+0,95(t/360)^{0,5}]$
	2 – 6	$40 \times 0,36[0,05+0,95(t/360)^{0,5}]$
	6 – <300	$55 / f_G^{0,177} \times 0,36[0,05+0,95(t/360)^{0,5}]$
	300	$20 \times 0,36[0,05+0,95(t/360)^{0,5}]$

Notă: f_M este frecvența în MHz, iar f_G este frecvența în GHz.

4. ALTE MODIFICĂRI NOTABILE

În noile recomandări ICNIRP pentru expunerea la câmpuri electromagnetice de radiofrecvență apar multe schimbări față de recomandările precedente care datează din anul 1988. În afară de noua abordare de principiu a modalităților de limitare a expunerii, de noile conceptele introduse și de noile mărimi fizice utilizate pentru stabilirea de limite de expunere și de niveluri de referință, se mai remarcă și alte schimbări importante. În cele ce urmează

punctăm o parte dintre aceste modificări și anume cele care sunt cele mai relevante pentru subiectul abordat de prezenta lucrare.

Pentru prima dată recomandările ICNIRP 2020 stabilesc, pentru întreg spectrul de radiofrecvență, valori diferite pentru expunerea localizată față de expunerea întregului corp, începând cu nivelurile de prag pentru apariția efectelor asupra sănătății și continuând cu limitele de expunere și, ulterior, cu nivelurile de referință. Mai mult, pentru cele două configurații de expunere, expunerea întregului corp și expunerea localizată, s-au luat în considerare timpi de mediere diferiți. Dacă pentru expunerea localizată se utilizează durata tradițională de 6 minute, pentru expunerea întregului corp a fost introdusă, pentru prima dată, o perioadă de mediere de 30 minute. În cazul expunerilor localizate de durate mai mici de 6 minute, s-a trecut la prelucrarea temporală prin integrare a valorilor măsurate sau calculate deoarece limitele de expunere sunt, în acest caz, limite de doză. De asemenea, pentru medierea valorii locale a densității de putere se utilizează și o suprafață pătrată a proiecției corpului cu aria de 4 mm^2 , în plus față de medierea pe o suprafață pătrată de 1 mm^2 , singura utilizată în recomandările anterioare.

În ceea ce privește valorile specificate pentru limitele de expunere sau pentru nivelurile de referință, apar modificări a căror prezentare depășește cadrul lucrării de față. Cu toate acestea merită menționat faptul că noile recomandări nu mai stabilesc valori de vârf pentru nivelurile de referință decât pentru câmpurile cu frecvențe cuprinse între 100 kHz – 10 MHz. Astfel, pentru microunde (frecvențe mai mari de 300 MHz) care pot fi modulate în impulsuri, așa cum este cazul emisiilor radar, s-a renunțat la limitarea valorilor de vârf ale intensităților de câmp electric și magnetic și ale densității de putere.

Pentru expunerea simultană la câmpuri de diverse frecvențe au fost îmbunătățite formulele de însumare care includ și mărimile fizice nou introduse. De asemenea, au fost dezvoltate formule pentru cazul expunerilor localizate de scurtă durată (sub 6 minute). Mai mult, în scopul facilitării verificării practice a conformității expunerii prin luarea în calcul a contribuțiilor parțiale, sunt prezentate exemple de însumare care aplică doar combinații permise, în situațiile în care acest lucru este posibil, ale celor două tipuri de evaluare: evaluările în raport cu limitele de expunere și evaluările în raport cu nivelurile de referință.

CONCLUZII

Recomandările ICNIRP 2020 aduc o serie de modificări importante, pe mai multe planuri, de la principiile limitării expunerii și conceptele utilizate, până la mărimile fizice și valorile concrete pentru limitele de expunere și nivelurile de referință. O abordare mai nuanțată a efectelor expunerii la câmpuri electromagnetice de radiofrecvență a inclus și luarea în considerare a dinamicii procesului de încălzire tisulară la stabilirea de limite de expunere. Pe baza acestui considerent, pentru a limita posibilitatea apariției de puncte fierbinți în țesuturi datorită expunerilor localizate, intense și de scurtă durată, a fost introdusă, în premieră în domeniul protecției față de expunerea la câmpuri electromagnetice, limitarea dozei, suplimentar față de limitarea ratei de doză utilizată în mod tradițional în acest domeniu.

De asemenea, a fost introdus un nou concept, nivelul de prag operațional, pentru a permite stabilirea de niveluri de prag în situațiile în care nu există suficiente date din studiile de expunere la câmpuri de radiofrecvență pentru stabilirea unei relații doză-efect, dar se pot folosi date din studii care au dovedit apariția de efecte similare – efecte termice – induse de alți factori. O altă modificare constă în utilizarea de timpi de mediere diferiți pentru expunerile localizate în comparație cu expunerea întregului corp. Mai mult, în cazul expunerilor localizate, intense și de scurtă durată s-a trecut la prelucrarea temporală a valorilor prin integrare, în loc de mediere, așa cum se procedează pentru celelalte situații de expunere.

În privința mărimilor fizice utilizate pentru exprimarea limitelor de expunere și a nivelurilor de referință apar mai multe modificări notabile. Astfel, au fost introduse limite de expunere exprimate prin trei mărimi fizice noi dintre care două mărimi exprimă un nou tip de limite: limitele pentru expunerile localizate de scurtă durată. Tot pentru a proteja față de expunerile localizate de scurtă durată, au fost introduse și noi niveluri de referință exprimate printr-o nouă mărime fizică.

În concluzie, noile recomandări ICNIRP prezintă modificări importante care au condus la prevederi mai complete și mai complexe, ceea ce le face mai precise și aplicabile mai corect într-o plajă mai mare de situații de expunere. Cu toate acestea, amploarea și complexitatea prevederilor le face mult mai dificil de înțeles și de aplicat în practică, în comparație cu cele din recomandările precedente. În acest context, odată ce aceste recomandări vor fi adoptate la nivel european și național, este de așteptat să se constate dificultăți de asimilare și, mai ales, de aplicare corectă.

BIBLIOGRAFIE

1. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz), Health Physics, 74: 494–522; 1998.
2. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz), Health Physics, 99: 818–836; 2010.

3. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP Guidelines for limiting exposure to electric fields induced by movement of the human body in a static magnetic field and by time-varying magnetic fields below 1 Hz, *Health Phys*, 106(3): 418-425; 2014.
4. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz), *Health Phys* 118(5): 483-524; 2020.
5. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP Guidelines on limits on exposure to static magnetic fields, *Health Physics*, 96: 504-514; 2009.
6. International Radiation Protection Association / International Non-Ionizing Radiation Committee (IRPA/INIRC), Interim Guidelines on Limits of Exposure to 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields. *Health Physics*, 54(1): 113-122; 1990.
7. The European Parliament and the Council of the European Union. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (20th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC. *Official Journal of the European Union*, L 179, p. 1–21, June 29, 2013.
8. Institute of Electric and Electronics Engineers (IEEE), IEEE C95.1-2019 - IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz.
9. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP Statement: Principles for Non-Ionizing Radiation Protection, *Health Physics*, 118(5):477–482; 2020
10. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. ACGIH 2017 - TLVs and BEIs: Based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices. ACGIH, Cincinnati, OH, pp. 288, 2017.

Stadiul actual și perspectivele implementării în România ale sistemelor informatice pentru suport în luarea deciziei în situații de urgență nucleară

A.O. Pavelescu (alexandru.pavelescu@nipne.ro)¹, V.T. Acasandrei¹, B.I. Vamanu¹, P. Min²

¹ Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară „Horia Hulubei”, Măgurele, Ilfov

² Comisia Națională pentru Controlul Activităților Nucleare, București

Rezumat

Lucrarea ilustrează, bazându-se pe două studii de caz ipotetice, experiența unei echipe orientate spre cercetare din IFIN-HH și CNCAN, care este implicată în mod constant în pregătirea pentru urgențe nucleare precum și în activități de gestionare a răspunsului la acestea, incluzând asimilarea, implementarea și aplicarea sistemelor europene de suport al deciziei (DSS), dar și în dezvoltarea instrumentelor software interne de suport pentru evaluare radiologică.

1 Introducere

Într-un mediu natural și socio-politic în care, la scară globală varietatea, frecvența, severitatea și imprevedibilitatea amenințărilor înregistrează creșteri evidente, orientarea prognostică asumată este apreciată ca un complement indispensabil în îndeplinirea informată și eficientă a datoriei de a proteja populația, infrastructurile, valorile și actorii din teatrele de operațiuni militare.

În cazul specific al unei eliberări substanțiale de material radioactiv în mediul ambiant așa cum a fost cea de la Cernobîl, a apărut necesitatea creării unor sisteme de sprijinire a deciziilor (DSS) pentru gestionarea situațiilor de urgență survenite după accidente sau incidente nucleare sau radiologice. Sarcina lor principală este aceea de a furniza toate informațiile necesare pentru a decide măsurile de protejare a populației rapid, continuu, consecvent și cuprinzător. Utilizatorii acestor sisteme decizionale sunt instituțiile și organizațiile regionale, naționale și internaționale responsabile pentru gestionarea situațiilor de urgență.

Pregătirea pentru situațiile de urgență potențiale care pot interveni, necesită crearea unor planuri prin care comunitățile intenționează să reducă vulnerabilitatea și să reducă impactul viitoarelor accidente. De asemenea, include crearea de scenarii de accidente și materiale de fond pentru instruirea și exersarea personalului și a tuturor părților implicate în răspuns. În cazul unui eveniment real, sistemul va găzdui toate informațiile relevante privind eliberarea și contaminarea mediului și va prognoza impactul asupra sănătății, agriculturii și economiei cu și fără aplicarea de contramăsuri. De asemenea, poate ajuta factorii de decizie să evalueze diferite măsuri în raport cu o serie de criterii cantitative și calitative. Un alt obiectiv al unui astfel de sistem a fost și este promovarea unui cadru comun european de gestionare a situațiilor de urgență care vizează îndepărtarea de soluțiile naționale

În acest domeniu, în cadrul Institutului Național de Cercetare Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară „Horia Hulubei” (IFIN-HH) există o echipă orientată spre cercetare care este implicată în mod obișnuit în pregătirea pentru urgențe nucleare precum și în activități de gestionare a răspunsului la acestea, care în parteneriat cu grupul de lucru al Comisiei Naționale pentru Controlul Activităților Nucleare (CNCAN) pentru evaluarea riscurilor privind urgențele nucleare și radiologice, a efectuat o analiză comparativă privind eliberarea și transportul atmosferic al materialului radioactiv în cazul unui potențial incident nuclear la Centrala Nucleoelectrică de la Cernavodă (CNE Cernavodă), incident denumit în continuare în lucrare ca eveniment de inițiere cu emisie radioactivă.

2 Sistemele informatice

Un sistem major de sprijin al deciziilor de tip DSS este RODOS (Real-time On-line DecisiOn Support), [1] dezvoltat de către un consorțiu de instituții de cercetare științifică din Europa (Figura 1). Finanțat și promovat de Comisia Europeană pentru utilizarea ca sistem de referință în centrele naționale sau federale de gestionare a situațiilor de urgență/dezastru de pe continent, din peninsula Iberică până la Urali și de la Cercul Polar până la Marea Mediterană, acesta are ca scop furnizarea unui sprijin procedural și bazat pe date reale pentru gestionarea situațiilor de urgență din afara amplasamentului la nivel local, național, regional și global, pentru intervalul post-accident nuclear care acoperă faza timpurie (4-7 zile), precum și pentru fazele intermediară și lungă (luni și ani) ale desfășurării evenimentului, luând în considerare și consecințele economice.

Grupul de lucru ITES „Sisteme de gestionare a accidentelor” de la Centrul de Cercetare Karlsruhe (KIT) din Germania este principalul responsabil pentru și coordonarea activităților de cercetare dezvoltare ale acestui sistem. În cadrul diverselor programe al Comisiei Europene (TACIS, PHARE, ECHO, DEVCO, FP6), 20 de instituții din 16 de țări cum ar fi Spania, Polonia, Ungaria, Republica Cehă și Slovacă și România precum și Ucraina și Rusia au fost

implicate în dezvoltarea RODOS. Astfel în anul 2017 JRodos era operațional în Austria, Finlanda, Germania, Olanda, Elveția și Ucraina și Hong Kong atât la nivel național cât și local. Începând cu 2010 în cadrul proiectului FP6 EURANOS [2] codul RODOS a fost rescris în limbajul de programare JAVA, fiind astfel redenumit JRodos. Sistemul a fost îmbunătățit și completat permanent adăugându-se noi funcționalități în cadrul platformei europene NERIS [3] (European Platform on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery), fiind instalat în ultima sa versiune JRodos 2019 și în România în cadrul Institutului Național de Cercetare Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară „Horia Hulubei” (IFIN-HH) și al Comisiei Naționale pentru Controlul Activităților Nucleare (CNCAN).

JRodos conține modele detaliate de simulare pentru prezicerea și analiza contaminării rezultate, a sănătății și a consecințelor economice și de sănătate. JRodos este un sistem necomercial cu o comunitate de utilizatori activă care influențează extensiile sistemului și tendințele de dezvoltare. Setările implicite de utilizare sunt pentru Europa Centrală. O bază de date mondială cuplată cu sisteme de date de prognoză meteo globală face sistemul utilizabil pentru calcule în orice punct de pe Pământ. În plus, caracteristicile și instrumentele inerente permit adaptarea modelelor, bazelor de date și a interfeței cu utilizatorul la condițiile naționale și la preferințele utilizatorului. Sistemul JRodos este aplicat de utilizatorii săi în centrele de urgență sau la nivel național sau local ca instrument de sprijin și instruire pentru gestionarea urgențelor, inclusiv reabilitarea pe termen lung și planificarea prealabilă, contribuind astfel la îmbunătățirea și armonizarea multor aspecte problematice din aceste domenii.

JRodos funcționează complet similar pe platformele Microsoft Windows și Linux (vezi Figura 1). Pentru aplicații simple, este suficient un laptop cu procesor de tip „quad core” pe 64 de biți cu 16 GB memorie RAM și 1 hard disk de 1TB GB, dar aplicațiile speciale pot necesita mai multe resurse. Sistemul constă dintr-un Server pentru calcule și gestionarea sistemului, un Client pentru interacțiunile cu utilizatorul și o Bază de Date de tip PostgreSQL. Cele trei componente rezidă împreună într-un singur laptop sau pot fi distribuite pe mașini separate. De asemenea sunt acceptate sistemele de operare mixte, de exemplu, Linux pentru partea Server și Windows pentru mai mulți Clienți care pot rula simultan.

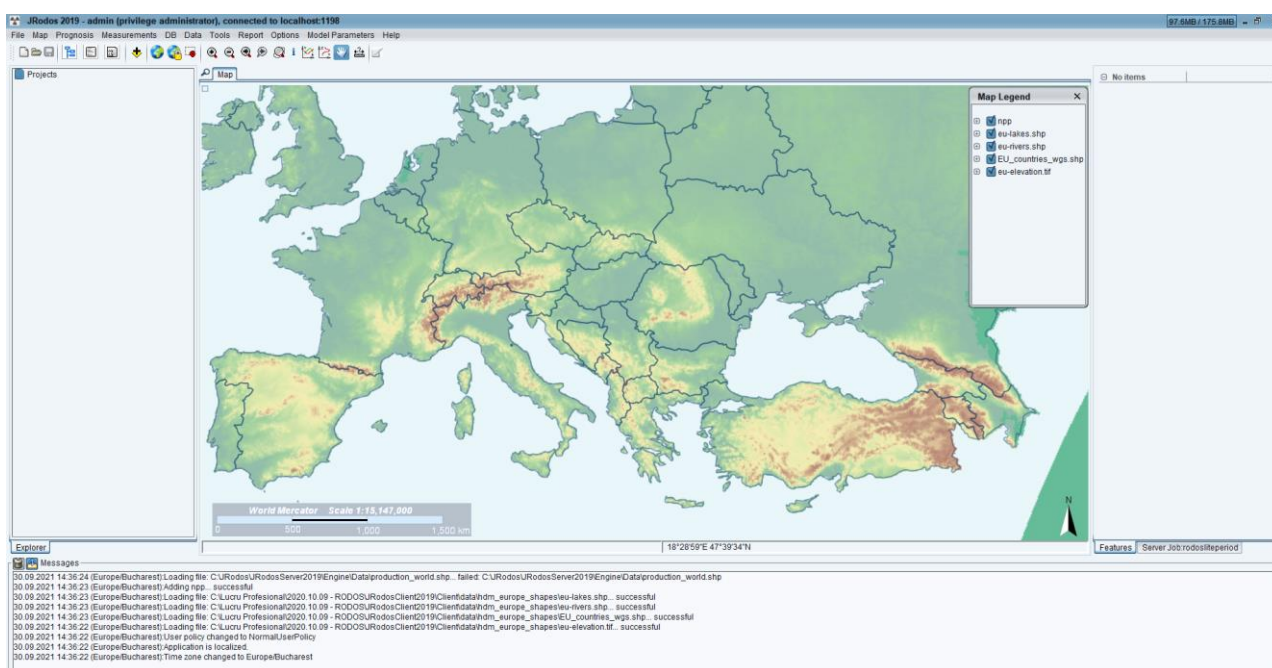


Figura 1. JRodos 2009. Interfața grafică cu utilizatorul (GUI) din partea Clientului.

În ceea ce privește situația internă din România, mai multe roluri specifice au fost alocate sistemului CBRNE Software, o platformă software deschisă de tip MS&V (Modelare, Simulare și Vizualizare) (Figura 2). Dezvoltată în cadrul IFIN-HH ca parte a unui proiect de cercetare în domeniul securității și siguranței naționale [4], conceput pentru evaluare anticipativă, prognostică a evenimentelor CBRNE (chimic, biologic, radiologic, nuclear și explozibil), cuprinzând funcțiuni de diagnoză a efectelor și recomandare consecutivă a măsurilor de răspuns pentru o varietate deschisă și scalabilă de scenarii de eveniment. Mașina informatică în sensul descris este concepută ca o componentă distribuibilă fizic în instanțe de instalare autonome dar interconectate și monitorizate în rețea locală, oferind servicii experte diverselor compartimente ale unui Centru de operații în situații de urgență (*Emergency Operations Center, EOC*). Platforma este realizată într-o structură deschisă, actualizabilă, alcătuită din module tematice executabile; utilități de achiziție, actualizare, editare și pre-procesare a datelor; biblioteci de date; colecții documentare și facilități

administrative. Instalată pe calculatoare de clasa PC sub un sistem de operare de largă utilizare (Windows), platforma integrează instrumente analitice de elaborare a scenariilor de eveniment, urmărire a fenomenologiei acestora în desfășurarea proceselor implicate, evaluare a situațiilor create, calcul al expunerilor de diferite tipuri, ale efectelor nocive și daunelor potențiale, bibliotecile de date și informații expert necesare; interfețele de operare a modulelor executabile și interfețele de comunicare.

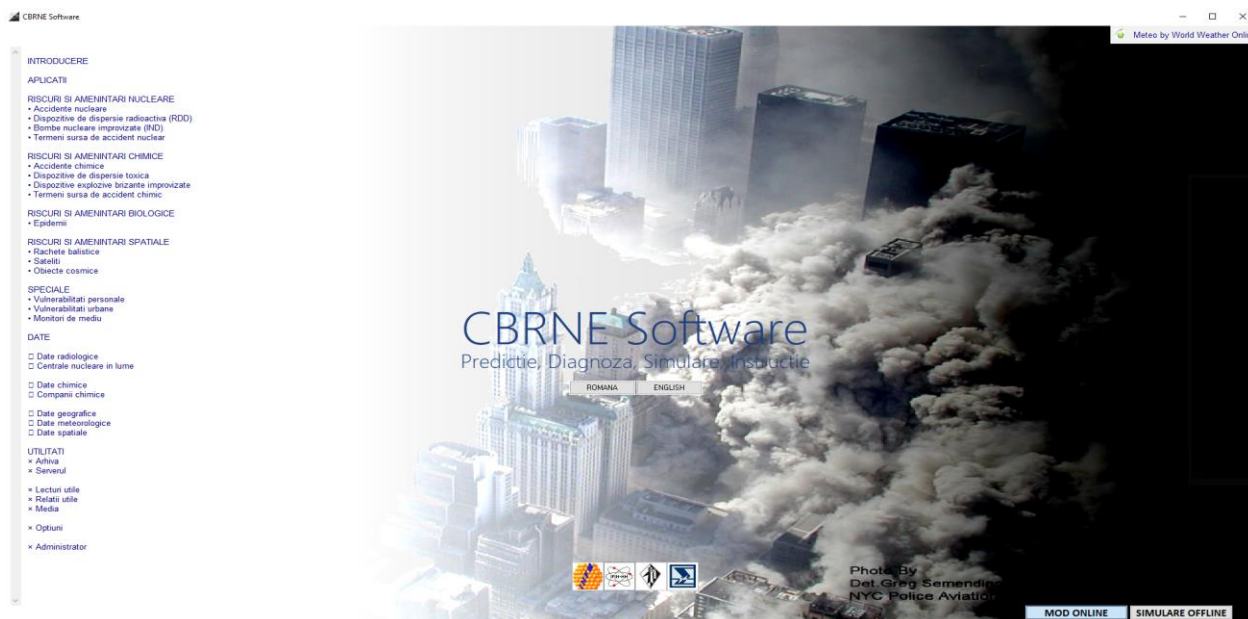


Fig. 2 CBRNE Software. Pagina dispecer

3. Scenariul de eveniment

Scenariul luat în considerare pentru inter-comparare a presupus un eveniment ipotetic survenit la CNE Cernavodă Unitatea 2 de tip „accident cu pierdere de agent de răcire” (*Loss-Of-Coolant-Accident, LOCA*) fără inițierea sistemului de răcire de urgență a zonei active (*Emergency Core Cooling System, ECCS*). Pentru o evaluare cât mai corectă, simulările au fost făcute în aceleași condiții inițiale de declanșare a evenimentului. A fost postulată o emisie radioactivă în data 23 septembrie 2021, începând cu orele 03:00, cu o durată de 4 ore, la o înălțime a coșului de evacuare de 50 m. Intervalele de monitorizare pentru care s-au achiziționat prognozele meteorologice și au fost realizate calculele au fost de 8, 16 și respectiv 24 ore de la sfârșitul emisiei.

3.1 Definirea termenului sursă

Conform unei definiții consolidate în timp și acceptată în prezent, conceptul de *termen sursă* înglobează *tipurile și cantitatea de material radioactiv sau, în general, periculos, eliberat în mediul înconjurător ca urmare a unui accident*. O definiție extinsă adaugă acestor aspecte căile și mecanismele fizice dependente de tipul evenimentelor, instalațiilor și dispozitivelor implicate. Ocupând un loc de primă importanță în Evaluarea Radiologică (*Radiological Assessment* [5]), problematica termenilor sursă ocupă o întreaga literatură continuând, de câteva decenii să fie marcată atât de incertitudini tehnico-științifice legate de dificultatea diagnosticării stării unui obiectiv nuclear avariât - inaccessibil din cauza câmpurilor intense de radiații - cât și de aspecte controversate, datorită legăturii inextricabile cu chestiunea acceptabilității, sub raportul impactului sanitar, ecologic, socio-economic și politic al energiei nucleare în general. Analiza vulnerabilităților unui reactor nuclear va pune întotdeauna în centrul preocupărilor „Accidentul prin pierdere de răcire” (LOCA). Relevanța LOCA [6] decurge din faptul că orice diminuare necontrolată a debitului, sau altă alterare a parametrilor prescriși ai agentului de răcire a zonei active a reactorului (*reactor core*) poate declanșa un lanț de evenimente soldat cu emisie de materie radioactivă în afara barierelor de apărare în adâncime – în mediul înconjurător. În metoda de implementare din JRodos, termenul sursă pentru o anumită secvență de accident constă fie din fracțiile de emisie din inventarul inițial al zonei active, fie din cantitatea de activitate emisă în Bq pentru diverși radionuclizi sau grupuri de radionuclizi. Aceste valori reprezintă rezultatul unor studii probabilistice de securitate de (*Probabilistic Safety Assessment, PSA*) sau al măsurătorilor furnizate de centrala nucleară. Termenii sursă predefiniți pentru reactoarele tip PWR sunt preluați de exemplu din *German Risk Study - Phase B* [7]. Termenii sursă pentru reactoarele de tip VVER în cazul accidentelor severe sau a accidentelor baza de proiect se bazează pe studiul Comisiei Europene FP4 *Source terms for exercises and demonstrations with RODOS* [8]. Termenii sursă pentru reactoarele LWR sunt preluați din *International Nuclear Emergency Exercise INEX 1-5* [9].

Pe de altă parte, abordarea propusă și instrumentată în platforma CBRNE Software derivă din metodologia acreditată de organul de reglementare a activităților nucleare al S.U.A – *U.S. Nuclear Regulatory Commission* adoptată în manualele de răspuns la accident nuclear [10-14], asimilată și recomandată de seria documentelor tehnice (IAEA TECDOC) ale Agenției Internaționale pentru Energia Atomică [15] și aplicată de autorii CBRNE Software în proiecte de profil ale IFIN-HH [4, 16]. Cunoscută drept „Regula celor patru factori” (*The Four-Factors Rule, 4FRule*) aceasta reprezintă o soluție simplificată, practică și oferind grade de încredere suficiente în adoptarea deciziilor de răspuns la evenimente nucleare anormale. Regula celor patru factori capătă expresii specifice în privința „căilor de emisie” (*Release Pathways*) ale celor șapte tipuri de reactoare cu apă ușoară (*Light Water Reactors, LWR*) ce domină industria nuclearo-electrică în lume. Propunând spre implementare metoda TECDOC/955 – sprijinită de o substanțială serie de studii publicate de instituții de cercetare și organisme de reglementare naționale, s-a adoptat, în cazul reactoarelor cu apă grea – de interes special pentru România, ce a optat pentru filiera CANDU-PHWR, de origine canadiană – soluția de a recurge la patru termeni-sursă prefabricați, identificați în literatura fără suportul analitic implicat, dar acoperitori pentru un număr egal de trepte de severitate a consecințelor accidentelor respective. Termenii astfel postulați vor deveni scalabili la interfața-utilizator a codurilor asigurând astfel, pe calea judecății experte (*expert best-guess judgment*) o minimă flexibilitate în evaluările radiologice. Ținând cont de acestea, pentru prezenta analiză comparativă, s-a preluat termenul sursă folosit în cadrul exercițiului internațional de răspuns la urgențe nucleare (*International Emergency Response Exercise*) ConvEx-3 [17], desfășurat în anul 2005 sub egida Agenției Internaționale pentru Energia Atomică de la Viena (AIEA). În cadrul exercițiului, CNE Cernavodă a furnizat un termen sursă total estimat prezentat în Tabelul 1. Acesta a fost furnizat pentru un interval de 30 de ore fiind supraestimat în mod conservativ pentru cazul unui LOCA major fără activarea ECCS. Eliberările de activitate pentru acest interval de timp au fost bazate pe Raportul de Securitate al CNE Cernavodă. Pentru evaluările efectuate s-au luat în calcul valorile totale ale activității pentru fiecare nuclid.

Tabelul 1. Termen sursă conform CNE Cernavodă [17] folosit în evaluări

Nuclid	Emisie [TBq]			TOTAL [Tbq]
	0 – 1 ore	1 – 26 ore	26 – 30 ore	
H-3	1.572E+02	-	-	1.572E+02
I-131	6.253E+01	4.130E-01	1.212E+01	7.506E+01
I-132	8.330E+01	6.292E-01	1.737E+01	1.013E+02
I-133	1.481E+02	7.022E-01	1.308E+01	1.619E+02
I-135	1.382E+02	3.221E-01	2.005E+00	1.405E+02
Kr-83m*	1.772E+01	6.021E+00	1.692E-01	2.391E+01
Kr-85m	4.408E+01	4.469E+01	1.155E+02	2.043E+02
Kr-85	2.210E-01	9.534E-01	2.866E+01	2.983E+01
Kr-88	1.202E+02	7.192E+01	3.260E+01	2.247E+02
Kr-89*	6.983E+01	4.000E-06	0.000E+00	6.983E+01
Xe-133m	6.720E+00	2.803E+01	7.621E+02	7.969E+02
Xe-133	2.189E+02	9.332E+02	2.648E+04	2.763E+04
Xe-135m	3.759E+01	5.527E+01	3.387E+02	4.316E+02
Xe-135	2.629E+01	2.957E+02	6.041E+03	6.363E+03
Xe-138	1.756E+02	6.77E-01	7.029E-28	1.763E+02
Cs-134	1.144E+00	-	-	1.144E+00
Cs-137	2.189E+00	-	-	2.189E+00
Cs-138	1.144E+02	-	-	1.144E+02

*Radionuclizii Kr-83m și Kr-89 nu a fost incluși în calcule

Datorită faptului că radionuclizii Kr-83m și Kr-89 din termenul sursă furnizat nu se regăsesc în bibliotecile de date ale ambelor sisteme software utilizate din cauza lipsei factorilor de conversie ai dozelor, în cadrul evaluărilor au fost folosiți doar ceilalți 16 radionuclizi (Tabelul 2). Impactul acestei omisiuni asupra rezultatelor finale este considerat redus având în vedere că radionuclizii respectivi nu prezintă o activitate semnificativă din total.

Tabelul 2. Termen sursă folosit în evaluări

Nuclid	Activitatea [kBq]	Nuclid	Activitatea [kBq]
H-3	1.572E+11	Xe-133m	7.969E+11
I-131	7.506E+10	Xe-133	2.763E+13
I-132	1.013E+11	Xe-135m	4.316E+11
I-133	1.619E+11	Xe-135	6.363E+12
I-135	1.405E+11	Xe-138	1.763E+11
Kr-85m	2.043E+11	Cs-134	1.144E+09
Kr-85	2.983E+10	Cs-137	2.189E+09
Kr-88	2.247E+11	Cs-138	1.144E+11

3.2 Datele de prognoză meteorologică

Datele de intrare în modelele JRodos pot fi date meteorologice naționale online de la turnurile meteo (SODAR) sau date numerice pentru prognoză meteo globală cum ar fi cele de la Centrul National pentru Predicții Ambientale al Statelor Unite (NOAA-NCEP) disponibile prin serviciul online NOMADS [18]. Astfel aceste date pot fi descărcate pentru perioada dorită ca date de prognoză numerică până la 120 de ore (5 zile) sau ca date de reanaliză retroactivă. Dezavantajul este că rezoluția spațială este mai scăzută neținând cont de condițiile locale, dar a fost îmbunătățită substanțial în ultimii ani. JRodos mai poate de asemenea utiliza și date meteorologice de tip mezoscală de la Modelul pentru Cercetare și Predicție Meteorologică a Vremii (WRF) [19] ca un surrogat pentru furnizorul local de date meteo locale ajustând datele WRF globale doar pentru câmpul apropiat.

Modele de transport și dispersie atmosferică pentru câmpul apropiat LSMC pentru o rază de până la 800 km în jurul punctului de emisie, implementate în JRodos sunt de mai multe tipuri și anume: modele de „puf” gaussian ATSTEP (dezvoltat în cadrul KIT, Karlsruhe) [20] și RIMPUFF (dezvoltat în cadrul Risø, Roskilde) [21], modelul de particule pentru teren complex DIPLOT (dezvoltat în cadrul Demokritos, Atena) [22] și modelul lagrangian de simulare a transportului aerosolilor LASAT dezvoltat comercial (cu licență de utilizare) [23]

Modelele pentru câmpul îndepărtat pentru distanțe mari de câteva mii de kilometri sunt: modelul eulerian multi-scală pentru transport și chimie atmosferică MATCH dezvoltat de Institutul Meteorologic și Hidrologic Suedez [24] și modelul de înaltă rezoluție și arie limitată ALADIN/HIRLAM (model de predicție meteo cu date numerice dezvoltat în programul internațional HIRLAM) [25]

La rândul său, CBRNE Software folosește date primare de prognoză meteorologică pe intervale cuprinse între 8 și 72 ore, achiziționate în timp real de pe situri ale serviciilor publice de profil: temperatura (°C); direcția (grade) și viteza (m/s) vântului la 10 mAG; nebulozitatea (%); precipitații (mm echivalent ploaie). Date derivate prin pre-procesarea datelor primare sunt clasele de stabilitate atmosferică (Pasquill A-F).

Traectoria norilor radioactivi/toxici provenind de la surse sub accident sau sabotaj se modelează, în aplicațiile platformei, printr-un model original al autorilor CBRNE Software: „modelul turnurilor de control al zborurilor”. Conform acestuia, emisiile atmosferice ale surselor se consideră secvențe de pulsuri (*puffs*) de relativ scurtă durată și apropiate în timp, de intensitate egală pe întreaga durată a emisiilor, transportate individual la înălțimi prescrise de modele convenționale de supraînălțare prin impuls sau conținut caloric (*plume rise models*), de vântul barometric (la 10 m înălțime de la sol) corectat cu înălțimea (*efectul de forfecare*, *wind shear*) măsurat de stația meteorologică cea mai apropiată de centrul fiecărui *puff* în pasul de timp respectiv. Subliniind analogia, stațiile meteorologice funcționează ca „turnuri de control al zborurilor” aeronavelor, care preiau succesiv dirijarea navigației acestora.

Schema s-a dovedit a fi cea mai eficientă sub raportul echilibrului acuratețe/timp de calcul, pe calculatoare de clasa PC și uz curent, acuratețea derivând din faptul că datele primare nu provin din modele numerice, ci din măsurări instrumentale nemijlocite.

Ca furnizori de date meteorologice, CBRNE Software utilizează trei surse: *World Weather Online* [26], *VentuSky* [27] și *FreeMeteo* [28]. Pentru evaluările realizate în lucrare a fost folosită sursa de prognoze meteo *World Weather Online* [26].

4. Rezultate și concluzii

4.1. Metoda de evaluare JRodos

Pentru evaluarea cu JRodos, s-a folosit o configurație generală JRodos pentru aplicații la nivel global și date de prognoza NOMADS de tip Grib2 la rezoluția maximă disponibilă (0.25g) descărcate în prealabil pentru 72 de ore din data de 23 septembrie 2021 în următoarea secvență de lucru:

- În Interfața cu Utilizatorul deschisă prin lansarea în execuție a unui Client, s-a creat un nou proiect cu lanțul de modele Emergency: LSMC+EMERSIM+DEPOM+FDMT. După confirmare, în interfața pentru introducere de date RODOS-Lite, s-au completat următoarea serie de fișe pentru a inițializa secvența de calcul;
- În fila „Site”, s-a specificat tipul de eveniment (accident într-o centrală nucleară), s-a selectat din lista țărilor „România”, apoi din lista reactoarelor disponibile unitatea „Cernavoda-2”;
- În fila „Source Term”, JRodos a mai necesitat următoarele informații: intervalul de timp între sfârșitul reacției în lanț și începutul emisiei (0h), începerea emisiei (data 23.09.2019, ora 03:00), activitatea emisă sub forma de sume de activități pe categorii de radionuclizi (izotopi de iod, gaze nobile și aerosoli) conform Tabelului 1 în [TBq], înălțimea de emisie deasupra solului (50 m), puterea termică eliberată în [MW], volumul fluxului vertical emis către atmosferă în [m³/s] și suprafața de ventilație a emisiei în atmosfera în [m²]. Ultimii 3 parametri se referă practic la coșul centralei și sunt predefiniți deja în JRodos.
- În fila, „Weather”, s-a specificat intervalul de prognoză pentru 8, 16 și respectiv 24 de după începutul emisiei pentru un calcul cu pas de timp de 1 oră.
- În fila „Run”, s-a folosit presetarea pentru „Exercise”. În plus s-a selectat tipul implicit de rețea (5 rings) și distanța pe care se realizează calculele (800 km)
- În fila „Summary” s-a afișat sumarul datelor de intrare (input) și s-a inițializat secvența de calcul (*Submit*).

Calcululele de prognoză s-au realizat automat și succesiv pentru modelul atmosferic de transport (RIMPUFF) din câmpul apropiat (LSMC), modelul de simulare a acțiunilor de urgență (contramăsuri) (EMERSIM), modelul depunere pe suprafețe a contaminanților (DEPOM), modelul dozelor în lanțul alimentar terestru (FDMT). Pe un laptop de tip quad core durata calculului a fost de aproximativ 5 minute cu aceste configurații.

JRoados prezintă rezultatele sub forma unei hărți de situație cu informații grupate pe mai multe straturi (*layers*) care pot fi selectate din legendă. Valorile calculate sunt afișate sub forma unui arbore de rezultate în secțiunea „Projects” din interfață. După instalare sistemul conține un set simplu de hărți, dar se pot adăuga ulterior hărți personalizate de către utilizator de pe internet. În acest caz, a fost utilizată harta „OpenStreetMaps” furnizată de serviciul Terrestriis [28] pentru generarea fundalului detaliat.

În Figurile 3, 4 și 5 sunt prezentate următoarele rezultate: valoarea prognosticată a debitului dozei gamma efectivă totală în mSv/h și a dozei echivalente efective totale (TEDE) în mSv la sfârșitul intervalelor de 8, 16 și respectiv 24 de ore. Rezultatele pot fi afișate static în pași singurari de 1 oră sau redat dinamic pentru 24 de h pentru a studia traiectoria și evoluția pe hartă a norului de contaminanți. JRodos conține instrumente pentru salvarea complete a hărții ca imagine (statică sau ca secvență animată pentru rezultate dependente de timp) și pentru salvarea straturilor individuale ale hărții ca fișiere de tip „shape”. De asemenea, este posibilă generarea automată de rapoarte de rezultate și accesarea rezultatelor modelului dintr-un alt software de tip GIS.

În Figura 6 se poate observa încadrat în chenar punctul de maxim al debitului dozei efective totale gama (celula 170) în apropiere de orașul Cernavodă obținut la orele 04:00, precum și graficul evoluției dozei în timp pentru cele 24 de ore ale prognozei.

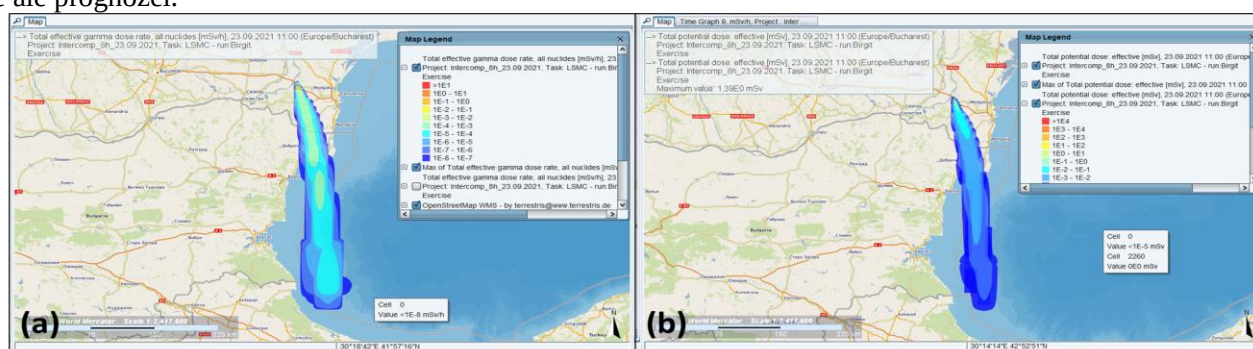


Figura 3. Hărți de situație JRodos, 8h de la emisie.
(a) Doza gama efectivă totală [mSv/h]; (b) TEDE [mSv].

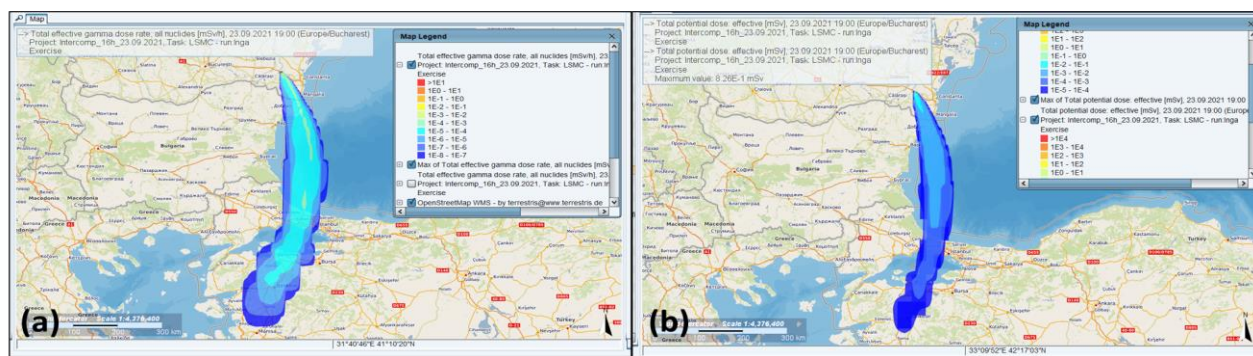


Figura 4. Hărți de situație JRodos, 16 h de la emisie.
(a) Doza gama efectivă totală [mSv/h]; (b) TEDE [mSv].

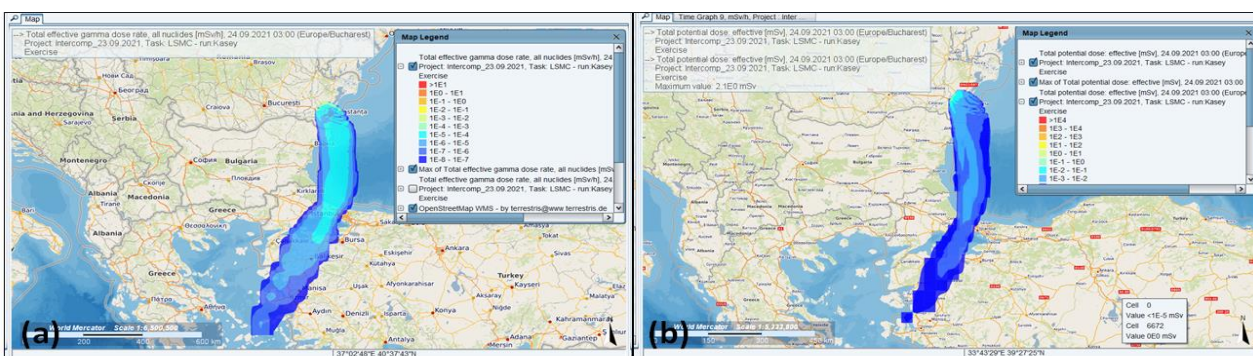


Figura 5. Hărți de situație JRodos, 24 h de la emisie.
(a) Doza gama efectivă totală [mSv/h]; (b) TEDE [mSv].

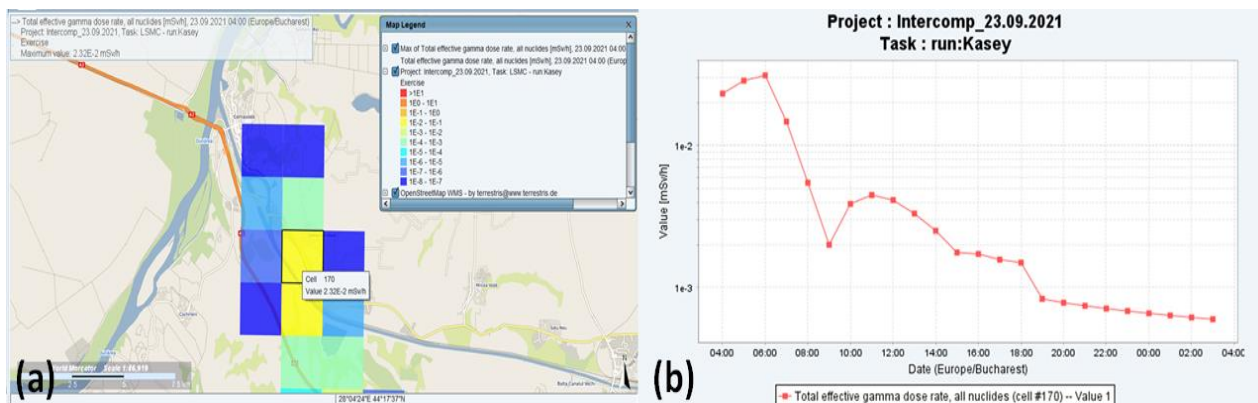


Figura 6. (a) Punctul de maxim al debitului dozei (mSv/h); (b) Evoluția dozei în punctul de maxim după emisie

4.2. Metoda de evaluare CBRNE Software

Pentru scopul acestui studiu, s-a ales modulul „*Riscuri și amenințări nucleare*”, aplicația „*Prognoze de situație*” ce face parte din modulele constitutive ale codului de calcul CBRNE Software ce asigură următoarea secvență de lucru:

- Identificarea sitului unui eveniment prin utilizarea unei liste interactive din librăria de date a codului, ce conține 168 de situri nucleare însoțite de un set de informații primare.
- Localizarea poziției sursei de emisie radioactivă în mediu prin coordonate geografice determinată cu ajutorul unei hărți interactive a întregului glob, oferită de cod în mai multe versiuni web prin a cărei manipulare (*zoom, click*) utilizatorul poate stabili cu precizia necesară poziția sursei de emisie atmosferică radioactivă.
- Achiziția prognozei meteorologice prin colectarea anticipativă de date privind regimul vântului, precipitațiilor și stabilității atmosferice folosind unul dintre site-urile meteo pe un interval de timp de 8 – 72 ore.
- Alegerea termenului sursă prin utilizarea unui termen sursă predefinit prin utilizarea unui modul dedicat al platformei și stocat aflat în librăria de date a codului.
- Alte date de intrare ajustabile în funcție de gradul de cunoaștere a situației, utilizatorul modifică anumiți parametri de intrare: factorul de multiplicare a activității; durata de emisie; înălțimea și diametrul coșului de evacuare etc.

Rezultatele obținute cu ajutorul motoarelor de evaluare sunt livrate la interfața de către facilitățile de vizualizare ale platformei în două moduri:

- Hărți de situație – prezintă ariile de influență ale surselor de emisii atmosferice radioactive în contextul lor geografic ca hărți de izodoze ale Dozei Echivalente Efective Totale (*Total Effective Dose Equivalent, TEDE*) sau ca rețele (*grid*) de puncte (*spots*) interogabile (valori pentru factorii de diluție precum și valori pentru o varietate de doze). Acestea sunt oferite sub forma: hartă de bază 2D (*Base Map*) ce poate fi utilizată și în modul off-line în care sunt reprezentate doar izodozele TEDE; hărți 3D în mai multe expresii vizuale în funcție de preferințele utilizatorului.
- Fișiere de tip text – fișierul complet input/output atașat hărții, diagnoza rezultând din interogarea interactivă (*click*) a locației unei comunități, sau prin regăsirea (marcarea pe hartă) unei comunități listate în fișier.

La finalul evaluărilor, toate aplicațiile executive ale platformei furnizează un „Raport de situație” (*Situation Report, SitRep*) un documentul de sinteză al aplicației reprezentând o compilație web-publicabilă pe serverul integrat al Platformei, ce reproduce într-o secvență logică principalele elemente ale output-ului codurilor: prezentarea obiectivului nuclear ce constituie sursa de emisii atmosferice radioactive;

- harta de bază;
- hărțile complementare sau linkuri spre acestea;
- fișierul complet I/O (input/output) al cazului raportat.

SitRep este un document HTML5/Javascript accesat de browsere ce păstrează, la nivelul hărților publicate, interactivitatea componentelor sale.

În figurile 7, 8 și 9 sunt reprezentate rezultatele evaluărilor: hărțile de situație în diferite expresii vizuale (Base Maps, 2D și 3D) ale izodozelor TEDE pe cele 8, 16 și 24 de ore conform scenariului adoptat.

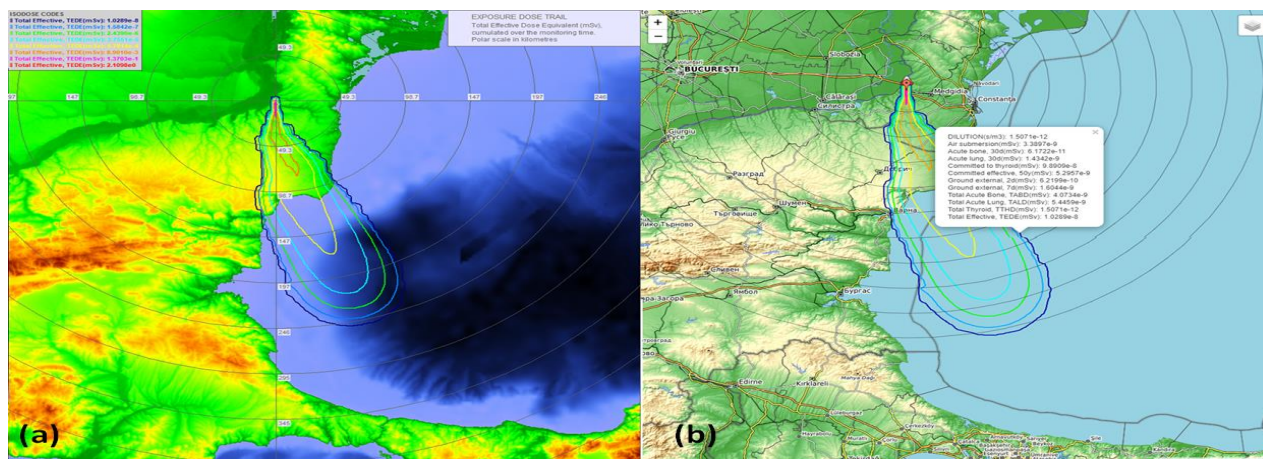


Figura 7. Hărți de situație TEDE (mSv), 8 h de la emisie.
(a) Harta de bază; (b) Harta în reprezentare 2D interogabilă.

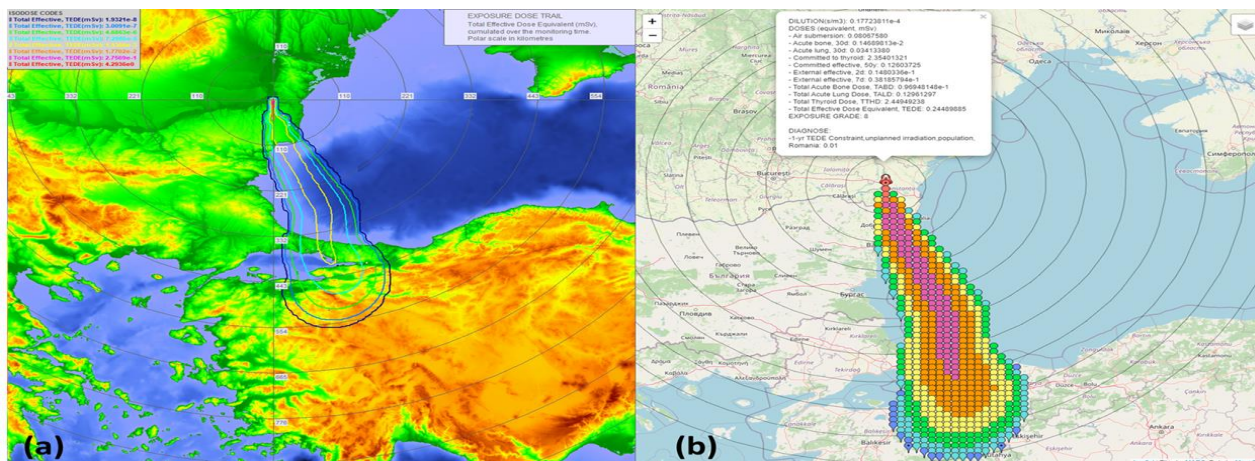


Figura 8. Hărți de situație TEDE (mSv), 16 h de la emisie.
(a) Harta de bază; (b) Harta în reprezentare 2D spots interogabilă.

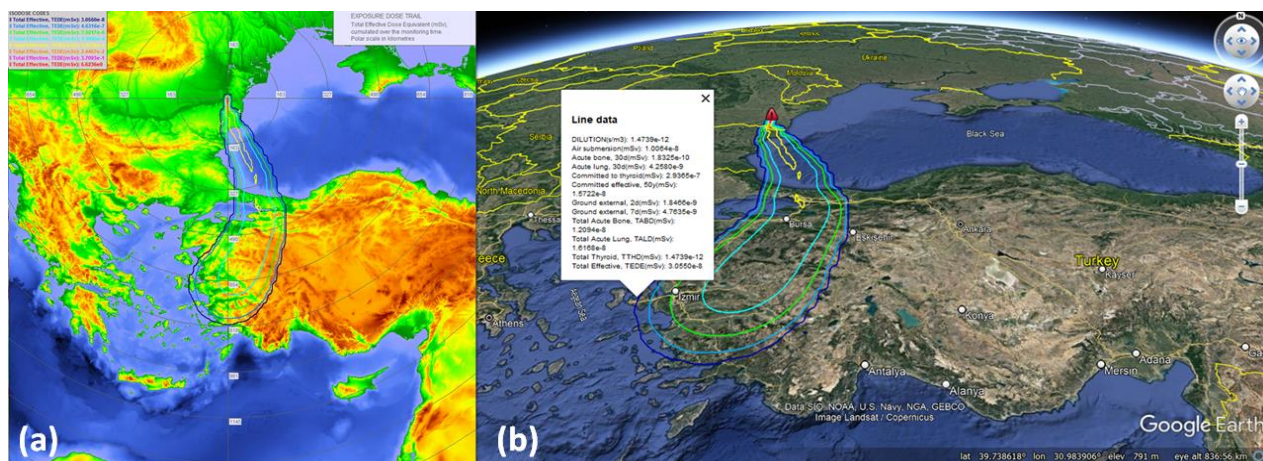


Figura 9. Hărți de situație TEDE (mSv), 24 h de la emisie.
(a) Harta de bază; (b) Harta în reprezentare 3D Google Earth interogabilă.

4.3 Compararea rezultatelor

Sunt prezentate o selecție de rezultate apreciate ca edificatoare asupra efectelor radiologice ale emisiilor radioactive preconizate de scenariile descris mai sus. Au fost comparate „trajectoriile” norului de contaminanți radioactiv (Figura 10) precum și valorile TEDE la sursă (Tabelul 2). În compararea dozelor este potrivit a considera

dozele ‘în origine’ (la distanța „0” față de sursă) drept valori pur convenționale, indicative, ce decurg din valori-predefinite (*default values*) invariabile atribuite de unele modele coeficienților de „dispersie la sursă”.

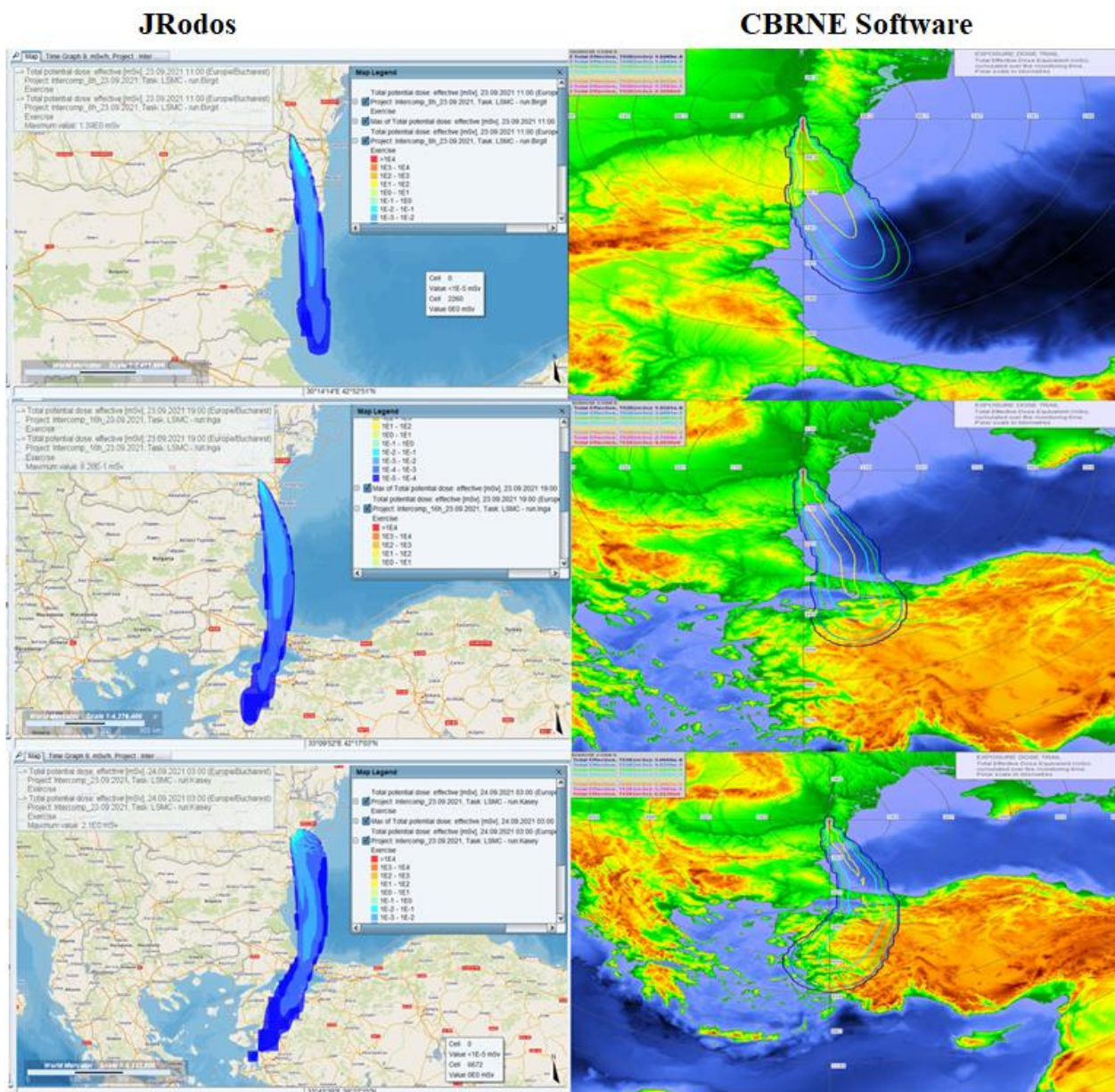


Figura 10. Comparate traiectoriilor norului de contaminanți radioactiv.
(sus) Situația la 8 ore; (mijloc) Situația la 16 ore; (jos) Situația la 24 ore.

Tabelul 3. Compararea directă a valorilor TEDE (mSv) obținute cu cele două sisteme

Intervalul de monitorare (ore)	TEDE – valori în sursă (mSv)	
	JRodos	CBRNE Software
8	1.39E+00	2.11E+00
16	8.26E-01	4.29E+00
24	2.10E+00	5.63E+00

În concluzie se poate observa că, în pofida deosebirilor interne în gradul de conservatism, în detaliile modurilor de abordare a fenomenelor, în ecuațiile rezolvante, în coeficienții de dispersie, ca și în factorii de conversie ai dozelor, diversele modele invocate în evaluare converg spre un set de date mutual consistente în limitele, în general, ale unui ordin de mărime.

Prin urmare, se poate considera că evaluările făcute cu sistemele de sprijin dezvoltate pe plan intern, cum ar fi de exemplu CBRNE Software, se pot dovedi utile, congruente și neconflictuale cu sistemul JRodos recunoscut pe plan național și internațional ca sistemul de sprijin în luarea deciziilor (*Decision Support System*, DSS) de referință pentru gestionarea urgențelor nucleare globale.

Aknowledgement

Autorii doresc să mulțumească:

Dr. Dan V. Vamanu* pentru contribuția esențială la dezvoltarea și implementarea CBRNE Software Platform.

Dorina Gheorghiu* pentru sprijinul acordat și asistența necesară în asimilarea și implementarea JRodos.

*Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară „Horia Hulubei”, București, România

Bibliografie

1. JRodos, Java based RODOS (Real-time On-line DecisiOn Support) system for off-site emergency management after nuclear accidents <https://resy5.iket.kit.edu/JRODOS/>
2. EURANOS: European approach to nuclear and radiological emergency management and rehabilitation strategies Research project under the European Commission's 6th Framework Programme, EURATOM Research and Training Programme on Nuclear Energy (2002-2006), contract no. FI6R-CT-2004-508843. <https://euranos.iket.kit.edu/index.php?action=euranos&title=objectives>
3. NERIS-TP: Towards a self-sustaining Research project under the European Commission's 7th Framework Programme, EURATOM for Nuclear Research and Training Activities (work programme 2010), Fission-2010-3.3.1, Grand Agreement Number 269718 European Technology Platform (NERIS-TP) on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery. <https://resy5.iket.kit.edu/NERIS-TP/index.php?action=neris-tp&title=objectives>
4. Proiect Sistem integrat pentru intervenția rapidă la incidente CBRNE. SOL2017-7 2017-2020 <https://infim.ro/project/cbrne/>
5. Till J.E., Grogan H.A. (2008). Radiological Risk Assessment & Environmental Analysis. Oxford Univ. Press. ISBN 978-0 19-512727-0.
6. Doria F. J., CANDU Safety #12: Large Loss of Coolant Accident Large Loss of Coolant Accident, Atomic Energy of Canada Limited Atomic Energy of Canada Limited. <https://canteach.candu.org/Content%20Library/19990112.pdf>
7. German Risk Study Nuclear Power Plants - Phase B, Author: GRS Year: 1989 <https://www.grs.de/content/deutsche-risikostudie-kernkraftwerke-phase-b>
8. NEA-OECD. International Nuclear Emergency Exercises (INEX). https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_27015/international-nuclear-emergency-exercises-inex
9. Overview of Source Term Treatment in RODOS PV5.0 Onwards, Rodos Report RODOS(RA2)-TN(03)-03 <https://resy5.iket.kit.edu/RODOS/Documents/Public/HandbookV6/Volume3/STermTreat.pdf>
10. Nuclear Energy Agency (NEA) International Nuclear Emergency Exercises (INEX). Emergency preparedness and response. Radiological protection in nuclear or radiological emergencies https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_27015/international-nuclear-emergency-exercises-inex
11. McKenna T.J., Trefethen J.A., and Li Z. IRTM – International Response Technical Manual. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Vol. 1, 2 and 3, Rev.1, May, 1995.
12. McKenna T.J., Jackson K., Trefethen J.A., Bores R., Struckmeyer R., Kuzo G., Hogan R., Jolicoeur J., Quissell J., Gant K., Burnett B., Aguilar-Torres O., Athey G., Grove L. and Hopkins R. RTM93 – Response Technical Manual. U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/BR-0150, Vol. 1, Rev. 3, November 1993.
13. McKenna T.J., Trefethen J.A., Gant K., Jolicoeur J., Kuzo G., and Athey G. RTM96 – Response Technical Manual. U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/BR-0150, Vol. 1, Rev. 4 March 1996.
14. Vamanu D.V. and McKenna T.J. 'ROBOT – Rule-Oriented Basic Operational Tool', U.S. Nuclear Regulatory Commission Users' Guide, Rev.2, March, 1996.
15. International Atomic Energy Agency, IAEA, Vienna. Generic assessment procedures for determining protective actions during a reactor accident. IAEA-TECDOC-955, ISSN 1011-4289, 1997.
16. Vamanu D.V. et all. Sistem de alertare timpurie și asistare computerizata a deciziilor, bazat pe evaluarea anticipativa a dinamicii rapide a vulnerabilităților induse în teritoriu de obiectivele nucleare (N-WATCHDOG). PN-II-PT-PCCA-2013-4-0262 2014-2017.
17. International Atomic Energy Agency (AIEA), International Emergency Response Exercise ConvEx-3 Exercise Report (2005), https://www.iaea.org/sites/default/files/18/02/convex-3_2005.pdf
18. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Operational Model Archive and Distribution System (NOMADS), <https://nomads.ncep.noaa.gov/>
19. Natl Center for Atm Research (NCAR) Weather Research and Forecasting (WRF) Model <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>
20. Päsler-Sauer, Jürgen, Description of the Atmospheric Dispersion Model ATSTEP (200), Forschungszentrum Karlsruhe RODOS(WG2)-TN(97)-(2000) https://resy5.iket.kit.edu/RODOS/Documents/Public/HandbookV6/Volume3/4_2_5_ATSTEP.pdf (
21. Thykier-Nielsen, S., Deme S., Mikkelsen, T., Description of the Atmospheric Dispersion Module RIMPUFF (1999), Risø National Laboratory RODOS(WG2)-TN(98)-02. https://resy5.iket.kit.edu/RODOS/Documents/Public/HandbookV5/Volume3/4_2_6_RIMPUFF.pdf
22. Spyros Andronopoulos, Efstratios Davakis, RODOS-DIPCOT Model Description and Evaluation (2009) Environmental Research Laboratory, Institute of Nuclear Technology and Radiation Protection, National Centre for Scientific Research “Demokritos” RODOS(RA2)-TN(09)-01 https://resy5.iket.kit.edu/RODOS/Documents/Public/HandbookV6f/Volume3/RA2TN0901_DIPCOT.pdf
23. LASAT a computer program for the calculation of pollutant dispersion in the atmosphere <https://www.janicke.de/en/lasat.html>
24. MATCH Multi-scale Atmospheric Transport and Chemistry Eulerian Model <https://www.smhi.se/en/research/research-departments/air-quality/match-transport-and-chemistry-model-1.6831>
25. HIRLAM High Resolution Limited Area Model, <http://hirlam.org/>
26. World Weather Online Service <https://www.worldweatheronline.com/>
27. Ventusky Web Application, <https://www.ventusky.com/>
28. FreeMeteo Service. <https://freemeteo.com/>
29. Open Street Map Project: <https://www.terrestriis.de/en/openstreetmap-wms/>

Noi reglementări în domeniul protecției radiologice în expunerea lucrătorilor din sectorul medical în Republica Moldova

Liuba Corețchi (coretchiliuba@gmail.com), Alexandra Cojocari, V. Șargu, Aurelia Ababii

Agenția Națională pentru Sănătate Publică, Laboratorul Igiena Radiațiilor și Radiobiologie,
Universitatea de Medicină și Farmacie „Nicolae Testemițanu”, Chișinău, Republica Moldova, str. Gh. Asachi 67 A,
MD2028

Rezumat

În lucrare sunt prezentate noile reglementări în domeniul protecției radiologice în expunerea lucrătorilor din sectorul medical în Republica Moldova. Evaluarea factorilor de mediu, factorilor de risc la locul de muncă care influențează direct sau indirect starea de sănătate a expușilor profesional la radiații ionizante are ca scop prevenirea cazurilor de supraexpunere la radiații ionizante. Pe parcursul perioadei a. a. 2018-2021 specialiștii laboratorului Monitoring Dozimetric Individual al Agenției Naționale pentru Sănătate Publică au desfășurat activitatea de evaluare a corespunderii protecției radiologice la obiectivele radiologice și punerea în aplicare a măsurilor privind radioprotecția.

Introducere

Omul trăiește pe Pământ, unde este supus continuu acțiunii unor multipli agenți ambientali, printre care se numără și radiațiile ionizante. Majoritatea radiațiilor sunt de origine naturală la care omul a adăugat în ultima sută de ani și pe cele artificiale datorate propriei activități. Descoperirea energiei nucleare este considerată una din cele mai mari realizări a secolului XX, însă utilizarea radiațiilor în multiple domenii economice în prezent înseamnă și extinderea problemelor de sănătate produse de aceste radiații, de la nivel de mediu ocupațional la cel de mediu general populațional, cu alte cuvinte o problemă de sănătate publică [1].

Radiațiile ionizante așa cum sunt definite acestea, ca fascicule de particule caracterizate de diferite valori ale energiei, au proprietatea de a interacționa cu atomii materialului străbătut. Acestea sunt exploatate în scop constructiv, în diferite domenii de activitate: industrie, medicină, agricultură, cercetare etc. [2].

Radiațiile pot fi clasificate în funcție de efectele pe care le produce asupra materiei, în radiații ionizante și neionizante. Radiațiile ionizante includ razele cosmice, razele X și radiațiile din materialele radioactive. Radiațiile neionizante includ căldură radiantă, unde radio, microunde, radiații terahertz, lumină infraroșie, lumină vizibilă și lumină ultravioletă [3].

În deceniul de la descoperirea razelor X în anul 1895 și a radioactivității în 1896, oamenii de știință au dezvoltat utilaje pentru radiații, în principal în domeniul diagnosticului și tratamentului medical. Acest efort științific continuă până în prezent, rezultând cu utilizarea radiațiilor nucleare benefice și a materialelor radioactive pentru îmbunătățirea vieții umane. Cercetarea, dezvoltarea și utilizarea radiației și a materialelor radioactive de către om determină în mod necesar ca cercetătorii și utilizatorii acestei tehnologii să fie expuși la radiații în timpul activității lor, adică expunerea profesională la radiații ionizante. Din primele zile de experimentare cu radiații, s-a știut că există niveluri de expunere la care ar putea apărea leziuni ale țesuturilor umane, astfel încât expunerea profesională la radiații trebuie să fie controlată în scopul siguranței lucrătorilor cu radiații [4].

Personalul din domeniul medical cu expunere la radiații ionizante reprezintă 75% din numărul de expuși la nivel mondial; tot aceștia sunt cei care prin practica radiologică desfășurată duc la expunerea medicală a populației (cu cea mai mare pondere în expunerea artificială la radiații ionizante a publicului, aproximați 11%); personalul medical cu pregătire superioară este prescriptorul investigațiilor radiologice și a tratamentelor ce folosesc radiațiile ionizante.

Afecțiunile produse ca urmare a expunerii profesionale au fost observate și descrise încă din antichitate. Multe din bolile diagnosticate nu au fost inițial asociate factorilor de risc profesional deoarece fie că acești factori nu erau cunoscuți, fie că efectele acestora nu erau cunoscute, fie nu existau încă medici specialiști de medicina muncii [5].

Utilizarea radiației pentru expunerea medicală a pacienților contribuie cu peste 95% la expunerea la radiație din sursele artificiale și este depășită la nivel mondial numai de radiația naturală de fond ca sursă de expunere (UNSCEAR, 2000). Într-o analiză preliminară pentru anul 2006 în Statele Unite contribuția expunerii medicale a pacienților ca o sursă de expunere a populației SUA se așteaptă să fie similară ca mărime cu fondul natural [6].

Oamenii de știință au modificat în timp parametrii principiilor de radioprotecție. Acesta este motivul pentru care cultura de radioprotecție trebuie să devină obiectiv prioritar în gândirea medicală. În ceea ce privește gândirea medicală, mai bine zis cercetarea medicală este cea care a modificat în timp parametrii principiilor de radioprotecție. Iată un exemplu de Cerințe și reguli igienice ce conțin cerințele de asigurare a radioprotecției și securității populației: Norme fundamentale de radioprotecție. Cerințe și Reguli Igienice (NFRP-2000), Publicat: 05.04.2001, în Monitorul Oficial Nr. 40-41, art. Nr: 111 [7].

Acordarea asistenței medicale calitative populației necesită în mod inevitabil și prestarea asistenței radiologice inclusiv a radiodiagnosticului general, radiologiei intervenționale, radioterapiei. Aceste servicii în mod normal trebuie să conducă la obținerea unei eficiențe maxime în diagnostic, protecția împotriva pericolelor prezentate de expunerea la radiațiile ionizante și tratament, să aibă un risc diminuat pentru sănătate.

Expunerea profesională la radiațiile ionizante poate avea loc într-un interval de industrii, instituții medicale, instituții de învățământ și cercetare și instalații pentru ciclul combustibilului nuclear. Reglementarea protecției radiologice a expușilor profesional sunt esențiale pentru utilizarea sigură și justificată a radiațiilor, a materialelor radioactive și energie nucleară.

Scopul radioprotecției este de a oferi un nivel adecvat de protecție a oamenilor, fără a limita în mod nejustificat practicile benefice care dau naștere expunerii la radiație. Radioprotecția are menirea de a preveni apariția efectelor deterministe dăunătoare și de a reduce probabilitatea apariției efectelor stohastice (de exemplu, cancerul și efectele ereditare) [3].

Evaluarea factorilor de mediu, factorilor de risc la locul de muncă care influențează direct sau indirect starea de sănătate a expușilor profesional la radiații ionizante are ca scop prevenirea cazurilor de supraexpunere la radiații ionizante. Pe parcursul perioadei a. a. 2018-2021 specialiștii laboratorului Monitoring Dozimetric Individual al Agenției Naționale pentru Sănătate Publică au desfășurat activitatea de evaluare a corespunderii protecției radiologice la obiectivele radiologice și punerea în aplicare a măsurilor privind radioprotecția.

1. Semnificația executării programului de asigurare a calității în terapia cu radiații ionizante

Radioterapia (RT), numită și terapie cu radiații ionizante, indică tratamentul cancerului și al altor boli, ce constă în acumularea fasciculelor de energie în zona corporală în care se află tumora și pot deteriora direct sau indirect materialul genetic (ADN) din celulele sănătoase stopând creșterea acestora. În radioterapie e necesar faptul determinării exacte a distribuției dozei de radiație care să minimizeze efectele secundare ale tratamentului deoarece pătrund cantități mici de radiație în țesuturile învecinate. Razele gamma sunt produse în mod spontan, deoarece anumite elemente (cum ar fi Cobaltul 60) emană radiații pe măsură ce se descompun sau se dezintegrează într-o altă formă de fotoni folosiți în radioterapie.

O altă tehnică de acțiune a radiațiilor către celulele canceroase se bazează pe posibilitatea plasării implanturilor radioactive în zona în care s-a excitat tumora fiind denumită brahiterapie. Această tehnică se mai numește radioterapie internă și este binevenită deoarece este capabilă să emane doze mari de radiație concentrate într-o zonă mică a corpului. Deseori radioterapia internă este utilizată pentru tratarea cancerelor limbii, uterului, prostatei și colului uterin, dar în unele cazuri este considerată o procedură invazivă [8].

În timpul radioterapiei fasciculul rămâne localizat pe forma tumorii, în mod controlat neatingând țesuturile sănătoase. Consecințele acestei proceduri prezintă trei beneficii: vindecarea pacienților, păstrarea organelor și eficacitatea economică. Un șir de studii de cercetare cu dovezi științifice au demonstrat eficacitatea și toleranța radioterapiei pentru diferite tipuri de cancer (sân, prostată și rect). În prezent, au evoluat radioterapia cu proton și fascicul de particule, de obicei combinate cu chirurgie și tratamente sistemice medicale împotriva cancerului [9].

În același timp, în anul 2012 ponderea dispozitivelor de TRI (terapia cu radiații ionizante) moral și fizic depășite pentru telegamaterapie a constituit 33,3%, iar a celor pentru radioterapie - de 75,6% [10], ceea ce necesită o verificare anuală permanentă și graduală a acestora, în special verificare dozimetrică.

Ținând cont de cele menționate mai sus — personalul medical trebuie să posede cunoștințe vaste în acest domeniu ca să conștientizeze importanța tratamentului cu radiații ionizante. Pentru eficacitatea tratamentului aplicat este strict necesară verificarea dispozitivelor de TRI conform programului de AC, care trebuie să garanteze utilizarea în siguranță a acestora.

Terapia cu radiații ionizante este domeniul în care există o necesitate urgentă de asigurare a calității actului medical, de aceea activitatea sus-menționată ar trebui susținută cu brio (la nivel avansat) și încurajată la toate nivelele (societății): internațional, regional și național [11].

Asigurarea calității în TRI include realizarea tuturor procedurilor, menite să susțină legătura strânsă dintre prescripția medicală și executarea în siguranță a corespunderii dozei cu volumul țintă, împreună cu doza minimă pentru țesutul normal, expunerea minimă de personal sau excluderea totală a acestora, monitorizarea adecvată a pacientului în scopul determinării rezultatului final favorabil tratamentului.

Asistența de TRI trebuie să fie acordată conform unui program de asigurare a calității din următoarele considerente (deoarece):

1. AC contribuie la micșorarea cazurilor de erori în planificarea corectă a tratamentului și doza de livrare, ameliorând rezultatele acestui tratament, exprimate prin majorarea ratelor de remitere și reducerea complicațiilor și a cazurilor de repartiție a maladiilor.

2. Permite intercompararea semnificativă a rezultatelor tratamentului atât între IMSP pentru TRI naționale, cât și între instituțiile de profil internaționale.

Asigură un grad sporit de precizie și coerență în exploatarea dispozitivelor de TRI, obținând o performanță superioară în utilizarea corectă a echipamentului respectiv. În contextul creșterii morbidității prin cancer în toate localizările pentru realizarea tratamentului cu radiații ionizante de o calitate bună (acceptabilă) valoarea programului de AC sporește considerabil [11].

Un rol important constituie asigurarea calității vizând utilizarea terapiei cu radiații ionizante (TRI) în tratamentul pacienților cu neoplasme. În Republica Moldova, terapia cu radiații ionizante include radioterapia,

telegamaterapia, acceleratorul liniar și terapia intracavitară cu radiații ionizante, având un rol primordial în tratamentul neoplaziilor maligne [12].

Performanța echipamentelor de TRI are un rol esențial în programul de AC. Pentru a estima această performanță este necesar de a se conduce de testul de acceptare la comanda dispozitivelor de TRI, după reparații speciale sau după realizarea unor modificări ale acestora. Producătorii dispozitivelor de TRI trebuie să participe la testarea și furnizarea acestora. Simultan cu alte acte ale dispozitivului, specificația exhaustivă a parametrilor tehnici, în calitate de element principal, pentru testele de acceptare la comandarea dispozitivului de TRI.

Producătorii dispozitivelor de TRI trebuie:

- să participe activ și să ofere suport complet utilizatorilor la efectuarea testărilor acestor dispozitive;
- să furnizeze, concomitent cu factura pentru dispozitivele de TRI, și specificația completă a parametrilor tehnici ai acestora-document principal pentru realizarea testelor de acceptare la comandarea dispozitivelor în cauză;
- să ofere informații despre durata de timp în care piesele de schimb vor fi disponibile pentru repararea (reglarea) operativă a dispozitivelor de TRI, ieșite din uz, prin arondarea lor la un centru de deservire tehnică din adiacența instituției medico-sanitare publice;
- să conștientizeze inacceptabilitatea depășirii (abaterii) parametrilor principali ai dispozitivelor de la valorile normale și de la standardele recomandate de Comisia Electrotehnică Internațională (IRC), Comisia Internațională de Unități de Radiații și Măsurători (ICRU) sau de cele prevăzute de regulamentele naționale pentru dispozitivele de TRI. Programul de AC va fi diferit în dependență de nivelele departamental, național sau internațional [11].

Principala responsabilitate pentru elaborarea și efectuarea acestui program îi revine șefului programului, care trebuie să fie, de regulă, șeful departamentului de TRI. Acesta trebuie să fie convins că tratamentul cu radiații ionizante se realizează conform unor standarde acceptabile aprobate la nivelele menționate mai sus.

Una din problemele majore în orice program de AC este constatarea realizării unei anumite sarcini clinice sau fizice a acestuia. Șeful departamentului de TRI trebuie să insiste ca rezultatele executării sarcinilor de AC, rezultatele etalonărilor și informațiile despre pacienți să fie înregistrate corect și stocate pentru o anumită perioadă de timp. Păstrarea informațiilor sus-numite este necesară pentru evaluarea în dinamică a rezultatelor și evitarea posibilelor litigii.

Responsabilitățile de AC de către persoanele din departamentul de TRI sunt repartizate de către șeful departamentului, care în dependență de calificările profesionale raportează problemele clinice medicilor oncologi-radiologi, iar cele tehnice bioinginerului sau inginerilor pentru mentenanța dispozitivelor de TRI. Controlul dozei pacientului reprezintă un element important al oricărui program AC. Această activitate este obligatorie și necesară să se realizeze prin verificarea acurateței și preciziei procedurilor dozimetrice cu calibrarea în termenii stabiliți de lege a dispozitivelor de control dozimetric și a ieșirii fasciculului din sursă cu un etalon standard într-un laborator național sau internațional. Toate cele sus-menționate dictează necesitatea activității cotidiene în echipă și delegarea corectă a responsabilităților tuturor specialiștilor calificați.

Siguranța pacienților este o altă componentă valoroasă și responsabilă a unui program de AC. Această siguranță constă în poziționarea corectă a pacientului pe masa de tratament de către tehnicianul radiolog, amplasarea corectă cu acuratețe a blocurilor de ecranare și a penelor, care limitează câmpul de iradiere. Sarcina finală a unui program de AC constituie siguranța personalului, care cere implicarea directă și pronunțată a șefului departamentului de TRI.

Minimizarea dozei în afara volumului țintă reprezintă un alt deziderat al echipei, necesară și pentru limitarea nivelului de iradiere a organelor critice. Este strict obligatorie respectarea legislației naționale vizând activitatea în sfera radiațiilor ionizante și cerințele de siguranță în TRI [13].

2. Constrângeri de doză pentru expunerea profesională, expunerea populației și expunerea medicală

(1) Statele membre se asigură că, după caz, se stabilesc constrângeri de doză în scopul optimizării prospective a protecției:

(a) în ceea ce privește expunerea profesională, constrângerea de doză se stabilește ca instrument operațional pentru optimizarea protecției de către întreprindere sub supravegherea generală a autorității competente. În cazul lucrătorilor externi, constrângerea de doză se stabilește în cooperare între angajator și întreprindere.

(b) în ceea ce privește expunerea publică, constrângerea de doză se stabilește pentru doza individuală primită de populație în urma exploatării planificate a unei surse specifice de radiație. Autoritatea competentă se asigură că constrângerile sunt conforme cu limita de doză, pentru suma dozelor primite de aceeași persoană din toate practicile autorizate.

Pentru expunerea medicală, constrângerile de doză se aplică numai în ceea ce privește protecția persoanelor implicate în îngrijirea și susținerea pacienților și a voluntarilor care participă la cercetarea medicală sau biomedicală.

(2) Constrângerile de doză se stabilesc în funcție de dozele individuale efective sau echivalente primite de o persoană într-un interval corespunzător definit [14].

3. Supravegherea de Stat a sănătății publice

Supravegherea stării de radioprotecție se bazează pe următoarele sarcini prioritare:

- Monitorizarea influenței activităților nucleare și radiologice asupra sănătății populației în conformitate cu prevederile actelor normative în vigoare;
- Supravegherea sănătății publice la obiectivele ce desfășoară activități nucleare și radiologice;
- monitorizarea expunerii personalului ce activează cu surse de radiații ionizante, a pacienților în timpul procedurilor radiologice;
- Prevenirea maladiilor profesionale cauzate de radiații ionizante.

Supravegherea de Stat a sănătății publice în domeniul radioprotecției este reprezentată de Legea nr.10-XVI din 03.02.2009 privind supravegherea de stat a sănătății publice, Legea nr. 132 din 08.06.2012 privind desfășurarea în siguranță a activităților nucleare și radiologice, "Normele Fundamentale de Radioprotecție. Cerințe și Reguli Igienice" (NFRP-2000), Legea nr. 132 din 08-06-2012 privind desfășurarea în siguranță a activităților nucleare și radiologice.

Legea nr. 132 din 08-06-2012 privind desfășurarea în siguranță a activităților nucleare și radiologice, reprezintă în Republica Moldova legea de bază în domeniul nuclear, fiind publicată în Monitorul Oficial al Republicii Moldova Nr. 229-233 art. 739 din 2 noiembrie 2012. Obiectivul acestei legi este desfășurarea în siguranță a activităților nucleare în scopuri exclusiv pașnice, astfel încât să fie îndeplinite condițiile de securitate nucleară, de protecție a personalului expus profesional, a populației, precum și a mediului și a proprietății, cu riscuri minime și cu respectarea obligațiilor propuse. Prezenta lege are drept obiect desfășurarea în siguranță a activităților nucleare și radiologice în scopuri exclusiv pașnice, cu respectarea obligațiilor ce decurg din tratatele internaționale la care Republica Moldova este parte. Directiva 2013/59/Euratom stabilește standarde de siguranță de bază uniforme pentru protecția sănătății persoanelor supuse expunerilor profesionale, pe lângă expunerile medicale și publice împotriva pericolelor generate de radiațiile ionizante. Sursele de radiații ionizante pot fi materiale radioactive prelucrate, instalații nucleare, radionuclizi naturali, aparate cu raze X și radiații cosmice. Directiva se aplică, printre altele, la fabricarea, producția, prelucrarea, manipularea, eliminarea, utilizarea, depozitarea, păstrarea, transportul materialelor radioactive și a anumitor instalații care emit radiații, precum și expunerea lucrătorilor la radiații. Toate aceste acte privind asigurarea radioprotecției reflectă principiile actuale acceptate internațional și bunele practici recomandate în domeniul radioprotecției ocupaționale, ținând cont de schimbările conceptuale și îmbunătățirile tehnologice care au avut loc în ultimul deceniu [15].

4. Principii de bază și măsuri de protecție radiologică

Protecția radiologică este totalitatea metodelor de reducere a efectelor nocive ale radiațiilor ionizante. Pornind de la efectele acestor radiații asupra sănătății umane putem spune că, în cazul: - efectelor deterministice - producerea lor trebuie evitată întotdeauna, în limita posibilului; - efectelor stocastice - incidența lor trebuie redusă la un nivel acceptabil. Acceptabilitatea trebuie definită prin balanța risc-beneficiu privind radiațiile, atât în cazul expunerii potențiale, cât și în utilizarea lor în scop medical, industrial. Instruirea oferă cunoștințele prin care cei cu risc își pot minimiza doza și, prin urmare, potențialele efecte adverse asupra sănătății lor.

4.1 Principiile de bază ale protecției radiologice:

- Justificarea - introducerea unei activități care utilizează radiații ionizante este justificată dacă beneficiile care rezultă de pe urma practicii pentru persoane și societate în general sunt mai mari decât efectele negative asupra sănătății pe care le poate avea. Deciziile de introducere sau de modificare a unei căi de expunere pentru situațiile de expunere existentă și pentru situațiile de expunere de urgență se justifică, în sensul că acestea ar trebui să facă mai mult bine decât rău.
- Optimizarea - protecția radiologică a persoanelor sau a populației se optimizează în scopul de a păstra mărimea dozelor individuale, probabilitatea expunerii și numărul persoanelor expuse la un nivel cât mai scăzut posibil ținând seama de stadiul actual al cunoașterii tehnice și de factorii economici și sociali (principiul ALARA).
- Limitarea dozelor – în situațiile de expunere planificată, suma dozelor la care este expusă o persoană nu depășește limitele de doză prevăzute pentru expunerea profesională sau pentru expunerea publică. Limitele de doză nu se aplică în cazul expunerilor în scopuri medicale. Intervenția - acțiunile efectuate pentru a atenua consecințele negative grave pentru sănătatea și securitatea ființelor umane, pentru calitatea vieții, pentru proprietăți sau pentru mediu, sau un risc care ar putea genera asemenea consecințe negative grave [16].

5. Categoriile de expunere

Expunerea la radiații ionizante a întregii populații se clasifică în:

1. expuneri profesională, medicală și publică;
2. expuneri normală și potențială;
3. expuneri în situații de urgență (profesională de urgență și accidentală);

Expunerea medicală reprezintă expunerea la care sunt supuși pacienții sau persoanele asimptomatice ca parte a diagnosticării sau a tratamentului medical sau stomatologic efectuat pentru îmbunătățirea sănătății, precum și

expunerea la care au fost supuse persoanele implicate în îngrijirea și susținerea pacienților sau voluntarii din cercetarea medicală ori biomedicală [1].

Numărul estimat pe plan mondial al aparatelor radiologice medicale și dentare este de aproximativ 2 milioane. Deși este dificil de estimat numărul exact de personal medical expus la radiații ionizante, UNSCEAR (2000) s-a constatat că mai mult de 2,3 milioane se numără personalul medical expus la radiațiile ionizante [17].

Sunt expuse radiației ionizante din practica medicală mai multe persoane decât din orice altă activitate umană, și în multe cazuri, dozele individuale sunt mai mari. În țările cu un sistem de ocrotire a sănătății avansat numărul anual al procedurilor de diagnostic radiologic se apropie sau depășește 1 pentru fiecare membru din populație (UNSCEAR, 2000). Mai mult, pentru același tip de examinare dozele la pacienți diferă mult între centre sugerând că există un interes considerabil pentru managementul dozei la pacient (UNSCEAR, 2000).

Expunerile la radiație în medicină se referă în mod predominant la persoane supuse examinărilor de diagnostic, procedurilor intervenționale sau terapiei cu radiație. Examinările de diagnostic le includ pe acelea pentru scopuri medicale și stomatologice. Procedurile intervenționale sunt ghidate predominant fluoroscopic, dar au fost, de asemenea, dezvoltate și utilizate tehnici de ghidare cu tomografia computerizată. Desigur, personalul medical și celelalte persoane care ajută la susținerea și alinarea pacienților sunt, de asemenea, expuse la radiație. Lucrătorilor li se oferă acces la informații din propriul lor registru de expunere; totuși, trebuie acordată atenția cuvenită menținerea confidențialității corespunzătoare a înregistrărilor.

Evidențele expunerii trebuie păstrate nu numai pe parcursul vieții profesionale a lucrătorului, ci și cel puțin până când lucrătorul atinge sau ar fi împlinit vârsta de 75 de ani și nu mai puțin de 30 de ani după încetarea activității care implică expunere profesională [16, 18].

Controlul dozelor în medicina nucleară. Dozele primite de utilizatorii radiațiilor ionizante în medicină variază în limite largi și sunt frecvent caracterizate printr-o distribuție neuniformă la nivelul organismului. În medie dozele efective individuale sunt de ordinul 1- 3 mSv/an, valorile fiind ceva mai ridicate în cazul celor implicați în procedurile radiologice intervenționale. Controlul dozelor în medicina nucleară implică în mod normal protecția împotriva ingestiei sau inhalării în timpul producției radiofarmaceutice, a administrării substanțelor și a analizării lor. Poate fi vorba, de asemenea, de expunere externă, ca și în cazul ^{99}Tcm , care poate elibera doze importante, la rate ale dozei foarte ridicate, la nivelul mâinilor operatorului în cazul în care nu există protecție corespunzătoare. Media anuală a dozelor efective este de 1-2 mSv. Femeile care lucrează în medicina nucleară și rămân gravide ar putea fi expuse la niveluri de doze ce depășesc limitele recomandate dacă își continuă munca pe durata sarcinii. În ciuda dozelor mari de radiații utilizate în radioterapie, expunerea profesională este mică. Tratamentele cu fascicule colimate nu produc expuneri apreciable ale personalului executant. Cu toate acestea, utilizarea în brahiterapie a surselor închise implantate în anumite organe poate conduce la expunerea mâinilor și feței operatorilor – chirurghi, ginecologi, personal sanitar mediu datorită dificultății de a prevedea mijloace de adăpostire sau de ecranare [19].

Așadar, complexitatea modificărilor în calcularea dozei echivalente și a celei efective nu ar ridica nivelul de protecție și ar putea asigura un grad de precizie în calcule care este nejustificat. Estimarea dozelor și riscurilor datorate emițătorilor interni este furnizată de Harrison și Day (2008) în Journal of Radiological Protection [20].

6 Evaluarea expunerii externe a personalului în Republica Moldova

În Republica Moldova personalul medical constituie peste 82,9% din numărul total al expușilor profesional. Echivalentul dozei efectiv mediu anual al iradierii profesionale constituie 0,1 % din iradierea totală a populației. Echivalentul de doză efectiv mediu anual și ponderea iradierii medicale de la sursele artificiale constituie 0,975 mSv/an (28%), inclusiv datorată radiodiagnosticului – 60,36%, a medicinei nucleare – 0,71%, a radioterapiei – 38,93%. O deosebită atenție se acordă organizării și efectuării examenelor medicale a persoanelor implicate în lucrările cu surse și generatoare de radiații ionizante. Scopul acestor monitorizări a constat în analiza cazurilor de supraexpunere peste limitele de referință a personalului medical. Examenele medicale profilactice au fost organizate conform prevederilor Hotărârii Guvernului nr. 1025 din 07.09.2016 pentru aprobarea Regulamentului sanitar privind supravegherea sănătății persoanelor expuse acțiunii factorilor profesionali de risc. Calitatea examenelor medicale la angajarea în câmpul muncii și cele periodice au o importanță majoră în supravegherea sănătății publice. Purtarea dozimetrului este obligatorie pe toată durata programului de lucru a personalului expus profesional.

Una din sarcinile prioritare ale Serviciului de Supraveghere de Stat a Sănătății Publice este asigurarea radioprotecției populației, a unor condiții inofensive de muncă pentru angajații din sfera utilizării surselor cu radiații ionizante și a prevenirii poluării radioactive a mediului ambiant.

Măsurile întreprinse de specialiștii Centrelor de Sănătate Publică teritoriale la compartimentul de radioprotecție au contribuit la optimizarea calității serviciilor radiologice prestate populației, la diminuarea dozelor de expunere a expușilor profesionali și a pacienților în timpul efectuării examenelor radiologice și diagnostice cu utilizarea surselor de radiații ionizante.

A fost desfășurat un volum vast de activități de supraveghere a stării radioprotecției la obiectivele radiologice și de elaborare a măsurilor adecvate de ameliorare a acesteia.

Factorii de mediu și de producere, care influențează direct sau indirect starea de sănătate a expușilor profesionali la radiații ionizante au fost monitorizați cu scopul de prevenire a cazurilor de supraexpunere la radiații ionizante.

Activitățile în domeniul de radioprotecție au fost efectuate conform următoarelor acte legislative și normative de bază:

- ◆ Legea nr. 132 din 01.06.2012 privind desfășurarea în siguranță a activităților nucleare și radiologice ;
- ◆ Normele Fundamentale de Radioprotecție, Cerințe și Reguli Igienice (NFRP-2000) nr. 06.5.3.34 din 27.02.01;
- ◆ Regulamentul și normele igienice privind reglementarea expunerii populației la surse naturale nr. 06.5.3.35 din 05.03.2001;
- ◆ Hotărârea Guvernului Republicii Moldova nr. 632 din 24.08.2011 Cu privire la aprobarea Regulamentului sanitar privind radioprotecția și securitatea nucleară în practicile de radioterapie;
- ◆ Hotărârea Guvernului Republicii Moldova nr. 867 din 19.11.2012 „Pentru aprobarea Regulamentului privind tratarea cu radiații ionizante a produselor alimentare de diferită origine”;
- ◆ Hotărârea Guvernului Republicii Moldova nr. 451 din 24.07.2015 pentru aprobarea Regulamentului cu privire la radioprotecție, securitate radiologică în practicile de radiologie de diagnostic și radiologie intervențională;
- ◆ Hotărârea Guvernului Republicii Moldova nr. 1210 din 03.11.16 cu privire la aprobarea, Regulamentului sanitar privind asigurarea radioprotecției și securității radiologice în practicile de medicină nucleară.

Concluzii

Activitatea de supraveghere efectuată pe parcursul ultimilor ani de către specialiștii laboratorului Monitoring Dozimetric Individual al Agenției Naționale pentru Sănătate Publică, a condus la evaluarea și optimizarea radioprotecției personalului și a pacienților cu implementarea unor măsuri menite să contribuie la obținerea unui maxim de informație cu risc diminuat pentru sănătate. Situația radiologică pe teritoriul Republicii Moldova pe parcursul anilor 2018-2021 nu a suferit careva schimbări și este stabilă. Rezultatele privind starea de radioprotecție, securitate radiologică la obiectivele supuse supravegherii și factorii, care influențează asupra sănătății expușilor la radiații ionizante (personalul de categoria A), denotă menținerea la un nivel satisfăcător a condițiilor de muncă a persoanelor angajate în activități cu diferite surse de radiații ionizante. Cazuri de maladii profesionale în sfera acțiunii radiațiilor ionizante; cazuri de supra iradiere a personalului expus profesional cu depășiri ale dozei maximal admisibile conform Normelor Fundamentale de Radioprotecție. Cerințe și Reguli Igienice (NFRP-2000) nu au fost depistate.

Referințe

1. <https://cnmr.mc.insp.gov.ro/images/ghiduri/Ghid-Educatie-pentru-sanatate.pdf>, 10.09.2021.
2. Mihai Felicia, Ana Stochiou. Istoricul dozimetriei individuale pentru expunerea externă la radiații, în România. În: Evoluția radioprotecției în România ultimelor 100 de ani. Conferința Națională a Societății Române de Radioprotecție, 12 octombrie, București, 2018, p. 74-82.
3. <https://www.ilo.org/safework/areasofwork/radiation-protection/lang--en/index.htm>, 10.09.2021.
4. <http://hps.org/documents/occupational.pdf>, 09.09.2021.
5. Popescu F. S. Evoluția supravegherii medicale speciale a personalului expus profesional la radiații ionizante. În: Evoluția radioprotecției în România ultimelor 100 de ani. Conferința Națională a Societății Române de Radioprotecție, 12 octombrie, București, 2018, p. 111-119.
6. Mettler, F. A., Thomadsen, B. R., Bhargavan, M., et al. Medical radiation exposure in the U.S. 2006: Preliminary results. 43rd Annual Meeting of the National Council on Radiation Protection and Measurements: Advances in Radiation Protection in Medicine. In: Health Physics, 2008 Nov; 95 (5): 502-7.
7. Normele Fundamentale de Radioprotecție. Cerințe și Reguli Igienice (NFRP-2000) nr. 06.5.3.34 din 27.02.2001. Publicat: 05.04.2001 în Monitorul Oficial al Republicii Moldova, nr. 40-41.
8. Ernesto Lamanna, Bianco Cataldo, Giulia Marvaso, Marco D'Andrea and Lidia Strigari. Control of Ionizing Radiation in Radiotherapy. In: Evolution of Ionizing Radiation Research. September 17, 2015. DOI: 10.5772/60421. <https://www.intechopen.com/books/evolution-of-ionizing-radiation-research/quality-control-of-ionizing-radiation-in-radiotherapy>.
9. Juliette Thariat, Jean-Michel Hannoun-Levi, Arthur Sun Myint, Te Vuong, Jean-Pierre Gérard. Past, Present, and Future of Radiotherapy for the Benefit of Patients. In: Nature reviews. Clinical Oncology. 2013 Jan;10(1): 52-60. doi: 10.1038/nrclinonc.2012.203.
10. Raportul general anual de statistică (f. 30) al serviciului de terapie cu radiații ionizante din Republica Moldova în 2012. Chișinău, 2013.
11. Quality Assurance in Radiotherapy. World Health Organization. Geneva, 1988, p. 52.
12. Hotărârea Guvernului Republicii Moldova nr. 632 din 24.08.2011 Cu privire la aprobarea Regulamentului sanitar privind radioprotecția și securitatea nucleară în practicile de radioterapie.
13. Bahnarel, I.; Corețchi, L.; Roșca, A.; Coban, E.; Gîncu, M.; Cojocari, A.; Capățina A. Semnificația executării programului de asigurare a calității în terapia cu radiații ionizante. Certificat de înregistrare a obiectelor dreptului de autor și drepturilor conexe. Seria O Nr. 6644 DIN 07.09.2020. AGEPI MD.
14. <https://www.ilo.org/safework/areasofwork/radiation-protection/lang--en/index.htm>, 09.09.2021.

15. Council Directive 2013/59/ Euratom. <http://osha.europa.eu/en/legislation/directives/directive-2013-59-euratom-protection-against-ionising-radiation>. Latest update: 25/07/2019.
16. <https://www.iaea.org/publications/11113/occupational-radiation-protection>., 09.09.2021.
17. UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York, NY.
18. <https://www.icrp.org/docs/P105Russian.pdf>., 09.09.2021.
19. Popescu F. S., Calugareanu L. D. Ghid „Supravegherea medicală specială a lucrătorilor expuși profesional la radiații ionizante. Ministerul Sănătății Institutul Național de Sănătate Publică”, p. 8-10.
20. Harrison, J.D., Day, P., 2008. Radiation doses and risks from internal emitters. In: Journal of Radiological Protection 28, 137–159.

Dozimetria biologică a personalului expus profesional și accidental la surse de radiații ionizante ca parte componentă a protecției radiologice

Liuba Corețchi, Mariana Gîncu, Angela Căpățină, Aurelia Ababii, * Irina-Anca Popescu

Agencia Națională pentru Sănătate Publică, Laboratorul Igiena Radiațiilor și Radiobiologie, Chișinău;

*Institutul Național de Sănătate Publică - Centrul Regional de Sănătate Publică, Iași

Rezumat

Lucrarea conține informații despre utilizarea markerilor biologici în biodozimetria radiațiilor ionizante ca parte componentă a protecției radiologice. Sunt prezentate posibilitățile și neajunsurile fiecărei metode. În prezent niciuna dintre metodele de biodozimetrie nu corespunde cerințelor ideale, iar în calitate de „standard de aur” este propusă „biodozimetria generală” care include diverse tehnologii. Metodele expuse în lucrare pot fi utilizate în efectuarea biodozimetriei persoanelor expuse cronic la radiații ionizante profesional și accidental; pentru efectuarea cercetărilor științifice în laboratoarele de Igiena Radiațiilor, Genetică, Genetică umană și Citogenetică. În lucrare sunt prezentate recomandările de utilizare în practică a metodelor citogenetice, și anume pentru efectuarea unui control minuțios al personalului implicat în investigațiile de radiodiagnostic și terapie cu radiații ionizante. Eficacitatea metodelor în cauză constă în depistarea efectului de iradiere a organismului atât în stadiile incipiente, cât și în cele mai avansate.

INTRODUCERE

Pe parcursul utilizării surselor de radiații ionizante este posibilă apariția unor situații, când determinarea dozei absorbite cu ajutorul dozimetriei fizice poate fi limitată. În aceste condiții pot fi folosite metodele biologice dozimetrice, care permit aprecierea efectului influenței radiației cu evidențierea expunerii individuale. Această informație are o mare însemnătate în vederea acordării la timp a primului ajutor în caz de accidente nucleare, dar și pentru prognosticul posibilelor efecte -post iradiere.

Cele mai răspândite sunt metodele biodozimetrice, fundamentate pe analiza frecvenței de radio inducere la nivelul celulelor somatice și anume schimbările genetice: mutații genomice, cromozomiale și genice. Una dintre cele mai eficiente metode este metoda citogenetică, unde în calitate de markeri biologici ai acțiunii radiațiilor ionizante pot fi utilizate aberațiile cromozomiale din limfocitele sângelui periferic. Rezultatele cercetărilor științifice în domeniul citogeneticii stau la baza elaborării recomandărilor metodice de către ONU de determinare a dozei de iradiere [1, 2].

Principiile radiobiologice pentru utilizarea metodelor citogenetice în dozimetrie se bazează pe sensibilitatea sporită a limfocitelor din sângele periferic și capacitatea de restructurare a cromozomilor specifică în expunerea la radiații ionizante, frecvența depistării în funcție de nivelul dozei este bine cunoscută pentru majoritatea tipurilor de radiații ionizante. În urma acțiunii radiației pot apărea două tipuri principale de aberații cromozomiale:

- *Nestabile* (micronuclei, dicentrici, inele centrice, fragmente acentrice);
- *Stabile* (translocatii reciproce și alte tipuri de translocatii).

Pentru aprecierea dozei absorbite de către organism, cel mai frecvent sunt utilizate aberațiile nestabile — cromozomii dicentrici (dicentricii) și inelele centrice. Avantajul dicentricilor și inelelor centrice în efectuarea cercetărilor biodozimetrice constă în faptul că aberațiile acestui tip sunt specifice pentru acțiunea radiațiilor ionizante și ele pot fi foarte ușor depistate cu ajutorul microscopului, fără folosirea metodelor complicate de preparare și colorarea preparatelor cromozomiale. Deficiența utilizării dicentricilor și inelelor centrice ca markeri biologici ai acțiunii radiațiilor ionizante constă în aceea, că, celulele care conțin aceste aberații formează în timpul diviziunii celule genetice instabile, care sunt eliminate. De aceea, utilizarea eficientă a aberațiilor nestabile pentru determinarea dozei de iradiere, în general, este eficientă în primele 3-4 luni după expunerea acută uniformă a radiațiilor ionizante. În cazul iradierii cronice și evaluării dozei retrospective se folosesc diferite modele matematice, care iau în considerare ori procesul eliminării unor asemenea celule din circulația sangvină, ori particularitățile de redistribuire a aberațiilor radioinduse din diferite celule [2, 6].

Cu cât perioada de postiradiere este mai mare, cu atât precizia metodei este mai diminuată. Descrierea metodelor matematice retrospective de estimare a dozelor bazate pe rezultatele analizei citogenetice nu constituie obiectivul recomandărilor în actualul ghid.

După un anumit interval de timp de la momentul expunerii la radiații ionizante se poate depista efectul provocat de iradiere, conform frecvenței dicentricilor în limfocitele sângelui periferic, dar lipsa markerilor citogenetici *nestabili* nu poate servi ca argument al lipsei expunerii anterioare la radiații.

În baza analizării frecvenței aberațiilor cromozomiale *stabile* de schimb (translocatii) din limfocitele sângelui periferic se poate determina gradul de iradiere al organismului și se poate aprecia doza de iradiere după o perioadă mai îndelungată postiradiere ori în cazul iradierii cronice. Aceasta se datorează faptului că astfel de schimburi cromozomiale nu influențează mitoza și se transmit următoarelor generații celulare, așadar, frecvența translocatiilor nu este influențată semnificativ în timp.

În ultimii ani pentru determinarea frecvenței translocatiilor este utilizată metoda genetico-moleculară FISH (*fluorescence in situ hybridization*) care permite vizualizarea cromozomilor separați și a fragmentelor de cromozomi

[3, 4]. Metoda constă în colorarea fluorescență a cromozomilor ori a fragmentelor separate de cromozomi după hibridizarea fluorescență *in situ* cu utilizarea vectorilor ADN specifici cromozomilor.

În preparatele cu cromozomii în stadiul de metafază, colorați prin metoda FISH, modificările structurale pot fi depistate foarte ușor, de aceea eficiența acestei metode este mai mare decât metoda colorării diferențiate și nu necesită instruirea îndelungată a cercetătorului științific. Deficiența acestei metode constă în costul mare al sondei ADN, timpul îndelungat al colorării preparatelor și necesitatea utilizării microscopului fluorescent.

Determinarea nivelului de iradiere a organismului prin utilizarea frecvenței aberațiilor cromozomiale în limfocitele sângelui periferic este posibilă datorită dependenței acestui indicator de nivelul dozei pentru un spectru larg al radiațiilor ionizante, depistarea aberațiilor cromozomiale este vizualizată în timpul iradierii *in vitro* și *in vivo*.

Pentru determinarea influenței radiațiilor ionizante asupra frecvenței aberațiilor cromozomiale se utilizează curbele de calibrare *doză-efect*, obținute în condiții de laborator, prin iradierea sângelui integral *in vitro*. Caracterul curbei *doză-efect* depinde de tipul și de particularitățile energetice ale radiației ionizante. De obicei pentru iradierea cu energie joasă această dependență este caracterizată prin ecuația pătrat-liniară. Pentru iradierea cu transfer mare de energie, dependența *doză-efect* este liniară.

În vederea determinării dozei absorbite se corelează rezultatele analizei frecvenței aberațiilor cromozomiale cu nivelul dozei din curba de calibrare. Doza, calculată conform frecvenței restructurărilor citogenetice prin utilizarea curbei de calibrare corespunzătoare, reprezintă mărimea echivalentă cu doza iradierii uniforme acute. Nivelul cel mai jos, care ne permite aprecierea corectă a dozei conform frecvenței dicentricilor și inelelor, constituie aproximativ 100 mGy pentru radiațiile *gamma* și 50 mGy pentru dividerea spectrală a neutronilor [2, 5].

Pentru determinarea dozei de la postiradierea acută la un interval scurt de timp după iradiere, este suficient de a efectua analiza aberațiilor cromozomiale nestabile în limfocitele sângelui periferic cu ajutorul metodei citogenetice clasice. Pentru investigațiile retrospective după o perioadă mai îndelungată postiradiere ori în cazul iradierii cronice, pentru determinarea dozei absorbite de organism, este necesar de a efectua analiza aberațiilor cromozomiale stabile prin metoda FISH.

ACTUALITATEA PROBLEMEI PRIVIND DOZIMETRIA BIOLOGICĂ

Există o serie de markeri biologici care caracterizează dependența doză-efect. Însă variabilitatea individuală, valorile considerabile ale parametrilor în organisme neiradiate și dependența de factorii neionizanți ai patologiei permite de a califica numai unii din mulțimea existentă de markeri ai radiației ionizante ca dozimetre biologice. Astfel, schimbările citogenetice în limfocitele sângelui periferic și *Rezonanța* paramagnetică electronică (EPR) sau spectroscopia de *rezonanță* electronică a *spinului* (*electron spin resonance* – ESR) a smalțului dinților în prezent sunt unicele metode validate pentru biodozimetrie [2].

Biodozimetria este o parte componentă a protecției radiologice și, de obicei, se utilizează în cazuri de supraexpunere. În caz de accidente nucleare, iradierea are loc din contul γ -iradierii și a neutronilor. Iradierea este de natură heterogenă. Biodozimetria, în caz de accident, include metode biofizice, care furnizează informația despre repartizarea dozei și componentul neutronic al dozei și metode clasice (numărarea limfocitelor, fragmentelor dicentrice și acentrice, electroencefalografia, markerii biochimici), cu ajutorul cărora poate fi evaluată doza biologică medie. Evaluarea biodozimetrică rămâne o sarcină grea, în special din cauza heterogenității expunerii. Unica cale de soluționare a problemei este determinarea dozei cu ajutorul mai multor tehnologii [2, 6].

Spre deosebire de metodele de dozimetrie fizică, metodele biodozimetrice, de regulă, nu se utilizează pentru evaluarea dozelor mai mici de 0,1 Gy, totodată, asupra lor acționează variabilitatea individuală de radiorezistență.

Imediat după accident, de obicei, se utilizează metoda biodozimetrică, bazată pe evaluarea frecvenței aberațiilor cromozomiale nestabile (dicentrice și inele centrice). Prin compararea frecvenței dicentricilor și a inelelor centrice cu curba standard „doză-efect”, obținută în condiții *in vitro*, se poate determina doza de expunere. Această metodă este recomandată de către Organizația Mondială a Sănătății (OMS) și Agenția Internațională pentru Energie Atomică (AIEA) pentru aplicarea în practică. Însă, utilizarea dicentricilor și a altor aberații cromozomiale nestabile pentru biodozimetrie nu este posibilă în toate cazurile, deoarece numărul de celule, care conțin astfel de aberații, de obicei, după expunere, diminuează în timp [7].

În dozimetria retrospectivă, care se efectuează după o perioadă îndelungată de la expunere, datele obținute pot completa dozimetria fizică. În acest caz este logic de a utiliza metodele care evaluează deteriorările stabile ale biomarkerului (se manifestă constant, nu fac parte din schimbările de natură biochimică, fiziologică sau imunologică; nu se reproduc și nu dispar). Ca aberații stabile sunt considerate translocațiile, frecvența cărora este constantă o perioadă îndelungată după iradiere. Probabilitatea formării aberațiilor cromozomiale stabile (translocațiile) ca răspuns la iradiere este identică cu cea de formare a aberațiilor cromozomiale nestabile (dicentrice). Însă, spre deosebire de dicentrice, translocațiile nu sunt supuse selecției în timpul proliferării celulelor. Metoda de hibridizare fluorescență *in situ* (*fluorescence in situ hybridization* – FISH), efectuată prin colorarea cromozomilor, poate fi utilizată în dozimetria retrospectivă după câteva zeci de ani de la iradiere [7].

Altă metodă biologică sau biofizică de măsurare a dozelor, după părerea experților Comitetului științific al ONU privind efectele radiației atomice (UNSCEAR), este RPME (rezonanța paramagnetică electronică) sau

radiofotoluminescența (RFL). Această metodă se utilizează în dozimetria retrospectivă pentru evaluarea deteriorărilor radiogene, acumulate în țesutul osos, în dinți, unghii și păr. Este posibil, de asemenea, de a efectua analiza mutațiilor genei responsabile de Glycophorina A – sialoglicoproteina majoră a membranei eritrocitare umane care poartă determinanții antigenici pentru grupele sanguine MN și Ss (GYPA), a celulelor sanguine.

Actualmente nivelul dozei determinate prin metodele FISH, ESR și RPME este de aproximativ 0,1 Gy [8].

Însă, în expunerile accidentale cu doze mici, evaluarea dozei este nesemnificativă din cauza interferenței cu dozele din alte surse de iradiere (expunerea medicală, fondul radiologic natural etc.). În cazul utilizării metodei FISH din cauza altor factori, cum ar fi fumatul, este greu de a aprecia doza accidentală [7].

1.1 Scopul și sarcinile dozimetriei biologice.

Efectele expunerii acute la doze mari de radiații ionizante sunt studiate suficient, iar despre efectele cronice de expunere la doze mici se cunoaște foarte puțin. Dozimetria fizică nu tot timpul este satisfăcătoare, de aceea evaluarea dozelor și determinarea nivelului de expunere anterioară trebuie să se bazeze pe markeri biologici. Mai des utilizate și mai precise se consideră a fi metodele de dozimetrie biologică prin analiza citogenetică, evaluarea mutațiilor și RPE. Luând în considerare faptul că interesul față de studierea efectelor de expunere la doze mici crește, sporește și necesitatea de evaluare a noilor biomarkeri, cu ajutorul cărora este posibil de a identifica indivizii expuși dintr-o populație.

Generalizând cele expuse, pot fi formulate sarcinile principale ale biodozimetriei:

- confirmarea sau infirmarea datelor dozimetriei fizice și diferențierea expunerii reale și nereale;
- depistarea probabilității expunerii în lipsa datelor dozimetriei fizice. De exemplu, în cazurile când nu se efectuează monitoringul dozimetric sau lucrătorii cu surse de radiații ionizante nu poartă dozimetru;
- verificarea datelor, când există dubii despre incorectitudinea rezultatelor dozimetriei fizice;
- determinarea dozei medii absorbite de corpul uman în cazurile iradierii neuniforme. În aceste situații dozimetrele pot arăta doze foarte mari sau foarte mici în funcție de geometria expunerii;
- diferențierea expunerii acute și cronice în cazul accidentelor. Analiza aberațiilor cromozomiale asigură evaluarea exclusă a efectului biologic luând în considerare timpul de expunere și posibilitățile de reparare a deteriorărilor cauzate de radiațiile ionizante;
- determinarea dozei și fracția iradiată în cazul accidentelor cu iradiere neuniformă (iradierea unei părți a corpului sau locală). Analiza dispersională a aberațiilor cromozomiale denotă o deviere de la repartizarea Poisson, care, la rândul său, reprezintă un indice al iradierii neuniforme;
- ajutorul în repartizarea suferințelor în cazul accidentelor cu un număr mare de expuși. În managementul medical al accidentelor, aberațiile cromozomiale pot servi ca un marker exact de prognosticare.

MARKERII BIOLOGICI AI FACTORULUI RADIOSTRESOGEN

Evaluarea markerilor biologici ai factorului radiogen presupune utilizarea metodelor de apreciere a schimbărilor în sistemul biologic în urma acțiunii radiațiilor ionizante și concordarea lor cu acțiunea factorilor de mediu și a maladiilor. Sunt cunoscuți biomarkeri ai iradierii, ai dozei, ai sensibilității și ai maladii. Este important de a cunoaște deosebirile și particularitățile de utilizare a lor. De exemplu, pentru forțele armate un interes major îl reprezintă biomarkerii iradierii și ai dozei (nivelul sensibilității poate fi diminuat), care pot fi utilizați pentru gruparea suferințelor în lupte sau în urma unor acte teroriste și determinarea necesității și a volumului ajutorului medical.

Biomarkerii efectelor tardive ale riscurilor radiogene prezintă interes al forțelor militare, avantajele acestor biomarkeri ai riscului ar fi sensibilitatea sporită și specificitatea față de diverse afectări, însă fără obținerea rapidă a rezultatelor.

Este cunoscut numărul considerabil de biomarkeri ai expunerii genomului uman la iradiere [9, 10], însă pentru utilizare biomarkerii necesită a fi validați. În acest context, datele investigațiilor de laborator vin să completeze pe cele epidemiologice. În astfel de cercetări valoarea biomarkerilor este o variabilă dependentă, care trebuie evaluată, iar expunerea reprezintă variabila independentă. Biomarkerul validat reprezintă parametrul obiectiv pentru evaluarea riscurilor pentru sănătate și poate fi un criteriu de bază în programele individuale de control medical.

Curbele de calibrare doză-efect care utilizează surse de referință de iradiere prezintă cheia de evaluare a dozei absorbite în testele de biodozimetrie. În majoritatea expunerilor accidentale posibilitățile dozimetriei fizice sunt limitate. Plus la aceasta, în majoritatea cazurilor expunerea accidentală este neuniformă sau locală cu doze esențiale. În astfel de cazuri dozimetria fizică nu asigură evaluarea credibilă a dozei. Au fost identificați un număr considerabil de biomarkeri ai radiațiilor ionizante, cum ar fi: schimbările citogenetice în limfocitele sângelui periferic, dereglările hematologice, markerii biochimici, spectroscopia ESR a probelor biologice, mutațiile la nivel de genă în eritrocite, schimbările citogenetice și fiziologice ale pielii și schimbările neurofiziologice [6, 22, 48].

Au fost propuși o serie de biomarkeri specifici pentru tipurile de radiații cu transfer liniar de energie (TLE) înalt. Acești biomarkeri cresc aportul investigațiilor epidemiologice la persoanele care au fost expuse la radiații cu TLE mare, de exemplu pentru particulele α sau neutronii.

Se poate utiliza ca biomarker ai radiațiilor cu TLE mare un raport dintre aberațiile intercromozomiale induse și aberațiile interbrațului. Conform rezultatelor investigațiilor teoretice și experimentale, acest raport trebuie să fie peste 3 pentru radiațiile cu TLE mare, față de alți factori clastogeni. A fost confirmată stabilitatea de lungă durată a astfel de biomarkeri. Țesutul sangvin, fiind un sistem cu capacitate de reînnoire, proliferare sporită și autoreproducere, este foarte sensibil la acțiunea radiațiilor și servește ca un indicator fin de afectare a organismului de către radiațiile ionizante. De aceea, în cazul accidentelor nucleare și de altă natură tehnogenă, investigarea sistemului de hemopoieză are o importanță colosală în special unele tipuri de limfocite care manifestă capacitatea precoce de reacție la stresul radiogen, fiind indicatori foarte utili [14, 15].

La pacienții cu iradiere acută, în primele zile, săptămâni și luni după iradiere, se depistează dereglări cantitative și calitative ale sângelui periferic. Schimbările cantității de granulocite și trombocite în faza acută a maladiei corespund parametrilor standard în funcție de gradul iradierii acute [15, 16].

2.1. Valoarea dozimetrică a biomarkerilor

În vederea managementului efectiv al accidentelor nucleare este necesară o evaluare precisă a dozei de iradiere [17]. Informația dozimetrică se obține în urma utilizării combinate a diferitor metode. În pofida faptului că unii dintre acești markeri pot fi exclusiv calitativi sau semicalitativi, ei pot manifesta potențialul de marker de prognosticare. În Tabelul 1 este prezentată descrierea succintă a diferitor biomarkeri și valoarea lor dozimetrică în diverse condiții de iradiere.

Tabelul 1. Markerii biologici/dozimetre ai factorului radiostresogen în diferite condiții de iradiere

Iradiere a întregului corp	Iradiere locală	Iradiere cronică
Aspectul clinic Perioada apariției și severitatea simptomelor maladiei actinice. Are importanță în clasificarea celor suferinzi.	Analiza aberațiilor cromozomiale (dicentrice) cu analiza dispersională. Poate fi determinată doza de expunere a unei părți a corpului.	Testul translocațiilor. Testul aberațiilor cromozomiale stabile prin metoda FISH cu ajutorul Sondelor cromozomiale specifice.
Markerii hematologici: cantitatea de limfocite peste 48-72 de ore după expunere ($100-500/\text{mm}^3$) este caracteristică pentru o prognoză nefavorabilă; < $100/\text{mm}^3$, probabilitatea de situație fatală; cinetica de diminuare a cantității granulocitelor neutrofile: cu cât mai rapid scade până la $500/\text{mm}^3$, cu atât situația este mai proastă.	Markerii de afectare a pielii: eritem tranzitoriu; depilarea; eritem stabil (3-4 săptămâni); micșorarea diametrului firului de păr; dereglări citogenetice în celulele foliculare; arsuri ale pielii (doze mari).	ESR-dozimetria. Se bazează pe analiza radicalilor liberi (CO_3) ²⁻ în smalțul dinților. Este un dozimetru biologic atât în cazul expunerii accidentale acute, cât și în expunerea cronică. Retrobiodozimetria la supraviețuitorii după explozia bombelor atomice, de asemenea, poate fi evaluată prin această metodă.
Analiza citogenetică Aberațiile cromozomiale: analiza dicentricilor; testul micronucleelor; condensarea prematură a cromozomilor pentru evaluarea cantității de rupturi; testul translocațiilor prin metoda colorării cromozomilor.	Sistemul reproductiv (bărbați): repartizarea celulelor spermei în diferite stadii ale spermatogenezei cu ajutorul citometriei (invaziv); diminuarea cantității de spermă în a 60 – a zi după expunere (oligospermia/aspermia).	Analiza aberațiilor cromozomiale cu corectările corespunzătoare de eliminare poate asigura indicarea aproximativă a dozei absorbite. Această metodă are tendința de evaluare incorectă a dozei și într-o măsură oarecare este supusă acțiunii variabilității individuale.
Markerii biochimici: creatinina (creatinina în urină sporește în funcție de doza de expunere); sinteza aminoacizilor de tipul acidului β -aminoizoleic.	Expunerea capului Schimbarea paternului EEG. Efectul poate fi depistat la dozele de expunere >0,25 Gy în baza schimbărilor activității electrice a creierului.	Mutațiile în <i>locusul</i> Glycophorinei A contribuie la apariția modificărilor în proteinele membranelor eritrocitelor în funcție de doză. Acestea pot fi depistate cu ajutorul anticorpilor monoclonali prin citometrie.
Spectroscopia RME a țesutului osos și a smalțului dinților	Afectarea celulelor creierului în probele prelevate din părți diferite ale corpului.	

Deoarece unele clustere nu se supun reparării și se acumulează în unele celule, ele pot servi în calitate de dozimetru integru al efectelor biologice radioinduse.

Energia radiațiilor ionizante cu TLE mic (razele *Röntgen* și *Gamma*) se depune în apă în jurul moleculelor de ADN și generează 2-5 perechi de radicali în raza 1-4 nm. Ca urmare, în ADN se pot forma afectări unice multiple, incluzând bazele purinice și pirimidinice oxidate, *locusurile* cu bazele pierdute și rupturile solitare. Afectările unice în așa – numitele *locusuri* afectate multiplu sau afectările cluster se repetă prin tăierea bazelor.

S-a demonstrat că afectările *cluster* radioinduse ale ADN pot fi dublate în cazul reparației.

În celulele de ADN – glicozidază oxidativă, care recunoaște și taie ADN în afectările unice supuse reparației, în timpul incubării după expunere în *clusterelor* radioinduse apar rupturi duble, în funcție de doza de expunere. În celulele mutante, care nu conțin fermentii menționați, nu se formează rupturi duble, aceste celule fiind mai rezistente la acțiunea radiațiilor. Celulele mutante nominalizate pot deveni radiosensibile ca rezultat al supraexpresării uneia din ADN – glicozilazele oxidative de evaluare a afectărilor ADN [18].

2.2. Dozimetria prin rezonanță magnetică electronică (RME)

Dozimetria industrială, care utilizează metode fizice pentru înregistrarea radioactivității în diferite materiale, prezintă o categorie de metode de evaluare retrospectivă a dozelor. Mai reușită este **rezonanța magnetică electronică (RME)**.

RME a smalțului dinților: Metoda este cunoscută din anii 60 ai sec. XX, autorii japonezi și canadieni au propus utilizarea smalțului dinților pentru evaluarea dozelor absorbite ale radiațiilor *gamma* și *Roentgen*. Mai frecvent această metodă a fost utilizată după Accidentul Nuclear de la Cernobil (ANC). Esența metodei constă în determinarea cantitativă a afectărilor radiologice în smalțul dinților – unicul țesut cu o cantitate mai mare de minerale și în care nu au loc procesele metabolice. Smalțul dinților constituie un dozimetru natural individual destul de precis, care există la om din momentul formării dinților. În baza analizei nivelului semnalului RME se determină cantitatea de radicali liberi în smalțul necariat. Dozimetria RME are un prag esențial de sensibilitate (circa 50 mGy) și cea mai mare exactitate pentru metodele retrospective (30-50%). Aceasta este unica metodă, veridicitatea căreia poate fi ușor controlată, iar erorile pot fi calculate exact. Exactitatea înaltă a metodei de dozimetrie prin RME a fost confirmată prin diverse inter calibrări internaționale. Au fost obținute dependențele liniare ale valorilor semnalului RME în funcție de doza absorbită în diapazonul 0,1-20 Gy cu precizie de 20% [16].

Totodată, există limitări în utilizarea dozimetriei RME: insuficiența eșantioanelor (pentru dozimetrie pot fi utilizați dinții, înlăturați numai la indicațiile stomatologului, fapt ce are loc rar, în afară de aceasta foarte des dinții înlăturați sunt cariați și conțin o cantitate mică de smalț, iar rădăcinile dinților nu conțin deloc smalț); prezența factorilor, care, în lipsa unei evidențe adecvate, pot influența rezultatele dozimetriei RME, cum ar fi expunerea medicală pe parcursul vieții și, de asemenea, expunerea dinților anterior la raze UV. În general, numai 25% din dinții înlăturați ai PDCANC a fost posibil să fie utilizați în dozimetrie [16].

Utilizarea largă a dozimetriei RME este limitată și prin faptul că echipamentul utilizat este foarte costisitor și cu o productivitate joasă, fiind posibilă efectuarea a circa 250 de investigații pe an. Perfectarea metodei va permite dublarea acestui număr. Dar chiar și în cazul când va fi posibil de a efectua câteva sute de investigații pe an, reconstrucția dozelor în baza acestei metode este imposibilă [16].

În baza investigațiilor RME a probelor biologice (țesut osos, dinți, păr, unghii și țesut epitelial) după iradiere pot fi determinate dozele în diapazonul 0,3 Gy – câțiva Gy. Intensitatea semnalelor RME este mai mare pentru fotonii cu energie joasă și mai mică pentru neutroni.

Totodată, unii autori menționează că cu ajutorul acestei metode pot fi stabilite atât dozele letale, cât și cele subletale. Semnalele în smalțul dinților sunt destul de stabile și pot fi depistate chiar și după 20-30 de ani. Această metodă a fost utilizată în evaluarea dozelor participanților la diminuarea consecințelor ANC (PDCANC) prin suprapunere cu rezultatele analizării aberațiilor cromozomiale. Investigațiile probelor țesutului osos al membrului amputat al unui individ iradiat în San-Salvador cu ajutorul metodelor RME au depistat o corelare esențială a rezultatelor cu cele obținute prin dozimetria fizică. În prezent această metodă se utilizează cu succes în dozimetria biologică retrospectivă (a fost validată conform rezultatelor dozimetriei celor care au supraviețuit în urma utilizării bombei atomice) [19].

Elaborarea spectrometrelor RME portative și a rezonatorului cu frecvența supraînaltă a permis evaluarea dozelor *in vivo*, fără înlăturarea dinților. Radicalii, formați sub acțiunea radiațiilor ionizante în țesutul unghiilor, se distrug în câteva săptămâni. Acest fapt trebuie luat în considerare la efectuarea RME. La expunerea accidentală a omului, în special local (membrele superioare), unghiile tăiate pot fi utilizate cu succes în evaluarea dozelor. Rezultatele au demonstrat că în baza acestei metode pot fi determinate expunerile cu doza de 2 Gy [20].

2.3. Studiul mutațiilor în celulele somatice (testul *Glycophorina A* - GPA)

Savanții din SUA au elaborat testul *Glycophorina A* (GPA) în vederea studierii mutațiilor în *locus*-ul receptorului T-celular, pentru evaluarea deteriorărilor genomului uman sub acțiunea radiațiilor ionizante. Determinarea mutațiilor somatice conform *locus*-ului GPA în eritrocite cu ajutorul citofluorimetriei laser este o metodă biodozimetrică de perspectivă. GPA se află pe suprafața eritrocitelor în cantitate de $5 \cdot 10^5$ la o celulă și se manifestă sub 2 forme alelice, care determină grupele de sânge M- și N-, aflate pe cromozomul 4q. Spre deosebire de limfocitele aberante, eritrocitele nu se supun procesului de selecție *in vivo*, în cazul mutagenzei conform *locus*-ului GPA, nu se schimbă longevitatea eritrocitelor și lipsește manifestarea clinică. Efectul genotoxic conform *locus*-ului GPA se manifestă începând cu stadiul de eritroblast și poate servi drept criteriu de afectare a predecesorilor timpurii ai eritrocitelor, incluzând celula stem omnipotentă. Cu anticorpii monoclonali obținuți este posibil de a analiza la persoanele heterozigote conform sistemului MN, care constituie circa 25% din populație, frecvența eritrocitelor cu expresie joasă a N-antigenului (fenotipul NO) în 10^6 celule prin metoda analizei flowcitometrie bicoloră [21].

Pentru prima dată testul a fost utilizat în investigarea supraviețuitorilor bombardărilor atomice după 40 de ani de la expunere [22]. A fost elucidată tendința de sporire a frecvenței celulelor hemizigote în funcție de doza de expunere. Testul a fost recomandat pentru reconstrucția dozelor de expunere peste un interval anumit de timp.

Determinarea celulelor mutante conform *locus*-ului GPA este considerată o metodă biodozimetrică adecvată atât pentru efectele precoce, cât și tardive. Pentru expunerea cronică acest test este mai puțin informativ. Determinarea frecvenței celulelor mutante conform *locus*-urilor receptorilor T-celulelor (LRT) poate fi utilizată numai în cazurile de expunere acută. Testul LRT este mai sensibil și mai informativ pentru biodozimetria expunerii recente, comparativ cu testul GPA. Ambele teste pot fi utilizate pentru evaluarea individuală a efectelor tardive ale expunerii, deoarece persoanele cu frecvență sporită a celulelor mutante prezintă grupul de risc oncopatologic [23]. Testul GPA a fost utilizat pentru evaluarea efectului cumulativ al expunerii cronice în doze mici (până la 120 mSv). El poate servi ca marker biologic eficient pentru evaluarea dozei cumulative de expunere mai mare de 100 mSv.

În ultimii ani au fost efectuate cercetări ale mutațiilor HPRT în limfocitele-T ale sângelui periferic conform diminuării capacității exprese produsului funcțional al genei X HPRT (*hipoxantin-guanin-fosforibozil-transferaza*) a limfocitelor mutante, cultivate cu interleukina CIL-2. S-a demonstrat că metoda nu poate fi utilizată în investigații populaționale, în special ale consecințelor ANC [2].

Utilizarea mutațiilor LRT pentru biodozimetrie este destul de eficientă, în primul rând pentru iradierea acută. Perioada de semieliminare a mutațiilor este de 2 ani. La subiecții sănătoși, expuși în limitele fondului radiologic, frecvența mutațiilor genei LRT are valoarea de $1,9 \times 10^{-4}$. La PDCANC sporirea numărului de celule aberante a fost înregistrată după anul 1993 la persoanele cu doze absorbite mai sporite. Cu toate acestea, testul este foarte sensibil. La personalul din raza de 30 km și la populația din teritoriile contaminate cu radionuclizi încorporați, înregistrați, s-a observat sporirea de 2-3 ori a limfocitelor-T mutante. Rezultatele cercetărilor peste 10-12 ani de la iradiere denotă despre diminuarea nivelului de mutații LRT, iar rezultatele la majoritatea PDCANC nu se deosebeau veridic de nivelul fondului. S-a observat sporirea celulelor aberante în funcție de vârstă. Sporirea numărului de mutații LRT a fost depistată în cazul unui număr mic de maladii (ataxia-telangiectazia, anemia Fanconi).

2.4. Metoda imunochimică (testul „Cometa”)

Din instrumentele de biodozimetrie face parte, de asemenea, determinarea rupturilor solitare și a deteriorărilor bazelor ADN-lui în leucocitele umane *in vivo*. Din aceste considerente, a fost propusă metoda imunochimică [24] pe care unii cercetători o numesc testul „Cometa” (testul electroforezei în gel). Probele imunochimice au fost adoptate pentru decelarea deteriorărilor ADN în sângele integral după iradiere. După tratarea sângelui integral cu bază, se determină atât rupturile catenelor, cât și deteriorările bazelor (care se transformă în rupturi ale catenelor prin adăugarea enzimelor specifice deteriorărilor), utilizând anticorpi care se unesc specific cu fragmentele solitare ale ADN. Fragmentele solitare ale ADN pot fi decelate în iradierile acute la doze mai mari de 0,2 Gy. Când se cunoaște nivelul deteriorărilor cauzate de fondul natural, atunci limita minimă se schimbă aproximativ până la 0,5 Gy direct după expunere, luând în considerare variațiile individuale. Dat fiind faptul că fragmentele solitare sunt supuse rapid procesului de reparație, această metodă cu succes poate fi utilizată când sângele este colectat peste un interval de mai puțin de o oră după iradiere. Deteriorarea bazelor se consideră un marker biologic adecvat în decurs de 1-4 ore postiradiere [24]. Testul „Cometa” a fost utilizat cu succes în investigarea lucrătorilor expuși la gamma-iradierea accidentală cu sursa ^{60}Co .

A fost studiată lungimea cozii „cometei” și particularitățile cozii. Testarea direct după expunerea accidentală a contribuit la depistarea nivelului sporit de afecțiuni ale ADN. Dar cel mai mare nivel de afectare a ADN a fost înregistrat peste o zi și, respectiv, peste o săptămână după expunere. În continuare s-a observat diminuarea parametrilor „cometei”. În pofida faptului că, numărul de afecțiuni ale ADN se micșora în decursul anului, totuși acestea erau mai sporite față de normă. Testul „Cometa” se consideră a fi o metodă sensibilă de microdozimetrie, care poate fi utilizată în biomonitoringul uman *in vivo*. Rezultatele cercetărilor personalului ANC efectuate de către colaboratorii Centrului de Medicină Radiologică al Academiei de Științe din Ucraina V. Bebeșco și D. Bozica în anii 1993-1994 au fost negative la expușii cu doze destul de sporite.

Profilul expresiei genelor. Este cunoscut faptul că doza, debitul dozei, tipul de radiație și timpul post expunerii influențează asupra reacției de răspuns a genelor de stres. S-a presupus, că profilul de expresie a genelor poate fi ca un marker informativ al iradierii. Momentul-cheie este considerat setul de gene specific pentru diferite interese. Profilul general în perioada de postacțiune a radiațiilor ionizante poate să permită identificarea persoanelor expuse, iar profilurile mai specifice pot detecta detaliile de expunere. Schimbări în expresia genelor, liniilor de celule umane apar după acțiunea în doze de 0,02 Gy, iar în limfocitele sângelui periferic – de 0,2 Gy.

2.5. Markerii neurofiziologici

Bazele teoretice ale biomarkerilor neurofiziologici și posibilitățile dozimetriei biologice prin analizarea schimbărilor parametrilor electroencefalografiei computerizate (EEGC) după iradiere constă în radiosensibilitatea activității electrice cerebrale [2]. Sunt cunoscute efectele radiațiilor ionizante deterministice psihofiziologice și neuropsihiatrice [25] și, de asemenea, lipsa efectului de reparație a afectărilor de către radiații a neuronilor din cauza lipsei proliferării lor și lipsa reparației ADN mitocondrial [26].

A fost argumentată posibilitatea apariției efectelor deterministice neuropsihice provocate de radiații ionizante la doze mai mari de 0,3 Sv și depistați markeri neurofiziologici ai acțiunii radiațiilor ionizante în diapazonul dozelor 1-

5 Gy (diminuarea frecvenței dominante în regiunea stângă frontală-laterală; lateralizarea σ -puterii absolute în emisfera stângă, sporirea σ -puterii relative în regiunile frontale-occipitale cu lateralizarea în emisfera dominantă (stânga), diminuarea σ -puterii absolute în regiunea occipitală stângă și diminuarea difuză a σ -puterii absolute și relative cu lateralizarea depresiei ei în emisfera stângă), care permit efectuarea reconstrucției dozelor conform parametrilor EEGC. În baza acestor parametri este posibil de a soluționa problema diferențierii dereglărilor neurofuncționale de geneză radiologică și neradiologică și efectuarea reconstrucției dozelor de expunere [26].

Iradieră contribuie la schimbarea concentrației multor mediatori chimici, asociați cu funcția sistemului nervos central (acetilcolina, colinesteraza, acidul asparagic, aminele, acidul γ -aminoulezic, și, de asemenea, schimbările permeabilității membranei și a echilibrului acido-bazic, care contribuie la apariția dereglărilor activității electrice cerebrale. Aceste dereglări apar direct după expunere, se mențin destul de mult timp și se manifestă prin schimbarea paternului EEG. Efectul poate fi înregistrat la doze mai mari de 0,25 Gy. Metoda este foarte simplă și poate fi utilizată în cazuri când analiza aberațiilor cromozomiale nu poate fi efectuată. A fost propusă metoda de electromiografie pentru depistarea reacțiilor precoce la radiații [2].

2.6. Markerii biochimici

Ca indicatori biologici în dozimetria biologică mai pot fi utilizate și concentrațiile unor molecule în lichidul organismului în cazul acțiunii radiațiilor ionizante. Deoarece glandele salivare la om sunt foarte radiosensibile, efectele radiațiilor ionizante pot fi evaluate prin determinarea concentrației amilazei din plasmă, produsă de celulele acinare și antigenul polipeptidic din țesuturi (sintetizat de celulele ductale). La pacienții cu cancer cerebral și bucal s-au depistat efectele acute și tardive în glandele salivare. A fost înregistrată sporirea activității amilazei și a antigenului polipeptidic în țesuturi în decurs de 2 zile. Activitatea ajungea până la 200-300%, comparativ cu cea inițială cu normalizarea ulterioară. Este necesar de a menționa, că iradierea regiunii pancreasului nu a influențat asupra activității amilazei: în diapazonul dozelor 2-6 Gy a fost demonstrată corelarea liniară, iar în diapazonul dozelor 0,5-10 Gy dependența față de doză se exprimă prin curbă sigmoidă [27].

Analiza spermei. Expunerea la radiațiile ionizante dereglează repartizarea celulelor spermei în ciclul spermatogenezei, efectul fiind depistat și cuantificat cu ajutorul citometriei celulelor germinale din testicul. Evaluarea spermei asigură indicarea dozei numai pentru testicul.

De obicei, cantitatea spermei diminuează nu mai devreme de 40 de zile după expunere din contul radiorezistenței celulelor germinale în stadiile mai târzii ale ciclului spermatogenezei, iar diminuarea esențială poate fi depistată aproximativ peste 4 luni. Această metodă a fost utilizată cu succes pentru evaluarea influenței dozei asupra sistemului reproducător la locuitorii de pe insulele *Marshall*, în urma exploziei termonucleare.

Biomarkerii pielii. Înroșirea pielii, eritemul, descumarea, formarea ulcerelor, necroza și depilarea sunt niște markeri ai acțiunii radiațiilor ionizante. Afectările cromozomiale în celulele părului pot fi utilizate pentru evaluarea repartizării dozelor în cazul iradierii neuniforme. Studiarea afectării celulelor foliculare se consideră a fi o procedură invazivă, de aceea are o utilizare limitată. Diminuarea grosimii firului de păr, cauzată de afectarea foliculilor, are loc după 2-3 săptămâni. Este necesar de a efectua cercetări suplimentare pentru validarea acestor metode [28].

2.7. Biodozimetria expunerii interne

Prin cercetări experimentale au fost elaborate teste pentru biodozimetria locală a diferitor regiuni ale plămânilor, după inhalarea radonului și a descendenților lui în diferite expuneri. Determinarea frecvenței micronucleelor în celulele epiteliale ale traheilor și alveolelor pulmonare, a macrofagilor după proliferarea celulelor, indusă de acțiunea acută a ozonului *in vivo*, s-a dovedit a fi o metodă mai sensibilă, când se evaluează numai celulele proliferative. Ultimele au fost identificate prin imunocolorare după marcarea cu 5-bromo 2'-dezoxiuridină *in vivo*. Această metodă poate fi, de asemenea, utilizată pentru biodozimetria locală a celulelor bronhiale și bronhiolare [29, 30].

2.8 Analiza expunerii cu neutroni

Expunerea cu neutroni contribuie la formarea ^{24}Na și ^{32}P . Acești izotopi pot servi ca markeri ai determinării dozelor de expunere în urma acțiunii neutronilor. Determinarea activității ^{24}Na în probele biologice (sânge, urină, păr, unghii) cu ajutorul detectorului HPGe permite determinarea dozelor de circa 10 mGy. Raportul activității ^{24}Na în sânge și a ^{32}P în păr poate fi informativ conform spectrelor neutronice. Radioactivitatea unor obiecte (costum, monete, obiecte de valoare, ceas și alte obiecte metalice) este, de asemenea, utilă în evaluarea dozelor.

3. BIOMARKERII ȘI BIDOZIMETRIA EFECTUATĂ PENTRU EXPUȘII CONSECINTELOR ANC.

3.1. Efectele citogenetice ale participanților la diminuarea consecințelor accidentului nuclear de la Cernobil, locuitori ai Republicii Moldova

Acțiunea negativă a RI asupra celulei depinde de transmiterea directă a energiei particulelor încărcate sau a electronilor secundari către atomii și moleculele substanțelor celulare. Produsul principal al acestei acțiuni sunt ionii și

atomii excitați de către particula care traversează celula. Urmează stadiul al doilea, în care ionii reacționează cu moleculele din celulă, iar acestea, fiind în stare de excitație, se pot disocia, formând radicalii liberi. Cel de al treilea stadiu (chimic) este rezultatul reacției dintre radicalii liberi și macromoleculele intracelulare: ADN-ul, proteinele și alte macromolecule [31].

Una dintre manifestările caracteristice ale efectului radiației ionizante asupra celulei este inhibarea activității mitotice. Prin aplicarea unor doze masive de RI pot fi afectate mari structuri citoplasmatică, precum și procesele de sinteză, care au loc în citoplasmă. De asemenea, poate fi provocată formarea unor produse toxice precum și alte tulburări, însă dozele necesare de iradiere ionizantă pentru lezarea citoplasmei sunt imense în comparație cu cele care afectează cariostructurile celulei. Faptul că reacția de răspuns la iradierea ionizantă a nucleului se deosebește de cea a citoplasmei se datorează prezenței în nucleu a moleculelor cu acțiune biologică unică, pe când în citoplasmă există un sistem alcătuit dintr-o masă de molecule care se pot înlocui reciproc. De aceea, lezarea chiar și a unei părți considerabile din moleculele citoplasmei nu are consecințe biologice considerabile [32, 33].

Numeroase studii, efectuate până în prezent, relevă deosebiri extrem de mari în reacția nucleului și a citoplasmei la iradierea ionizantă [34]. Actualmente cercetările vizând acțiunea iradierii ionizante asupra unor părți ale citoplasmei sau ale cromozomilor cu microfascicule de protoni sau de radiații ultraviolete sunt foarte relevante. Când în zona unui cromozom pătrund doar câteva zeci de protoni apar importante modificări, iar când fasciculul de radiație ionizantă atinge regiunea centromerului, cromozomul își pierde capacitatea de a migra și se elimină din mitoză. Concomitent, este cunoscut faptul că, trecerea prin citoplasmă a sute de mii de protoni, fără a atinge nucleul, nu provoacă nici un fel de dereglări esențiale [35].

Datele menționate indică existența unui anumit efect biologic, precis conturat și determinat de lezarea radioactivă a citoplasmei (a mitocondriilor, ribozomilor și a altor structuri). Totuși, asupra vieții celulei o influență incomparabil mai mare o exercită afectarea cromozomilor din nucleul celulei. Procesele fizice, care au loc în celulă, în urma iradierii ionizante a acesteia, determină apariția modificărilor radiochimice în substanțe. Modificările radiochimice au ca rezultat lezarea structurilor citoplasmatică și a celor nucleare ale celulei. Această lezare provoacă pierderea sau modificarea activității funcționale a unor părți de importanță vitală ale celulei și ale organismului, din informația genetică înscrisă în structurile moleculelor de ADN. Modificările radiaționale ale cromozomului, care, manifestându-se la nivel molecular, provoacă modificări biologice complexe ale eredității și ale vieții organismului, pot fi explicate în felul următor. Pătrunzând în celulă, radiația ionizantă afectează nucleoproteidele cromozomilor și a moleculelor de ADN din compoziția lor. Studiarea ADN-ului în soluție și în stare uscată a elucidat esența efectului radioactivității asupra moleculelor ereditare. Iradierea ADN-ului provoacă o puternică micșorare a viscozității lui din cauza ruperii lanțurilor structurilor polimerice. Prezintă interes mecanismele de reparație a moleculelor de ADN [36].

Molecula de ADN este alcătuită din două lanțuri polinucleotidice. Dacă o asemenea moleculă bicatenară este tratată cu uree, aceasta determină ruperea legăturilor de hidrogen, desfăcându-se în structuri monocatenare din care e formată. S-a demonstrat că, sub influența iradierii, are loc nu numai ruperea structurii polimerice a ADN-ului, ci și alte modificări în structura chimică a moleculei. Faptul că aceste modificări vizează bazele azotate din care este alcătuit codul informației genetice, acestea prezintă o deosebită importanță [37].

În cazul apariției unor mutații în celulele germinale, acestea sunt determinate ca mutații gametice, transmise prin gameți (spermatozoizi și ovule) generațiilor următoare.

Principiile generale de înregistrare a aberațiilor cromozomiale.

1. Cromozomii trebuie să fie suficient colorați.
2. Nu e permisă aflarea în câmpul de vedere a unor cromozomi ocazionali.
3. Nivelul de spiralizare al cromozomilor trebuie să fie cuprins în următoarele intervale: maxim — când acrocentricii mici se vizualizează bine numai sub formă de cromozomi și minim — când cromozomii sunt separați în două cromatide.
4. Nu se numără/se exclude metafaza cu prezența în metafază a cromozomilor care au intrat în anafază, ceea ce poate contribui la hiperdiagnosticul fragmentelor pare.

Analizarea și înregistrarea aberațiilor cromozomiale. În cadrul analizării cromozomilor în metafază sunt posibile evaluări de 2 tipuri: cu și fără evidența numărului de cromozomi. Primul tip de evaluare este mai exact, dar și mai laborios. Pe parcursul studiului nostru lacunele au fost înregistrate separat. Este cunoscut faptul că frecvența lacunelor variază în funcție de calitatea colorării și de gradul de spiralizare al cromozomilor.

În majoritatea cazurilor, pe parcursul primei mitoze, cromozomii dicentrici și inelele sunt însoțite de fragmente pare. Dat fiind faptul că, probabilitatea pierderii fragmentelor pare în timpul pregătirii frotiului este identică cu probabilitatea pierderii oricărei altei structuri, aceste două structuri le-am înregistrat ca o singură aberație.

În cadrul analizării numărului de cromozomi deteriorați, fiecare fragment (solitar ori par), a fost înregistrat ca un singur cromozom deteriorat, iar modificările intra- și intercromozomiale le-am înregistrat ca 2 doi cromozomi deteriorați.

Frecvența și spectrul aberațiilor cromozomiale în culturile limfocitare ale sângelui venos la PDCANC. Investigarea efectelor citogenetice, ca element al retrobiodozimetriei, a constat în estimarea riscului genetic, asociat iradierii ionizante, cu studierea efectelor ANC la PDCANC. Pentru realizarea acestui scop ne-am propus următoarele obiective:

- depistarea influenței acțiunilor radiațiilor ionizante, rezultate de la ANC, asupra aparatului cromozomial la PDCANC și la descendenții acestora;
- efectuarea în baza rezultatelor analizelor citogenetice, a retrobiodozimetriei în cadrul grupului PDCANC, conform schemei analizării dicentricilor;
- stabilirea corelării dintre doza de iradiere ionizantă și incidența aberațiilor cromozomiale;
- depistarea frecvenței de răspândire a maladiilor ereditare la copiii PDCANC.

Studiul aparatului cromozomial a fost efectuat pe un eșantion de 23 de pacienți — PDCANC. Lotul de control a fost constituit din bărbați cu vârsta între 23 de ani și 43 de ani, care n-au fost în contact cu sursele de radiații ionizante și, în anul anterior investigațiilor, nu au fost supuși acțiunii acestui tip de iradiere în scop diagnostic sau de tratament.

Analizarea citogenetică a fost efectuată prin gruparea cariotipică vizuală a preparatelor colorate prin metoda de rutină Giemsa. Au fost înregistrate toate aberațiile cromozomiale, cromatidiene și genomice.

În scopul aprecierii sensibilității metodei de studiu, a fost efectuată o coroborare a rezultatelor obținute în prima și în a doua mitoză în cadrul grupului de PDCANC (M_1 , M_2) și în lotul de control (K_1 , K_2).

Deoarece am constatat că în M_2 are loc pierderea celulelor cu aberații nestabile, ulterior s-a renunțat la investigarea limfocitelor în M_2 . Actualmente, conform cerințelor OMS, analizarea metafazelor în prima mitoză și analizarea tipurilor de celule aberante constituie o condiție obligatorie pentru investigarea efectelor citogenice de postiradiere. Rezultatele denotă că, la PDCANC cu sediul în Republica Moldova, frecvența mutațiilor genomice și a aberațiilor cromozomiale era mai sporită, comparativ cu cea din lotul martor. Rezumând cele expuse, putem considera că rezultatele obținute în baza analizelor citogenetice la PDCANC, care locuiesc pe teritoriul Republicii Moldova, demonstrează concludent sporirea mutagenezei cromozomiale în celulele somatice la persoanele investigate, ceea ce permite de a include acești pacienți în grupul cu risc sporit al patologiilor cu componentă genetică.

Studiile citogenetice demonstrează detectarea la copiii PDCANC a celulelor care conțineau 1 dicentric (26,0 %) și 2 dicentrice (13,0 %), ceea ce indică prezența deteriorărilor aparatului ereditar la părinții lor. Aceste rezultate confirmă datele surselor bibliografice de specialitate care demonstrează că iradierea părinților cu radiații ionizante induce instabilitatea genomului la copii și este în strânsă legătură cu riscul apariției cancerogenezei [38]. Luând în considerare corelarea dintre instabilitatea genomului și predispunerea organismului spre dezvoltarea unei tumori, este logic de presupus că iradierea părinților cu radiații ionizante mărește riscul cancerogenezei la copii.

Concluzii:

În vederea efectuării monitoringului dozimetric și asigurării medicale a personalului este necesar de a revedea posibilitățile utilizării validării și controlului înregistrării dozelor. O importanță colosală constituie cercetările efectuate în vederea reconstrucției dozei absorbită de glanda tiroidă, cât și elaborarea registrelor celor iradiați în rezultatul ANC. Pentru aceasta, cohorta se clasifică în corespundere cu monitoringul dozimetric, registrul și vechimea de activitate în domeniu. Pentru fiecare grup se determină retrospectiv eroarea aleatorie și sistematică prin utilizarea dozimetriei RME ca metodă de referință („standardul de aur”). Pentru fiecare persoană se determină eroarea aleatorie și sistematică.

Bibliografie:

- PILINSKAIA M.A., DYBSKIY S.S., RED’KO D.V. The cytogenetic effect in a group of settlers from a 30-kilometer area of right of way, Tsitol Genet., 1999, vol. 33, no. 6, pp. 39-44.
- UNSCEAR, 2020 (Annex B) REPORT SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION. Annex B: Levels and effects of radiation exposure due to the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: implications of information published since the UNSCEAR 2013 Report. 243 p. www.unscear.org (vizitat 10.06.21).
- ZUBAIR AHMED RATAN, SOJIB BIN ZAMAN, VARSHIL MEHTA, MOHAMMAD FAISAL HAIDERE, NUSRAT JAHAN RUNA, AND NASRIN AKTER. Application of Fluorescence In Situ Hybridization (FISH) Technique for the Detection of Genetic Aberration in Medical Science. In: Cureus. 2017 Jun; 9(6): e1325. Published online 2017 Jun 9. doi: 10.7759/cureus.1325.
- CHENGHUA CUI, WEI SHU, PEINING LI. Fluorescence In situ Hybridization: Cell-Based Genetic Diagnostic and Research Applications. In: Front Cell Dev Biol., 2016 Sep 5; 4:89. doi: 10.3389/fcell.2016.00089. eCollection 2016.
- KAI M. et al. Radiological protection of people and the environment in the event of a large nuclear accident: update of ICRP Publications 109 and 111. ICRP Publication 146. Ann. ICRP 49(4). 2020.
- VENKATESH G.H, MANJUNATH V.B., MUMBREKAR K.D. et al. Polymorphisms in radio-responsive genes and its association with acute toxicity among head and neck cancer patients. In: PloS one (Public Library of Science), 2014, vol 9, issue 3, e89079.

UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes VOLUME I: SOURCES. UNITED NATIONS New York, 2000. 654 p. ISBN 92-1-142238-8. www.unscear.org (vizitat 10.06.21).

PHILIPPS, A., CHAMBERS, D. B. Review of current status of biological dosimeters. In: Report prepared for the Atomic Energy Control Board, Canada, March, 2000.

DEVI PU¹, RAO BS, SOLOMON FE. Effect of plumbagin on the radiation induced cytogenetic and cell cycle changes in mouse Ehrlich ascites carcinoma in vivo. *Indian Journal of Experimental Biology*, 01 Sep 1998, 36(9):891-895 PMID: 9854429.

GUSEV I. A. Internal exposure of thyroid caused by radio-iodines in accidental staff of Chernobyl NPP. p. 440-447 in: *Proceedings of All-Union Symposium – Results of the Work of Scientific and Practical Medicine Facilities for the Elimination of the Consequences of Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant* (L.A. Ilyin and L.A. Buldakov, eds.). Moscow, 1987.

GUSKOVA, A.K., BARANOV, A.E., BARABANOVA, A.V. et al. Diagnosis, clinical picture and therapy of acute radiation disease in victims of the accident at the Chernobyl nuclear power station. I. Conditions of irradiation, dose levels, bone marrow syndrome and its therapy. In: *J. Ther. Arch.* I, 1989, 61 (1): 95-103 (1089). PMID: 2718135

LOGANOVSKY, K. Schizophrenia spectrum disorders in persons exposed to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident. In: *Long-term health consequences of the Chernobyl disaster. 2nd International Conference*. Kiev, 1998, p. 79.

CARDIS, E.; ANSPAUGH, L.; IVANOV V.K. et al. Estimated long term health effects of the Chernobyl accident. In: *One Decade After Chernobyl. Summing up the Consequences of the Accident. Proceedings of an International Conference*, Vienna, 1996, p.241-279 STI/PUB/1001. IAEA, Vienna, 1996.

BEBESHKO, V.G., BRUSLOVA, E.M., CHUMAC, A.A., et al. Condition of hemopoiesis at children having received different irradiation doses from external source Cesium-137. In: *Long-term health consequences of the Chernobyl disaster. 2nd International Conference*, Kiev, 1998, p. 183.

BEBESHKO, V.G., KLIMENKO, V.I., YUKHIMUK, L.N., et al. The hematopoietic system and bone marrow microenvironment state of the persons which were heavily irradiated as a result of the Chernobyl accident. In: *Proceedings of the International round table „Chernobyl: Never again”*. Italy, 1994, p. 87-89.

CHUMAK, A.A. Immunes system of Chernobyl victims in the remote post accidental period – diagnosis of insufficiencies and aproach to correction. In: *Long-term consequences of the Chernobyl disaster. 2nd International Conference*. Kiev, 1998. p. 411.

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. În: *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene* 17.1.2014 L 13/1.

BLAISDELL J.O., HARRISON L., WALLACE S.S. Base excision repair processing of radiation-induced clustered DNA lesions. In: *Radiat Prot Dosimetry*, 2001, 97(1):25-31. doi: 10.1093/oxfordjournals.rpd.a006634.

BEBESHKO, V.; BAZYKA, D.; LOGANOVSKY, K. Biological markers of ionizing radiation, 2004. <https://www.researchgate.net/publication/281711770>

ZAHN, N. et al. Characterisation of Electrons from Relativistic Laser-Produced Plasmas by means of Thermoluminescence Detector-based 10-channel Spectrometer. GSI annual report „News and Reports from High Energy Density generated by Heavy Ion and Laser Beams” (HEDP-Report), 2019.

QI CHEN et al. Preparation and identification of monoclonal antibodies against Type M/N and Glycophorin A/In. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>, 2007 Jun;23(6):556-8.

INOUE M. Significance of ERBB2 Overexpression in Therapeutic Resistance and Cancer-Specific Survival in Muscle-Invasive Bladder Cancer Patients Treated With Chemoradiation-Based Selective Bladder-Sparing Approach. In: *International Journal of Radiation Oncology*, Vol. 90, Issue 2, 1 October 2014, p. 303-311. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2014.05.043>.

САЕНКО, А.С., ЗАМУЛЯЕВА, И.А. Итоги и перспективы методов определения частоты мутантных клеток по гликофору и локусам рецепторов Т-клеток для оценки долговременного генотоксического эффекта иониз. рад. В: *Рад. Биология и радиоэколог.* 2000, 40 (5), 549-553.

VAN DER SCHANS G.P., TIMMERMAN A.J., BRULJNEZEEL P.L. Detection of single-strand breaks and base damage in DNA of human white blood cells as a tool for biological dosimetry of exposure to ionizing radiation. In: *Mil. Med.* 2002, 167 (Suppl 2), p. 5-7.

ЛОГАНОВСКИЙ К.Н. Влияет ли ионизирующая радиация на головной мозг человека. В *Наукові дискусії*, №3(71) V - VI 2009 г.

LOGANOVSKY K., VASILENKO Z. L. Depression and ionizing radiation. In: *Problems of radiation medicine and radiobiology*, 2013; 18: 200-219.

BECCEOLINI A. et al. Proposal for biochemical dosimeter for prolonged space flight. In: *Phys. Med.*, 2001, vol.17 (Suppl 1), p. 185-186.

VERDEȘ, A. Rezumat teză de doctorat Contribuții la studiul interacțiunii radiațiilor cu componente organice și anorganice ale materialelor biologice, Iași, 2018, 66 p.

WHO HANDBOOK ON INDOOR RADON. A PUBLIC HEALTH PERSPECTIVE, 2009, 94 p. ISBN 978 92 4 14767 3.

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. În: Jurnalul Oficial al Uniunii Europene 17.1.2014 L 13/1.

BAHNAREL, I., COREȚCHI, L., MOLDOVANU, M. Aspecte medico-biologice ale acțiunii accidentului nuclear de la Cernobîl asupra populației Republicii Moldova. În: Ch.: Î.S.F.E.-P. „Tipografia Centrală”, 2005, 152 p. ISBN 9975-78-405-4.

BAHNAREL, I., TUTUNARU, S., CHIRUȚA, I.U., și a. Sistem automatizat de notificare și profilaxie a accidentelor nucleare locale în Republica Moldova. În: Congr. IV al Ig., Epid., Microb. și Paraz. din R. Moldova. Chișinău, 1997, p.198-199.

BULBUC, G., CORCIMARU, I., BAHNAREL, I., et al. The biological effects of low doses of ionizing radiation: Chernobyl Nuclear accident and spreading of Hemoblastoses in Moldova. In: International Conference held in Seville. Spain, 1997, p.323-325.

DUBININ, N. Genetica moleculară și acțiunea radiațiilor asupra eredității. București: Ed. Științifică, 1963. 286 p.

ICRP. Nonstochastic Effects of Ionizing Radiation. ICRP publication 41. Annals of the ICRP 14 (3) Pergamon Press. Oxford. 1984.

BLAISDELL J.O., HARRISON L., WALLACE S.S. Base excision repair processing of radiation-induced clustered DNA lesions. In: Radiat Prot Dosimetry, 2001, 97(1):25-31.doi: 10.1093/oxfordjournals.rpd.a006634.

MAXIMILIAN, C. Genetica umană: Editura științifică și enciclopedică. București, 1982, 384 p.

ВОРОБЬОВА, И. Е. Воздействие ионизирующих излучений на родителей повышает чувствительность потомства к мутагенам и промоторам канцерогенеза. В: Мутагены и канцерогены в окружающей среде: Новые подходы к оценке риска для здоровья. 22-24 окт. Санкт-Петербург, 1997, с. 85-92.

Tânărul absolvent.

De la amfiteatru la o profesie în domeniul protecției radiologice

Maria-Alexandra NACU (alexandra.nacu@dositracker.com)
Dositracker, București

Rezumat

Provocările de pe drumul către o profesie sunt necunoscute și greu de intuit pentru un student, variind în funcție de împrejurări. Lucrarea cuprinde o serie de posibile provocări pe care le consider reprezentative pentru acest domeniu.

Scopul acestei lucrări este de a prezenta parcursul de la absolvire spre o profesie în domeniul dozimetriei radiațiilor și protecției radiologice.

Asigurarea protecției radiologice într-o practică în care se utilizează radiații ionizante necesită o serie de competențe, dintre care eu consider ca fiind fundamentale: cunoștințele teoretice specifice, abilitățile de utilizare a tehnologiei și o pregătire psihologică adecvată. O concluzie importantă este că aceste competențe se dobândesc treptat, în timp, printr-o cale atent structurată. Recent am început să înțeleg logica acestei căi, iar această lucrare cuprinde o descriere a debutului în domeniul protecției radiologice din perspectiva unui proaspăt absolvent de facultate.

1. Licență, Master și cursuri importante

Pentru un student, o preocupare importantă este legată de motivul real pentru care a decis să urmeze cursurile Facultății de Fizică. Domeniul protecției radiologice nu este unul foarte vizibil pentru elevii de liceu. În opinia mea, acest lucru se datorează lipsei de promovare a Facultății de Fizică în cadrul liceelor, în special a celor din afara Bucureștiului.

Facultatea de Fizică Medicală a Universității București are un potențial mare, având în vedere cererea de Fizicieni Medicali pe piața muncii. În acest moment, eu constat că dintre cursurile acestui program, esențiale au fost cele de Fizica Atomului și Moleculei, Fizică Nucleară, Mecanică Cuantică, Anatomia și Fiziologia Omului și cursul de Analiză Reală și Complexă. Acestea asigură baza de cunoștințe a viitorului fizician care activează în protecția radiologică. Aceste cursuri m-au ajutat să înțeleg concepte esențiale pentru viitoarea profesie: structura materiei, ce sunt radiațiile, particule elementare, interacția radiației cu materia și descrierea prin aparatul matematic a fenomenelor de la nivel subatomic. În viziunea mea, programa de la licență se potrivește nevoilor de natură teoretică ale viitorului absolvent.

Un pilon fundamental și indispensabil atât legislativ cât și pregătitor pentru Fizicianul Medical este programul de Master în Fizică Medicală. În opinia mea, acesta ar trebui să aibă o structură mai specifică domeniului și să asigure o bază practică solidă pentru viitorul absolvent. Pe lângă practica efectivă de cercetare care este obligatorie, asigurarea bazei practice înseamnă și un mentorat din partea cadrelor didactice. Preponderent, cursurile de la master presupun în continuare o pregătire teoretică, ceea ce este într-adevăr util, însă aceasta trebuie mai bine corelată cu realitatea și cerințele viitorului loc de muncă.

Pentru un student masterand, proaspăt absolvent al ciclului de licență pe parcursul căruia mulți studenți nu știu cu certitudine ce profesie pot practica în viitor, este foarte importantă inițiativa proprie de a înțelege utilitatea și aplicabilitatea cunoștințelor acumulate la cursurile de Master și corelarea acestora cu potențiale locuri de muncă.

2. Cercetarea – un mod de viață

Noutățile și provocările din activitatea de cercetare în cadrul unui laborator de dozimetrie, sunt de două categorii:

Privind din perspectiva cercetătorului:

➤ Înțelegerea domeniului: ce înseamnă publicare în articole și cum se lucrează într-o echipă de cercetare. Cercetarea nu este posibilă fără studiul și înțelegerea subiectului de cercetare. Este dificil de înțeles pentru absolventul de licență ce contribuție poate aduce într-un proiect, după 3 ani de facultate.

➤ Nevoia de îndrumare: consider că și motivația în cercetare se naște în cadrul unei comunități care prezintă într-un mod optimist perspectivele domeniului care urmează a fi cercetat.

➤ Stabilirea scopurilor poate fi anevoioasă. Pe parcursul facultății se dobândesc noțiuni de bază despre domeniul dozimetriei și protecției radiologice, însă nu este foarte clar ce se cercetează în acest domeniu și ce contribuție pot aduce noii absolvenți. Considerați la început de drum, sarcinile debutanților sunt puține, rolul principal fiind studiul. Totuși, nu sunt clare abilitățile care trebuie dezvoltate, prioritățile și ce anume trebuie învățat.

➤ Deficitul de încredere în abilitatea de a aduce ceva nou, chiar și din poziția student / absolvent. Nu consider că această aptitudine este înnăscută, ea poate fi dobândită încă din școala primară până la facultate. Elevii și studenții trebuie încurajați să își exprime ideile prin diferite moduri: proiecte, teme care să presupună contribuția directă cu idei personale și inovații.

Legate de domeniul protecției radiologice:

➤ Noțiuni de dozimetrie chimică și înțelegerea mecanismelor de funcționare a sistemelor de dozimetrie

- Aplicațiile radițiilor ionizante în industrie și reglementările specifice
- Limite de doză, asigurarea protecției radiologice a personalului din departament
- Verificarea metrologică a echipamentelor
- Înțelegerea funcționării unui laborator de dozimetrie: standarde și condiții care trebuie respectate pentru furnizarea serviciilor de dozimetrie

Ca absolvent de licență, concepția despre un loc de muncă poate să fie departe de ceea ce înseamnă domeniul cercetării. Aceasta, în realitate nu este doar un loc de muncă, este un mod de viață. Programul lung de studiu este într-adevăr necesar, deoarece doar în acest mod pot fi înțelese nevoile domeniului și ce anume trebuie cercetat. Toată echipa studiază, indiferent de experiență: articole, prezentări, rezultatele altor cercetători. În aceste circumstanțe poate apărea nevoia de un loc de muncă cu cerințe clare și bine definite, cu un rezultat vizibil imediat.

3. Domeniul medical

Un prag important este trecerea de la un program în care preponderent se studiază și se dezbat subiecte de cercetare, la activități cât se poate de concrete: tratarea pacienților conform unor standarde și proceduri. Aici, cel mai important este pacientul.

Mediul din domeniul medical este în întregime diferit de cel din facultate (atât la licență cât și la master). Rolul fizicienilor medicali este esențial în toate domeniile în care aceștia activează.

În medicină nucleară, în imagistica ce utilizează radiații ionizante și în radioterapie, fizicienii sunt responsabili inclusiv de protecția radiologică pacienților.

Ce este nou la începutul activității ca Fizician Medical?

La nivel de noțiuni **teoretice** și **practice**:

- Practica de protecție radiologică trebuie să fie asigurată conform normelor CNCAN și standardelor specifice. Această practică se aplică în contextul utilizării unor echipamente complexe, care evoluează foarte rapid.
- Constrângeri de doză pentru organe și modul în care fasciculele se dispun în scopul respectării acestor constrângeri
- Termeni noi și abrevieri de rutină din radioterapie
- Complexitatea unui echipament de radioterapie: principiul de funcționare, tipuri de fascicule
- Standarde de asigurare a calității echipamentelor și a planurilor de tratament
- Software-ul cu care se efectuează planurile de tratament în radioterapie
- Crearea planurilor de tratament
- Dozimetria în radioterapie
- Operarea echipamentelor
- Limite de doze pentru personalul expus
- Optimizarea timpului de lucru în mediu cu radiații

La nivel **deontologic**:

- Lucrul într-o echipă compusă din medici, fizicieni, asistenți medicali, operatori, manager
- Responsabilitatea pentru sănătatea pacienților
- Decizii prompte
- Decizii în situații de urgență
- Înțelegerea importanței tuturor pașilor în scopul asigurării calității tratamentelor livrate și al siguranței pacienților și personalului
- Însușirea atitudinii proactive
- Conștientizarea importanței contribuției proprii în activitate
- Adaptarea într-un mediu în care se lucrează cu pacienți cu afecțiuni grave

Pregătirea pentru aceste noutăți specifice domeniului medical nu este în întregime acoperită de programul de master în Fizică Medicală. Profesia de Fizician Medical nu a fost dintotdeauna bine definită, aceasta este relativ nouă pe piața muncii. De aceea, programul de pregătire pentru Fizicianul Medical este și el nou. Acesta trebuie optimizat odată cu modificările și actualizările echipamentelor și legilor în vigoare.

În Europa, această profesie este reglementată astfel încât pentru a deveni Fizician Medical, absolvenții de licență urmează un program de training de cel puțin 3 ani (ex. în Țările de Jos: Residency - 4 ani, în Marea Britanie: Science Training Programme - 3 ani). Acest program de training cuprinde pregătirea teoretică specifică domeniului și pregătirea practică, sub coordonarea universităților și centrelor medicale universitare. Absolvirea acestuia oferă fizicienilor oportunitatea de a se orienta către o direcție: radioterapie, medicină nucleară, imagistică, protecție radiologică. Totodată, oferă absolvenților posibilitatea de a se înregistra în sistemele de stat care reglementează profesiile din domeniul sănătății [1,2,3].

Consider că acest tip de program de pregătire oficial, vizibil, structurat riguros ar fi foarte eficient și în România, întrucât profesia și rolul de Fizician Medical nu sunt încă înțelese pe deplin nici de către studenți, nici de către celelalte cadre medicale.

4. Domeniul protecției radiologice. De la cunoștințe de bază la practicarea unei activități autorizate

Domeniul protecției radiologice este vast și într-o continuă schimbare, de aceea poate constitui un mediu oportun pentru noii absolvenți. Cu toate acestea, în timpul facultății, informațiile oferite studenților sunt fixe, iar vizibilitatea perspectivelor este redusă. Astfel, din prisma studentului, acest sector de activitate poate părea că nu are nimic nou de oferit, că lucrurile sunt deja stabilite și ferme. Astfel, se produce o confuzie legată de ce contribuție poate aduce proaspătul absolvent în această arie de activitate.

Începând să lucrez în acest domeniu, am constatat că lucrurile sunt la celălalt pol. Dinamica acestei activități solicită forțe proaspete, idei noi, energie și entuziasm.

Ce este nou pentru tânărul absolvent în domeniul protecției radiologice?

Noutățile sunt atât la nivel de cunoștințe specifice, cât și de tip deontologic.

Din punct de vedere al cunoștințelor specifice:

- Monitorizarea radiologică: cunoașterea importanței, normelor, metodelor de asigurare a protecției radiologice
- Utilizarea echipamentelor caracteristice pentru diferite tipuri de încercări: evaluarea debitului echivalentului de doză ambientală, evaluarea contaminării radioactive, echipamente de măsurare a concentrației activității de radon
- Dozimetria de personal – mecanismele de funcționare a dozimetrelor și echipamentelor
- Asigurarea calității rezultatelor – etalonarea echipamentelor, participare la intercomparare, mijloacele de asigurare a livrării de rezultate corecte
- Înțelegerea ciclului de activități și procedurilor din parcursul unei luni pentru furnizarea serviciului de dozimetrie
- Înțelegerea cerințelor care trebuie îndeplinite pentru funcționarea laboratorului și modul în care acesta le îndeplinește
- Promovarea laboratorului: cunoașterea avantajelor serviciilor, a tehnologiei și a nevoilor pieței și promovarea lor în baza avantajelor
- Contextul nou, care coincide cu debutul drumului meu în acest domeniu: Norme de Dozimetrie Individuală și Radon în expunerea profesională:

- Înțelegerea nevoii actualizării normelor: primii pași în acest scop sunt solicitarea de informații și de îndrumare din partea echipei și consultarea normelor actuale și a recomandărilor
- Implicarea în studiile de monitorizare a radonului la locul de muncă cu metoda continuă și integrată
- Asigurarea suportului clienților pentru monitorizarea radonului
- Doza noțională. Evaluarea dozei teoretice: solicitarea informațiilor legate de expunere, modul de calcul în funcție de caz [4].

Din punct de vedere deontologic:

- Însușirea fundamentelor după care funcționează laboratorul:
 - legătura strânsă între componenta tehnică și cea de comunicare: înțelegerea activității și nevoilor clienților și furnizarea de servicii care le satisfac. Lipsa de experiență în activitate poate să fie motivul lipsei de intuiție a tuturor cerințelor pe care serviciul trebuie să le îndeplinească
 - identificarea greșelilor, asumarea lor și înregistrarea lor astfel încât acestea să poată fi evitate în viitor
 - respectarea termenelor limită. Uneori, activitatea poate să fie imprevizibilă, iar soluțiile trebuie să vină într-un timp scurt.
 - perfecționarea continuă și optimizarea activităților în scopul eficientizării și îmbunătățirii serviciilor [5]
- O provocare importantă este teama asumării și validării unor servicii oficiale pentru clienți. Aceasta poate veni din conștientizarea lipsei de experiență și a posturii de reprezentant al unei organizații. De aceea, este importantă implicarea întregii echipe în verificarea, validarea și livrarea de servicii și rezultate corecte.

5. Concluzii

Scopul acestei lucrări este evidențierea provocărilor noului absolvent din mai multe perspective în domeniul protecției radiologice.

Deși multe concepte teoretice sunt similare, fie în cercetare, fie în domeniul medical, fie într-un laborator de monitorizare radiologică, provocările de ordin etic sunt diferite.

Un domeniu poate fi considerat accesibil în momentul în care acesta oferă perspective de îmbunătățire. Adesea, noțiunile pot fi prezentate într-o manieră din care nu se înțelege ușor importanța și aplicabilitatea lor, a căror importanță este regăsită în înțelegerea acestei arii de activitate. În opinia mea, lucrurile ar fi ușor înțelese dacă ordinea prezentării lor ar fi: aplicabilitate - prezentarea noțiunilor și conceptelor - exerciții și proiecte cu implicare personală.

Datorită naturii dinamice a acestui domeniu, expertiza și resursele umane pentru garantarea protecției adecvate sunt esențiale. De aceea, expunerea încă din timpul facultății a acestui domeniu trebuie să fie întotdeauna un subiect deschis, cu loc de propuneri, soluții și abordări. De asemenea, prezentarea contextului acestui domeniu la nivel

internațional, îndrumarea către conferințe și cursuri la universități din alte țări, pot trezi interesul studenților și pot face posibilă conștientizarea importanței protecției radiologice.

Provocarea majoră, comună celor trei perspective, este trecerea bruscă de la stadiul de student la poziția de angajat cu responsabilități clare și cu impact în desfășurarea activității locului de muncă. În opinia mea, rămân două întrebări deschise:

- Este pregătirea actuală pentru un loc de muncă în domeniul protecției radiologice suficientă încât să satisfacă nevoile angajatorilor?
- Care sunt așteptările angajatorilor când decid să recruteze absolvenți și care este disponibilitatea de a-i pregăti?

În viziunea mea, răspunsuri clare pentru aceste întrebări se vor contura în momentul în care voi ajunge în poziția de coordonator al noilor absolvenți. Până în acest moment, am constatat că în domeniul protecției radiologice atitudinea proactivă ar fi cel mai bun instrument al tinerilor: menținerea la curent cu actualizări ale recomandărilor organizațiilor din domeniu (ICRP, IAEA), ale normelor CNCAN, cu noi studii care se desfășoară în domeniu, cu noile tehnologii (sisteme dozimetrice, echipamente de monitorizare radiologică), cu noutăți de pe piața acestui domeniu care pot să sporească nevoia de servicii în protecție radiologică.

6. Bibliografie

- 1) GUIDELINES FOR THE CERTIFICATION OF CLINICALLY QUALIFIED MEDICAL PHYSICISTS. TRAINING COURSE SERIES 71 – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2021
- 2) ASOCIAȚIA OLANDEZĂ PENTRU FIZICĂ CLINICĂ – INFORMAȚII DESPRE INSTRUIRE, 2020
- 3) UNITED KINGDOM NATIONAL SCHOOL OF HEALTHCARE SCIENCE – SCIENCE TRAINING PROGRAMME
- 4) MONITORUL OFICIAL - NORME DE DOZIMETRIE INDIVIDUALĂ ȘI RADON 2020
- 5) ISO 9001:2015: QUALITY MANAGEMENT SYSTEMS - REQUIREMENTS

SECȚIUNEA II - EVALUĂRI ÎN DOMENIUL PROTECȚIEI RADIOLOGICE ÎN PRACTICILE ACTUALE

MODERATORI: MIRELA SAIZU, I. CHIOSILĂ

Realizări recente ale Laboratorului de Dozimetrie Individuală în susținerea Programului de Dozimetrie și a Programului de Monitorizare a efluenților radioactivi lichizi și gazoși la CNE Cernavodă

D. F. Albu (dorel.albu@cne.ro); A. E. Nedelcu; Liliana Aurelia Samson; Cătălina Chițu; V. G. Toboșaru.
S.N Nuclearelectrica S.A - CNE Cernavodă, Departamentul de Radioprotecție, Securitatea Muncii și PSI

REZUMAT

CNE Cernavodă are obligația de a asigura monitorizarea radiologică a mediului de lucru precum și monitorizarea expunerii individuale a persoanelor expuse profesional și a vizitatorilor în urma practicilor sale autorizate (conform SI-01365-RP18 “Program de Dozimetrie a personalului CNE Cernavodă”).

Monitorizarea expunerii individuale, în operare normală, opriri planificate și neplanificate, în situații de urgență radiologică și accident sever, este efectuată prin intermediul unui Organism Dozimetric. Programul de dozimetrie al CNE Cernavodă se bazează pe cerințele legislației naționale aplicabile și pe cele mai recente recomandări ale Comisiei Internaționale de Radioprotecție, conform legii 111/1996 și a Ordinului Președintelui CNCAN nr. 237/2019 pentru aprobarea Normelor privind procedura de desemnare a laboratoarelor pentru domeniul nuclear.

Activitățile care stau la baza Programului de dozimetrie sunt efectuate de către Laboratorul de Dozimetrie Individuală al CNE Cernavodă în calitate de Organism Dozimetric, notificat de CNCAN. Laboratorul de Dozimetrie Individuală este notificat de CNCAN încă din anul 1996 ca “Organism Dozimetric”, notificarea actuală a laboratorului are numărul OD 02_LDI/2020.

De asemenea, CNE Cernavodă are obligația de a se asigura că emisiile de radionuclizi în efluenții gazoși și lichizi se situează sub limitele autorizate. În acest scop, la CNE Cernavodă este implementat un program de supraveghere și monitorizare a acestora (conform SI-01365-RP06 “Program de monitorizare a efluenților radioactivi lichizi și gazoși la CNE Cernavodă”). În cadrul programului menționat, Laboratorul de Dozimetrie Individuală asigură măsurarea nivelului de radioactivitate asociat radionuclizilor de interes atât în probele de efluenți radioactivi lichizi, cât și în cele de efluenți radioactivi gazoși, în vederea estimării și raportării dozelor către public.

Activitățile care stau la baza Programului de monitorizare a efluenților radioactivi lichizi și gazoși la CNE Cernavodă, sunt efectuate de către Laboratorul de Dozimetrie Individuală al CNE Cernavodă în calitate de Laborator pentru încercări, notificat de CNCAN. Laboratorul de Dozimetrie Individuală al CNE Cernavodă este notificat de către CNCAN ca “Laborator pentru Încercări”, notificarea actuală a laboratorului are numărul LI 01_LDI/2020.

1. REALIZĂRI RECENTE ALE LABORATORULUI DE DOZIMETRIE INDIVIDUALĂ ÎN SUSȚINEREA PROGRAMULUI DE DOZIMETRIE EXTERNĂ ȘI INTERNĂ LA CNE CERNAVODĂ

1.1 PROGRAMUL DE DOZIMETRIE EXTERNĂ

Programul de dozimetrie externă al CNE Cernavodă se bazează pe cerințele legislației naționale aplicabile (Normele CNCAN) și pe cele mai recente recomandări Internaționale (IEC 62387; ISO/IEC 17025). Activitățile efectuate pentru măsurarea, evaluarea și controlul expunerii la radiații sunt denumite folosind termenul generic de “monitorizare”. Deși măsurările reprezintă o parte importantă a oricărui program de dozimetrie, monitorizare înseamnă mai mult decât măsurare, incluzând interpretarea, evaluarea, înregistrarea rezultatelor și urmărirea evoluției dozelor.

Laboratorul de Dozimetrie Individuală al CNE Cernavodă este notificat de către CNCAN ca “Organism dozimetric notificat” (OD 02_LDI/2020) pentru furnizarea următoarelor categorii de servicii dozimetrice (dozimetrie externă):

- Evaluarea dozelor individuale datorate expunerilor externe la radiația fonică (expunere externă) prin mărimea operațională Hp(10), echivalentul de doză individual penetrant;
- Evaluarea echivalentului de doză individual slab penetrant, Hp(0.07), datorat expunerilor externe la radiații beta și gamma;
- Evaluarea dozelor individuale datorate expunerilor externe la neutroni;
- Estimarea dozei pe extremități datorată expunerilor la radiații beta și gamma;

Calitatea dozelor evaluate/estimate depinde de calitatea măsurărilor efectuate și de aceea, în cadrul laboratorului a fost dezvoltat și implementat un program riguros privind calibrarea periodică a echipamentelor de măsurare și controlul calității măsurărilor efectuate. Echipamentele de măsurare sunt calibrate anual pentru asigurarea trasabilității măsurărilor la etaloane naționale sau internaționale. În plus, între două calibrări succesive ale fiecărui echipament, sunt efectuate verificări pentru controlul menținerii capabilității de măsurare în limitele de precizie cerute de standardele aplicabile în domeniu.

Serviciile de dozimetrie externă sunt asigurate de Laboratorul de Dozimetrie Individuală cu ajutorul Sistemului de detecție cu detectori termoluminiscenti (TLD) Panasonic (Figura 1). Acesta este alcătuit din: 2 cititoare automate de TLD-uri (UD-710); un cititor manual de TLD-uri (UD-706); un cititor automat de TLD-uri (UD-7900); 2 iradiatoare de TLD-uri (UD-794D; UD-7940N1EU); aproximativ 18000 TLD-uri (UD-813AS14 și UD-814A 9); 600 TLD-uri pentru extremități (UD-807).



Figura 1 – Componente ale Sistemului de dozimetrie externă cu TLD Panasonic

1.2 FRECVENȚA DE MONITORIZARE A DOZELOR EXTERNE

În cadrul Programului de Dozimetrie externă sunt evaluate/estimate următoarele categorii de doze externe:

- Doza externă gamma Hp(10), este evaluată utilizând dozimetre UD-814AS9 cu Frecvența lunară;
- Doza pe piele - Hp(0.07), este evaluată utilizând dozimetre UD-814AS9 cu Frecvența lunară;
- Doza pentru extremități (beta + gamma), este evaluată utilizând dozimetre UD-807AS cu Frecvența de monitorare în funcție de utilizarea lor la lucrări (doza anticipată la extremități mai mare de 0.50 mSv)
- Doza neutroni este evaluată utilizând Monitoare portabile de neutroni cu Frecvența de monitorare în funcție de lucrările efectuate de LEP în zone în care există câmpuri de neutroni.

La CNE Cernavodă, Laboratorul de Dozimetrie Individuală procesează lunar, cu ajutorul Sistemului de dozimetrie externă cu TLD Panasonic, aproximativ 4500 de dozimetre ale lucrătorilor expuși profesional ai CNE Cernavodă și contractori.

Rezultatele sunt transferate lunar în baza de date a Sistemului Informațional de doze DoseRecords de către personalul Laboratorului de Dozimetrie Individuală.

1.3 CONTROLUL CALITĂȚII MĂSURĂRILOR PENTRU DOZIMETRIA EXTERNĂ

Calibrarea sistemului de Dozimetrie externă constă din:

- **Determinarea factorilor de calibrare ai cititoarelor de TLD-uri** se realizează prin selectarea dozimetrelor, pregătirea acestora și transferul lor către laboratorul / institutul care va executa serviciul de iradiere (ex. Czech Institute of Metrology). După iradierea lor la un etalon internațional, dozimetrele însoțite de un Certificat de iradiere, sunt livrate către Laboratorul de Dozimetrie Individuală al CNE Cernavodă. Dozimetrele de calibrare se citesc, apoi se determină factorii de calibrare ai cititoarelor de TLD-uri UD-710, UD-7900 sau UD-706. Calculul Factorilor de Calibrare se face pe baza rapoartelor furnizate de cititoare (*Standard Reports*), pe baza unei proceduri de Verificare / Etalonare Metrologică, de către responsabilul Sistemului de Dozimetrie externă și personalul desemnat din partea Laboratorului de Metrologie al CNE Cernavodă.

- **Implementarea în cititoarele TLD a noilor factori de Calibrare;**

- **Verificarea calibrării cititoarelor de TLD-uri:** Pentru verificarea calibrării cititoarelor, se citesc celelalte dozimetre iradiate la un etalon internațional, în aceleași condiții ca cele pentru calibrarea cititoarelor. Calculul erorilor și încadrarea în limitele de eroare prevăzute în Procedura de Verificare și Etalonare Metrologică va fi făcut de către responsabilul Sistemului de Dozimetrie externă și personalul desemnat din partea Laboratorului de Metrologie al CNE Cernavodă (conform recomandărilor din manualul de utilizare al echipamentului), apoi eliberează un Certificat de Etalonare/Verificare metrologică, valabil 1 an.

Verificări anuale efectuate sistemului de Dozimetrie externă cu TLD Panasonic:

- **Determinarea Factorilor de Corecție per Element** - Factorii de Corecție per Element (FCE) se utilizează pentru corectarea valorilor brute ale dozelor măsurate. Pentru determinarea FCE-urilor, se iradiază toate dozimetrele, de trei ori la iradiatorul Panarad UD-7940N1EU sau UD-794D de la Panasonic, la o doză de 4 mSv și se citesc la 24 de ore după fiecare iradiere, folosind cititoarele automate. Calculul factorilor de corecție per element (FCE) se efectuează cu ajutorul soft-ului livrat de furnizorul sistemului, firma Panasonic. În funcție de valorile obținute pentru Factorii de Corecție per Element, dozimetrele sunt împărțite în următoarele categorii: dozimetre de Calibrare și QC, având FCE-uri în gama $\pm 5\%$ (între 0.95 și 1.05) și CV% mai mic de 5%; dozimetre de Referință, având FCE în gama $\pm 15\%$ (între 0.85 și 1.15) și CV% mai mic de 7.5% și dozimetre personale, având FCE-uri în gama $\pm 30\%$ (între 0.70 și 1.30) și CV% mai mic de 8%. Dozimetrele care nu întrunesc criteriile de acceptare pentru niciuna din clasele de mai sus, sunt declarate neconforme și nu mai sunt utilizate pentru evaluări de doză. În urma determinărilor Factorilor de Corecție per Element din anul 2021, 99.5% dintre dozimetre testate au întrunit criteriile de acceptare, iar restul de 0.5% au fost declarate neconforme.

- **Studiul liniarității și determinarea CrossOver Point pentru cititoarele TLD Panasonic** se realizează conform recomandărilor din manualul de utilizare al echipamentului. Se iradiază dozimetre TLD (UD-814A9 și UD-813AS14) la diverse valori de doză din domeniul 0.5 mSv ÷ 1 Sv și se citesc după 24 de ore pentru a se determina dacă răspunsul elementelor TLD (corectate cu ECF-uri) este liniar cu doza la care au fost iradiate. Dozele de iradiere sunt: 0.5 mSv, 1 mSv, 3 mSv, 5 mSv, 7 mSv, 9 mSv, 11 mSv, 13 mSv, 15 mSv, 20 mSv, 50 mSv, 100 mSv, 500 mSv, 1000 mSv. Pentru fiecare punct de iradiere se folosesc câte 4 dozimetre UD-814A9 și câte 4 dozimetre UD-813AS14. Pentru realizarea acestui test, se iradiază dozimetre TLD în casetele de protecție, poziționate pe o fantomă tip torace (PMMA), având dimensiunile 30 cm x 30 cm x 15 cm. Iradierea se face cu o sursă de Cs-137 trasabilă la un standard internațional. După iradiere, dozimetrele însoțite de un Certificat de iradiere, sunt livrate către Laboratorul de Dozimetrie Individuală al CNE Cernavodă. Rezultatele obținute în urma citirilor dozimetrelor iradiate la diferite valori de doză, efectuarea calculelor pentru Studiul liniarității și determinarea *CrossOver Point* sunt analizate de responsabilul de sistem și cel al Laboratorului de Metrologie al CNE Cernavodă, împreună realizează studiul liniarității celor două circuite de măsură ale cititoarelor de TLD-uri (P-counter, respectiv F-counter), prin reprezentarea grafică. În acest sens vor fi folosite facilitățile programului Excel pentru fitare și calculul punctului de intersecție - *CrossOver Point*. Punctul de intersecție rezultat din reprezentarea grafică a dozei de iradiere funcție de raportul doza măsurată / doza convențional adevărată pe cele două circuite, reprezintă "*CrossOver Point*", valoare care este exprimată în mSv.

- **Verificarea parametrilor de încălzire ai cititoarelor.** Pentru verificarea parametrilor de încălzire se efectuează următoarele teste: determinarea regresiei (Fading) pe termen scurt (de 24 ore) și determinarea dozei reziduale. Pentru determinarea factorului de fading pe termen scurt, se iradiază 5 dozimetre din fiecare tip și din fiecare lot de dozimetre la o doză de 2 mSv și se citesc la o oră după iradiere. Apoi, aceleași dozimetre, se iradiază din nou la o doză de 2 mSv și se citesc după 24 ore. Factorul de fading pe termen scurt se calculează ca raportul dintre media citirilor după o oră și media citirilor după 24 de ore. Criteriul de acceptare este obținerea unui factor de fading pe termen scurt (de 24 ore), mai mic de 5%. Pentru determinarea dozei reziduale, se citesc de două ori, succesiv, cinci dozimetre din fiecare tip și din fiecare lot de dozimetre. Doza reziduală, obținută după a doua citire, trebuie să fie mai mică de 100 μ Sv.

Verificări lunare efectuate sistemului de Dozimetrie externă cu TLD Panasonic:

- **Determinarea regresiei pe termen lung (fading).** Factorul de fading pe termen lung este definit ca raportul dintre media citirilor dozimetrelor de control, după o lună și media citirilor acelorași dozimetre după 24 de ore. Acest factor se folosește pentru corectarea dozelor citite odată cu dozimetrele personale, la sfârșitul perioadei de monitorare (lunar). Dozimetrele de control utilizate pentru determinarea factorului de fading se iradiază la o doză de 4 mSv și se citesc toate după 24 de ore. Apoi, aceleași dozimetre se iradiază din nou la 4 mSv. Acestea se păstrează în aceleași condiții ca și dozimetrele personale și se citesc la sfârșitul perioadei de monitorare (după o lună), împreună cu dozimetrele personale.

- **Determinarea fondului (pentru Perioada dozimetrică).** Fiecărui lot de dozimetre personale aferent unei perioade de monitorare i se atașează un grup de dozimetre de fond. La fiecare 50 de dozimetre personale, se atașează 3 dozimetre de fond. Acestea se păstrează în aceleași condiții ca și dozimetrele personale și se citesc la sfârșitul perioadei de monitorare. Media citirilor pe dozimetrele de fond se folosește pentru corectarea dozelor citite pe dozimetrele personale.

Verificări zilnice efectuate sistemului de Dozimetrie externă cu TLD Panasonic:

- **Verificarea cititoarelor TLD cu dozimetre de QC.** Zilnic se iradiază 10 dozimetre de QC la o doză de 4 mSv și vor fi citite după 24 de ore. Media citirilor pe elementele de interes (E3:Li₇ și E4:Li₆ pentru dozimetrele UD-814A 9, respectiv E2:CaSO₄ și E3:Li_n pentru dozimetrele UD-813AS14) se compară cu indicațiile de referință stabilite imediat după calibrare. Rezultatele obținute nu trebuie să aibă o abatere mai mare de $\pm 10\%$ față de indicațiile de referință.

- **Verificarea parametrilor interni ai cititoarelor TLD.** Parametrii interni ai cititoarelor sunt verificați prin comparare cu valorile de referință, cu ajutorul soft-ului livrat de furnizorul sistemului. În total, sunt verificați zilnic 256 de parametri.

1.4 PARTICIPAREA LA EXERCIIILE DE INTERCOMPARARE INTERNAȚIONALE

Calitatea măsurărilor de radioactivitate efectuate în cadrul Laboratorului de Dozimetrie Individuală este confirmată și prin participarea cu succes la exerciții internaționale de intercomparare cu alte laboratoare de profil. În anul 1999, Laboratorul de Dozimetrie Individuală a participat la exercițiul de intercomparare organizat de AIEA. Rezultatele obținute s-au situat în criteriile impuse de organizator, cu respectarea curbei trompetă, ceea ce a demonstrat conformitatea dozimetrelor utilizate la CNE Cernavodă pentru evaluarea Hp(10).

În perioada 2007 ÷ 2021, Laboratorul de Dozimetrie Individuală a participat la exercițiile de intercomparare organizate de COG (CANDU Owners Group) din Canada, privind măsurările de dozimetrie externă. Aceste exerciții au avut ca temă, testarea performanțelor dozimetrelor TLD utilizate în centralele CANDU privind răspunsul la radiația fonică, radiația beta și radiația mixtă (fotoni + beta). Exercițiile au constatat în iradierea la laboratoarele Chalk River din Canada, a câte 30 de dozimetre UD-814AS9 la radiația gamma, beta și radiație mixtă de diverse energii și doze de iradiere. De asemenea, rezultatele obținute de Laboratorul de Dozimetrie s-au situat în criteriile impuse de organizator.

1.5 PROGRAMUL DE DOZIMETRIE INTERNĂ

Pentru un reactor de tip CANDU 6, cea mai mare parte din expunerea internă a lucrătorilor expuși profesional este produsă de încorporările de apă grea tritiată (cu o contribuție de 30% la doza colectivă totală), iar ocazional de produși de coroziune activați, cele mai frecvente fiind încorporările de ^{95}Nb / ^{95}Zr . Acestea se datorează prezenței contaminării libere, atunci când este deschis circuitul primar de transport al căldurii în timpul activităților de mentenanță.

Contaminanții interni, alții decât tritiul, pot fi împărțiți în două categorii:

- 1) produși de activare precum ^{95}Nb și ^{95}Zr (produși de coroziune din tecile de combustibil și tuburile de presiune) și ^{60}Co (produs de coroziune din componentele metalice din oțel care ajung în zona activă). Alți produși de activare care pot apărea în circuitul de răcire sunt ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{113}Sn , ^{124}Sb .
- 2) produși de fisiune precum ^{131}I , ^{133}I , ^{135}I și ^{137}Cs .

Programul de dozimetrie al CNE Cernavodă se bazează pe cerințele legislației naționale aplicabile și pe cele mai recente recomandări ale Comisiei Internaționale de Radioprotecție. Activitățile efectuate pentru măsurarea, evaluarea și controlul expunerii la radiații sunt denumite folosind termenul generic de “monitorizare”. Deși măsurările reprezintă o parte importantă a oricărui program de dozimetrie, monitorizare înseamnă mai mult decât măsurare, incluzând interpretarea, evaluarea, înregistrarea rezultatelor și urmărirea evoluției dozelor.

În afara tehnicilor de monitorizare a locului de muncă, la CNE Cernavodă sunt utilizate o serie de proceduri de monitorizare individuală, pentru detectarea expunerilor semnificative la contaminanți interni și anume, **tehnicile in vitro** pentru măsurarea indirectă a radioactivității probelor biologice măsurate cu ajutorul Sistemelor cu scintilatori lichizi și **tehnicile in vivo**, cu ajutorul Sistemelor de măsurare Contor de corp uman, pentru măsurarea directă a radionuclizilor gamma încorporați, care au energie și intensitate suficiente pentru a fi măsurate cu un detector extern.

Programul de dozimetrie internă este componentă a programului de dozimetrie al CNE Cernavodă. Scopul său este asigurarea capacității funcționale de monitorizare a personalului expus profesional pentru încorporările potențiale de radionuclizi, și anume evidențierea momentului încorporării, evaluarea și înregistrarea corespunzătoare a dozelor după confirmarea încorporării. În general, urmărirea expunerilor interne (cu excepția tritiului), se bazează pe monitorizarea locului de muncă, completată de măsurarea la contorul de corp uman și de analize pe probe de urină, atunci când sunt suspectate încorporări de material radioactiv.

Programul de monitorizare individuală a expunerilor interne trebuie să asigure: datele necesare pentru evaluarea dozelor interne; rezultatele care să demonstreze respectarea limitelor de doză prevăzute în Normele de Securitate Radiologică și investigarea cazurilor în care se suspectează o încorporare de radionuclizi.

Metodele principale de dozimetrie internă de rutină, sau specială, se bazează pe măsurarea radioactivității probelor biologice (excreții) și a radioactivității acumulate în organism. Interpretarea rezultatelor și calculul dozelor interne se fac în conformitate cu prevederile normelor de dozimetrie ale CNCAN și cu recomandările ICRP, conținute în Publicația 78. Astfel, în conformitate cu recomandările ICRP din Publicația 54 monitorizarea expunerii interne se face prin trei tipuri de programe:

- Monitorizare de rutină: presupune măsurări regulate, directe și indirecte, pentru lucrătorii expuși profesional.
- Monitorizare de confirmare: monitorizare efectuată pentru a verifica condițiile de expunere pentru lucrătorii expuși profesional la niveluri care nu necesită o monitorizare de rutină.
- Monitorizare specială: orice monitorizare care nu este cerută printr-un program de rutină dar este realizată pentru a confirma o încorporare suspectă, sau pentru a urmări o încorporare confirmată.

1.6 UTILIZAREA TEHNICILOR IN-VIVO

Laboratorul de Dozimetrie Individuală utilizează pentru monitorizarea directă a radionuclizilor emițători de radiații gamma încorporați, două echipamente Contor de Corp Uman achiziționate de la firma CANBERRA USA: FASTSCAN și ACCUSCAN II:

a) Contorul de Corp Uman model FASTSCAN (Figura 2). Măsoară contaminarea internă a personalului pentru radionuclizi cu energii cuprinse între 300keV și 2000keV. Sistemul de detecție este constituit din 2 detectori de volum de NaI(Tl) cu dimensiunile de 7.6x12.7x40.6 cm; Software-ul sistemului este programul APEX-In Vivo; Timp de măsură subiect: 3-5 minute; Limita de detecție pentru o persoană necontaminată (timp de măsurare 30 minute): 50Bq pentru ^{137}Cs și 60Bq pentru ^{60}Co .



Figura 2 - Contor de Corp Uman FASTSCAN și ACCUSCAN II - CNE Cernavodă

b) Contorul de Corp Uman tip ACCUSCAN II (Figura 2). Este un contor de înaltă rezoluție, cu 2 detectori coaxiali de germaniu Hiperpur, cu o eficiență de 25%; Identifică și cuantifică radionuclizi cu energii cuprinse între 100keV și 2000 keV; Software-ul sistemului este programul APEX-In Vivo; Furnizează informații despre localizarea materialului radioactiv în organism prin mecanismul de scanning; Timpul de măsură subiect: 3-5 minute; Limita de detecție pentru o persoană necontaminată (timp de măsură 30 minute) este de 81Bq pentru ^{137}Cs și 76Bq pentru ^{60}Co .

1.7 FRECVENȚA MONITORIZĂRIILOR LA CONTORUL DE CORP UMAN

Doza efectivă angajată, E_{50} , datorată încorporărilor de materiale radioactive emițătoare gamma este evaluată prin măsurări in-vivo efectuate cu Contorul de Corp Uman. Frecvențele de monitorizare sunt:

- Pentru fiecare persoană nou inițializată în baza de date (monitorizare de “zero”);
- Lunar pentru personalul grupării Sistem Manipulare Combustibil;
- Anual pentru grupările Exploatare, Serviciul Control Radiații, Laborator Control Nedistructiv, Laborator Chimic, Servicii Generale, Întreținere și Reparații Mecanice, Întreținere și Reparații Electrice;
- O dată la trei ani pentru restul personalului centralei.
- În cazul în care urmează să se desfășoare activități în care se anticipează o potențială expunere internă, se vor efectua monitorizări la contorul de corp uman atât înainte cât și după terminarea lucrării.
- Dacă se știe, sau se suspectează că ar fi avut loc expuneri semnificative neanticipate (în urma depistării unor contaminări externe sau a rezultatelor monitorizării spațiilor de lucru) se vor efectua monitorizări suplimentare la Contorul de Corp Uman, pentru toate persoanele care ar fi putut fi afectate de incident / accident.

La CNE Cernavodă, Laboratorul de Dozimetrie Individuală monitorizează anual la Contorul de Corp Uman aproximativ 2500 de persoane, lucrători expuși profesional ai CNE Cernavodă și contractori.

Rezultatele monitorizărilor la Contorul de corp Uman, se introduc zilnic în baza de date a Sistemului Informațional de doze DoseRecords, de către personalul Laboratorului de Dozimetrie Individuală.

1.8 CALCULE DE DOZĂ

Cele mai frecvente contaminări interne gamma sunt datorate încorporărilor de produși de coroziune activați: ^{95}Nb și ^{95}Zr . Activitățile care conduc la aceste contaminări sunt cele de întreținere de rutină ale operatorilor mașinii de încărcat / descărcat combustibil, inspecția canalelor de combustibil, inspecția generatorilor de abur, îndepărtarea depunerilor de magnetită de pe tuburile generatorilor de abur.

În funcție de activitățile planificate atât în perioadele de operare normală cât și în opririle planificate și neplanificate, numărul persoanelor identificate cu contaminare în urma măsurărilor la Contorul de Corp Uman variază între 30 și 45 de persoane într-un an.

Pentru calculul dozelor interne (dozei echivalente, sau efective) datorate încorporării de radionuclizi gamma s-a utilizat inițial programul *LUDEP 2.0*, iar din anul 2015 se utilizează *IMBA Professional Plus*.

În cele mai multe cazuri, dozele calculate sunt sub nivelul de înregistrare de 0.1 mSv/lună, fie datorită activității încorporate foarte scăzute, fie datorită faptului ca materialul radioactiv este reținut într-o cantitate semnificativă la nivelul căilor respiratorii superioare și este eliminat foarte rapid din organism.

CNE Cernavodă a participat la un Exercițiu de Intercomparare privind Calculul de Doză "2005 IDEAS / IAEA Intercomparison Exercise on Internal Dose Assessment".

1.9 CONTROLUL CALITĂȚII MĂSURĂRILOR PENTRU DOZIMETRIA INTERNĂ

CALIBRAREA SISTEMELOR CONTOR DE CORP UMAN constă din:

a. **Calibrarea energetică:** constă din determinarea curbei "canal funcție de energie" în domeniul 0 ÷ 2000 keV. Pentru această calibrare se utilizează o sursă etalon punctiformă de Eu-152.

b. **Calibrarea în eficiență:** va fi efectuată numai după ce a fost efectuată în prealabil calibrarea în energie a sistemului. Pentru a asigura trasabilitatea dozelor evaluate, Contorul de Corp Uman este calibrat în eficiență anual, folosind o fantomă (ce simulează corpul uman), tip RMC II furnizată de firma CANBERRA și o sursă standard de volum.. Fantoma tip RMC II este prezentată în Figura 3 și este constituită din două secțiuni: o secțiune tip torace și o secțiune tip gât. Ambele secțiuni sunt prevăzute cu cavități la nivelul diferitelor organe interne, în care se introduce pentru calibrare sursa standard de volum tip LSV (Liquid Scintillation Vial de 20 ml).

Sistemele Contor de Corp Uman pot fi calibrate în următoarele geometrii: întreg corpul, tiroida, gastro și plămâni. Sursa radioactivă etalon din care este preparat standardul de volum tip LSV (mediu de preparare gel agar) este un amestec de radionuclizi gamma [ex. 7600-5FSA-185BQ-D], certificată de laboratoarele Eckert & Ziegler USA.

În urma calibrării sistemelor Contor de Corp Uman, laboratorul de Metrologie al CNE Cernavodă emite un Certificat de Etalonare cu valabilitate de un an.

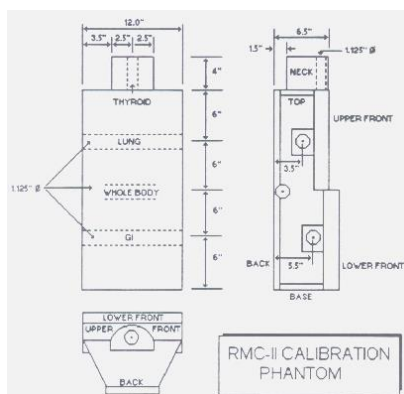


Figura 3 – Fantoma utilizată la calibrarea în eficiență a sistemelor Contor de Corp Uman, tip RMC II

Verificări zilnice ale sistemelor Contor de Corp Uman

Pentru verificarea parametrilor metrologici, între două calibrări succesive, au fost dezvoltate proceduri interne de QC care se execută zilnic și care sunt bazate pe soft-ul furnizat de firma Canberra (Apex-In Vivo - Quality Assurance). Acestea constau din:

- achiziția zilnică a fondului (12 ore, peste noapte) și compararea rezultatului cu valorile de referință obținute la punerea în funcțiune a sistemului;
- monitorizarea temperaturii ambientale și compararea valorii zilnice cu valoarea temperaturii la data calibrării (± 2 grade Celsius);
- achiziție cu o sursă test de Eu-152 pentru 10 minute și compararea valorilor principalilor parametri (Peak centroid, FWHM, Peak Area) cu valorile de referință stabilite la calibrarea sistemului. Acești parametri sunt monitorați pentru următoarele peak-uri din domeniul energetic 0 ÷ 2000 keV: 121 keV, 344 keV, 778 keV, 964 keV și 1407 keV.

Valorile de referință pentru cei trei parametri (corespunzători peak-urilor: 121 keV, 344 keV, 778 keV, 964 keV și 1407 keV) au fost stabilite la calibrarea sistemului, ca medii obținute din 10 achiziții de câte 10 minute cu sursa test de Eu-152. Abaterea maximă admisă pentru acești parametri, de la valorile de referință s-a stabilit conform recomandărilor fabricantului și în baza unui studiu asupra variației lor pe parcursul unui an de exploatare a echipamentului. În Figura 4 este prezentată evoluția parametrului Peak Centroid -121 keV pentru Eu-152.

QA Full Parameters Report

Counter & Counter Configuration

Counter Name	ACCUSCAN
Counter Location	CNE Cernavoda
Counter Configuration	Fixed - Whole Body

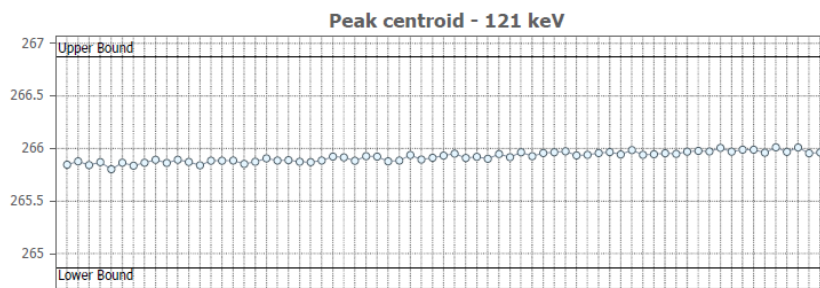


Figura 4 – Evoluția parametrului Peak Centroid pentru Eu-152

1.10 UTILIZAREA TEHNICILOR IN-VITRO

CNE Cernavodă utilizează **tehnicele in vitro** pentru măsurarea indirectă a radioactivității în probele biologice măsurate cu ajutorul Sistemelor cu scintilatori lichizi

Pentru monitorizarea încorporărilor de Tritiu și a altor radionuclizi beta emițători, sunt utilizate 3 tipuri de sisteme de măsurare cu scintilatori lichizi, toate fiind echipamente achiziționate de la firma CANBERRA USA: Tri-Carb 3100TR, Tri-Carb 3110TR și Tri-Carb 4910TR:

Contorul cu Scintilatori Lichizi: Tri-Carb 3100TR / 3110TR / 4910TR (Figura 5) este echipamentul cu ajutorul căruia se măsoară contaminarea internă cu radionuclidul beta emițător H3, pentru tot personalul expus profesional de la CNE Cernavodă. Acesta este un sistem de măsurare ce utilizează doi fotomultiplicatori legați în coincidență, aflați în interiorul unui castel de plumb (pentru a asigura un fond cât mai scăzut); Identifică și cuantifică radionuclizi beta emițători cu energii cuprinse între 2 keV și 2000 keV; Software-ul sistemului este programul QuataSmart™; Furnizează rezultate ale activității în Bq/L; Timpul de măsură per probă este de 3 minute; Limita de detecție este de 156 Bq/L.



Figura 5 - Contor cu Scintilatori Lichizi Tri-Carb 3100TR / 3110TR

1.11 FRECVENȚA FURNIZĂRII PROBELOR BIOLOGICE

În centralele de tip CANDU, dozele interne sunt determinate preponderent de expunerea la Tritiu și sunt evaluate prin măsurarea probelor biologice furnizate de lucrătorii expuși profesional din Centrală. Prin urmare, este obligația fiecărui angajat să furnizeze cu regularitate probele de urină pentru analiza conținutului de Tritiu. Pentru determinarea corectă a dozei datorată expunerii la tritiu, se vor furniza probe de urină cu următoarea frecvență:

- O dată la 28 zile, pentru persoanele nou intrate în evidența dozimetrică și pentru personalul LEP care are o doză efectivă angajată, provenind de la ultima probă, mai mică decât 0.010 mSv.
- O dată la 7 zile, personalul LEP care are o doză efectivă angajată mai mare sau egală cu 0.010 mSv.
- Zilnic, pentru personalul LEP care are o doză efectivă angajată mai mare de 1 mSv.
- Înainte și după lucrare, conform cerințelor din RWP;
- În cazul suspectării depășirii Valorii de Control a Dozei (expunere neanticipată neprotejată, folosirea necorespunzătoare a echipamentului de protecție, etc.);
- În regim de Urgență, la solicitarea Dispecerului Șef de Tură sau a Departamentului Radioprotecție (doar însoțite de un Formular de Informații Dozimetrice).

La CNE Cernavodă, se monitorizează anual aproximativ 40.000 de probe biologice, cu ajutorul celor 6 sisteme de măsurare Contor cu Scintilatori Lichizi aferente celor 2 unități U1 și U2.

Rezultatele măsurărilor probelor biologice sunt transferate zilnic în baza de date a Sistemului Informațional de doze DoseRecords. Acesta conține și algoritmul de calcul al dozelor, stocarea și raportarea dozelor interne.

1.12 CONTROLUL CALITĂȚII MĂSURĂRILOR PENTRU DOZIMETRIA INTERNĂ CALIBRAREA SISTEMELOR CONTOR CU SCINTILATORI LICHIZI constă din:

a. **Calibrarea energetică:** constă din utilizarea unui set de 3 standarde neatenuate, cu ajutorul cărora sistemul își ajustează tensiunea High Voltage pentru cei 2 fotomultiplicatori; determinarea eficienței pentru standardul de H3 în regiunea de măsurare 0÷ 18.6 keV; determinarea eficienței pentru standardul de C14 în regiunea de măsurare 0÷ 156 keV; determinarea valorilor de fond pentru standardul BKG în regiunea de măsurare a H3 (0÷ 18.6 keV) și în regiunea de măsurare a C14 (0÷ 156 keV); determinarea parametrilor de stabilitate a măsurării H3 și C14 – parametrul Chi-square; determinarea parametrului Figure of Merit – E^2/Bkg .

b. **Calibrarea în eficiență:** va fi efectuată numai după ce a fost efectuată în prealabil calibrarea în energie a sistemului. Pentru a asigura trasabilitatea dozelor măsurate, fiecare Contor cu Scintilatori Lichizi este calibrat anual în eficiență folosind un set de standarde atenuate de H3 și unul de C14. Prin calibrare se înțelege ridicarea unor curbe de atenuare Eficiență vs. tSIE, atât pentru H3, cât și pentru C14. Cu ajutorul celor două seturi de standarde atenuate, se mai realizează următoarele tipuri de teste: testul de stabilitate / reproductibilitate a măsurărilor; testul de stabilitate a indicației parametrului de atenuare utilizat – tSIE.

În urma calibrării sistemelor Contor cu Scintilatori Lichizi, laboratorul de Metrologie al CNE Cernavodă emite un Certificat de Etalonare cu valabilitate de un an.

CONTROLUL CALITĂȚII SISTEMELOR CONTOR CU SCINTILATORI LICHIZI - Verificări zilnice

Pentru verificarea parametrilor metrologici, între două calibrări succesive, au fost dezvoltate proceduri interne de QC, care se execută zilnic și care sunt bazate pe soft-ul furnizat de firma Canberra (QuantaSmart™ – IPA Quality Assurance). Acestea constau din:

- rularea zilnică a testului IPA (Instrument Performance Assistance), transferul rezultatelor în baza de date Quality Assurance;
- prepararea zilnică a probelor de fond (utilizând apă ultrapură) și utilizarea lor, intercalate între probele biologice, în scopul verificării procesului de măsurare pe tot parcursul lui;
- prepararea zilnică a unor probe spike ce vor fi utilizate, intercalat între probele biologice, în scopul verificării procesului de măsurare pe tot parcursul lui.

În plus, personalul care execută prepararea probelor biologice execută zilnic verificarea volumului de pipetare al pipetei utilizate.

1.13 PARTICIPAREA LA EXERCIȚII DE INTERCOMPARARE

Participarea Laboratorului de Dozimetrie Individuală la exerciții de intercomparare are ca scop validarea metodelor de lucru, verificarea tehnicilor de măsură și verificarea calibrării echipamentelor folosind metode alternative. Laboratorul de Dozimetrie Individuală al CNE Cernavodă este membru al Asociației franceze PROCORAD (Asociație pentru măsurări radiotoxicologice) din anul 2001 și participă anual la exerciții de intercomparare pe măsurări de dozimetrie internă (Tritiu, Carbon-14 și spectrometrie gamma în probe biologice). Rezultatele obținute la exercițiile de intercomparare în perioada 2001÷2021 au fost bune și foarte bune, îndeplinind de fiecare dată criteriile impuse de organizatori.

Laboratorul de Dozimetrie Individuală s-a calificat ‘**TOP LAB**’ la categoria de “Măsurări Tritiu în urină” în anii 2004, 2006, 2007, la categoria de “Măsurări C-14 în urină” în anii 2001, 2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2013 și la categoria “Dual label Tritiu & Carbon-14 în urină” în anii 2012 și 2018.

2. REALIZĂRI RECENTE ALE LABORATORULUI DE DOZIMETRIE INDIVIDUALĂ ÎN SUSTINEREA PROGRAMULUI DE MONITORIZARE A EFLUENȚILOR RADIOACTIVI LICHIZI ȘI GAZOȘI LA CNE CERNAVODĂ

Pentru a ne asigura că emisiile de radionuclizi în efluenții gazoși și lichizi sunt sub limitele autorizate, este necesară implementarea unui program de supraveghere și monitorizare a acestora. La CNE Cernavodă, monitorii de efluenți lichizi și gazoși asigură indicarea continuă a conținutului de radioactivitate în emisii. Acești monitori colectează, de asemenea, probe pentru analize detaliate în Laboratorul de Dozimetrie Individuală al centralei.

Pentru a susține Programul de monitorizare a efluenților radioactivi lichizi și gazoși, în cadrul Laboratorului de Dozimetrie Individuală se efectuează următoarele categorii de măsurători cu următoarele tipuri de echipamente de măsurare (Figura 7):

- Analize gamma spectrometrice în probe de efluenți lichizi și gazoși utilizând Spectrometre gamma cu detector de germaniu hiperpur, Canberra GC-2018 și GC-3018.
- Analize de H-3 și C-14 în probele de efluenți lichizi și gazoși utilizând Sisteme de măsurare cu scintilatori lichizi Canberra, model Tri-Carb 3100TR, 3110TR și 4910TR.
- Măsurarea activității beta globale în probe de efluenți lichizi și gazoși utilizând Sisteme de măsurare alfa/beta global Canberra, model LB4100 și Tennelec.



Figura 7 – Sistemele utilizate de Laboratorul de Dozimetrie Individuală pentru realizarea analizelor specifice monitorizării efluenților radioactivi lichizi și gazoși

2.1 PROGRAMUL DE MONITORIZARE A EFLUENȚILOR RADIOACTIVI LICHIZI

Pentru colectarea deșeurilor lichide radioactive sunt folosite 5 rezervoare de beton (de aproximativ 50 m³ fiecare) câptușite cu rășină epoxidică, localizate în subsolul Clădirii Serviciilor. Două dintre rezervoare sunt folosite pentru colectarea deșeurilor radioactive de nivel 2 (activitatea cuprinsă între 3,7x10² Bq/l și 3,7x10⁴ Bq/l), respectiv 3 (activitatea cuprinsă între 3,7x10⁴ Bq/l și 3,7x10⁶ Bq/l); celelalte 3 rezervoare sunt folosite pentru colectarea deșeurilor radioactive de nivel 1 (slab active - activitatea cuprinsă între 3,7x 10⁻¹ Bq/l și 3,7x10² Bq/l și o activitate medie ponderată de 1,85x10² Bq/l). Conținutul fiecărui tanc poate fi descărcat în Dunăre sau în Canalul Dunăre - Marea Neagră (via Canalul ARC), dacă evacuarea nu va conduce la depășirea limitelor autorizate.

În timpul deversării, Monitorul de Efluenți Lichizi (MEL) monitorizează activitatea gamma globală și oprește descărcarea în cazul apariției unei activități mari, neașteptate. MEL-ul colectează de asemenea o probă integrată din conducta de descărcare, pentru analiză ulterioară de laborator a evacuărilor. Probele colectate continuu de MEL în timpul fiecărei deversări, sunt trimise la Laboratorul de Dozimetrie Individuală, pentru analize detaliate. Rezultatele acestor analize constituie evacuările oficiale ale centralei.

Suplimentar, Personalul Laboratorului de Dozimetrie Individuală efectuează săptămânal, analize gama spectrometrice, analize de tritium și C-14 prin metoda scintilatorilor lichizi pentru o probă integrată, colectată continuu din Canalul Apei de Răcire a Condensatorului; în plus, se efectuează o analiză pentru o probă compozită săptămânală cu ajutorul sistemului de măsurare alfa/beta global.

2.2 PROGRAMUL DE MONITORIZARE A EFLUENȚILOR RADIOACTIVI GAZOȘI

Programul de Monitorizare a Efluenților gazoși are dublu rol:

1. Control - de a monitoriza continuu evacuările de radioactivitate, astfel încât personalul de exploatare este înștiințat de modificările care pot rezulta din erori de proces sau procedurale și poate acționa pentru a reduce evacuarea.

2. Conformitate - de a măsura evacuările actuale (de moment) de radioactivitate, pentru a demonstra că limitele reglementate de evacuare (ex. LDE-urile) nu au fost depășite. LDE-urile sunt limite anuale, specifice amplasamentului, care se stabilesc pentru fiecare radionuclid, astfel încât dozele încasate de membrii grupului cel mai expus (grupul "critic") nu depășesc limitele de doză pentru populație.

Laboratorul de Dozimetrie Individuală este responsabil pentru următoarele analize zilnice:

- Schimbarea colectoarelor de vapori de H3 în apă și cei de C14 și analizarea lor în Laboratorul de Dozimetrie Individuală a probelor colectate, în vederea raportărilor oficiale ale centralei.
- Preluarea filtrelor de particule și de iod și analizarea lor (prin spectrometrie gamma și analize alfa/beta global) în Laboratorul de Dozimetrie Individuală, în vederea raportărilor oficiale ale centralei.

Laboratorul de Dozimetrie Individuală este de asemenea responsabil pentru următoarele analize cu frecvență săptămânală / lunară, provenite de la Sistemul de monitorizare a cilindrilor de stocare DICA (Depozitul Intermediar de

Combustibil Ars), care este folosit pentru a verifica integritatea barierelor de confinare (cilindrul de stocare și coșurile de combustibil ars stocate în acesta). Sistemul de monitorizare este compus dintr-un vas de captare a apei, o pompa de aer, un filtru de particule și un filtru de cărbune activ. Probele și Filtrele prelevate sunt analizate (H3, C14, spectrometrie gamma și alfa/beta global) în Laboratorul de Dozimetrie Individuală (Figura 7).

Laboratorul de Dozimetrie Individuală analizează anual, aproximativ 9500 de probe de efluenți radioactivi lichizi și gazoși.

3. CONCLUZII

La CNE Cernavodă, dozimetriei interne și dozimetriei externe, ca parte integrantă a dozimetriei individuale, le este acordată o atenție deosebită, pentru a avea o monitorizare dozimetrică completă a personalului implicat în activități nucleare, precum și a persoanelor din public, în caz de accident nuclear.

Laboratorul de Dozimetrie Individuală execută activități de monitorizare a contaminării interne radioactive cu echipamente moderne, de ultimă generație care permit măsurarea cu acuratețe, prin metode in-vivo și in-vitro, a retenției/excreției radionuclizilor încorporați, dar și programe avansate pentru determinarea activității încorporate și a dozelor asociate.

Laboratorul de Dozimetrie Individuală execută activități de monitorizare a efluenților radioactivi lichizi și gazoși cu echipamente moderne, care permit măsurarea cu acuratețe a radioactivității acestora.

Nu în ultimul rând, este important de menționat, pregătirea profesională a personalului laboratorului, ei fiind membri ai asociațiilor europene PROCORAD și EURADOS, cu multe participări la conferințe naționale și internaționale.

În urma unui Audit extern efectuat de o echipă a organizației WANO (World Association of Nuclear Operators) la CNE Cernavodă, Laboratorul de Dozimetrie Individuală a primit un “strength” (punct forte) pentru modul în care realizează serviciile de dozimetrie externă și internă la CNE Cernavodă, fiind apreciat ca laborator de “Top” în domeniul măsurării dozelor. Această apreciere a fost susținută de rezultatele programului de dozimetrie al centralei precum și de rezultatele excelente obținute la exercițiile de intercomparare internațională (COG, PROCORAD).

4. BIBLIOGRAFIE

- SI-03165-RP018 “Programul de dozimetrie a personalului la CNE Cernavodă”, Rev.4, 2016
- IDP-RP-329 “Proceduri de Operare Sistem TLD”, Rev.3, 2017
- IDP-RP-312 “Proceduri de operare Contor de Corp Uman tip AccuscanTM II”, Rev.2, 2018
- IDP-RP-327 “Proceduri de operare Contor de Corp Uman tip FastscanTM”, Rev.2, 2018
- IDP-RP-325 “Proceduri de operare Contor cu scintilatori lichizi Tri-Carb 3100TR” Rev.3, 2017
- IDP-RP-313 “Proceduri de operare Contor cu scintilatori lichizi Tri-Carb 3110TR” Rev.3, 2017
- IDP-RP-423 “Proceduri de operare Contor cu scintilatori lichizi Tri-Carb 4910TR” Rev.0, 2019
- IR-96500-050 “Rezultatele obținute de laboratorul de dozimetrie individuală la exercițiile de intercomparare dozimetrie externă și internă 1999 ÷ 2019” Rev.0, 2019
- SI-03165-RP006 “Programul de monitorizare a efluenților radioactivi lichizi și gazoși la CNE Cernavodă”, Rev.6, 2018.
- IDP-RP-332 “Proceduri de Operare Sistem Gama Spectrometric GC-2018 și GC-3018”, Rev.1, 2014
- IDP-RP-326 “Proceduri de Operare Sistem alfa/beta Global LB4100”, Rev.3, 2020.

Noi preocupări privind caracterizarea surselor de radiații gamma pentru optimizarea expunerii personalului și optimizarea managementului deșeurilor radioactive

V. Toboșaru (*georgian.tobosaru@cne.ro*); **A.E. Nedelcu**; **Liliana Samson**, **Cătălina Chițu**; **A. Stafie**
SNN – SA CNE Cernavodă Departamentul de Radioprotecție, Securitatea Muncii și PSI
Str. Medgidiei nr. 2, Cernavodă 905200

Abstract:

CNE Cernavodă își propune în continuare ținte de excelență pentru dozele colective și aplică o politică de reducere a dozelor individuale. Pe măsura creșterii duratei de operare dozele încasate pentru exploatarea centralei cresc din cauza creșterii intensității câmpurilor în jurul echipamentelor din instalație și a numărului de lucrări necesare pentru întreținerea echipamentelor respective.

Identificarea surselor, măsurarea intensității câmpurilor de radiații gama și caracterizarea radionuclizilor prezenți sunt necesare pentru stabilirea soluțiilor pentru reducerea expunerii la radiații a personalului care efectuează activități cu risc radiologic. În prezent, la CNE Cernavodă și alte centrale CANDU un deosebit interes îl reprezintă determinarea inventarului de radioactivitate (care tranzitează sistemul PHT și auxiliare) și este reținut în sistemele de purificare asociate. Depunerile și acumulările produșilor de coroziune pe suprafețele echipamentelor din zona activă a reactorului conduc la creșterea câmpurilor de radiații γ în vecinătatea componentelor diferitelor sisteme nucleare (Sistemul Principal Moderator, Sistemul Primar de Transport al Căldurii și auxiliare etc.). Aceste acumulări se manifestă fie prin creșteri lente și continue ale debitelor de doză gama generale datorită depunerilor progresive de oxizi, fie sub forma “punctelor fierbinți” (hot spot-uri) generate de particule și fragmente activate relativ mobile..

Printre metodele de reducere a expunerii implementate la CNE Cernavodă se numără predicția câmpurilor de radiații gama în opririle planificate, care permite îmbunătățirea practicilor de lucru prin optimizarea timpului de lucru în zonele cu câmpuri gama ridicate și a celui de staționare în zone cu debite de doză gama mici.

De asemenea, există preocupări pentru utilizarea unor softuri bazate pe Realitate Virtuală dedicate simulării condițiilor din zona de lucru care vor conduce la îmbunătățirea abilităților practice ale lucrătorilor.

O alta măsură considerată pentru reducerea dozelor este instalarea ecranelor temporare la nivelul end-fitting-urilor. Prin adoptarea acestei metode dozele individuale și colective pot scădea semnificativ pentru lucrările care are loc la nivelul canalelor de combustibil/ feederi.

Caracterizarea surselor de radiații gamma aduce contribuții valoroase în determinarea inventarului de deșeuri radioactive din cadrul programului de gospodărire a deșeurilor radioactive. Prin caracterizarea filtrelor și a rășinilor din SPTC și Moderator nu se obțin doar informații cu privire la eficiența sistemelor de purificare, ci și informații valoroase cu privire la activitatea stocată în structurile de depozitare intermediare și factori de scalare pentru determinarea radionuclizilor greu de măsurat în deșeurile provenite din aceste sisteme.

Importanța caracterizării surselor de radiații gama este demonstrată prin aplicabilitatea extinsă a rezultatelor acestora în procesele de radioprotecție, iar eficiența caracterizării se îmbunătățește cu fiecare determinare efectuată.

Noi preocupări privind caracterizarea surselor de radiații gamma pentru optimizarea expunerii personalului și optimizarea managementului deșeurilor radioactive

Securitatea radiologică este un obiectiv important al Strategiei de Dezvoltare a CNE Cernavodă pe termen lung. Doza colectivă totală și doza colectivă internă sunt indicatori de performanță ai centralei, urmăriți și de autoritatea de reglementare. CNE Cernavodă a stabilit următoarele obiective de radioprotecție:

- să se mențină în topul centralelor nucleare CANDU din punct de vedere al dozei colective totale și
- să reducă impactul funcționării centralei asupra mediului și populației.

Prin strategia de dezvoltare, CNE Cernavodă se angajează să reducă dozele individuale și colective și să realizeze performanțe comparabile cu cele ale centralelor de top din lume.

Proiecte importante derulate în ultimii ani la CNE Cernavodă au permis reducerea dozelor în exploatare și din acest punct de vedere merită a fi evidențiate: modificarea de proiect privind realizarea platformelor permanente pentru acces la generatorii de abur și extinderea sistemului integrat de monitorizare a radiațiilor (RMS) de la Unitatea 2 către Unitatea 1. Implementarea în continuare a modificărilor cu efecte de reducere a dozelor trebuie să reprezinte o prioritate pentru centrală.

Viziunea implementării proceselor de radioprotecție la CNE Cernavodă este:

“O ECHIPĂ de Profesioniști, dedicată Siguranței Personalului, Populației și Mediului”

O componentă importantă care stă la baza strategiei de reducere a dozelor este caracterizarea surselor de radiații gamma. Identificarea surselor, măsurarea intensității câmpurilor de radiații gama și caracterizarea radionuclizilor prezenți sunt necesare pentru stabilirea soluțiilor pentru reducerea expunerii la radiații a personalului care efectuează activități cu risc radiologic.

Înregistrarea unor doze γ semnificative pentru personalul implicat în activități precum cele de inspecție feederi, inspecție ansambluri canal-combustibil, reajustare capete canal combustibil, întreținere

preventiva pod mobil MID, montare-demontare panouri și izolație termică cabineți feederi, inspecție generatori de abur, etc., au trezit un interes deosebit pentru caracterizarea detaliată a surselor de radiații γ în zona fețelor reactorului. Totodată, s-a constatat faptul că planificarea activităților și evaluarea corectă a dozelor corespunzătoare lucrărilor din vecinătatea fețelor reactorului sunt îngreunate de insuficienta cunoaștere a contribuțiilor relative ale diferitelor echipamente/componente la debitul de doză γ general.

Caracterizarea surselor de radiații gamma aduce contribuții valoroase în determinarea inventarului de deșeuri radioactive din cadrul programului de gospodărire a deșeurilor radioactive. Prin caracterizarea filtrelor și a rășinilor din SPTC și Moderator nu se obțin doar informații cu privire la eficiența sistemelor de purificare, ci și informații valoroase cu privire la activitatea stocată în structurile de depozitare intermediare și factori de scalare pentru determinarea radionuclizilor greu de măsurat în deșeurile provenite din aceste sisteme.

CNE Cernavodă a început proiectul de caracterizare a câmpurilor γ la nivelul fețelor reactorului și în vecinătatea sistemelor active (OATM - Outage Activity Transport Monitoring) în anul 2010, la Unitatea 1. Proiectul a continuat la Unitatea 1 în anii 2012, 2014, 2016, 2018 și 2020 și la Unitatea 2 în anii 2011, 2013, 2015, 2017, 2019 și 2021.

În prezent proiectul constă în:

- activități de caracterizare a câmpurilor γ la nivelul fețelor reactorului, pe durata Opririlor Planificate, menit să furnizeze informații asupra transportului și acumulărilor de radioactivitate în zone precum: fețele reactorului, cabineții feederilor orizontali și verticali, generatorii de abur, schimbătoarele de căldură ale Sistemului Principal Moderator.
- activități de monitorizare a inventarului de activitate la nivelul mediilor filtrante din circuitele de purificare ale sistemelor active ale Centralei pentru determinarea eficienței de reținere a acestora, formularea recomandărilor pentru optimizarea procedurilor de exploatare a sistemelor de purificare

Pentru determinarea distribuției 3D a câmpurilor γ în imediata vecinătate a fețelor reactorului a fost proiectat un ansamblu de 55 dozimetre γ model MGP instalate în același plan, pe podul mobil MID, la diferite distanțe față de planul end-fiting-urilor canalelor de combustibil.

Scanarea câmpurilor γ se realizează prin deplasarea podului mobil MID pe verticală, de-a lungul fețelor reactorului, și respectiv staționarea pentru o durată bine determinată de timp în planul fiecărui rând de canale combustibil. Ulterior, în etapa de prelucrare a rezultatelor, istoricul din log-ul intern al detectorilor este corelat cu poziția podului mobil MID (înregistrată în DCC).

În scopul monitorizării câmpurilor γ pe fețele reactorului, este utilizat un sistem γ spectrometric care utilizează un detector cu germaniu hiperpur (HpGe) ORTEC (Figura I.3.1) și analizor multicanal DIGIDART, cu funcția de identificare a radionuclizilor emițători γ și cuantificare a nivelului de radioactivitate al acestora, pentru diferite grupuri (celule) de ansambluri canal-combustibil, respectiv pentru diferite regiuni ale cabineților feederilor verticali. Instrumentul este prevăzut cu un ansamblu ecran-colimator pentru eliminarea influențelor altor surse și pentru măsurarea cu acuratețe în prezenta câmpurilor γ ridicate.

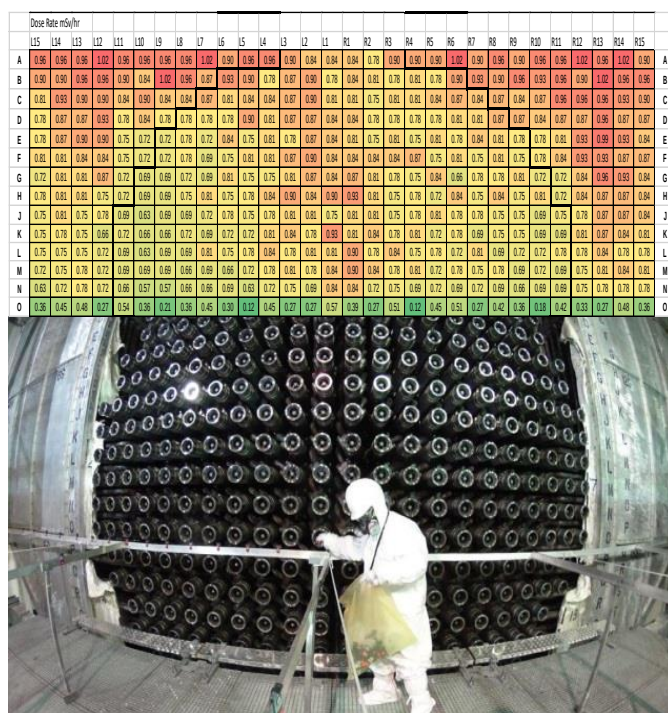




Figura 1 - Sistem γ -spectrometric ORTEC HpGe (cu detector de germaniu hiperpur)

Prin corelarea rezultatelor măsurărilor γ spectrometrice cu distribuția 3D a debitelor de doză γ pe fetele reactorului, este evaluată contribuția relativă a fiecărui radionuclid la câmpurile γ din oricare punct de interes. Pentru minimizarea dozelor pentru personalul implicat în procesul de monitorizare, sunt folosite facilități de comanda la distanță a sistemului de achiziție, respectiv înregistrare automată a rezultatelor și locației de monitorizare.



Figura 1a - Se poate observa ca detectorul este amplasat pe nacela, comenzile către sistemului de achiziție fiind transmise de la distanță (zona cu debite de doză mici)

Cel de-al doilea sistem γ -spectrometric utilizează un detector de tip CdZnTe și este proiectat pentru determinarea distribuției de material radioactiv în lungul end-fitting-urilor și a feederilor orizontali. Spectrometrul funcționează în tandem cu un debitmetru γ model Thermo Scientific FH40 G-L10 și sonda telescopică FHZ 632L (Figura 2), realizând astfel atât identificarea radionuclizilor emițători γ cât și determinarea nivelului de radioactivitate al acestora. Datorită dimensiunilor reduse ale detectorului (Figura 3) sistemul este ideal pentru identificarea și măsurarea rapidă a radionuclizilor prezenți în depozitele asociate hot-spot-urilor.



Fig. 2 – debitmetru γ FH40GL-10
(cu sonda FHZ 632L)



Fig. 3 – detector de CdZnTe

Pentru determinarea distribuției câmpurilor γ la nivelul Generatorilor de Abur monitorizarea include și zona adiacenta generatorilor de abur, în scopul identificării altor surse de radiații γ care ar reprezenta un risc semnificativ de expunere a personalului ce desfășoară activități în zona (ex: activități de inspecție generatori de abur). Un astfel de exemplu îl reprezintă identificarea unui hot-spot pe liniile Sistemului de Răcire la Avarie a Zonei Active BSI 34320, cu debite de doză γ la contact de aproximativ 70 mSv/h (Figura 4), în vecinătatea zonei de lucru a echipei de inspecție a Generatorului de Abur GA#1, Unitatea 2, Outage 2011. Caracterizarea punctului fierbinte a condus la stabilirea compoziției mixturii (predominant Co-60) și instalarea unui ecran temporar înainte de începerea lucrului.



Fig. 4 - Identificare hot-spot în camera Generatorului de Abur GA # 1, Unitatea 2, 2011

Activitățile de caracterizare includ atât determinări ale debitelor de doză γ în jurul schimbătoarelor de căldură ale Sistemului Principal Moderator 1(2)-3210-HX1/HX2 prin utilizarea debitmetrului γ FH40 G-L10 (cu sonda FHZ 632L), cât și măsurări γ spectrometrice in-situ. Determinările se realizează în aceeași geometrie de măsurare, pentru ambele schimbătoare de căldură, la ambele Unități, în fiecare Opre Planificată, pentru a permite compararea rezultatelor obținute în diferite sesiuni de măsurare și analiza evoluției acumulărilor de material radioactiv.

La prelucrarea și interpretarea rezultatelor modelul integrează caracteristicile structurale de proiect ale echipamentelor și sistemelor din zona fețelor reactorului (geometria sursei și a ecranelor), amplasarea sistemelor de detecție (geometria de măsurare) și rezultatele măsurărilor (debite de doză γ , compoziția mixturii de radionuclizi).

Aplicarea modelului are ca date de ieșire valori ale debitelor de doză γ și contribuția diferiților radionuclizi în orice punct de interes din zona de lucru. Un exemplu tipic de distribuție spațială a câmpurilor γ este prezentat în Figura 5.

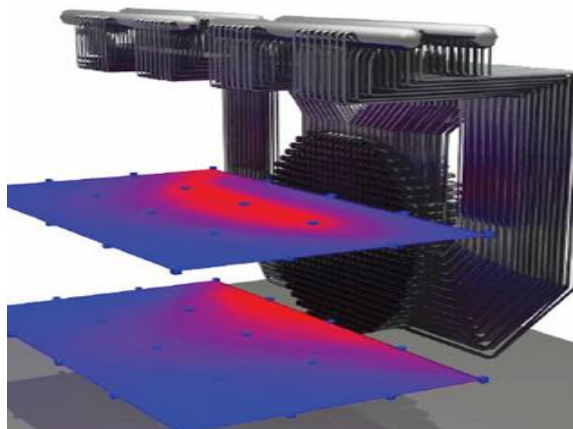
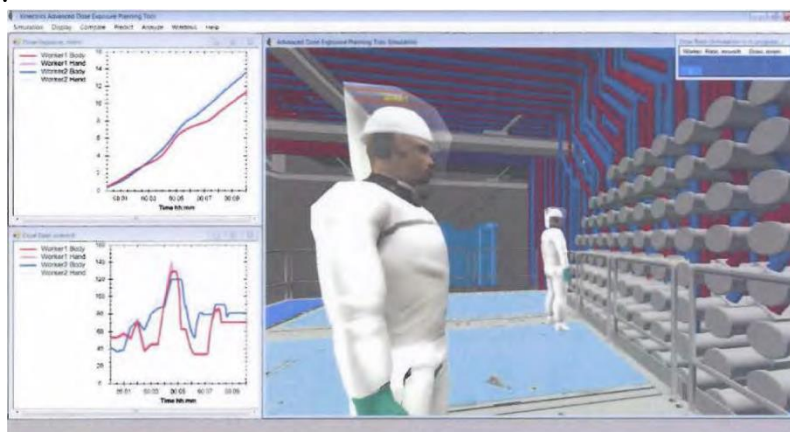


Fig. 5 – distribuția 3D a câmpurilor γ în vecinătatea fețelor reactorului

Modelul teoretic utilizat în cadrul proiectului de caracterizare a inventarului de radioactivitate din sistemele active ale centralei furnizează ca output și predicția câmpurilor gamma pentru opririle planificate viitoare, informație care este utilizată în evaluarea dozelor.

Rezultatele proiectului de caracterizare a inventarului de radioactivitate din sistemele active ale centralei, împreună cu modelul dezvoltat de Kinectrics pentru predicția câmpurilor gamma pentru opririle planificate viitoare pot fi introduse în sistemul expert de planificare a dozelor de expunere ADEPT (Advanced Dose Exposure Planning Tool), care oferă posibilitatea utilizării unui modul de realitate virtuală cu rol în pregătirea personalului.



Caracterizarea mediilor filtrante uzate (rășini schimbătoare de ioni și filtre mecanice) din circuitele de purificare ale sistemelor active ale centralei folosind spectroscopia gama, permite evaluarea inventarului de radionuclizi.

Rezultatele acestor analize pot fi corelate cu rezultatele activităților de caracterizare a câmpurilor gamma de pe fețele reactorului, a feeder-ilor sau generatoarelor de aburi obținute prin monitorizare în cadrul OATM. Activitatea de suprafață a principalilor radionuclizi ce contribuie la doza poate fi corelată cu activitatea netă depusă pe an.

Pe de altă parte, activitatea radionuclizilor din rășinile uzate ale schimbătorilor de ioni și filtrelor, poate fi, de asemenea, convertită în activitatea anuală eliminată din SPTC.

Comparația dintre cele 2 valori ne oferă o informație privind modul prin care sistemul de purificare asigură un control asupra câmpurilor de radiații din opririle planificate.

Pe lângă menținerea controlului chimic al agentului de răcire, rășinile schimbătoare de ioni utilizate în sistemul de purificare SPTC sunt concepute, în primul rând, pentru a reține contaminanții dizolvați ce pot fi încă prezenți în agentul de răcire după trecerea prin filtrele mecanice.

În unele cazuri, filtrele mecanice pot fi trecute pe by-pass, permițând intrarea agentului de răcire nefiltrat în coloanele schimbătoare de ioni. Performanțele diferitelor rășini schimbătoare de ioni utilizate pentru purificarea sistemului SPTC sunt evaluate pe baza gradului de îndepărtare a radioactivității din agentul de răcire. Următorii parametri sunt evaluați în analize :

- debitul de purificare;
- concentrația de radionuclizi în agentul de răcire SPTC;
- numărul de coloane și volumul acestora;

- tipul de rășini schimbătoare de ioni utilizate;
- durata de utilizare a rășinilor.-

Examinarea detaliată a debitelor de curgere (bleed) și a concentrațiilor de radioactivitate a agentului de răcire permit o estimare a activității totale a radionuclizilor ce au intrat în SPTC în timpul funcționării schimbătoarelor.

Pe de altă parte spectroscopia in-situ a rășinilor uzate permite estimarea activității radionuclizilor scoși din SPTC. Procentul de reducere a activității radionuclizilor de către coloanele schimbătoare de ioni poate fi evaluat din aceasta comparație.

Activitățile de monitorizare a inventarului de activitate la nivelul mediilor filtrante din circuitele de purificare ale sistemelor active ale Centralei sunt menite să asigure:

1. identificarea radionuclizilor emițători γ reținuți în mediile de filtrare uzate ale sistemelor active ale Centralei;
2. evaluarea activității totale corespunzătoare radionuclizilor emițători γ reținuți în mediile de filtrare din sistemele active ale Centralei;
3. determinarea distribuției spațiale a radionuclizilor emițători γ în mediile de filtrare din sistemele active ale Centralei;
4. evaluarea eficienței sistemelor de purificare (prin compararea inventarului de radioactivitate reținut cu cel generat în Zona Activă într-o perioadă dată de timp);
5. studiul comportamentului termenului sursă în urma schimbării dimensiunilor de filtrare de la 5 microni la 2 microni pentru sistemele de purificare MID și SPTC ale Centralei
6. optimizarea perioadei de utilizare a mediilor de filtrare ale sistemelor active și stabilirea strategiei de reducere a dimensiunii de filtrare mecanică.
7. reducerea riscurilor și costurilor asociate activităților de caracterizare, tratare, condiționare și depozitare a deșeurilor radioactive (filtre mecanice și rășini uzate), verificarea și îmbunătățirea controlului chimic al sistemelor active necesită monitorizarea sistematică a inventarului de radioactivitate reținut în mediile filtrante.
8. caracterizarea deșeurilor radioactive din această categorie pentru depozitarea finală la DFDSMA

Determinarea inventarului de radionuclizi reținuți de rășinile schimbătoare de ioni

În decembrie 2015 au fost monitorizate rășinile schimbătoare de ioni uzate provenite din sistemul de purificare SPTC, pentru determinarea inventarului de radionuclizi. Au fost efectuate spectrometrii gama in-situ pe durata transferului de rășini uzate de la clapetul de dedeuterare la tancurile de stocare. În figura 7 (partea stânga) de mai jos se poate observa amplasarea sistemului portabil de spectrometrie gama folosit pentru sistemele CANDU-6.

În mai 2019 a fost măsurată rășina din coloana IX4 de Moderator la U2 în timpul transferului din coloana de purificare în tancul de dedeuterare. În figura 8 (partea dreapta) de mai jos se poate observa configurația sistemului de transfer al rășinii.



Fig. 7. Aranjamentul de monitorizare a transferului de rășina uzată SPTC (2015)

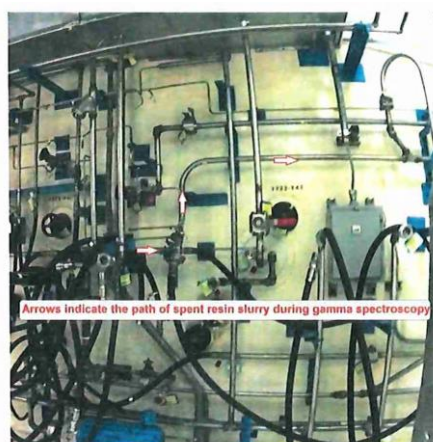


Fig. 8. Aranjamentul de monitorizare a transferului de rășina uzată SPTC (2019)

În urma investigațiilor efectuate transferul rășinii din SPTC au reieșit următoarele :

- distribuția radionuclizilor din rășina este cea așteptată, alcătuită din produși solubili de fisiune (precum I-131, La/Ba-140, Cs-137) și de asemenea (Sb-124 și Sb-125)
 - un nivel neașteptat de ridicat de radionuclizi Sn-113 a fost observat în rășina, ce poate fi investigat în continuare, analizând probele de crud din sistemul SPTC.
 - Nu au fost observați radionuclizi de Zr/Nb-95 în rășina, ceea ce indică că aceștia au fost reținuți eficient de către filtrele mecanice.
- În urma comparării rezultatelor exprimate în activitate specifică gamma (Bq/cm^3) dintre cele două tipuri de rășini măsurate la CNE Cernavodă au rezultat următoarele:
- Activitatea Co-60 din rășina de Moderator este cu aproape trei ordine de mărime mai mare decât a celei de SPTC
 - Activitățile specifice ale altor produși de activare precum Cr-51, Fe-59, Zn-65, Zr-95 și Nb-95 au fost de asemenea mai mari în cazul rășinii de Moderator decât a celei de SPTC.
 - Așa cum era de așteptat, în rășina de moderator au fost identificate și radionuclizi activați precum Tb-160 și Gd-153
 - În rășina de la Moderator au fost identificate activități foarte mici pentru produșii de fisiune Cs-137 și Cs-134, dar lipsesc din lista radionuclizilor identificați de la SPTC

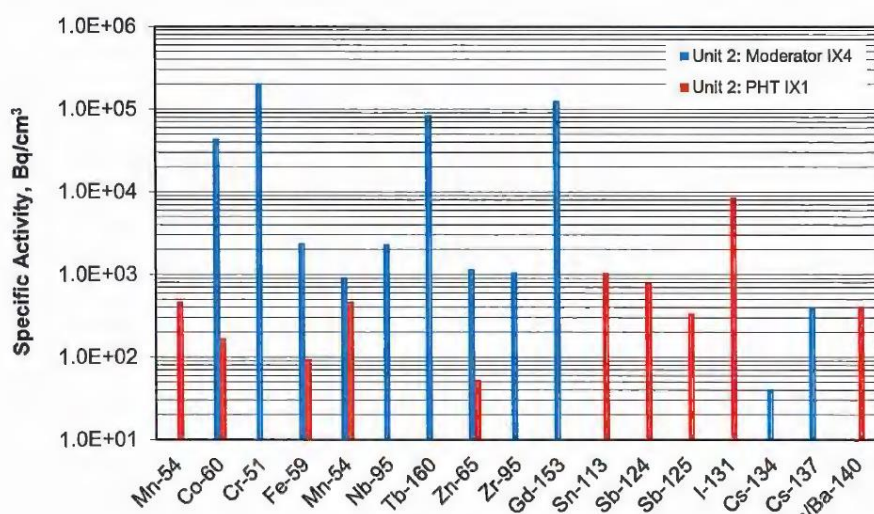


Fig. 9 - Compararea rezultatelor exprimate în activitate specifică gamma (Bq/cm^3) dintre cele două tipuri de rășini măsurate la CNE Cernavodă

Pe determinarea inventarului de radionuclizi reținut la nivelul filtrelor mecanice din sistemul de purificare SPTC la CNE Cernavodă s-au analizat până în prezent 3 cartușe filtrante rezultate din sistemul de purificare SPTC. După scoaterea din sistem, acestea au fost drenate și uscate în interiorul unor flaskuri, și apoi transferate în Modulul de stocare din Depozitul Intermediar de Deșeuri Solide Radioactive și așezate în cilindri din oțel carbon în interiorul incintei de beton. Cilindri sunt acoperiți fiecare cu câte un capac galben din fier, inscripționat cu un cod care reprezintă locația în modul. Cate doua rânduri de cilindri sunt acoperiți de o placă groasă de beton care are rol de ecranare.



Fig. 10. Cilindrii din oțel carbon în care sunt stocate cartușele filtrante

La filtrul 1-3335-FR1, extras din sistemul de purificare SPTC, monitorizările au avut loc în timpul încărcării în cilindrul de depozitare a. Astfel, filtrul 1-3335-FR1 a fost măsurat din lateral, pe segmente, porțiunea de cartuş aflată între cilindrul de depozitare și flask-ul de ecranare și transfer. Aceasta metoda, deși este mult mai complexa, din punct de vedere tehnic, oferă avantajul major al scanării pe porțiuni a filtrului.

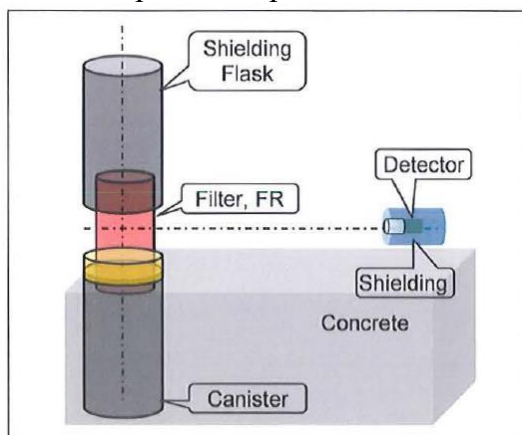


Fig. II.3.2. Scanarea pe porțiuni a filtrului

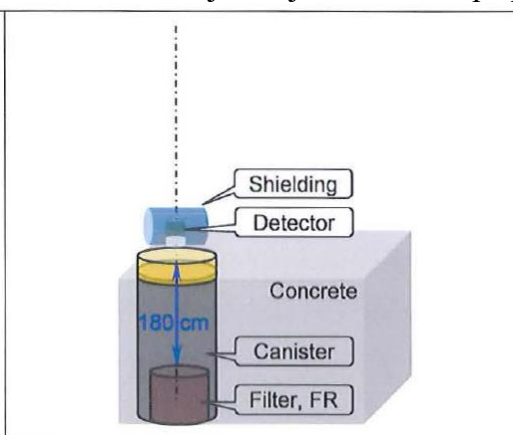


Fig. II.3.3. Scanarea în geometrie mai simplă

Aceasta campanie de monitorizare a fost reluată la începutul anului 2018 și va continua cu măsurarea filtrului mecanic aferent U1, cu dimensiune de filtrare de 5 microni în prima jumătate a anului 2019.

În cazul filtrelor uzate provenite de la U2 (2-3335-FR1/ FR2) a fost aleasă o metodă de măsurare mai simplă, detectorul fiind poziționat deasupra cilindrului metalici care conțineau filtrele mecanice. Aceasta metoda a fost abordată deoarece filtrele mecanice erau deja depozitate în cilindri la momentul efectuării spectrometriei gama și nu a existat o soluție pentru agățarea și scoaterea filtrelor din cilindri.

Rezultatele activităților de monitorizare a inventarului de activitate în mediile filtrante au fost interpretate și utilizate pentru a evalua eficacitatea componentelor sistemului de purificare SPTC în îndepărtarea contaminanților radioactivi din agentul de răcire primar. În prezent sunt puține date de radiochimie pentru probe de crud din SPTC. Aceste lacune trebuie abordate pentru a efectua evaluări suplimentare ale performanței sistemului de purificare SPTC. Cu toate acestea, pe baza rezultatelor analizelor care au fost efectuate cu datele disponibile în prezent, se pot trage următoarele concluzii:

- Distribuțiile activității radionuclizilor din rășina schimbătoare de ioni uzată de la Unitatea 2 arată că nu există contaminanți radioactivi sub formă de particule în acesta, pe baza absenței Zr-95, Nb-95 și Nb-94.
- Eficacitatea coloanelor de purificare care conțin rășina ionică Purolite pentru îndepărtarea Co-60, radionuclizii Sb-124 și Cs-137 era de așteptat să fie scăzută, pe baza evaluărilor efectuate pentru componente similare la stația Pickering.
- Estimările cantității de crud reținută în filtrul mecanic uzat (2-3335-FR2) la U2 sunt în acord cu valoarea proiectată de crud în SPTC în timpul duratei petrecute în sistem. Aceasta indică faptul că majoritatea contaminanților radioactivi sub formă de particule în purificare lichidul de răcire a fost îndepărtat prin acest filtru mecanic așa cum a fost proiectat.
- Există oportunitatea unică de a compara inventarul de radioactivitate din filtrele mecanice aferente sistemului de purificare SPTC care au dimensiuni de filtrare de 5 microni, cu cele care au dimensiuni de filtrare de 2 microni, aflate acum în sisteme la ambele unități. Rezultatele acestui studiu vor permite determinarea eficienței de reținere a noilor filtre mecanice și estimarea impactului asupra câmpurilor gama din opririle planificate.

CONCLUZII

Prin derularea acestor proiecte, CNE Cernavodă reușește să îndeplinească, punct cu punct, obiectivele propuse în cadrul strategiei de gestionare a termenului sursă și să facă pași importanți în atingerea obiectivelor pe termen lung. Continuarea proiectelor de caracterizare și aplicarea măsurilor de control reprezintă soluția pentru minimizarea riscurilor de expunere a personalului.

În cadrul proiectului de caracterizare a câmpurilor gamma s-au făcut progrese importante de-a lungul timpului, derularea pe termen lung permițând predicția în avans cu un an a câmpurilor din opririle

planificate. Astfel s-a obținut un control mai bun în optimizarea procedurilor de lucru și estimarea dozelor încasate.

Prin monitorizarea inventarului de radioactivitate la nivelul mediilor filtrante se pot determina eficiențele de reținere ale cartușelor filtrante cu diferite dimensiuni de filtrare (5μm și 2μm). Prin comparația eficiențelor și în urma analizelor viitoare se poate recomanda reducerea dimensiunilor de filtrare până la dimensiunea de 0.4 μm.

Exista preocupări pentru îmbunătățirea controlului chimic pentru reducerea ratei de coroziune din SPTC prin achiziționarea unui sistem mai precis de determinare a PH-ului din sistem care să permită controlul mai precis, menținerea PH-ului apropiat de limita inferioară de 10.2 impusă de DM chimic, pentru asigurarea unei rate mici de coroziune.

OPEX-ul extern indică existența unor rășini schimbătoare de ioni cu o eficiență mult mai mare de reținere a radioactivității decât a celei pe care o avem disponibilă la CNE Cernavodă.

La momentul actual, la CNE Cernavodă este implementat un program integrat de analiză și predicție a evoluției câmpurilor γ pe baza modificării parametrilor chimici și/sau nivelului de radioactivitate în sistemele active între două Opriri Planificate la aceeași Unitate nucleară. Controlul chimic de rutină al sistemelor este focalizat pe măsurarea și menținerea parametrilor fizico-chimici în limitele prevăzute în specificațiile tehnice, fără o analiză de tendință pentru nivelurile de concentrație a produșilor de coroziune activați responsabili de generarea câmpurilor γ în vecinătatea sistemelor active ale Centralei.

Prin acest program, CNE Cernavodă va avea la dispoziție analiză integrată anuală care va conține rezultatele obținute în anii anteriori și o predicție bazată pe aceste date pentru evoluția câmpurilor γ în sistemele active ale Centralei. De asemenea va avea acces în continuare la ghidul dezvoltat de COG cu măsuri pentru reducerea dozelor de expunere a personalului.

Activitatea de caracterizare a câmpurilor gamma la nivelul fețelor reactorului este inclusă în strategia de reducere a expunerii profesionale pe termen mediu și lung la CNE Cernavodă, strategie prezentată în documentul IR-96002-035.

Recomandările primare pentru reducerea termenului sursă în SPTC, formulate pe baza datelor din analiza de tendință OATM și a predicției câmpurilor de radiații în apropierea fețelor Reactorului sunt:

- Analiza performanței actuale și a potențialelor îmbunătățiri asupra eficienței sistemului de purificare SPTC
- Controlul chimic al agentului primar de răcire pentru optimizarea ratei de coroziune.

O metodă de reducere a expunerii personalului care efectuează activități precum cele de inspecție feederi, inspecție ansamble canal-combustibil, reajustare capete canal combustibil, întreținere preventivă pod mobil MID, montare-demontare panouri și izolație termică cabineți feederi etc., care are la bază recomandări și OPEX extern, este instalarea ecranelor temporare pe fețele reactorului pe durata opririlor planificate. Experiența de la Pickering arată reducerea cu un factor de 50% a debitelor de doză la 50 de cm de față reactorului în urma instalării ecranelor temporare.

Achiziționarea unui sistem expert modern pentru planificarea dozelor de expunere, ADEPT, cu modul de realitate virtuală, pentru pregătirea și evaluarea lucrărilor cu risc mare de expunere a personalului.

Noutăți privind monitorizarea echivalentului de doză la nivelul cristalinului, Hp(3) la CNE Cernavodă

Cătălina Chițu(*Catalina.Chitu@cne.ro*); **A. Nedelcu; Liliana Aurelia Samson;**

D. F. Albu; Georgeta Thiery

S.N. Nuclearelectrica S.A. - CNE-Cernavodă

Departamentul de Radioprotecție, Securitatea Muncii și PSI

Str. Medgidiei nr. 2, Cernavoda 905200

Rezumat

Pentru a reduce riscul apariției unor reacții tisulare ale cristalinului Comisia Internațională de Protecție Radiologică (ICRP) a recomandat ca limita de doză echivalentă anuală pentru cristalin, pentru expunerea profesională, să se reducă de la 150 mSv la 20 mSv.

Reducerea limitei legale de doză pentru cristalin va necesita reevaluarea programului de monitorizare a dozelor precum și a practicilor de radioprotecție.

O dată cu scăderea apreciabilă a limitei de doză echivalentă pentru cristalin de la 150 la 20 mSv an este necesar, cel puțin, să se efectueze măsurători prospective pentru a demonstra faptul că expunerea cristalinului se încadrează în noile limite. La CNE Cernavodă s-a derulat în perioada 17.09.2019 - 16.11.2020 contractul de servicii de evaluare a echivalentului de doză la nivelul cristalinului, Hp(3), serviciile fiind asigurate de către un laborator specializat: SC Dozimed SRL.

Am verificat potențialul de expunere a cristalinului la lucrările de inspecții și întreținere la fețele reactorului din oprirea planificată a Unității 1, la lucrările de întreținere / reparații la mașinile de încărcat / descărcat și la activitățile de încărcare combustibil proaspăt de la ambele unități, în perioada octombrie 2019 - noiembrie 2020. Identificarea acestor activități a avut la bază experiența de exploatare internă și externă, precum și recomandările instituțiilor care au desfășurat activități de cercetare în acest domeniu.

Rezultatele măsurărilor efectuate nu au identificat categorii de lucrători sau activități care să impună utilizarea dozimetrelor pentru cristalin: dozele măsurate de dozimetrele de cristalin sunt egale sau mai mici decât doza efectivă externă gamma măsurată de TD-ul individual sau de cel electronic.

Studii similare efectuate în alte centrale nucleare (PWR, PHWR) au ajuns la aceleași concluzii: nu au fost identificate activități care să ducă la expunerea cristalinului la doze mai mari decât cele înregistrate de dozimetrele folosite pentru măsurarea dozei pe întregul corp.

Pentru expunerea la radiații beta, monitorizarea dozimetrică a cristalinului este necesară numai dacă energia maximă a electronilor depășește 700 keV. La CNE Cernavodă nu a fost efectuată o caracterizare a spațiilor din zona radiologică 1 din punct de vedere al debitelor de doză și energiei radiației beta.

La CNE Cernavodă ochelarii de protecție folosiți pentru accesul în zona radiologică 1 și în anumite încăperi din zona radiologică 2 asigură protecția ochilor împotriva riscurilor mecanice, protecție la impact și protecție împotriva radiațiilor beta, cu un coeficient de atenuare de 99.2% a radiațiilor beta de energie de 708.6 KeV (^{36}Cl).

Sistemul Informatic de Înregistrare a Dozelor (DoseRecords) va fi modificat pentru a permite monitorizarea și raportarea dozelor echivalente pe cristalin.

1. INTRODUCERE

Conform celor mai recente cercetări riscul de apariție a cataractei ca urmare a expunerii cristalinului la radiații ionizante este mai ridicat decât cel estimat anterior. Pentru a reduce acest risc ICRP – Comisia Internațională de Protecție Radiologică - a recomandat reducerea limitei de doză echivalentă anuală pentru cristalin, pentru expunerea profesională, de la 150 mSv la 20 mSv. Această modificare a fost preluată de legislația românească, conform Ordinului CNCAN nr. 136/ 2018 “Norme privind cerințele de bază de securitate radiologică”, și în Normele de dozimetrie individuală și radon, aprobate prin Ordinul CNCAN 180/2020.

“Titularul de autorizație (CNE Cernavodă) trebuie să asigure măsuri de protecție radiologică în toate locurile de muncă în care există posibilitatea ca lucrătorii să fie expuși la o doză echivalentă la cristalin de 15 mSv pe an.”

“În cazurile în care lucrătorii de categorie A sunt în situația de a primi mai mult de 15 mSv/an la cristalin, trebuie să fie utilizat un sistem adecvat de monitorizare dozimetrică individuală; [...]”

Reducerea limitei legale de doză pentru cristalin necesită reevaluarea programului de monitorizare a dozelor precum și a practicilor de radioprotecție. De la data publicării ICRP 118 au fost efectuate, și sunt în continuare în derulare, mai multe studii, privind efectul expunerii cristalinului la radiații, identificarea categoriilor de lucrători și a tipurilor de activități (în centralele nucleare) cărora li se poate asocia o expunere a cristalinului semnificativă din punct de vedere al detrimentului asupra sănătății, metoda de calcul a dozei pe cristalin, tipuri de dozimetre care ar putea fi folosite pentru măsurarea cu acuratețe acceptabilă a dozei pe cristalin, etc.

În acest context, la CNE Cernavodă s-a derulat în perioada 17.09.2019 - 16.11.2020 contractul de servicii de evaluare a echivalentului de doză la nivelul cristalinului, Hp(3), pentru radiații fotonice și beta. Deoarece laboratorul de dozimetrie individuală al CNE Cernavodă nu este desemnat ca organism notificat de dozimetrie individuală pentru dozimetria cristalinului a fost necesară asigurarea acestor servicii de către un laborator specializat: SC Dozimed SRL.

Scopul achiziției acestor servicii a fost verificarea din punct de vedere al potențialului de expunere a cristalinului la lucrările de inspecții și întreținere la fețele reactorului din oprirea planificată a Unității 1 și la lucrările de întreținere / reparații la mașinile de încărcat / descărcat și la activitățile de încărcare combustibil proaspăt de la ambele unități, în perioada octombrie 2019 - noiembrie 2020.

Identificarea acestor activități a avut la bază experiența de exploatare internă și externă, precum și recomandările instituțiilor care au desfășurat activități de cercetare în acest domeniu. Cele mai multe activități de acest gen s-au desfășurat în perioada Opririi Planificate a Unității 1, între 20 iunie - 5 august 2020.

Programul de dozimetrie al CNE Cernavodă va fi revizuit pentru a asigura conformitatea cu cerințele "Normelor privind cerințele de bază de securitate radiologică" referitor la înregistrarea dozei echivalente pe cristalin.

2. PREVEDERILE ACTUALE ALE LEGISLAȚIEI ROMÂNEȘTI ȘI ALE PROCEDURILOR DE LA CNE CERNAVODĂ

Directiva 2013/59/EURATOM, articolul 9, par. (3)(a) "Limitele de doză pentru expunerea profesională"

"Limita de doză pentru cristalin este de 20 mSv într-un singur an sau 100 mSv pentru orice perioadă de 5 ani consecutivi sub rezerva unei doze maxime de 50 mSv într-un singur an, astfel cum se specifică în legislația națională."

Ordin CNCAN 136/2018 – Norme privind cerințele de bază de securitate radiologică

Art. 54. Cu respectarea prevederilor art. 53, sunt valabile și următoarele limite de doză echivalentă:

a) Limita de doză echivalentă pentru cristalin este 20 mSv într-un singur an;

Art.90. (1) Întreprinderea trebuie să asigure măsuri de protecție radiologică în toate locurile de muncă în care există posibilitatea ca lucrătorii să fie expuși la o doză efectivă mai mare de 1mSv pe an sau la o doză echivalentă de 15 mSv pe an pentru cristalin sau 50 mSv pe an pentru piele și extremități.

(2) Măsurile prevăzute la alin. (1) trebuie să corespundă atât naturii instalațiilor și surselor, cât și amplitudinii și naturii riscurilor, și sunt detaliate în reglementările specifice pentru fiecare tip de practică emise de CNCAN.

Art. 101. Lucrătorii expuși profesional se clasifică în două categorii:

a) categoria A: acei lucrători expuși profesional care sunt în situația de a primi o doză efectivă mai mare de 6 mSv pe an sau o doză echivalentă mai mare de 15 mSv pe an pentru cristalin sau mai mare de 150 mSv pe an pentru piele și extremități;

b) categoria B: acei lucrători expuși profesional care nu se încadrează în categoria A.

Ordin CNCAN 180/2020 Normele de dozimetrie individuală și radon

Purtarea dozimetrelor pentru cristalin

Art. 46. - (1) În cazurile în care lucrătorii de categorie A sunt în situația de a primi mai mult de 15 mSv/an la cristalin, trebuie să fie utilizat un sistem adecvat de monitorizare dozimetrică individuală; [...].

(3) Dozimetrul pentru cristalin trebuie să fie plasat lângă ochi, pe cât este posibil în contact cu pielea și orientat către sursa de radiații.

A12.3 Dozimetria cristalinului.

A12.3.1 Monitorizarea dozimetrică a cristalinului implică măsurarea Hp (3), mărimea operațională utilizată pentru evaluarea dozei la cristalin. Dacă este cunoscut câmpul de radiații, Hp (3) poate fi estimat utilizând dozimetre cu testare de tip și etalonate pentru măsurarea altor mărimi operaționale cum sunt Hp (0,07) și Hp (10), întrucât în multe cazuri și în funcție de câmpul de radiații acestea pot conduce la o estimare adecvată a dozei la cristalin.

A12.3.2 Monitorizarea dozimetrică a cristalinului trebuie să fie luată în considerare în mod specific pentru acele locuri de muncă în care ochii pot fi deosebit de aproape de emițătorul de radiații (care poate fi și o sursă de radiații împrăștiate) ori de fasciculul de radiații (de exemplu în radiologia intervențională), în timp ce alte părți ale corpului pot fi protejate, de exemplu purtând un șorț de protecție radiologică cu conținut de plumb. De asemenea, lucrătorii expuși la radiații beta de mare energie pot primi doze semnificative la cristalin.

A12.3.3 Pentru radiații beta, monitorizarea dozimetrică a cristalinului este necesară numai dacă energia maximă a electronilor depășește 700 keV. Dacă se poartă ecrane de protecție a ochilor suficient de groase pentru a absorbi radiația beta, trebuie să fie luată în considerare numai expunerea la fotoni, însă se ține cont și de contribuția bremsstrahlung produsă de radiațiile beta de mare energie.

A12.3.4 Dozimetrul pentru cristalin trebuie să fie purtat cât mai aproape de ochi, în contact cu pielea dacă este posibil, și orientat către sursa de radiații.

SI-01365-RP018, rev. 4 / 2016 – Programul de dozimetrie a personalului la CNE Cernavodă

3.2.3 Doza echivalentă pe cristalin

Doza echivalentă pe cristalin, datorată expunerii externe, este doza echivalentă în țesutul moale la o adâncime de 3 mm (300 mg/cm^2). Mărimea operațională folosită în dozimetria individuală pentru măsurarea dozei echivalente pe cristalin este Hp(3).

Notă: În statele membre UE nu se recomandă măsurarea mărimii operaționale Hp(3) cu scopul limitării expunerii cristalinului. În majoritatea cazurilor, cu excepția unui domeniu îngust de radiații beta cu energii între 1 și 2 MeV, s-a demonstrat că dacă Hp(10) și Hp(0.07) sunt menținute sub limitele de doză respective nici limita de doză echivalentă pe cristalin, de 150 mSv, nu va fi depășită. [CE, Radiation Protection No. 160] [...].

3. PROTECȚIA OCHILOR / CRISTALINULUI

În industria nucleară sunt două metode principale de protejare a cristalinului împotriva expunerii la doze mari de radiații: aplicarea principiului ALARA la expunerea la radiații gamma a capului și ochilor și reducerea dozelor de la radiații nepenetrante la nivelul cristalinului prin protecția ochilor împotriva radiațiilor beta de energie înaltă (mai mare de 0.7 MeV). Echipamentele de protecție individuală precum ochelari de protecție, ecranele faciale, și părți din echipamentul de protecție respiratorie (gluga capișon) pot asigura o protecție eficientă în medii de lucru cu radiații beta de energie mare.

Debitele de doză beta pure sau predominant beta nu sunt foarte întâlnite într-o centrală nucleară; debitul de doză beta poate fi o componentă importantă dar energiile beta trebuie să depășească 0.7 MeV pentru afectarea cristalinului.

3.1 Utilizarea echipamentelor de protecție a ochilor

Cu o limită de doză pe cristalin redusă la 20 mSv/an, contribuția ochelarilor de protecție, a vizierelor sau a altor echipamente (gluga de Tyvek cu vizieră din policarbonat, etc.) la reducerea dozei la nivelul ochilor este esențială.

Conform practicilor aplicabile la CNE Cernavodă, a regulilor de radioprotecție și protecția muncii, orice lucrător care intră în zona controlată radiologic 1, sau desfășoară orice activitate considerată “lucru în câmp de radiații” (cu probabilitate de expunere la doze mai mari decât limita admisă pentru o persoană din public), va folosi în mod obligatoriu echipamentul de protecție constând în cască, ochelari și pantofi de protecție. În funcție de pericolele radiologice asociate activității la acestea se mai pot adăuga echipamente de protecție respiratorie sub formă de semimăști cu filtre sau alimentate cu aer, sau dispozitiv Ram’s Horn cu aducțiune a aerului împreună cu gluga capișon din Tyvek.

Modelele de ochelari utilizate de centralele membre COG și grosimea lentilelor declarată de fabricant sunt prezentate în ANEXA 1. Toate modelele au lentile de policarbonat cu densitate de 1.2 g cm⁻³. Grosimea măsurată în centrul lentilei variază între 2.03 și 2.84 mm și nu este constantă pe toată suprafața lentilei.

La CNE Cernavodă sunt folosite modelele de la firma Honeywell: XC BLUE TRANSPARENT și ARMAMAX AX (Figura 1).

Aceste modele asigură protecția ochilor împotriva riscurilor mecanice, protecție la impact și **protecție împotriva radiațiilor beta** (conform ASR). Conform raportului de testare, ochelarii asigură un coeficient de atenuare de 99.2% a radiațiilor beta de energie de **708.6 KeV** emise de o sursă de ³⁶Cl.



ARMAMAX AX

XC BLUE

Figura 1 Ochelari de protecție utilizați la CNE Cernavodă (Honeywell)

3.2 Estimarea dozei pe cristalin înainte de lucrare

Există activități la care condițiile de câmp pot conduce la doze pe cristalin mai mari decât cele pe întreg corpul:

- Activități la care gradientul de doză conduce la o doză la nivelul ochilor mai mare decât doza pe întregul corp, în particular activitățile la care sursa este deasupra capului sau în zone în care corpul este mai ecranat decât capul.
- Activitățile care implică manipularea combustibilului defect (modificările amestecului de radionuclizi și implicit a energiilor); în aceste condiții câmpurile de radiații beta cu energie mare de la gazele nobile și electroni secundari de la radiațiile gamma cu energie mare trebuie să fie evaluate din perspectiva protecției cristalinului.

În măsură în care contribuția radiațiilor beta la doza încasată de cristalin este / poate fi redusă / eliminată prin utilizarea echipamentelor de protecție specifice (ochelari de protecție), evaluarea lucrărilor va trebui să identifice situațiile în care, din cauza câmpurilor de radiații externe gamma, debitele de doză la nivelul capului sunt mai mari decât la nivelul toracelui. În astfel de situații se poate decide fie relocarea dozimetruului individual (TLD) fie utilizarea dozimetriei multiple.

Este necesar ca procedurile să fie elaborate în așa fel încât personalul de radioprotecție să poată identifica situațiile în care pot apărea situațiile descrise mai sus și să ia măsurile necesare pentru protejarea și / sau monitorizarea cristalinului.

4. MONITORIZAREA DOZEI PE CRISTALIN LA CNE CERNAVODĂ

Cea mai precisă metodă de măsurare a dozei pe cristalin $H_{\text{cristalin}}$, este cea de măsurare a dozei echivalente individuale la adâncimea de 3 mm, $H_p(3)$ cu un dozimetru purtat cât mai aproape posibil de ochi și calibrat pe o fantomă reprezentativă pentru cap. Atunci când nu este ușor de aplicat $H_p(3)$ se poate evalua cu ajutorul $H_p(10)$ sau $H_p(0.07)$ ambele măsurate cu dozimetre purtate la nivelul toracelui, sau cu un dozimetru pentru piele, $H_p(0.07)$, purtat lângă ochi.

Conform contractului încheiat, SC DOZIMED SRL a asigurat servicii de evaluare a echivalentului de doză la nivelul cristalinului, $H_p(3)$, pentru radiații fotonice și beta, în perioada 17.09.2019 - 16.11.2020.

SC Dozimed SRL a asigurat în perioada contractuală servicii complete prin care a pus la dispoziție dozimetre și le-a procesat pentru determinarea dozelor echivalente la nivelul cristalinului.

Au fost utilizate pentru scopul Opririi Planificate 2020 un număr de 72 dozimetre, iar pentru activități desfășurate în perioadele de operare normală un număr de 32 de dozimetre.

4.1 Caracteristici și Specificații tehnice ale dozimetrelor folosite

- tip detector TLD – 100 (LiF : Mg,Ti)- DXTRAD, XD-100, produs de firma Harshaw
- dimensiuni detector: ϕ 3 x 0,38 mm
- tipul radiațiilor detectate: beta, X și gamma
- mărimea raportată: $H_p(3)$
- domeniul de măsură: 0,1 mSv – 10 Sv
- domeniul de energie beta: 10 keV – 1,4 MeV
- domeniul de energie fotoni: 10 keV – 1,4 MeV



Dozimetrul TLD pentru cristalin este sigilat pe o bandă de plastic de tip VELCRO ajustabilă, ce se prinde de cap.

Figura 2: Dozimetrul și bentița Harshaw / Thermo EXTRAD

4.2 Rezultatele monitorizărilor dozei echivalente pe cristalin $H_p(3)$

Conform studiilor efectuate de alte organizații din domeniul energiei nucleare, activitățile desfășurate în perioadele de operare normală a unei centrale nucleare nu au potențial de expunere a cristalinului, în această categorie putând intra acele activități pentru care:

- debitele de doză gamma $> 1\text{mSv/h}$ la nivelul toracelui și, anticipat, și la nivelul capului;
- poate apărea expunerea la câmpuri de radiații beta - debitele de doză beta pure sau predominant beta; debitul de doză beta poate fi o componentă importantă dar energiile beta trebuie să depășească 0.7 MeV pentru afectarea cristalinului;
- activități la care ochii pot fi deosebit de aproape de emițătorul de radiații ori de fasciculul de radiații, așa cum se întâmplă, de exemplu, în radiologia intervențională.

În timpul opririlor planificate se desfășoară activități la care debitele de doză gamma $> 1\text{mSv/h}$ la nivelul toracelui și, anticipat, și la nivelul capului pot avea valori asemănătoare.

În perioada de monitorizare au fost folosite dozimetre pentru cristalin la 2 activități de întreținere a Mașinii de Încărcat / Descărcat Combustibil, și la activitățile de încărcare combustibil proaspăt în ambele unități.

De asemenea, au fost alocate dozimetre pentru cristalin lucrătorilor implicați în activitățile din Oprirea Planificată a Unității 1, 20.06. - 03.08.2020:

- PM-594 Program măsurători grosime feederi ieșire față A și C;
- U1-PL-18-0121 / 1-33126-FDRG13A - înlocuire porțiune subțiată;
- Inspecție canale combustibil;
- Verificări interspații feeder - jug;
- U1-PM-0638, Verificare defecte tubing cabineți;
- U1-PM-681 - Inspecție suport consolă ansamblu feederi;
- Inspecție fittinguri terminale canale combustibil;

- Întreținere / spălare placă tubulară 3311-BO1;BO4 (PM-0672/0675);
- 1-33135 - Înlocuire saltele de izolație termică pe față A/C;
- Caracterizare gama pe fețe reactor U1-OP20.

Dozele înregistrate de dozimetrele pentru cristalin au avut valori cuprinse între 0.1 și 11.06 (± 1.66) mSv. Rezultatele obținute au arătat că dozele înregistrate de dozimetrul pentru cristalin sunt aproximativ egale cu dozele externe gama pe întreg corpul măsurate de dozimetrul electronic PAD purtat la nivelul toracelui. În cazul persoanelor care în timpul U1OP20 au participat doar la lucrarea de înlocuire a porțiunii subțiate a 1-33126-FDRG13A, dozele înregistrate de dozimetrul de cristalin au putut fi comparate atât cu indicația PAD cât și cu cea a TLD - Hp(10) și Hp(0.07).

Pentru dozele > 1 mSv (atât pe PAD/TLD cât și pe dozimetrul de cristalin), cu 2 excepții, dozele înregistrate de dozimetrul de cristalin sunt mai mici decât cele înregistrate de PAD și TLD.

În măsura în care există o diferență substanțială între cele două valori, în sensul în care dozele înregistrate de PAD sunt sistematic mai mari decât cele înregistrate de dozimetrul pentru cristalin, înseamnă că există o pondere foarte scăzută a radiației beta de energie mare și, prin urmare, doza echivalentă pe cristalin este mai mică sau cel mult egală cu doza externă pe întreg corpul sau / și cu doza externă superficială.

Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate în Tabelul 1.

Incertitudinile privind acuratețea dozelor înregistrate de dozimetrul pentru monitorizarea expunerii cristalinului provin din:

- Modul în care dozimetrele tip bentiță sunt purtate, coroborat cu obligativitatea utilizarea echipamentelor de protecție constând cel puțin din ochelari și cască de protecție (la care se poate adăuga gluga capișon din tyvek). Astfel dozimetrul este /poate fi acoperit atât de marginea ochelarilor de protecție (nu de lentile) cât și de bentița de susținere și cozorocul căștii de protecție.
- Modul în care aceste dozimetre sunt utilizate în timpul lucrării, și dacă sunt utilizate, este foarte greu de controlat. În momentul admiterii la lucru tehnicianul control radiații poate verifica fiecare lucrător în parte dacă poartă dozimetrul alocat și dacă o face în mod corect. În timpul lucrărilor ar trebui ca cel care ar realiza astfel de verificări să ceară lucrătorului să își scoată ochelarii, cască și eventual echipamentul de protecție respiratorie.

5.0 CONCLUZII

- În urma măsurărilor efectuate în perioada 17.09.2019 - 16.11.2020:
 - Nu am identificat activități de rutină sau lucrări de întreținere care să conducă la doze echivalente pe cristalin care să depășească 15 mSv/an.
 - Nu am identificat categorii de personal pentru care doza echivalentă pe cristalin, încasată din activități de rutină, mentenanță în condiții de operare normală, lucrări de mentenanță preventivă, program de inspecții obligatorii din opririle planificate, să depășească 15 mSv/an.
 - Pentru situațiile în care dozele > 1 mSv (atât pe PAD/TLD cât și pe dozimetrul de cristalin), dozele echivalente Hp(3) măsurate de dozimetrele pentru cristalin au fost mai mici sau cel puțin comparabile cu dozele efective gamma măsurate cu dozimetrele electronice PAD pentru activitățile la care s-a asigurat monitorizarea. Pentru lucrătorii care în oprirea planificată a U1 din 2020 au participat la o singură activitate (înlocuirea porțiunii subțiate a feeder-ului G13), dozele măsurate de dozimetrul pentru cristalin au putut fi comparate și cu indicația dozimetrului termoluminescent individual, Hp(10)g, și Hp(0.07)bg, valorile Hp(3) fiind mai mici decât celelalte 2 mărimi dozimetrice.
 - În condițiile în care pentru orice activitate desfășurată în zona radiologică 1 este obligatorie utilizarea ochelarilor de protecție este asigurată protecția ochilor la expunerea la radiații beta, inclusiv la cele cu energii mai mari de 0.7 MeV. Utilizarea echipamentelor de protecție respiratorie, precum dispozitiv Ram's Horn și costum de plastic împreună cu gluga capișon asigură o protecție suplimentară a ochilor.

În ceea ce privește categoriile de lucrători și tipurile de activități evaluate în cadrul acestei campanii monitorizarea strictă a dozei efective externe și a dozei efective totale, și menținerea acestora sub valoarea de 15 mSv/an va asigura inclusiv menținerea dozei echivalente pe cristalin sub limita de doză legală de 20 mSv/an.

Pentru îndeplinirea acestui obiectiv este esențială utilizarea instrumentelor ALARA, de optimizare a expunerilor profesionale la radiații ionizante, instrumente care sunt îmbunătățite continuu și care și-au dovedit eficiența în cei 25 de ani de exploatare a centralei de la Cernavodă.

Tabelul 1 Rezultatele măsurării dozei echivalente la nivelul cristalinului Hp(3) la CNE Cernavodă

Nume și Prenume	Data start	Data stop	RWP	MGP TASK	Hp(0.3) mSv	eroare	PAD	TLD
Task MGP 12638; RWP 4322 1-33135 Înlocuire saltele de izolație termică pe fața A/C								
LEP 1	26.06.2020	02.08.2020	4322	12638	1.96	±0.29	2.243	
LEP 2	26.06.2020	02.08.2020	4322	12638	1.38		1.795	
LEP 3	26.06.2020	02.08.2020	4322	12638	1.92	±0.29	2.089	
LEP 4	26.06.2020	02.08.2020	4322	12638	2.03	±0.30	2.462	
LEP 5	30.07.2020	02.08.2020	4322	12638	2.23	±0.33	2.476	
LEP 6	30.07.2020	02.08.2020	4322	12638	1.92	±0.29	2.458	
LEP 7	30.07.2020	02.08.2020	4322	12638	1.29		2.079	
LEP 8	30.07.2020	02.08.2020	4322	12638	2.17	±0.33	2.372	
Task MGP 12266; RWP 3873 U1-PM-0638 Verificare defecte tubbing în cabineți feederi								
LEP 9	25.06.2020	17.07.2020	3873	12266	0.34		0.252	
LEP 10	25.06.2020	17.07.2020	3873	12266	0.21		0.268	
LEP 11	25.06.2020	17.07.2020	3873	12266	0.47		0.241	
LEP 12	25.06.2020	27.07.2020	3873	12266	0.27		0.224	
Task MGP 12671; RWP 4405 1-33126-FDR05A								
LEP 13	31.07.2020	02.08.2020	4405	12671	0.6		0.987	
LEP 14	31.07.2020	02.08.2020	4405	12671	0.75		0.571	
Task MGP 12633; RWP 4020 PM 597 Examinare UT la coturi feederi fața A								
LEP 15	04.07.2020	02.08.2020	4020	12633	0.28		0.253	
Task MGP 12635; RWP 4026 PM 594 Program măsurători grosime feederi ieșire								
LEP 16	04.07.2020	02.08.2020	4026	12635	4.04	±0.61	3.573	
LEP 17	04.07.2020	02.08.2020	4026	12635	2.18	±0.33	2.868	
LEP 18	05.07.2020	02.08.2020	4026	12635	2.68	±0.4	2.797	
LEP 19	05.07.2020	02.08.2020	4026	12635	3.31	±0.5	3.802	
LEP 20	05.07.2020	02.08.2020	4026	12635	3.05	±0.46	3.551	
LEP 21	06.07.2020	02.08.2020	4026	12635	1.17		1.93	
LEP 22	07.07.2020	02.08.2020	4026	12635	1.05		1.74	
LEP 23	07.07.2020	02.08.2020	4026	12635	2.2	±0.33	3.255	
LEP 24	07.07.2020	02.08.2020	4026	12635	0.31		0.36	
LEP 25	07.07.2020	02.08.2020	4026	12635	1.05		2.556	
LEP 26	07.07.2020	02.08.2020	4026	12635	0.49		0.602	
Task MGP 12650 RWP 4019 PM-595 Verificare interspații feeder-jug- fittinguri terminale feederi								
LEP 22	25.06.2020	02.08.2020	4019	12650	1.4		1.608	
LEP 27	25.06.2020	02.08.2020	4019	12650	1.43		1.767	
LEP 15	25.06.2020	02.08.2020	4019	12650	1.49		1.506	
LEP 28	25.06.2020	02.08.2020	4019	12650	1.56		2.03	
LEP 29	26.06.2020	02.08.2020	4019	12650	0.84		0.763	
LEP 21	26.06.2020	04.07.2020	4019	12650	0.9		1.307	
Task MGP 12661 RWP 4394 PM 595 verificare interspațiu feeder-jug								
LEP 23	02.07.2020	02.08.2020	4394	12661	1.08		1.221	
LEP 19	02.07.2020	02.08.2020	4394	12661	0.14		0.112	
LEP 25	02.07.2020	02.08.2020	4394	12661	1.79	±0.27	1.164	
LEP 15	02.07.2020	02.08.2020	4394	12661	0.28		0.395	
LEP 21	26.06.2020	04.07.2020	4394	12661	1.15		1.225	
LEP 16	02.07.2020	02.08.2020	4394	12661	0.16		0.011	
Task MGP 12629 RWP 3933 U1- PM-1018 - Inspecție canale de combustibil								

LEP 30	03.07.2020	02.08.2020	3933	12629	1.54		1.637	
LEP 31	03.07.2020	22.07.2020	3933	12629	1.02		1.419	
LEP 32	06.07.2020	02.08.2020	3933	12629	1.04		2.198	
LEP 33	09.07.2020	02.08.2020	3933	12629	1.39		1.707	
LEP 34	10.07.2020	02.08.2020	3933	12629	1.19		1.843	
LEP 35	10.07.2020	02.08.2020	3933	12629	1		1.679	
LEP 36	10.07.2020	02.08.2020	3933	12629	1.07		1.934	
LEP 37	30.06.2020	02.08.2020	3933	12629	1.06		1.881	
LEP 38	30.06.2020	02.08.2020	3933	12629	0.71		1.226	
LEP 39	30.06.2020	02.08.2020	3933	12629	1.12		1.112	
LEP 40	30.06.2020	02.08.2020	3933	12629	1.04		1.233	
LEP 41	01.07.2020	02.08.2020	3933	12629	1.62		1.633	
LEP 42	01.07.2020	02.08.2020	3933	12629	1.1		1.242	
LEP 43	01.07.2020	02.08.2020	3933	12629	1.14		1.496	
LEP 44	01.07.2020	02.08.2020	3933	12629	1.02		1.265	
LEP 45	01.07.2020	02.08.2020	3933	12629	0.96		1.129	
LEP 46	01.07.2020	02.08.2020	3933	12629	0.88		6.079	
LEP 47	01.07.2020	02.08.2020	3933	12629	2.53		4.41	
LEP 48	02.07.2020	02.08.2020	3933	12629	1.18		1.102	
LEP 49	01.07.2020	02.08.2020	3933	12629	1.33		1.795	
LEP 50	01.07.2020	02.08.2020	3933	12629	1.28		1.679	
LEP 51	12.07.2020	02.08.2020	3933	12629	0.1		0.084	
LEP 52	12.07.2020	02.08.2020	3933	12629	0.1		0.078	
Task MGP 12637 RWP 3898 U1-PL-18-0121 1-33126-FDRG13A - înlocuire porțiune								
LEP 53	26.07.2020	02.08.2020	3898	12637	9.51	±1.43	11.048	11.619
LEP 54	27.07.2020	02.08.2020	3898	12637	7.73	±1.16	9.667	10.707
LEP 55	26.07.2020	02.08.2020	3898	12637	5.39	±0.81	6.428	6.975
LEP 56	25.07.2020	02.08.2020	3898	12637	4.15	±0.62	5.151	5.855
LEP 57	25.07.2020	02.08.2020	3898	12637	8.32	±1.25	9.318	9.907
LEP 58	25.07.2020	02.08.2020	3898	12637	8.45	±1.27	8.721	10.378
LEP 59	25.07.2020	02.08.2020	3898	12637	6.63	±0.99	7.961	8.248
LEP 60	25.07.2020	02.08.2020	3898	12637	9.19	±1.38	10.855	11.305
LEP 61	25.07.2020	02.08.2020	3898	12637	0.1		0.001	0.08
LEP 62	25.07.2020	02.08.2020	3898	12637	7.47	±1.12	9.003	9.806
LEP 63	25.07.2020	02.08.2020	3898	12637	11.06	±1.66	12.358	13.778

Evaluarea nivelurilor de tritiiu legat organic în probe de mediu din zona Cernavodă, în perioada 2018 -2020

Simona Zaharov (*simona.zaharov@cne.ro*), **A. Nedelcu**, **Veronica Tudorache**
S.N. Nuclearelectrica S.A. – Sucursala CNE Cernavodă, Departamentul de Radioprotecție,
Securitatea Muncii și PSI

Rezumat

Lucrarea prezintă rezultatele Programului suplimentar de analize de tritiiu legat organic (OBT) al Societății Naționale Nuclearelectrica S.A. (SNN) – Sucursala CNE Cernavodă, derulat pe o perioadă de 3 ani (2018 – 2020) pentru determinarea nivelurilor de tritiiu legat organic în diferite tipuri de probe de mediu. Pentru aceste determinări au fost alese matrici similare cu cele testate în cadrul exercițiilor de intercomparare la care a participat Laboratorul de Control Mediu din cadrul Departamentului Radioprotecție, SM & PSI al SNN-CNE Cernavodă, organizate în perioada 2012 – 2018, la nivelul Grupului Internațional de lucru OBT.

1. Introducere

În partea de Sud-Est a României, la confluența dintre Fluviul Dunăre și Canalul Dunăre – Marea Neagră, se află Centrala Nucleo-Electrică de la Cernavodă, singura centrală de tip CANDU (Canadian Deuterium Uranium) din Europa, situată la 60 km de orașul Constanța și 160 km de București. CNE Cernavodă asigură funcționarea în siguranță a Unităților 1&2, fiecare având o capacitate instalată de 700 MWh, și asigură aproximativ 20% din necesarul de energie electrică al României; Unitatea 1 a fost pusă în operare comercială la data de 2 decembrie 1996 iar Unitatea 2 – la data de 28 septembrie 2007 [1].

Misiunea S.N. Nuclearelectrica – CNE Cernavodă este de a genera energie curată la standard de excelență. În scopul atingerii acestei misiuni, Departamentul Radioprotecție, SM & PSI asigură controlul și monitorizarea surselor prin două programe distincte: Monitorizarea efluenților radioactivi și Monitorizarea radioactivității mediului.

Laboratorul de Control Mediu (LCM) din cadrul Departamentului Radioprotecție, SM&PSI este localizat în orașul Cernavodă, la 2 km față de centrală, și este dotat cu echipamente moderne și performante având ca activitate de bază derularea Programului de Monitorizare a Radioactivității Mediului la CNE Cernavodă, începând cu anul 1996, odată cu punerea în funcțiune a Unității 1 de la CNE Cernavodă [2,3].

Înainte de desfășurarea oricărei activități cu influență asupra mediului, în perioada 1984 – 1994, s-a derulat un Program Preoperațional de Monitorizare a Radioactivității Mediului pentru a stabili nivelurile de radioactivitate în zona, raportul final al acestui program fiind utilizat apoi de CNE Cernavodă pentru comparație, în vederea verificării eficienței controlului surselor și influenței funcționării centralei asupra mediului și a populației [2,3].

Datorită tehnologiei utilizate la CNE Cernavodă – combustibil uraniu natural și apă grea ca moderator și agent de răcire – principalul radionuclid măsurat este tritiul, care se formează în urma reacției neutronilor cu deuteriul din apa grea.

În probele de mediu, tritiul este asociat adesea cu fracția de apă liberă, dar el poate fi inclus și la nivel molecular sub formă de tritiiu legat organic.

Tritiiu legat organic (OBT) este una dintre formele importante ale tritiului ce poate fi măsurată în majoritatea probelor de mediu (probe de vegetale, animale, pește, sol, sediment) și a constituit un real interes în ultimii ani, în special în ceea ce privește transferul în mediu și analiza acestuia – componente importante în evaluarea distribuției de ^3H în mediu [4].

În prezent, măsurările de OBT nu fac parte din programul de rutină al Laboratorului de Control Mediu și sunt puține laboratoare de profil din lume care efectuează programe suplimentare pentru monitorizarea tritiului legat organic. De asemenea nu există organizații sau laboratoare acreditate care să producă materiale de referință certificate pentru probe de mediu marcate cu tritiiu legat organic; controlul calității măsurărilor putând fi efectuat prin măsurarea probelor duplicat sau utilizând blank-uri corespunzătoare. Totodată incertitudinea asociată măsurărilor de tritiiu legat organic este mai mare decât la analizele de tritiiu liber (HTO), deoarece în calcul intervin mai mulți factori precum: extragerea incompletă a apei libere din proba proaspătă; extragerea incompletă a OBT-ului inter-schimbabil din proba uscată; purificarea apei rezultate după combustia probei uscate, etc. [4].

Pentru implementarea cât mai corectă a standardului canadian CAN-CSA N288.1-08 de calcul pentru Limitele Derivate de Emisie (LDE) și pentru stabilirea unei metodologii comune de analiză în laborator a concentrației de tritiiu legat organic, astfel încât calculul dozelor pentru populație să se efectueze cu o mai mare acuratețe, Candu Owners Group (COG) – grupul deținătorilor de centrale cu tehnologie CANDU – a elaborat proiectul HS&E – 304 „Exerciții de intercomparare între Membrii COG pentru analize OBT în plante și animale”, având în vedere că s-a stabilit să se acorde o atenție deosebită și acestui tip de măsurare, în special pentru centralele de tip CANDU [4].

În standardul CAN-CSA N288.1-08 „Guidelines for calculating derived release limits for radioactive material in airborne and liquid effluents for normal operation of nuclear facilities”, pentru calculul parametrului de transfer de la concentrația HTO în apa potabilă la concentrația OBT în probe animale (masă fresh), se calculează mai întâi

concentrația OBT în proba animală considerând că activitatea specifică de H-3 în apa de combustie rezultată de la proba uscată este egală cu cea din faza apoasă a probei, redusă printr-un factor de discriminare izotopică specific metabolismului animal [5].

Transferul HTO din furaje la animale este modelat în același fel ca și transferul din apa potabilă la animale. Se presupune că activitatea specifică de tritium în fracția de apă liberă din produsele alimentare de origine animală (carne, lapte, ouă) este aceeași cu cea din apa din furajele vegetale. Animalele îngerează o parte din apă odată cu furajele și o transformă o altă fracție prin descompunerea metabolică a părții organice din furaje [5].

S.N. Nuclearelectrica – CNE Cernavodă este membru COG și s-a înscris în proiectul COG HS&E-304 încă de la început, din anul 2012, și a fost reprezentată de către Serviciul Tehnic Radioprotecție, ca și coordonator de proiect. Prepararea și măsurarea probelor pentru analize OBT a fost efectuată în cadrul Laboratorului de Control Mediu al Departamentului de Radioprotecție, SM & PSI (DRSM-PSI).

După mai mulți ani de experiență acumulată în cadrul participării la exercițiile de intercomparare internaționale pentru analize de tritium legat organic, Laboratorul de Control Mediu a organizat la rândul său două astfel de exerciții de intercomparare internaționale pentru un număr de aproximativ 25 de laboratoare: primul exercițiu pentru analize OBT în probe de vegetație spontană de pe amplasamentul CNE Cernavodă și cel de al doilea exercițiu pentru analize OBT în probe de fructe (gutui) din curtea Laboratorului de Control Mediu.

2. Participarea LCM în cadrul proiectului internațional OBT în probe de mediu

În anul 2012 a avut loc în Franța primul Workshop OBT, organizat de Comisariatul pentru Energie Atomică (CEA) din Franța, ce a avut ca scop constituirea unui grup internațional de cooperare, care să stabilească obiective comune și metode de analiză OBT în probe de mediu [6].

După primul workshop OBT s-a stabilit o serie de acțiuni pentru demararea activităților de efectuare a analizelor OBT în probe de mediu. Printre aceste acțiuni a fost organizarea primului exercițiu de intercomparare pentru analize OBT în probe de cartofi. Acesta a fost organizat de AECL (Atomic Energy of Canada Limited) în anul 2013.

Cel de-al 2-lea Workshop OBT, organizat de GAU-Radioanalytical Laboratories-Universitatea din Southampton, a avut loc în luna septembrie 2013, în Marea Britanie și a avut ca scop întrunirea grupului internațional OBT și discutarea rezultatelor primului exercițiu de intercomparare.

După cel de-al 2-lea workshop s-a stabilit organizarea celui de-al doilea exercițiu de intercomparare pentru analize OBT în probe de sediment. Acesta a fost organizat de Universitatea din Southampton în anul 2014.

Cel de-al 3-lea Workshop OBT, organizat de AECL, s-a desfășurat în luna septembrie 2014, în Canada și a avut ca scop întâlnirea grupului internațional OBT pentru discutarea rezultatelor obținute la precedentele exerciții de intercomparare și stabilirea planului pentru anul 2015, când avea să se încheie prima etapă din cadrul proiectului internațional OBT pentru stabilirea unor metodologii comune de analiză OBT.

În anul 2015, CEA Franța a organizat cel de-al 3-lea exercițiu de intercomparare OBT în probe de grâu boabe.

În cadrul celui de-al 3-lea Workshop OBT, reprezentanții din România de la CNE Cernavodă – Laborator Control Mediu; Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Tehnologii Criogenice și Izotopice (ICSI Râmnicu Vâlcea) – Laboratorul de Tritium și Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară – „Horia Hulubei” (IFIN-HH) din Măgurele au primit, de la coordonatorii Grupului Internațional OBT, propunerea de a organiza următoarea întâlnire de lucru în România.

Propunerea a fost discutată în cadrul CNE Cernavodă și aprobată astfel că, în anul 2015, cel de-al 4-lea Workshop OBT a fost organizat de către Laboratorul de Control Mediu în perioada 31 august – 02 septembrie, la București, urmată de o vizită la CNE Cernavodă.

La această întâlnire s-au discutat rezultatele exercițiului de intercomparare anterior și s-a propus ca LCM să organizeze următorul exercițiu de intercomparare OBT în probe de vegetație spontană. Totodată, s-a agreat ca nucleul acestui Grup Internațional OBT să fie format din: CEA (Franța), CNL-Canadian National Laboratories (Canada), GAU-Universitatea din Southampton (Marea Britanie) și SNN-CNE Cernavodă (România) iar aceste patru instituții să organizeze în ordine, în fiecare an câte un exercițiu de intercomparare și un Workshop pentru discutarea evaluării statistice a rezultatelor obținute de către laboratoarele participante.

Astfel, în perioada mai 2016 – iulie 2017, LCM a organizat cel de-al 4-lea exercițiu de intercomparare în probe de vegetație spontană, recoltată de pe amplasamentul U1. Organizarea a constat în alegerea locului cu vegetație spontană și delimitarea acestuia pentru a nu fi influențat de alte activități industriale, prelevarea manuală (cu coasa) a probei și pregătirea preliminară a acesteia în laborator (cântărire, mărunțire grosieră, urcare în etuve, omogenizare, mărunțire prin moară de laborator, eșantionare și etichetare).

Probele au fost analizate pentru determinarea concentrației de hidrogen (%) de către ICSI Râmnicu-Vâlcea, iar în cadrul LCM s-au preparat probele prin trei metode de combustie și s-au efectuat analizele de tritium legat organic. S-a expedit câte un eșantion pentru fiecare laborator internațional care s-a înscris la acest exercițiu, în total 25 laboratoare din 12 țări: Belgia (1), Canada (3), China (1), Coreea de Sud (1), Croația (1), Elveția (1), Franța (9), Japonia (1), Marea Britanie (3), România (2), Slovenia (1) și Spania (1).

Cel de-al 5-lea Workshop OBT, organizat de CEA, a avut loc în Franța, în luna octombrie 2016, și a avut ca scop întâlnirea grupului internațional OBT pentru discutarea rezultatelor obținute la exercițiile de intercomparare și stabilirea planului de viitor.

În luna octombrie 2017, a avut loc în Marea Britanie, cel de-al 6-lea Workshop OBT, organizat de GAU – Universitatea din Southampton, unde reprezentantul LCM a prezentat evaluarea statistică a rezultatelor raportate de către laboratoarele participante la cel de-al 4-lea exercițiu de intercomparare pentru analize OBT în probe de vegetație spontană; iar reprezentantul CNL din Canada s-a angajat să organizeze în anul 2018 cel de-al 5-lea exercițiu de intercomparare OBT în probe de pește.

În luna septembrie 2018, a avut loc în Canada, cel de-al 7-lea Workshop OBT, unde s-au discutat rezultatele exercițiului anterior iar reprezentantul LCM a primit propunerea de a organiza, în anul 2019, următorul Workshop OBT în România, precum și cel de-al 6-lea Exercițiu de intercomparare OBT.

Astfel, în luna octombrie 2018, LCM a recoltat o probă de gutui din curtea laboratorului și a început organizarea celui de-al 6-lea exercițiu de intercomparare OBT, la care s-au înscris 31 laboratoare din 11 țări: Belgia (1), Canada (5), China (4), Coreea de Sud (1), Croația (1), Franța (9), Japonia (4), Marea Britanie (2), România (2), Slovenia (1), Ungaria (1).

În luna septembrie 2019, SNN-CNE Cernavodă a organizat la Constanța cel de-al 8-lea Workshop OBT, unde LCM a prezentat evaluarea statistică preliminară a rezultatelor raportate de către laboratoarele participante la exercițiul de intercomparare pentru analize OBT în probe de gutui; evenimentul fiind urmat de o vizită tehnică la CNE Cernavodă. La începutul anului 2020 a fost finalizat raportul de evaluare a rezultatelor pentru cel de-al 6-lea exercițiu de intercomparare OBT în probe de gutui. Până în prezent, SNN-CNE Cernavodă – ca membru COG și participant al proiectului COG HS&S-304 – a fost reprezentată la toate cele opt workshop-uri OBT și a participat la cele șase exerciții de intercomparare, fiind organizator pentru două dintre aceste evenimente.

3. Rezultatele obținute de LCM la exercițiile de intercomparare OBT în probe de mediu

În anul 2012, LCM a elaborat o procedură de lucru pentru combustia probelor de mediu, dedicată preparării probelor în vederea efectuării analizelor OBT. Domeniul de aplicare al acestei proceduri este prepararea probelor organice de mediu uscate (lapte, pește, carne, ouă, legume, fructe, cereale și vegetație spontană), prin combustie într-un vas calorimetric cu oxigen (Vas de combustie sub presiune, model 1121 – producător Parr Instrument), urmată de distilarea azeotropă cu toluen a apei de combustie, în vederea determinării concentrației de H-3 legat organic (OBT), utilizând contorul cu scintilatori lichizi. Această metodă a fost verificată în cadrul exercițiilor de intercomparare OBT realizate în perioada 2012-2013, între laboratoare membre COG [7].

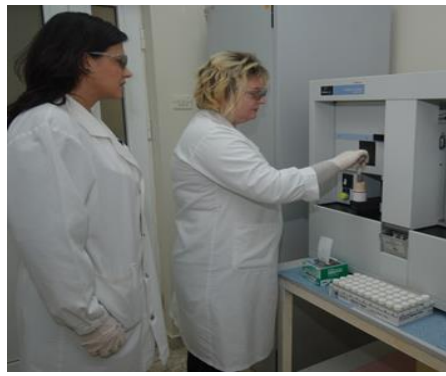
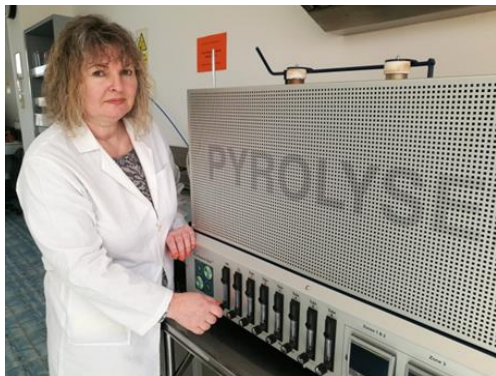


Figura 1a și 1b. Cuptor de combustie tip Pyrolyser-6 Trio System for H-3 and C-14 (Raddec) și Echipament de combustie Sample Oxidizer-307 (Perkin-Elmer).

În anul 2014, LCM a achiziționat un cuptor de combustie „Pyrolyser-6 Trio System for H-3 and C-14” – producător Raddec (Figura 1a), fabricat special pentru prepararea probelor în vederea efectuării analizelor de OBT, având ca domeniu de aplicare și prepararea probelor de sediment.

De asemenea, LCM a testat în cadrul exercițiilor de intercomparare OBT și metoda de combustie a probelor la echipamentul Sample Oxidizer-307 – producător Perkin-Elmer (Figura 1b), acesta având dezavantajul că se pot utiliza doar cantități mici de probe (aproximativ 1 g) incertitudinile asociate măsurătorilor fiind relativ mari.

În tabelul de mai jos (Tabelul 1) sunt prezentate sintetizat valorile de referință $\pm 2s$ (deviația standard), exprimate în Becquerel/litru (Bq/l) și Becquerel/kg (Bq/kg) probă uscată pentru cele șase exerciții de intercomparare din perioada 2012-2020, rezultatele obținute de LCM $\pm 2u$ (incertitudinea combinată), alături de metodele utilizate pentru prepararea și măsurarea probelor.

Tabelul 1. Sinteza participării LCM la cele 6 exerciții de intercomparare internațională OBT.

Nr. exercițiu	Tip probă	Valori de referință: activitate specifică $\pm 2s$	Rezultate LCM: activitate specifică $\pm 2u$	Metodă combustie, preparare	Cocteil scintilator, echipament măsurare
1	cartofi	288 $\pm$ 46 Bq/l [8]	332 $\pm$ 40 Bq/l	-Parr 1121 -distilare azeotropă cu toluen	-Ultima Gold LLT -Tri-Carb 3180TR/SL
2	sediment	170 $\pm$ 30 Bq/kg [9]	182 $\pm$ 23 Bq/kg	-Pyrolyser-6 -barbotare în soluție HNO ₃	-Ultima Gold -Tri-Carb 3180TR/SL
3	grâu	69 $\pm$ 6 Bq/l 41 $\pm$ 8 Bq/kg [10]	65 $\pm$ 7 Bq/l 40 $\pm$ 4 Bq/kg	-Pyrolyser-6 -barbotare în soluție HNO ₃	-Ultima Gold -Tri-Carb 3180TR/SL
4	iarbă	479 $\pm$ 30 Bq/l 250 $\pm$ 30 Bq/kg [11]	474 $\pm$ 34 Bq/l 252 $\pm$ 15 Bq/kg	-Pyrolyser-6 -captare directă	-Ultima Gold -Tri-Carb 3180TR/SL
5	pește	32.6 $\pm$ 7.4 Bq/l 22.4 $\pm$ 6.0 Bq/kg [12]	39.0 $\pm$ 3.0 Bq/l 27.0 $\pm$ 2.0 Bq/kg	-Pyrolyser-6 -captare directă	-Ultima Gold -Tri-Carb 3180TR/SL
6	gutui	48.6 $\pm$ 5.4 Bq/l 24.9 $\pm$ 6.0 Bq/kg [13]	51.1 $\pm$ 5.2 Bq/l 26.3 $\pm$ 3.2 Bq/kg	-Pyrolyser-6 -captare directă	-Ultima Gold -Tri-Carb 3180TR/SL

Se poate observa o îmbunătățire a rezultatelor LCM, prin perfectarea metodelor de preparare și măsurare, de-a lungul celor șase exerciții de intercomparare OBT, aceste rezultate fiind acceptate de criteriile de performanță evaluate, de fiecare laborator care a organizat un exercițiu de intercomparare, conform standardului ISO 13528.

4. Rezultatele Programului Suplimentar OBT în probe de mediu la CNE Cernavodă

În urma experienței acumulate în cadrul exercițiilor internaționale de intercomparare OBT în diferite tipuri de probe de mediu, LCM a implementat, începând din anul 2018, un Program Suplimentar OBT în patru tipuri de probe, care au fost deja testate în cadrul exercițiilor: pește, vegetație spontană, grâu și cartofi, prelevate o dată pe an din câte două locații, astfel încât prelevarea și analiza probelor s-a realizat o dată pe trimestru pentru un tip de probă.

Rezultatele obținute în cadrul acestui program, derulat în perioada 2018 – 2020, sunt prezentate în Tabelul 2, în comparație cu valorile de referință ale exercițiilor de intercomparare anterioare, pentru aceleași matrici de probe. Pentru probele de cartofi nu s-a efectuat comparația deoarece, în cadrul exercițiului de intercomparare organizat de CNL Canada, s-a realizat marcarea cu tritium a probei prin irigarea culturii cu apă din canalul de evacuare a efluentului lichid.

Tabelul 2. Rezultatele Programului Suplimentar OBT la CNE Cernavodă, 2018 – 2020 [14].

Perioada de prelevare	Tip probă	Cod locație și denumire	Activitate specifică OBT $\pm 2u$ [Bq/l apă de combustie]	Activitate specifică OBT $\pm 2u$ [Bq/kg probă uscată]
Trim. I, 2018	pește	LII-05 Canal Dunăre – Marea Neagră	27 $\pm$ 5	18 $\pm$ 3
Trim. I, 2019	pește	LII-05 Canal Dunăre – Marea Neagră	21 $\pm$ 2	15 $\pm$ 1
Trim. I, 2020	pește	LII-05 Canal Dunăre – Marea Neagră	21 $\pm$ 2	15 $\pm$ 1
Trim. I, 2018	pește	LII-09 Fluviul Dunăre	25 $\pm$ 5	18 $\pm$ 3
Trim. I, 2019	pește	LII-09 Fluviul Dunăre	23 $\pm$ 2	16 $\pm$ 1
Trim. I, 2020	pește	LII-09 Fluviul Dunăre	21 $\pm$ 2	14 $\pm$ 1
2018	Al 5-lea ex. OBT – pește	CNL Canada	32.6 $\pm$ 3.7	22.4 $\pm$ 3.0
Trim. II, 2018	vegetație spontană	SSS-13 Curte LCM	56 $\pm$ 9	29 $\pm$ 5
Trim. II, 2019	vegetație spontană	SSS-13 Curte LCM	143 $\pm$ 9	73 $\pm$ 5
Trim. II, 2020	vegetație spontană	SSS-13 Curte LCM	74 $\pm$ 5	38 $\pm$ 3
Trim. II, 2018	vegetație spontană	SSS-10 CNE Cernavodă – amplasament U1	470 $\pm$ 68	240 $\pm$ 35
Trim. II, 2019	vegetație spontană	SSS-10 CNE Cernavodă – amplasament U1	610 $\pm$ 39	311 $\pm$ 20
Trim. II, 2020	vegetație spontană	SSS-10 CNE Cernavodă – amplasament U1	722 $\pm$ 44	368 $\pm$ 23

2017	Al 4-lea ex. OBT – iarbă	SSS-10 CNE Cernavodă – amplasament U1	479 ± 30	250 ± 30
Trim. III, 2018	grâu	LII-08 Seimeni	32 ± 3	19 ± 2
Trim. III, 2019	grâu	LII-08 Seimeni	70 ± 5	36 ± 3
Trim. III, 2020	grâu	LII-08 Seimeni	63 ± 4	44 ± 3
Trim. III, 2018	grâu	AII-03 Cernavodă	30 ± 3	18 ± 2
Trim. III, 2019	grâu	AII-03 Cernavodă	70 ± 5	36 ± 3
Trim. III, 2020	grâu	AII-03 Cernavodă	31 ± 2	21 ± 2
2016	Al 3-lea ex. OBT – grâu	CEA Franța	69 ± 3	41 ± 4

Tabelul 2 (cont.). Rezultatele Programului Suplimentar OBT la CNE Cernavodă, 2018 – 2020 [15].

Perioada de prelevare	Tip probă	Cod locație și denumire	Activitate specifică OBT ± 2u [Bq/l apă de combustie]	Activitate specifică OBT ± 2u [Bq/kg probă uscată]
Trim. IV, 2018	cartofi	LII-08 Seimeni	30 ± 4	17 ± 2
Trim. IV, 2019	cartofi	LII-08 Seimeni	120 ± 9	83 ± 6
Trim. IV, 2020	cartofi	LII-08 Seimeni	76 ± 5	53 ± 4
Trim. IV, 2018	cartofi	AII-03 Cernavodă	30 ± 3	18 ± 2
Trim. IV, 2019	cartofi	AII-03 Cernavodă	121 ± 9	83 ± 6
Trim. IV, 2020	cartofi	AII-03 Cernavodă	52 ± 3	36 ± 2

Se poate observa că valorile activității specifice OBT, obținute de LCM, în cadrul Programului Suplimentar OBT (Figura 2), sunt mai mici pentru probele de mediu din afara amplasamentului CNE Cernavodă și sunt comparabile cu cele obținute anterior în cadrul exercițiilor de intercomparare organizate de alte țări.

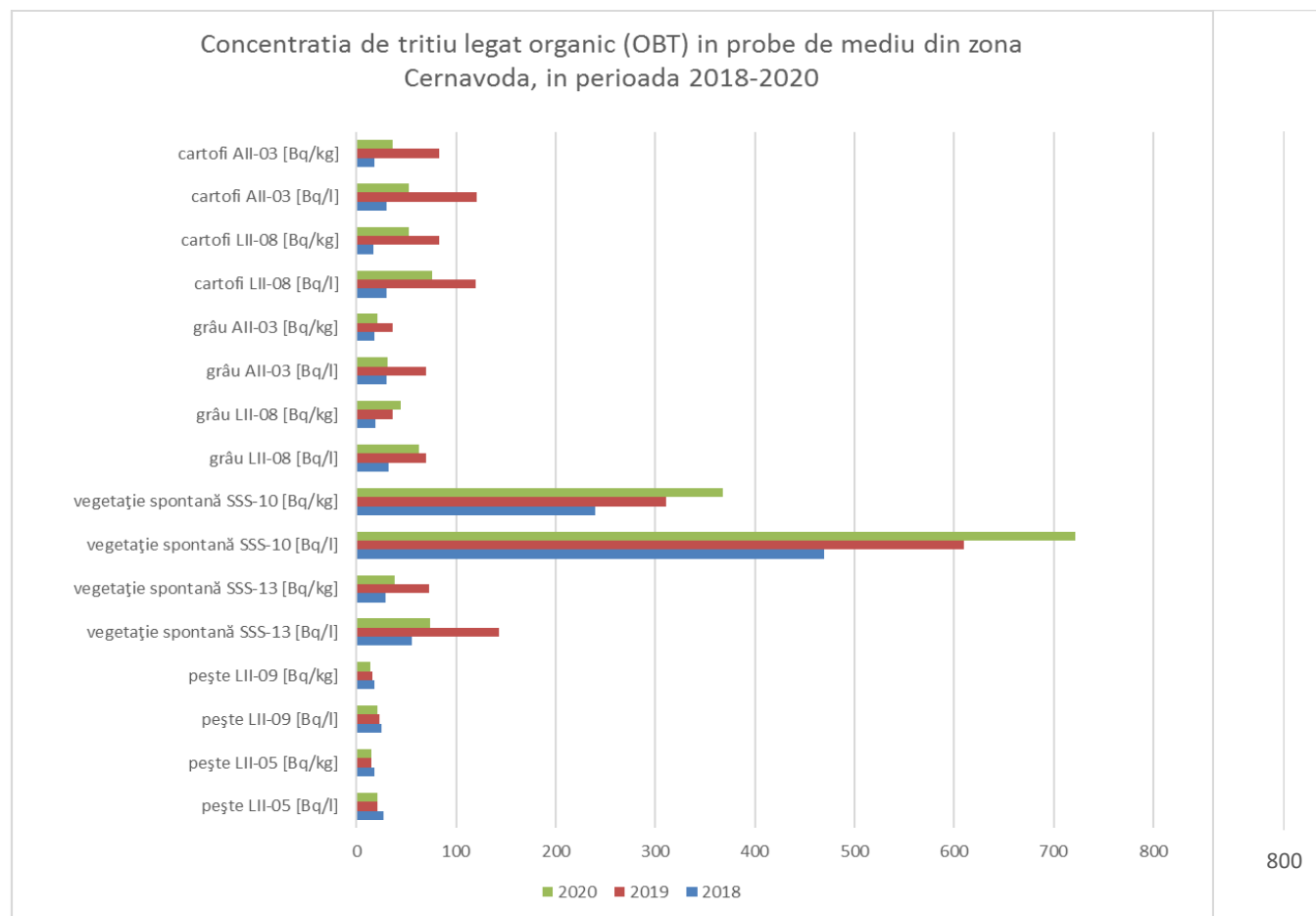


Figura 2. Variația nivelurilor de tritii legat organic (OBT) exprimate în [Bq/l apă de combustie], respectiv în [Bq/kg probă uscată], în probe de mediu din zona Cernavodă, 2018 – 2020.

5. Concluzii

CNE Cernavodă acordă o importanță deosebită monitorizării mediului și acurateții măsurărilor de radioactivitate și de calcul al dozelor pentru populație, motiv pentru care a participat activ, începând din anul 2012, în cadrul Proiectului Internațional OBT, pentru măsurări de tritium legat organic în probe de mediu, având ca scop validarea metodelor de preparare și măsurare OBT în cadrul exercițiilor de intercomparare.

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

Acest program suplimentar OBT, derulat de către Laboratorul de Control Mediu, va sta la baza implementării cât mai corecte a standard canadian CAN-CSA N288.1-08 de calcul pentru Limitele Derivate de Emisie (LDE) la CNE Cernavodă, astfel încât calculul dozelor pentru populație să se efectueze cu o mai mare acuratețe.

Pentru realizarea cât mai corectă a calculelor și evaluării nivelurilor de tritium legat organic în zona Cernavodă este necesară o monitorizare a probelor pe un interval de cel puțin zece ani, așa cum se recomandă și la stabilirea nivelurilor de bază a fondului de radioactivitate înainte de punerea în funcțiune a unei instalații nucleare.

CNE Cernavodă este interesată să continue colaborarea și participarea activă în cadrul Grupului Internațional OBT din care face parte, în vederea îmbunătățirii metodelor analitice și de măsurare a tritiului legat organic, a căror validare se poate face doar prin participarea la exerciții de intercomparare, conform cerințelor standardului SR EN ISO/ IEC 17025, deoarece nu există metode standardizate sau materiale de referință certificate pentru măsurări de tritium legat organic [15].

Bibliografie selectivă:

1. [http://www.nuclearelectrica.ro/cne/protectia-mediului-si-a-personalului/raport-de-mediu/Raport de Mediu - Anul 2016](http://www.nuclearelectrica.ro/cne/protectia-mediului-si-a-personalului/raport-de-mediu/Raport%20de%20Mediu%20-%20Anul%202016)
2. Instrucțiuni ale Centralei, SI-01365-RP015, "Programul de Monitorizare a Radioactivității Mediului pentru CNE Cernavodă"
3. S. Popoaca, C. Bucur, V. Simionov, „Determination of ^3H and ^{14}C in Organic Samples after Separation through Combustion Method”, Journal of Energy and Power Engineering, ISSN 1934-8975, USA, dec. 2014, Volume 4, No. 1 (serial No. 26)
4. S. Zaharov, C. Bucur, I. Popescu, A. E. Nedelcu, Raport de Informare "Rezultatele obținute de LCM la exercițiile de intercomparare pentru analize OBT, în perioada 2012 – 2018", IR – 96200 – 041, CNE Cernavodă, feb. 2019
5. CAN-CSA N288.1-08 „Guidelines for calculating derived release limits for radioactive material in airborne and liquid effluents for normal operation of nuclear facilities”, sept. 2008
6. N. Baglan, S.B. Kim, C. Cossonnet, I.W. Croudace, M. Fournier, D. Galeriu, P.E. Warwick, N. Momoshima, E. Ansoborlo, Meeting Report "Organically bound tritium (OBT) behaviour and analysis: outcomes of the seminar held in Balaruc-les-Bains in May 2012", Radioprotection 2013, EDP Sciences, Vol. 48, no. 1, p. 127 – 144
7. S.B. Kim, J. Olfert, N. Baglan, N. St-Amant, B. Carter, I. Clark, C. Bucur, "Canadian inter-laboratory organically bound tritium (OBT) analysis exercise", Journal of Environmental Radioactivity, 150 (2015), p. 236-241
8. N. Baglan, S.B. Kim, "1st inter-laboratory exercise report, OBT International Group, dec. 2014
9. I.W. Croudace, R. Marsh, P.E. Warwick, "Preparation and results from the 2nd OBT intercomparison exercise Severn Estuarine sediment" – GAU-Radioanalytical, Raddec International Ltd, Southampton, UK, The 4th OBT Workshop, sept. 2015
10. 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 181 (2018), p. 52-61
11. S. Zaharov, N. Baglan, "4th inter-laboratory exercise report", OBT International Group, iun. 2019
12. S.B. Kim, M. Bredlaw, H. Rousselle, "Final report for the 5th OBT exercise using fish samples", Canadian Nuclear Laboratories, dec. 2018
13. S. Zaharov, N. Baglan, "6th inter-laboratory exercise report", OBT International Group, mai 2020
14. Rapoarte ale Centralei, IR-96200-050 "Programul Suplimentar pentru Analize de Tritium Legat Organic (OBT) în Probe de Mediu – 2018-2020"
15. SR EN ISO/IEC 17025 "Cerințe generale pentru competența laboratoarelor de încercări și etalonări".

Evaluarea impactului radiologic al emisiilor de Gaze Nobile de la CNE Cernavodă

Liliana Samson (*liliana.samson@cne.ro*); **A. Nedelcu; V. Toboşaru**

SNN – SA CNE Cernavodă; Departamentul de Radioprotecție, Securitatea Muncii și PSI
Str. Medgidiei nr. 2, Cernavodă 905200

1. Abstract

CNE Cernavodă exploatează două reactoare nucleare, în condiții de siguranță pentru populație, mediu și personal.

Programul de monitorizare a radioactivității mediului include toate activitățile necesare pentru determinarea nivelului de radioactivitate în mediu și a impactului emisiilor radioactive ale CNE Cernavodă asupra mediului și a sănătății populației, în funcționare normală și în situații de urgență.

Evaluarea dozei pentru persoane din populație se face pe baza rezultatelor programului de monitorizare a efluenților lichizi și gazoși, folosind modelul specificat în IR-96002-027, "Limite derivate de evacuare la CNE Cernavodă", pentru persoane din grupul critic. În completare, pe baza aceluiași model și folosind rezultatele programului de monitorizare radiologică a factorilor de mediu, sunt efectuate calcule de doză, pentru persoane din populație. Evaluările de doză trebuie să se bazeze pe rezultatele monitorizării sursei (efluenți), monitorizării mediului, monitorizării individuale pentru expunerea internă sau o combinație a acestora. Calculul dozelor pe baza rezultatelor programului de monitorizare a mediului este preferabil atunci când contaminarea aerului, apei și alimentelor este cunoscută și când numărul rezultatelor este semnificativ din punct de vedere statistic. În general, numai anumiți radionuclizi au activități peste limitele de detecție în probele relevante de mediu și din alimente. Din acest motiv evaluarea dozelor trebuie completată cu calcule efectuate pe baza rezultatelor monitorizării emisiilor pentru radionuclizii care nu pot fi detectați în mediu.

Pentru a se asigura un control efectiv al emisiilor se utilizează limite derivate de emisie, LDE, exprimate prin cantitatea de radionuclid care poate fi eliberată din sursa respectivă astfel încât, expunerea unei persoane reprezentative să nu depășească nivelul de constrângere stabilit de CNCAN (0.1mSv / an / unitate).

Pornind de la necesitatea respectării tuturor cerințelor legislative, a fost dezvoltat un program pentru controlul emisiilor radioactive în operarea normală, în care obiectivul central este reducerea emisiilor. Activitățile stabilite pentru realizarea obiectivului, sunt atât operaționale (efectuarea manevrelor de operare în limitele prestabilite, controlul eficient al scurgerilor de apă grea, etc.), dar și monitorizarea și anticiparea variației emisiilor radioactive.

O categorie de radionuclizi prezenți în emisiile radioactive sunt gazele nobile. Sursele de producere a acestora sunt cunoscute și controlate, astfel că în timp, la ambele unități, au fost reduse activitățile specifice gazelor nobile în emisiile radioactive până la valori sub limita de detecție. Pe baza informațiilor de la bucla spectrometrică a Sistemului de Monitorizare a Efluenților Gazoși, în această lucrare este evaluat impactul radiologic al emisiilor de gaze nobile de la Unitatea 1, luând în considerare fiecare sursă de producere a gazelor nobile. Dozele pentru populație calculate sunt cele așteptate și confirmă datele raportate, în sensul unui impact radiologic extrem de redus asupra populației și mediului.

Lucrarea prezintă sursele de gaze nobile din centrala și comparația activităților specifice și a emisiilor de gaze nobile cu cele din alte centrale CANDU, finalizându-se cu propunerile de îmbunătățire planificate la cele două unități, în scopul eficientizării controlului emisiilor și reducerii impactului gazelor nobile asupra populației.

2. Prezentarea mecanismului de producere a gazelor nobile în reactorul CANDU 6

Reactorul nuclear este o instalație tehnologică în care are loc o reacție de fisiune nucleară în lanț, în condiții controlate, astfel încât căldura generată să poată fi valorificată și utilizată la producerea energiei electrice. Reacția de fisiune indusă este reacția nucleară în care un nucleu cu masă mare, care este ciocnit de un neutron se divide în două nuclee mai ușoare, rezultând și câțiva neutroni cu importanță esențială în menținerea reacției în lanț. Obținerea energiei electrice prin tehnologia nucleară are la baza desfășurarea reacției de fisiune a uraniului ca urmare a expunerii la fluxuri de neutroni.

Într-un reactor nuclear gazele nobile apar direct din reacția de fisiune și într-o pondere mai redusă, se formează în urma activării aerului ca urmare a expunerii la câmpuri de neutroni.

2.1 Reacția de fisiune

Fisiunea nucleară a fost descoperită de Hahn și Strassman în 1939. În urma bombardării uraniului cu neutroni au fost identificați în materialul iradiat atomi de mase medii, cum sunt Ba, La, etc., ce nu puteau proveni decât din fragmentarea nucleelor de uraniu în nuclee de mase aproximativ egale, adică din fisionarea (indusă de neutroni) a nucleelor de uraniu. Primul model al fisiunii induse de particule a fost elaborat de Bohr și Wheeler pe baza modelului picătură al nucleului. În conformitate cu acest model, particula incidentă formează la început, împreună cu nucleul - țintă, un nucleu compus într-o stare excitată. Energia de excitare provoacă o deformare a nucleului compus, care trece de la o formă sferică la una elipsoidală. Evoluția unui nucleu compus deformat este determinată, într-o primă aproximație, de energia coulombiană și cea superficială. Prin trecerea la forma elipsoidală energia coulombiană scade, iar energia superficială crește.

Uraniul -235 este singurul izotop fisionabil cu neutroni termici care se găsește în natură, cu o abundență în uraniu natural de 0.7204%. Din reacția de fisiune rezultă două nuclee de mase medii, fragmente de fisiune, precum și 2 sau 3 neutroni. Divizarea nucleului în două fragmente de fisiune se face într-un număr mare de variante posibile, cu

condiția ca suma numerelor de masă ale celor două nuclee produse, să respecte conservarea numărului de nucleoni în reacție. În evenimentele de fisiune nucleară, nucleele se pot scinda în orice combinație de nuclee mai ușoare, cu probabilități mai importante de apariție a numerelor de masa în domeniul (80 - 156) u.a.m. (unități atomice de masă). În funcție de izotopi și de proces, cel mai comun eveniment este fisiunea asimetrică în care un nucleu rezultat are o masă de aproximativ $90 \div 100$ uam și celalalt nucleu de aproximativ $130 \div 140$ uam.

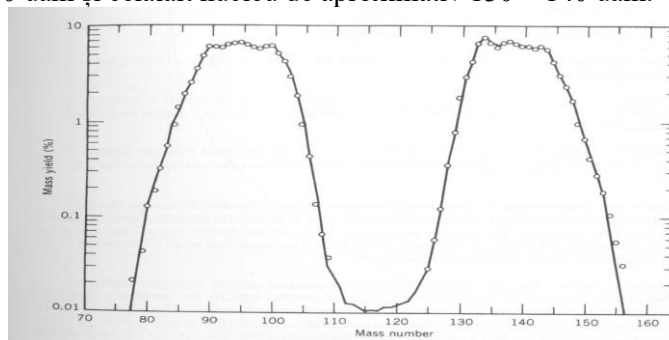
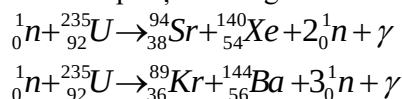


Figura 1

Figura 1 ilustrează distribuția de masă a fragmentelor de fisiune (exprimat în procente) de apariție a anumitor nuclee rezultate ca fragmente de fisiune în funcție de numărul de masă al acestora, în cazul fisiunii U-235 și Pu-239 cu neutroni termici. Se observa ca probabilitatea de divizare simetrica, adică în doua fragmente egale este foarte redusa. În schimb, probabilitatea maxima o are apariția fragmentelor cu raportul maselor de aproximativ 2/3. La fisiunea U-235, numerele atomice cele mai probabile ale fragmentelor sunt $Z = 38$ (stronțiu) și $Z = 54$ (xenon). Două dintre reacțiile cu probabilitate relativ mare de apariție decurg astfel:



Reacția de fisiune specifică reactorului CANDU este produsă de neutronii termici, care interacționează în mod direct cu nucleele de U-235. În timp, în interiorul zonei active se formează încă un izotop fisionabil cu neutroni termici, Pu-239, prin succesiunea de dezintegrări a U-239.

Din analiza randamentului de apariție a fragmentelor de fisiune reiese că în reactorul CANDU există o cantitate semnificativă de gaze nobile, rezultate direct din reacția de fisiune. Pornind de la teoria reacției de fisiune au fost identificați radionuclizii și determinate concentrațiile de activitate din principalele sisteme nucleare. Pentru fiecare sistem important a fost identificată lista de radionuclizi specifici.

Gazele nobile rezultate din reacția de fisiune se regăsesc în sistemul principal de transport al căldurii și în sistemul gazului inelar. Raportul COG 06-3065 HS&E - WP-30703 "A guide to radiation sources and radiation source terms în CANDU reactors during normal operation", prezintă metodologia de estimare a concentrației de activitate pentru radionuclizii importanți din sistemele SPTC și gazului inelar considerând drept referință activitățile măsurate la centrala Gentilly-2.

În Tabelul nr. 1 este prezentată lista izotopilor gazelor nobile identificați în cele doua sisteme, cu precizarea fracției fisiunilor care conduc la formarea radionuclidului, la Gentilly-2 și la CNE Cernavodă.

Tabelul nr. 1 Lista de radionuclizi gaze nobile

Gentilly - 2 (COG 06-3065)	CNE Cernavodă
SPTC (yields) / Gaz inelar	
Xe-133 (6.7E-2)	Xe-133
Xe-133m (6.7E-2)	
Xe-135 (6.5E-2)	Xe-135
Xe-138 (6E-2)	
Xe-131m (2.9E-2)	
Xe-135m (6.5E-2)	
Xe-137 (6.4E-2)	
Kr-85m (1.34E-2)	
Kr-88 (2.3E-2)	Kr-88
Kr-87 (2.5E-2)	Kr-87
Kr-83m (5.2E-3)	
Kr-85 (1.34E-2)	
Kr-89 (4.9E-2)	
	Ar-41

Pe baza datelor colectate în perioada 1997-2001, la centrala Gentilly - 2, au fost măsurate și calculate activitățile izotopilor gazelor nobile. În același raport sunt prezentate rezultatele activităților obținute pentru ambele sisteme.

Pentru determinarea activității din SPTC au fost realizate măsurări ale activității Xe-133, Xe-135 și Kr-88. Activitatea celorlalți izotopi ai gazelor nobile a fost calculată utilizând factorii de scalare și activitatea nucleizilor de referință Xe-133, Xe-135 și Kr-88. Determinarea activității gazelor nobile din sistemul inelar de gaz a fost realizată după același mecanism, radionuclizii de referință fiind Xe-138 și Kr-88. În acest caz, pe lângă radionuclizii de referință a fost măsurată activitatea și pentru alți radionuclizi: Xe-133, Xe-133m, Xe-135, Kr-85m și Kr-87.

În Tabelul nr. 2 sunt prezentate pentru comparație, activitățile gazelor nobile la Gentilly-2 și cele măsurate la CNE Cernavodă (în perioada 2015 - 2019)

Tabelul nr. 2 Activitățile gazelor nobile la Gentilly-2 și la CNE Cernavodă

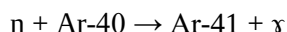
Radionuclid	Activitate GN Gentilly-2		Activitate GN CNE Cernavodă U1 SPTC (μCi/Kg)
	SPTC(μCi/Kg)	Sistemul gazului inelar (μCi/L)	
Xe-133	7.9E+00	3.3E+00	2.9E+00
Xe-135	1.43E+01	5.9E-01	5.79E+00
Kr-88	3.8E+00	5.3E-01	1.57E+00

Din tabel se observă că în SPTC, activitățile specifice ale gazelor nobile sunt mai mici de cel puțin 2 ori la CNE Cernavodă fata de Gentilly – 2.

2.2 Reacția de activare

Reacțiile nucleare sunt produse ca urmare a interacțiunii nucleelor țintă cu diferite particule incidente (protoni, particule alfa) sau cuante de gama (fotoni). Neutronii sunt particule fără sarcină electrică și astfel, pot interacționa direct cu nucleul, chiar și la energii mici, printr-o interacție tare, specifică forțelor nucleare. Cea mai des întâlnită reacție neutronică este reacția de activare.

Izotopul Argon-41 face parte din categoria gazelor nobile radioactive, având un timp de înjumătățire de 1.82 h. Deoarece exista ingresie de aer în sistemele care traversează zonele în care exista flux de neutroni, prin captura radiativă se va forma izotopul Ar-41, iar acesta va migra către atmosfera din Clădirea Reactorului, fiind apoi identificat în emisiile radioactive.



Prezența aerului în agentul de răcire este o consecință a reducerii nivelului de apă grea în mașina de încărcare combustibil, pentru a se evita transferul de apă grea din SPTC în bazinul de stocare combustibil uzat. Astfel, pentru scurt timp, combustibilul iradiat rămâne în aer și se produce ingresia de aer în canalul de combustibil. Ca urmare, în apa grea SPTC va exista o cantitate de Argon -40 dizolvat, care se va activa pe parcursul traversării zonei active. Pătrunderea aerului în sistemele moderatorului va conduce de asemenea, la formarea Ar-41.

Rata de producere a Argonului - 41 este influențată și de deschiderea sistemului SPTC pentru efectuarea activităților de operare / întreținere, ceea ce va produce o creștere punctuală de activitate. Ar-41 nu este reținut în sistemul de purificare al SPTC.

În tabelul nr. 3 este prezentată comparativ, concentrația de Ar-41 măsurată la U1 a centralei de la Cernavodă și la centrala Gentilly-2, în sistemele moderator, SPTC și gaz inelar.

Tabelul nr. 3 Concentrația Ar-41 la Cernavodă și Gentilly-2

Centrala	Activitate Ar-41 SPTC	Activitate Ar-41 moderator	Activitate Ar-41 gaz inelar
Gentilly-2	85.7 μCi/Kg D2O	59 μCi/Kg D2O	
Cernavodă U1	188 μCi/Kg D2O	31.7 μCi/Kg D2O	9.13 μCi/Kg D2O

Valorile măsurate la Cernavodă reprezintă activitatea medie de Ar-41 în perioada 2015-2019. Având în vedere că valorile pentru centrala Gentilly – 2, au fost măsurate în perioada 1996-2001 diferențele se explica prin perioada mai lungă de monitorizare la CNE Cernavodă și prin timpul de funcționare al celor doua centrale, diferit la momentul analizelor.

3. Metodele de monitorizare a gazelor nobile în emisiile radioactive gazoase la CNE Cernavodă

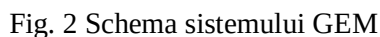
CNE Cernavodă asigură monitorizarea emisiilor radioactive utilizând sisteme de monitorizare dedicate determinării concentrației de radioactivitate din efluenții lichizi și gazoși evacuați în mediu.

Pentru a ne asigura că limitele derivate de evacuare stabilite pentru gaze nobile, aerosoli și iod nu sunt depășite, fiecare unitate utilizează un monitor amplasat la coșul de evacuare, denumit Monitor de Efluenți Gazoși (sau

Monitorul de gaze nobile al GEM conține un detector de NaI(Tl) (iodura de sodiu impurificat cu Tl), iar detecția se realizează în interiorul unui vas de 4.5L, ecranat. O sursă radioactivă Am-241 este incorporată în cristal în scopul compensării potențialelor abateri spectrale care pot apărea din cauza modificărilor de temperatura ambientale.

Sistemul GEM este prevăzut să:

- alarmeze dacă rata de evacuare instantanee a aerosolilor, iodului și gazelor nobile depășește 80%LDE într-o zi. Pentru emisii de gaze nobile pragul de alarmă este stabilit la 47.4 TBqMev/zi.



Procedeul de măsurare utilizat în acest sistem este: proba de aer este prelevată la fiecare 10 minute în vasul presurizat, în care sunt determinate temperatura și presiunea aerului. Detectorul GeHp este situat sub vasul de presiune și efectuează achiziția datelor pe care le înregistrează sub forma spectrelor de 1 oră sau spectru cumulat pe 24 ore. Rezultatul este generat sub forma de activitate specifică volumetrică pe fiecare radionuclid detectat în unitatea de masă măsurată.



4. Analiza comparativa a emisiilor de gaze nobile în familia CANDU

Pe durata de viață a unei centrale nucleare, periodic, sunt eliberate în mediu diferite cantități de radioactivitate, atât prin efluentul lichid cât și gazos. Evacuările radioactive sunt atent monitorizate și controlate pentru a reduce impactul asupra mediului și populației.

Pentru a se asigura un control efectiv al emisiilor sunt utilizate limite derivate de evacuare (LDE), exprimate prin cantitatea de radionuclid care poate fi eliberată de la sursă astfel încât expunerea unei persoane reprezentative să nu depășească un anumit nivel de referință, constrângerea de doză stabilită de către autoritatea de reglementare. Limitele derivate de evacuare sunt evaluate cu ajutorul unor modele matematice care simulează răspândirea radioactivității în mediu. Stabilirea acestora trebuie făcută cu o certitudine rezonabilă că în decursul unui an nu va fi depășită constrângerea anuală de doză pentru nicio persoană din populație.

Pentru fiecare cale de evacuare a fost stabilită o pondere din constrângerea de doză și respectiv, a fost stabilită ponderea fiecărui radionuclid pe calea respectiva de evacuare. În efluentul gazos, radionuclizii de interes monitorizați sunt tritiul, gazele nobile și izotopul carbon-14. Ponderea relativă în constrângerea de doză stabilită pentru fiecare unitate, 0.1 mSv/an, a gazelor nobile emise este 9% din ponderea cail de evacuare gazoasă, 75%. Astfel, rezulta pentru fiecare radionuclid, Ar-41, Kr-85, Kr-85m, Kr-87, Kr-88, Xe-131m, Xe-133, Xe-133m, Xe-135, Xe-135m, Xe-138, constrângerea de 4.5E-04 mSv.

Limitele Derivate de Evacuare pentru efluenții gazoși au fost calculate pentru 2 grupuri de populație, din Cernavodă, adult și copil (0-1 ani). Valorile obținute pentru gazele nobile sunt prezentate în Tabelul 4.

Tabelul nr. 4 - Limite Derivate de Evacuare pentru Gaze Nobile

Radionuclid	LDE (GBq/an)
Ar-41	1.08E+4
Kr-85	4.63E+4
Kr-85m	8.72E+4
Kr-87	1.59E+4
Kr-88	4.64E+3
Xe-131m	1.66E+6
Xe-133	4.06E+5
Xe-133m	4.79E+5
Xe-135	5.7E+4
Xe-135m	3.32E+4
Xe-138	3.75E+3

Anual, CNE Cernavodă emite raportul cu rezultatele Programului de monitorizare a radioactivității mediului, ce conține rezultatele impactului funcționării centralei cumulate din 1996.

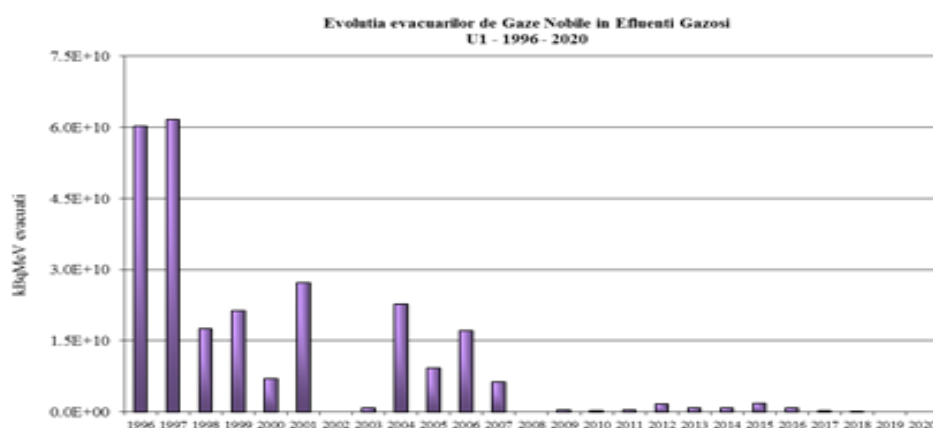


Fig. 4: Variația evacuărilor de gaze nobile la U1

Pentru gazele nobile, rezultatele arată ca emisiile s-au redus constant, ajungând să avem ani fără emisii de gaze nobile (de ex. 2008, 2019 și 2020).

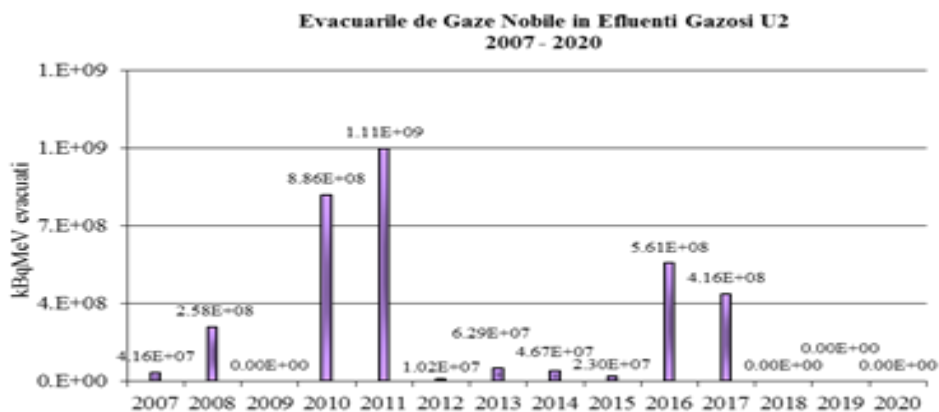


Fig. 5: Variația evacuărilor de gaze nobile la U2

La Unitatea 2, valorile emisiilor de gaze nobile au fost mai mici decât la Unitatea 1, iar în ultimii ani nu au mai fost emisii de gaze nobile peste limitele de detecție.

Pe plan internațional, în cadrul COG, este realizată anual comparația emisiilor de gaze nobile în centralele CANDU. Ultimele rezultate disponibile în raportul "CANDU Stations Environmental Performance Metrics Report 2020 - 2019 Performance" arată că centrala de la Cernavodă a avut sistematic, în perioada 2011-2019, cele mai mici emisii de gaze nobile. Comparația valorilor este prezentată în Fig.6.

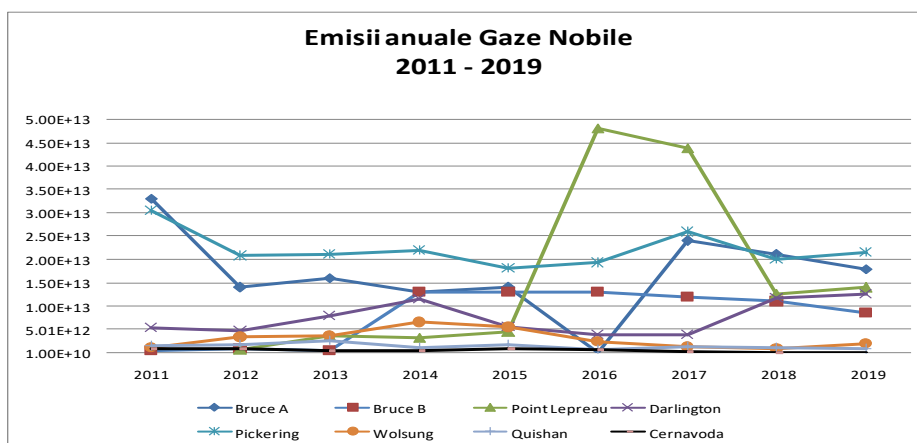


Fig. 6 Comparația emisiilor anuale de gaze nobile la centralele CANDU în perioada 2011-2019

5. Prezentarea influenței gazelor nobile asupra emisiilor radioactive prin studii de caz

5.1 Emisii Gaze Nobile după activități de descărcare combustibil defect

În cazul identificării prezentei combustibilului defect în zona activă este obligatorie descărcarea acestuia, în vederea limitării radioactivității generate în SPTC și a emisiilor radioactive în mediu.

Pentru minimizarea eliberărilor de radioactivitate în mediu în timpul descărcării combustibilului defect, este efectuată monitorizarea în timp real a emisiilor de gaze nobile, în acest fel fiind prevenită declanșarea alarmei GEM pe canalul de măsurare a gazelor nobile. Luând în considerare întreaga activitate eliberată anterior, rata de emisie în timpul descărcării combustibilului defect și evoluția eliberării de gaze nobile se stabilește dacă anvelopa poate fi dezizolată.

Prin spectrometria gama, efectuată cu detectorii de GeHp și NaI sunt identificate gazele nobile prezente în Clădirea Reactorului și în radioactivitatea eliberată în atmosferă. Cunoscând activitatea specifica a radionuclizilor, se poate estima durata de menținere a anvelopei în stare izolată, necesară pentru a reduce, prin dezintegrare, concentrația de gaze nobile.

În data de 05.10.2018 a fost efectuată descărcare de combustibil defect la Unitatea 1. Pentru evaluarea concentrației de gaze nobile din Clădirea Reactorului, au fost prelevate probe de aer din camera 1-R-501, cu ajutorul Sistemului de Prelevare Probe Post - Accident (PASS) la care era conectat un vas Marineli. Concentrația de radioactivitate din probele prelevate a fost măsurată cu ajutorul unui sistem gama spectrometric, Inspector 2000. Circulația aerului prin vasul Marineli a fost menținută pe toată durata descărcării fasciculelor de combustibil, când

anvelopa era izolată, cu debitul de 25 l/min. Au fost efectuate 18 măsurări ale concentrației de gaze nobile, începând cu 15 minute înainte de momentul scoaterii primei perechi de fascicule.

În Figura 7 este reprezentată grafic evoluția activității specifice de gaze nobile, pe radionuclizi, exprimată în Bq/m^3 , măsurată în diferite momente de timp, în timpul și după descărcarea combustibilului defect.

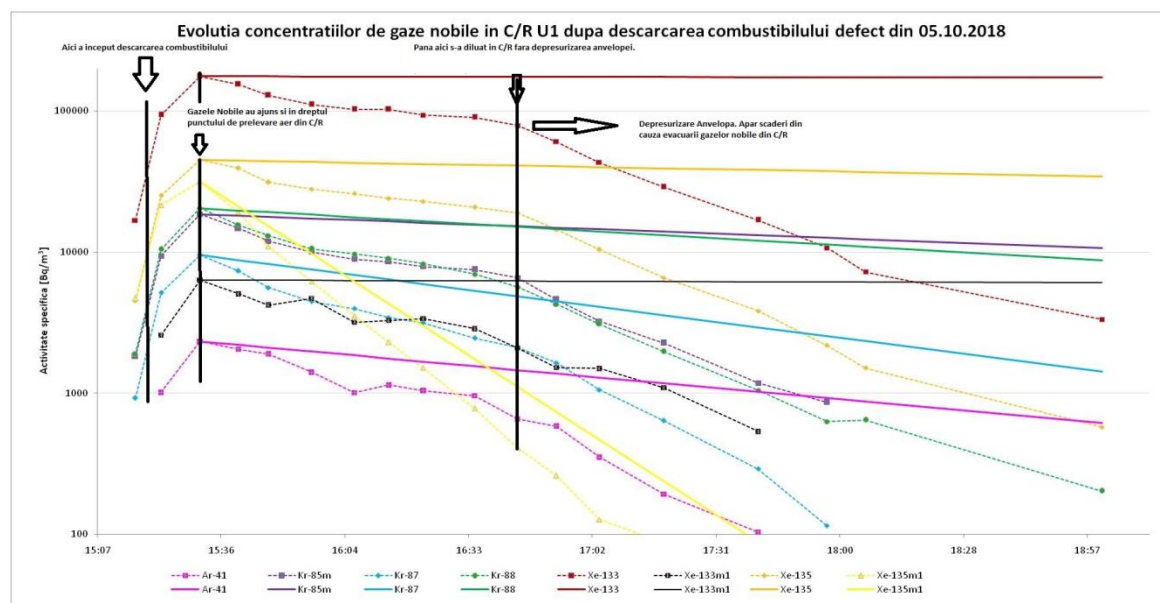


Fig. 7. Evoluția concentrațiilor de gaze nobile din C/R U1 după descărcarea combustibilului defect (05.10.2018)

În grafic sunt reprezentate evoluțiile concentrației activității gazelor nobile măsurată la diferite momente de timp (liniile punctate) și curbele teoretice de dezintegrare specifice fiecărui radionuclid (liniile continue). Momentul scoaterii perechii de combustibil defect corespunde maximului concentrației de gaze nobile măsurate și este corelat temporal cu variațiile debitului de doză gama din camerele 1-R-001, 1-R-012 și 1-R-013.

Concentrația gazelor nobile din Clădirea Reactorului a fost în scădere constantă timp de 2h după descărcarea perechii de combustibil defect, apoi panta graficului se modifica în sensul accelerării scăderii concentrației. Schimbarea ritmului de scădere a concentrației gazelor nobile s-a produs în urma creșterii diluției aerului din Clădirea Reactorului. A doua schimbare a pantei graficului marchează momentul scoaterii anvelopei din starea izolată.

Activitățile specifice măsurate la diferite momente de timp diferă de cele teoretice din cauza diluției gazelor nobile prin difuzie în atmosfera din Clădirea Reactorului și pune în evidență faptul că metoda de analiză a impactului de mediu la descărcarea combustibilului defect este conservativă.

Pe baza acestor valori, ponderile radionuclizilor în activitatea totală calculate la diferite momente de timp, arată contribuția majoră în mixtura de radionuclizi a Xe-133, acestea fiind prezentate în tabelul de mai jos:

Tabelul nr. 4: Ponderile radionuclizilor în activitatea totală la diferite momente de timp

Radionuclid	În timpul descărcării (%)	După 3.5 h de la descărcare (%)
Ar-41	1	1
Xe-133	56	81
Xe-135	15	14
Xe-135m	13	1
Kr-85m	6	6
Kr-88	6	5

Sistemele de Monitorizare Efluenți Gazoși și cel de Prelevare Probe Post Accident sunt conectate la Sistemul de Monitorizare a Radiațiilor (RMS) care centralizează toate informațiile despre condițiile radiologice din instalație.

Utilizând interfața RAMVISION a RMS a fost urmărită variația debitului de doză gama în camerele 1-R-001, 1-R-012 și 1-R-013. Valorile maxime au fost înregistrate aproape simultan în toate camerele. Variația debitului de doză gama în camera 1-R-001 permite identificarea perechii de combustibil defect (în 05.10.2018 a fost perechea 2 - 3) prin menținerea la o valoare superioară celei anterioare trecerii perechii prin camera. La trecerea perechii ce conține fasciculul de combustibil defect graficul nu are aceeași tendință descrescătoare vizibilă în celelalte camere, din cauza concentrației de gaze nobile semnificativ mai mari, ceea ce necesită menținerea camerei izolate o perioadă de timp mai îndelungată.

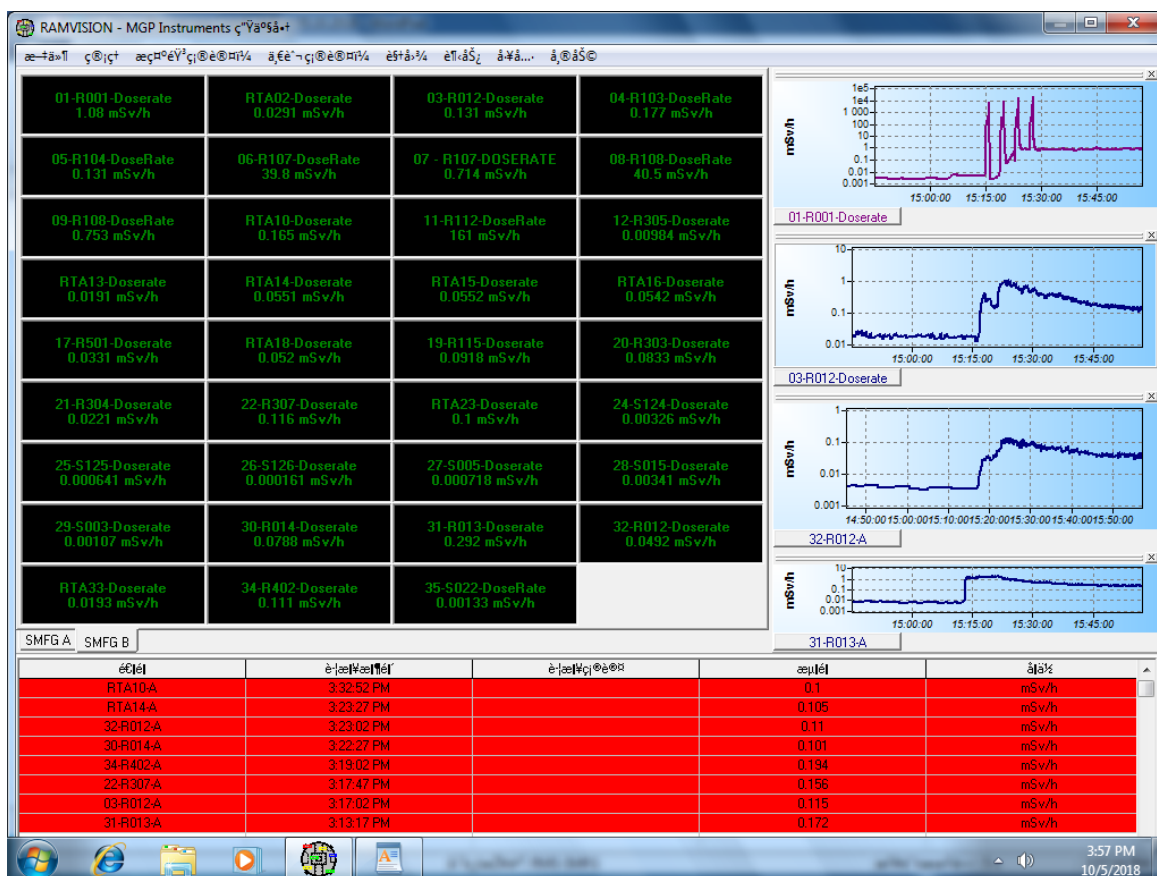


Fig. 8 - Evoluția debitului de doză gama în diferite camere din Clădirea Reactorului U1

Pentru confirmare, în aceeași perioadă de timp, valorile concentrațiilor gazelor nobile măsurate cu Sistemul de Monitorizare Efluenți Gazoși, pe bucla spectrometrică a sistemului, au variat în mod similar cu cele măsurate cu spectrometrul portabil, Inspector 2000.

În data de 05.10.2020, concentrația gazelor nobile înregistrate pe bucla spectrometrică a Sistemului de Monitorizare Efluenți Gazoși a avut o comportare relativ constantă, până la orele 15:00, când a început descărcarea combustibilului defect. În Fig. 9, este prezentată evoluția concentrației gazelor nobile din C/R U1 pe durata întregii zile.

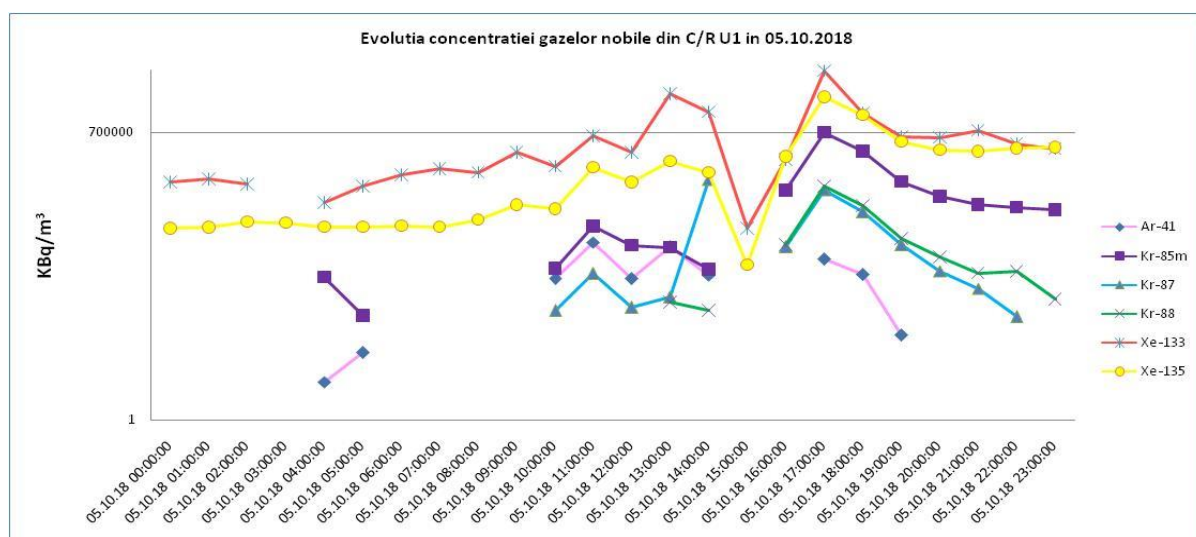


Fig. 9 - Evoluția concentrației gazelor nobile din C/R U1 în 05.10.2018

În acest grafic observăm creșterea concentrației gazelor nobile începând cu orele 16:00 și scăderea ulterioară a activităților, respectând curba teoretică de dezintegrare.

O analiză mai detaliată a comportării activității gazelor nobile în timpul descărcării combustibilului defect este prezentată în Fig. 10, pentru a evidenția și influența deschiderii anvelopei asupra scăderii activității.

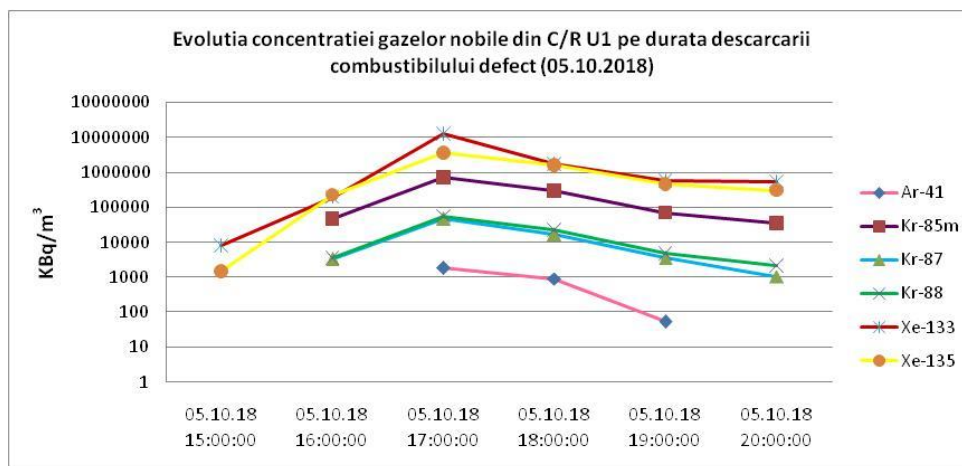


Fig. 10 - Evoluția concentrației gazelor nobile din C/R U1 în timpul descărcării combustibilului defect (05.10.2018)

Sistemul de Monitorizare Efluenți Gazoși a identificat acumularea produșilor de fisiune în atmosfera din Clădirea Reactorului ca urmare a descărcării combustibilului defect și reducerea concentrației acestora în urma deschiderii anvelopei și ulterior a camerei 1-R-001. Ca și momente de timp, exista o întârziere în evoluția concentrației gazelor nobile urmărită la Sistemul de Monitorizare Efluenți Gazoși, bucla spectrometrică, de 0.5 h, față de evoluția concentrației gazelor nobile urmărită cu sistemul Inspector 2000, din cauza timpului necesar deplasării gazelor nobile din Clădirea Reactorului până la coșul de evacuare, locul din care Sistemul de Monitorizare Efluenți Gazoși aspira aer.

Analizând, pentru o comparație calitativă, activitățile măsurate de la Sistemul de Monitorizare Efluenți Gazoși, bucla spectrometrică, se observa o buna coincidentă în variația concentrației gazelor nobile generate în timpul descărcării combustibilului defect, identificându-se maximum de activitate la Xe-133 și confirmându-se intervalele de timp în care anvelopa și camera 1-R-001 au fost izolate.

Tabelul 5 - Activitățile gazelor nobile măsurate cu GEM - bucla spectrometrică și sistemul portabil Inspector 2000 (ambele sisteme au detector de GeHp)

Nuclid	Activitate măsurată în timpul descărcării combustibil defect cu Inspector 2000 (Bq/m ³)	Activitate măsurată de bucla spectrometrică a GEM U1, în timpul descărcării combustibilului defect
Ar-41	1.05E+03	3.46E-01
Kr-85m	7.37E+03	8.35E+02
Kr-87	3.24E+03	8.64E+00
Kr-88	6.86E+03	4.34E+00
Xe-133	7.34E+04	2.73E+04
Xe-133m	3.02E+03	
Xe-135	1.81E+04	2E+03
Xe-135m	7.37E+03	

Concluzii:

- Nivelul maxim de concentrație al gazelor nobile măsurat prin spectrometrie gama a fost, corespunzător Xe-133 ($7.34E+04$ Bq/m³), sistemul de monitorizare a efluenților gazoși cu detectori de NaI și GeHp confirmând maximum de activitate, tot pentru Xe-133. Diferențele între valorile activității gazelor nobile măsurate cu determinări gama

spectrometrice și cele măsurate cu sistemul de monitorizare a efluenților gazoși, bucla spectrometrică este cauzată de timpul diferit de măsurare și de prelucrare a valorilor măsurate.

- Identificarea radionuclizilor gazelor nobile prezenți în aerul evacuat în mediu și în Clădirea Reactorului și a concentrației acestora permit estimarea perioadei de timp în care anvelopa reactorului trebuie izolată, necesară pentru reducerea evacuărilor în mediu, ca urmare a dezintegrării.

- Luând în considerare activitatea totală emisă anterior în luna octombrie 2018 și volumul de aer evacuat zilnic în mediu, activitatea totală a gazelor nobile evacuate în atmosferă în luna octombrie 2018 a fost sub limita de detecție pentru gaze nobile a Sistemului de Monitorizare Efluenți Gazoși. Faptul că descărcarea combustibilului defect nu a avut influență asupra emisiilor gazoase din luna octombrie 2018 se datorează atât controlului riguros al duratei de izolare a anvelopei și camerei 1-R-001, dar și depistării precoce a defectului și descărcării imediate a combustibilului defect.

6. Evaluarea activității globale și a impactului gazelor nobile asupra dozelor pentru populație, în emisiile Unității 1

6.1: Comparația activității globale obținută prin cele două metode de detecție ale Sistemului de Monitorizare efluenți Gazoși Unitate 1

Așa cum am prezentat în cap. 2, la ambele unități sunt instalate sisteme de monitorizare a radioactivității efluentului gazos emis, care furnizează informații despre activitatea globală a gazelor nobile. În cazul Unității 1, pe lângă monitorul de gaze nobile din cadrul sistemului de monitorizare efluenți gazoși, este instalat și un sistem spectrometric, destinat monitorizării activității gazelor nobile, decelată pe fiecare radionuclid. În capitolele anterioare, au fost prezentate date măsurate cu acest subsistem, pentru comparație cu rezultatele din diverse alte surse (rapoarte COG, sau valorile măsurate cu sistemul Inspector 2000 în timpul descărcării combustibilului defect, etc.).

În acest capitol, vom compara activitățile globale furnizate de cele două monitoare în luna octombrie 2018 și, pe baza acestor valori vom calcula dozele pentru populație datorate gazelor nobile.

Activitatea gazelor nobile, calculată pe baza activităților măsurate cu Sistemul de Monitorizare a Efluenților Gazoși, prin bucla spectrometrică, în luna octombrie 2018, prezentată în Tabelul nr 11.

În luna octombrie 2018, monitorul de gaze nobile al sistemului de monitorizare efluenți gazoși a înregistrat următoarele valori ale activității globale:

Tabelul nr. 12 Activitatea globală calculată pe baza valorilor măsurate cu Sistemul de Monitorizare a Efluenților Gazoși

Data	Activitatea globală (BqMeV/zi)
1-Oct-2018	1.63E+10
2-Oct-2018	9.98E+09
3-Oct-2018	1.30E+10
4-Oct-2018	1.46E+10
5-Oct-2018	2.89E+10
6-Oct-2018	1.89E+10
7-Oct-2018	1.00E+10
8-Oct-2018	1.32E+10
9-Oct-2018	1.00E+10
10-Oct-2018	1.03E+10
11-Oct-2018	1.09E+10
12-Oct-2018	1.06E+10
13-Oct-2018	9.98E+09
14-Oct-2018	9.98E+09
15-Oct-2018	1.07E+10
16-Oct-2018	1.06E+10
17-Oct-2018	9.98E+09
18-Oct-2018	1.01E+10
19-Oct-2018	9.98E+09
20-Oct-2018	9.98E+09
21-Oct-2018	1.00E+10
22-Oct-2018	1.03E+10
23-Oct-2018	1.00E+10

24-Oct-2018	1.01E+10
25-Oct-2018	9.98E+09
26-Oct-2018	9.98E+09
27-Oct-2018	9.98E+09
28-Oct-2018	1.04E+10
29-Oct-2018	1.02E+10
30-Oct-2018	2.83E+10
31-Oct-2018	1.03E+10
Total	3.78E+11

În aceeași lună, bucla spectrometrică a Sistemului de Monitorizare a Efluenților Gazoși a determinat următoarele concentrații de activitate pentru gazele nobile:

Tabelul 13 Concentrații de activitate pentru gazele nobile (BqMeV)

Ar-41	Kr-85m	Kr-87	Kr-88	Xe-133	Xe-135
6.38E+08	1.28E+09	2.53E+08	1.7E+08	1.14E+11	3.23E+10

Considerând volumul mediu de aer evacuat zilnic, de 88128 m³/zi, prelevat de bucla spectrometrică a Sistemului de Monitorizare a Efluenților Gazoși, activitatea globală în luna octombrie 2018 a fost **0.149TBqMev**. Activitatea este comparabilă, dar mai mică fata de valoarea măsurată de bucla de măsură gaze nobile cu scintilație în luna octombrie 2018, de **0.378TBqMev**.

6.2 Calculul dozelor pentru populație

Pe baza acestor termene sursă au fost evaluate dozele pentru populație în luna octombrie 2018.

Pentru calculul dozelor pe baza valorilor măsurate de bucla spectrometrică a Sistemului de Monitorizare a Efluenților Gazoși au fost folosite următoarele valori specifice fiecărui radionuclid:

Tabelul 14: Calcul doze pentru populație pe radionuclizi în luna octombrie 2018

Constrângere de doză pentru radionuclid: 0.45 microSv/an		Ar-41	Kr-85m	Kr-87	Kr-88	Xe-133	Xe-135
Coeficienți de conversie (MeV)	calculați	1.29	0.175	0.957	1.425	0.081	0.262
	GEM 3	1.284	0.158	0.793	1.955	0.045	0.248
ADEL (IR-96002-027) (Bq/an)		1.08E+13	8.72E+13	1.59E+13	4.64E+12	4.06E+14	5.7E+13
Doza GN octombrie 2018 (microSv)		5.33E-06	1.07E-05	2.11E-06	1.42E-06	9.52E-04	2.7E-04

Tabelul 15: Doze pentru populație în luna octombrie 2018, comparație între cele două bucle ale Sistemului de Monitorizare a Efluenților Gazoși

Doza pentru populație - octombrie 2021 (microSv)	
GEM # 2 - detecție cu scintilatori	3.07E-03
GEM # 3 - detecție gama spectrometrică GeHp	1.24E-03

Valoarea dozei pentru populație, calculată pe baza măsurărilor efectuate de bucla spectrometrică a Sistemului de Monitorizare a Efluenților Gazoși, este consistentă, de 2.5 ori mai mică decât valoarea calculată pe baza valorilor măsurate de sistemul de detecție cu scintilatori și confirmă acuratețea datelor raportate. În luna octombrie 2018, activitatea evacuată de la U1 nu a depășit limita de detecție a sistemului de detecție cu scintilatori din cadrul Sistemului de Monitorizare a Efluenților Gazoși, prin urmare activitatea raportată a fost 0 BqMeV.

7. Acțiuni viitoare privind îmbunătățirea monitorizării și controlului emisiilor de gazele nobile

Monitorizarea și controlul emisiilor gazelor nobile de la cele două unități, este unul dintre obiectivele Programului de control și monitorizare a efluenților radioactivi la CNE Cernavodă. Preocuparea personalului de radioprotecție este să îmbunătățim monitorizarea activității gazelor nobile prin creșterea performanțelor de detecție (de ex. utilizarea unui sistem gama spectrometric cu detector de GeHp) și prin reevaluarea Limitelor Derivate de Evacuare, pe baza datelor specifice amplasamentului CNE Cernavodă.

7.1 Activități de îmbunătățire a performanței sistemului de detecție

7.1.1 Instalare bucla spectrometrică a Sistemului de Monitorizare a Efluenților Gazoși la Unitatea 2

În prezent, la Unitatea 1 este instalată bucla spectrometrică a Sistemului de Monitorizare a Efluenților Gazoși, care furnizează date relevante despre activitatea fiecărui radionuclid identificat. Periodic, datele sunt analizate, în scopul confirmării valorilor raportate, pe baza sistemului de detecție cu scintilatori. La Unitatea 2 în cadrul Sistemului de Monitorizare a Radiațiilor a fost instalat programul Spectrum Acquisition and Maintenance Software (SAMS) care preia informații de la monitorul de gaze nobile al Sistemului de Monitorizare a Efluenților Gazoși, pe baza cărora poate crea spectre pentru diferiți radionuclizi. Din cauza rezoluției scăzute a detectorului de NaI, nu pot fi identificați toți radionuclizii de interes ai gazelor nobile. Pentru compensarea limitărilor interfeței SAMS și identificarea cu acuratețe a tuturor radionuclizilor gazelor nobile de interes, la Unitatea 2 este în derulare proiectul "Instalarea unui sistem GEM Spectrometric cu detector de GeHp", (PJ-11-009) aflat în etapa de achiziție. În mod similar cu bucla spectrometrică instalată la Unitatea 1, sistemul va asigura, de asemenea, redundanța pentru canalul de gaze nobile al Sistemului de Monitorizare a Efluenților Gazoși, la care sistemul de detecție are detector de NaI. Termenul pentru finalizarea implementării proiectului este trimestrul II 2023.

7.1.2 Modernizare sistem PASS Unitate 1

În scopul proiectului de re tehnologizare Unității 1 este inclusă modificarea sistemului de prelevare probe post accident pentru a permite detecția gazelor nobile. Sistemul are funcție de securitate nucleară, iar modificarea constă în îmbunătățirea modului de prelevare și detecție a gazelor nobile în cazul unei situații de accident.

7.2 Activități de îmbunătățire a controlului emisiilor de gaze nobile

Metodologia și modelele folosite la calculul Limitelor Derivate de Evacuare ale CNE Cernavodă respectă cerințele din legislația națională, Ordinul nr. 211 / 2005 pentru aprobarea Normelor privind limitarea eliberărilor de efluenți radioactivi în mediu, și standardul CAN/CSA N288.1-08, Guidelines for calculating derived release limits for radioactive material in airborne and liquid effluents for normal operation of nuclear facilities. Totodată, Programul de monitorizare a radioactivității mediului a fost implementat de asemenea, respectând cerințele standardului CAN/CSA N288.1. Standardul a fost publicat prima dată în 1987 și îmbunătățit continuu până în 2014, când a fost republicat.

Cerințele din standardul CAN/CSA N288.1 au fost transpuse într-o aplicație electronică, denumită IMPACT, ce este utilizată în centralele CANDU și Laboratoarele Naționale Canadiene, pentru calculul limitelor derivate de evacuare și a dozei încasate de o persoană reprezentativă din grupul critic, ca urmare a emisiilor radioactive controlate în mediu. Aplicația a fost actualizată în raport cu toate modificările din standard și este pusă la dispoziția centralelor prin organizația COG. CNE Cernavodă deține aplicația IMPACT și are acces prin intermediul COG la ultimele versiuni ale acesteia.

Modelarea transportului radioactivității în factorii de mediu depinde de particularitățile amplasamentului, iar versiunea utilizată la CNE Cernavodă folosește informații predefinite, generice despre zona ce trebuie modelată. În acest an, CNE Cernavodă a finalizat demersurile pentru parametrizarea aplicației IMPACT cu datele specifice amplasamentului și datele meteo din zona Cernavodă. După finalizarea parametrizării aplicației, cu ajutorul modulului pentru calculul limitelor derivate de evacuare, CNE Cernavodă va actualiza IR-96002-027 "Calculul limitelor derivate de evacuare" conform ultimei revizii a standardului CAN/CSA N288.1. Termenul pentru finalizarea recalculării limitelor derivate de evacuare este decembrie 2021.

Proiectul de retehnologizare a Unității 1 de la CNE Cernavodă.

Aspecte specifice privind gestionarea deșeurilor radioactive și radioprotecția

I. Popescu (ion.popescu@cne.ro)*, D. Dumitrescu*, V. Simionov**

***CNE Cernavoda, **SRRp**

Rezumat

Soluțiile de gestionare a deșeurilor radioactive rezultate de la retehnologizarea Unității 1 au fost stabilite în cadrul unui studiu de fezabilitate pe baza particularităților amplasamentului CNE Cernavoda, practicilor de lucru utilizate în prezent, a reglementărilor specifice naționale și experienței proiectelor anterioare de retehnologizare a reactorilor de tip CANDU. Volumul estimat de deșeuri slab active produse la retehnologizarea Unității 1 este 3150 m³, echivalent, după condiționare cu aproximativ 6069 butoaie standard de 220 litri, semnificativ mai mare decât în operare normală. Conform calculului neutronic deșeurile rezultate din înlocuirea tuburilor de presiune, tuburilor calandria, inserțiilor tuburilor calandria și fittingurilor terminale conțin radionuclizi de viață lungă și se încadrează în categoria mediu radioactive de viață lungă. Acestea vor fi introduse în containere calificate pentru transport, de tip B, care asigură ecranarea și confinarea conținutului radioactiv pentru cel puțin 50 de ani și, până la transferul în depozitul geologic, vor fi în depozitate temporar în noul depozit intermediar de deșeuri radioactive, DIDR, amenajat în clădirea reactorului Unității 5. Proiectul conceptual al noului depozit intermediar asigură o capacitate suficientă pentru toate deșeurile de la retehnologizarea Unității 1 și din operarea ambelor unități timp de 30 de ani.

Radioprotecția personalului în timpul retehnologizării unui reactor CANDU se confruntă cu o serie de provocări majore, mai puțin obișnuite pentru activitățile curente din operarea normală: câmpuri de radiații de ordinul Sv/h, niveluri înalte ale contaminării aerului, prezența tritiului, transuranienelor, particulelor fierbinți. Pentru asigurarea unui ritm corespunzător al activităților este necesară reconfigurarea zonei radiologice pentru a facilita mișcarea personalului, controlul contaminării și instalarea echipamentelor auxiliare pentru retubare. Asigurarea protecției la radiații este complicată prin prezența unui număr suplimentar de aproximativ 1000 de lucrători expuși, recrutați temporar pentru lucrările de retehnologizare. Programul de pregătire în radioprotecție va fi adaptat astfel încât să satisfacă cerințele specifice ale activităților de retubare.

Introducere

Începând din deceniul nouă al secolului trecut tot mai multe state membre ale IAEA – International Atomic Energy Agency au acordat prioritate continuării operării centralelor nucleare după perioada de exploatare anticipată inițial. După această perioadă componentele principale sunt supuse unui proces de analize și evaluări suplimentare pentru a confirma capacitatea lor de a-și îndeplini funcțiile de proiect și după depășirea limitei de operare estimate inițial în cadrul unui proces denumit operare pe termen îndelungat “Long Term Operation” – LTO. [1]

Inițiată în anul 2013, retehnologizarea Unității 1 de la CNE Cernavoda, care a fost pusă în funcțiune în 1996, este cel mai mare proiect de investiții dezvoltat exclusiv de către SNN – Societatea Națională Nuclearelectrică. Componentele principale ale unui reactor de tip CANDU, canale de combustibil, tuburi calandria, fideri au fost proiectate pentru o durată de exploatare de 210 000 EFPH (Effective Full Power Hours), care se traduce într-o perioadă operațională de circa 30 de ani, la un coeficient de utilizare a puterii instalate de 80%. Beneficiind de o serie de îmbunătățiri ale proiectului Unitatea 1 a fost operată cu un factor de capacitate mediu de 90%, deci va atinge cei 210 000 la sfârșitul anului 2023, după aproximativ 26.6 ani, cu aproximativ 3.4 ani înainte de durata de viață proiectată, de 30 de ani. Experiența internațională a demonstrat că durata de viață a canalelor de combustibil poate fi extinsă în condiții de securitate nucleară până la aproximativ 245 000 de ore, adică 30 de ani calendaristici. În aceste condiții programul LTO de la CNE Cernavodă este structurat în trei faze: [2]

1. Faza 1: Definirea proiectului cuprinde activități organizatorice premergătoare, activități necesare pentru operarea Unității 1 peste 210 000 EFPH, pregătirea studiilor de fezabilitate.
 2. Faza 2: Implementarea proiectului cuprinde lucrări de inginerie, procurare de echipamente, contractare EPC – Inginerie, Procurare, Construcție, obținerea autorizațiilor.
 3. Faza 3 — Oprirea reactorului și desfășurarea efectivă a lucrărilor de retehnologizare inclusiv retubarea reactorului.
- Durata estimată a opririi pentru retehnologizare este de aproximativ 24 de luni, din decembrie 2026 până în decembrie 2028.

Gestionarea deșeurilor radioactive de la Retehnologizarea Unității 1. Experiența internațională

Soluțiile de gestionare a deșeurilor radioactive rezultate de la retehnologizarea Unității 1 au fost stabilite în cadrul unui studiu de fezabilitate pentru gestionarea deșeurilor radioactive generate în perioada de retehnologizare a Unității 1 și în perioada de operare a Unităților 1 și 2 de la CNE Cernavodă după retehnologizare. Acest studiu a luat în considerare particularitățile amplasamentului CNE Cernavoda, practicile de lucru utilizate, reglementările specifice naționale și experiența proiectelor anterioare de retehnologizare desfășurate până în prezent în Canada, Argentina și Coreea. [3]

Cantități de deșeuri slab radioactive rezultate în timpul re tehnologizării unui reactor CANDU

Cantitățile de deșeuri solide de activitate joasă produse în operarea normală a unui reactor de tip CANDU 6 sunt, în general, mai mici decât 50 m³/an. Lucrările de re tehnologizare generează într-un interval de timp relativ scurt cantități de deșeuri semnificativ mai mari decât cele din operare normală. Fig. 1 prezintă cantitățile de deșeuri radioactive de activitate joasă produse în centralele CANDU în perioada 2006 – 2017 așa cum au fost publicate în rapoartele anuale de mediu ale COG, în grafic fiind incluse total sau parțial perioadele de re tehnologizare. Experiența proiectelor CANDU similare a confirmat, fără excepție, această situație, volumele de deșeuri solide produse anual în timpul re tehnologizării fiind cuprinse între 200 și 700 m³.

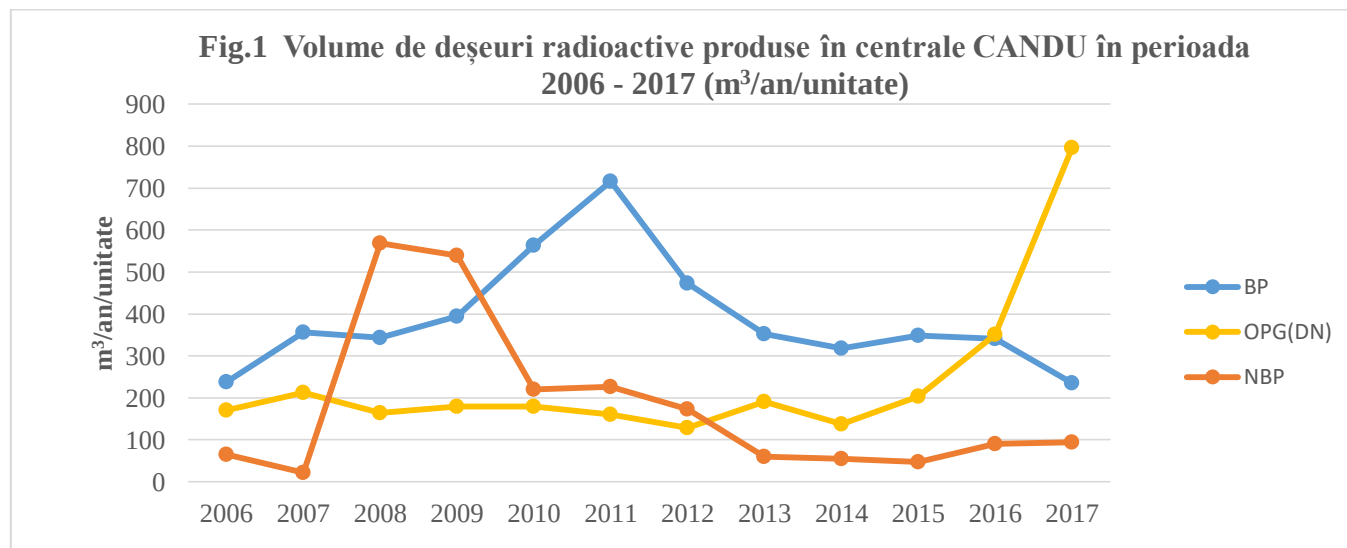
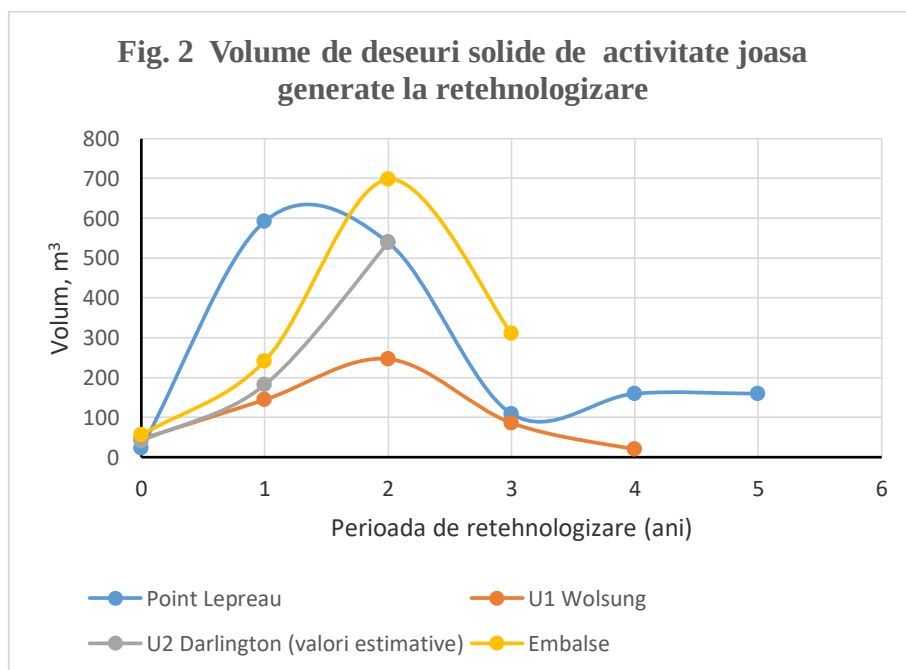


Fig. 2 prezintă cantitățile anuale de deșeuri radioactive cu activitate scăzută produse în perioada re tehnologizării Point Lepreau, Wolsung, Embalse și U2 Darlington.



Prima centrală nucleară de tip CANDU 6 re tehnologizată fost cea de la Point Lepreau. Reactorul centralei nucleare de la Point Lepreau a fost oprit pentru re tehnologizare și modernizare pe 28 martie 2008, iar unitatea a revenit în serviciu la data de 23 noiembrie 2012, după 1699 zile de oprire.

Deșeurile solide slab radioactive au fost depozitate în vrac, în structuri modulare din beton cu o capacitate totală de stocare de 2035 m³. La data începerii proiectului capacitatea depozitului era ocupată în proporție de aproximativ 80%. Pentru a asigura depozitarea deșeurilor din această categorie în perioada re tehnologizării depozitul a fost extins cu module similare având o capacitate suplimentară de 890 m³. Din cauza prelungirii lucrărilor și a unor

deficiențe ale programului de gestionare a deșeurilor slab radioactive capacitățile de depozitare temporară și intermediară au fost epuizate și lucrările de re tehnologizare au fost întrerupte până la asigurarea spațiului de depozitare necesar prin incinerarea deșeurilor la Energy Solutions' Bear Creek Processing Facility în Oak Ridge, Tennessee.

Studiul de fezabilitate pentru gestionarea deșeurilor radioactive de la re tehnologizarea Unității 1 a estimat cantitățile de deșeuri slab active care vor fi generate la Cernavodă pe baza experienței de la re tehnologizarea reactorului nucleari Wolsung 1, cu un factor de scalare calculat pe baza volumelor de deșeuri produse la Point Lepreau și Embalse. Aproximativ 350 m³ din deșeurile slab radioactive rezultă din înlocuirea unor componente uzate ale reactorului, aflate în afara zonei active, și din piese uzate sau consumabile ale echipamentelor de retubare. Aceste deșeuri sunt depozitate în containere de tip A cu ecranare corespunzătoare pentru a putea fi manipulate cu o expunere cât mai redusă a personalului.

Pentru reducerea volumelor și asigurarea depozitării intermediare și finale în conformitate cu reglementările naționale noul depozit de deșeuri radioactive va fi prevăzut cu două compactoare, de mică, respectiv de mare presiune, precum și cu amenajări speciale pentru caracterizarea, pretratarea și condiționarea deșeurilor slab radioactive. Volumul estimat de deșeuri slab active de la re tehnologizarea unității 1 de la CNE Cernavoda este 3150 m³, echivalent, după condiționare, cu aproximativ 6069 containere de tip A, butoaie standard de 220 litri.

Cantități de deșeuri mediu radioactive rezultate în timpul re tehnologizării unui reactor CANDU

Retubarea unui reactor CANDU, adică înlocuirea componentelor principale ale zonei active este realizată cu ajutorul unor echipamente complexe manipulate de la distanță de personal cu calificare înaltă, care asigură extragerea, reducerea volumului introducerea în containere speciale și transferul la Depozitul Intermediar. O parte deșeurile rezultate din retubare se încadrează în categoria “mediu active de viață lungă” deoarece au în compoziție radionuclizi de viață lungă. Radioactivitatea deșeurilor rezultate din înlocuirea tuburilor de presiune, tuburilor calandria, inserțiilor tuburilor calandria, fittingurilor terminale a fost determinată prin calcule neutronice, pe baza compoziției materialelor, fluxurilor de neutron și istoriei de operare a reactorului Unității 1. Aceste calcule asigură datele necesare pentru stabilirea amprenteii radionuclizilor (factorii de scalare) pentru componentele activate, ceea ce va ușura considerabil caracterizarea deșeurilor slab radioactive, dacă fluxurile de colectare vor fi stabilite și controlate pentru fiecare etapă de extragere a componentelor activate.

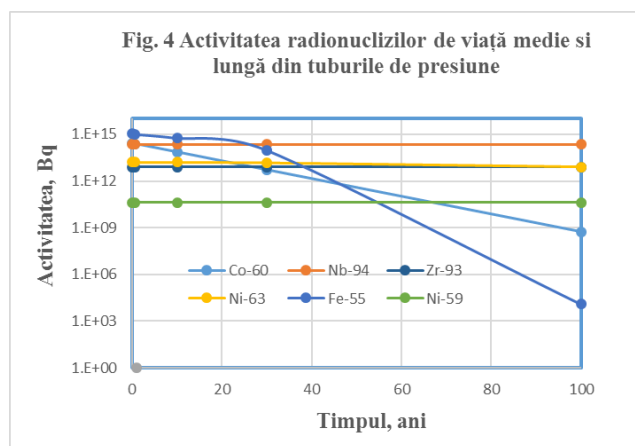
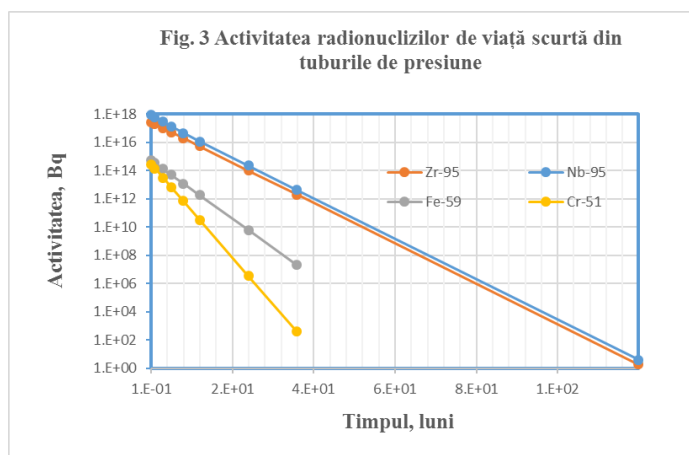


Fig. 3 și 4 ilustrează variația în timp a activității tuburilor de presiune din momentul începerii operațiunilor de retubare, adică la 8 luni după oprirea reactorului. [3] Se poate observa că pe durata activităților de extragere din reactor a componentelor care vor fi înlocuite, de aproximativ 9 luni, câmpurile de radiații vor fi determinate, în cea mai mare măsură, de radionuclizii de viață scurtă. După aproximativ 2 ani, radionuclizii de viață medie și lungă devin preponderenți, constituind date de intrare pentru stabilirea criteriilor de acceptare la depozitul geologic.

Pentru transferul la în noul depozit intermediar de deșeuri radioactive DIDR, se utilizează două tipuri de containere, Large Waste Container – LWC pentru fittingurile de la capetele canalelor de combustibil, și Small Waste Container – SWC pentru fragmentele de tuburi de presiune și tuburi calandria și pentru inserțiile tuburilor calandria.

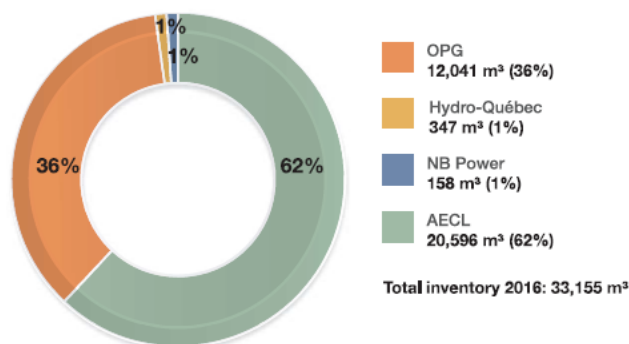
Tabelul 1 Valori estimative ale cantităților de deșeuri mediu active de viață lungă produse la retubarea reactorului Unității 1 de la CNE Cernavoda [3]

Componente	Tuburi de presiune	Tuburi calandria	Insertii ale tuburilor calandria	Alte componente de la fețele reactorului	Total
Masa, tone	21,5	8,3	0,15	170	200
Volumul după compactare, m ³	8,6	5,7	0,7	54,5	69
Volumul deșeurilor după introducerea în containere SWC și LWC, m ³	28			108	136
Activitate, Bq*	6.74E+16	2.51E+16	3.36E+13	5.89E+16	1.51E+17

* Activitatea la momentul începerii retubării, adică 8 luni de la oprirea reactorului

Tabelul 1 prezintă cantitățile, mase și volume de deșeuri mediu active de viață lungă produse la retubarea reactorului 1 al Unității 1 de la CNE Cernavodă. Așa cum se poate observa din Fig. 4 volumul deșeurilor mediu active rezultat la re tehnologizarea reactorului nuclear de la Point Lepreau, 158 m³, este comparabil cu cel estimat pentru Unitatea 1, 136 m³.

Fig. 4 Cantități de deșeuri mediu active la centralele CANDU din Canada în anul 2016 [4]



2.3 Soluții de depozitare intermediară a deșeurilor mediu active de viață lungă

Soluțiile de depozitare a deșeurilor activate de la retubarea reactorilor CANDU adoptate până în prezent se încadrează în două categorii:

– Depozitarea în structuri din beton asemănătoare cu modulele MACSTOR, utilizate pentru depozitarea temporară a combustibilului ars care asigură ecranarea radiațiilor și confinarea conținutului radioactiv al deșeurilor, adoptată la centralele CANDU 6 re tehnologizate până în prezent și ilustrată în Fig. 5.

– Depozitarea în containere calificate pentru transport, tip B, care asigură ecranarea și confinarea conținutului radioactiv al deșeurilor și care pot fi stocate în clădiri industriale până la transferul în depozitul geologic. Această soluție a fost adoptată la Darlington și este ilustrată în Fig. 6. Bruce Power a adoptat o soluție similară, cu alt tip de container.

În cazul re tehnologizării Unității 1 Studiul de fezabilitate a evidențiat avantajele alegerii unei opțiuni din a doua categorie, având în vedere limitările impuse de amplasament, cerințele de autorizare și avantajele pentru dezafectare prin evitarea producerii unor cantități suplimentare de deșeuri radioactive sau potențial radioactive și implicit prin reducerea semnificativă a costurilor.



Figura 5
Module de depozitare a deșeurilor mediu radioactive
Point Lepreau [5]



Figura 6
Containere de depozitare a deșeurilor mediu radioactive
de la retehnologizarea Unității 2 Darlington [6]

Studiul de fezabilitate privind gestionarea deșeurilor radioactive generate în perioada de retehnologizare a Unității 1 și în perioada de operare a Unităților 1 și 2 de la CNE Cernavodă a recomandat utilizarea unor containere autorizate de tip B pentru depozitarea intermediară a deșeurilor mediu active. În urma analizei soluției de transfer a deșeurilor mediu active și containerele de depozitare a fost propus un proiect conceptual pentru containerele de depozitare a LWC și SWC în noul depozit intermediar, ilustrat în Fig. 7 și Fig. 8 de mai jos. Acestea vor asigura o ecranare corespunzătoare pentru manevrare în condiții de securitate radiologică și confinare pentru cel puțin 50 de ani. În principiu soluția permite atât transferul direct al deșeurilor la Depozitul geologic cât și recuperarea în vederea reambalării, dacă va fi necesar.

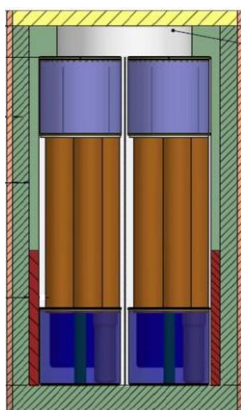


Fig. 7 Proiect conceptual al containerului de depozitare intermediară pentru fittingurile terminale

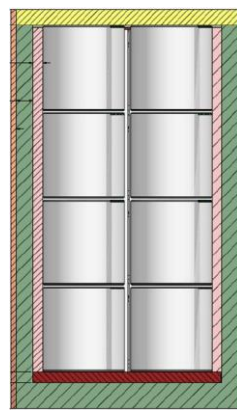


Fig. 8 Proiect conceptual al containerului de depozitare intermediară pentru tuburile de presiune și tuburile calandria

2.4 Noul depozit intermediar de deșeuri slab și mediu active de la CNE Cernavodă, DIDR

Studiul de amplasament și expertiza clădirii reactorului Unității 5 au confirmat posibilitatea amenajării unui depozit intermediar de deșeuri radioactive în interiorul acestei clădiri, Fig. 9. Studiul de fezabilitate a propus un proiect de principiu cu o structură a depozitului cu subsol și 5 etaje care asigură spațiul de depozitare necesar pentru toate categoriile de deșeuri, deșeurile activate și deșeuri contaminate generate în urma activităților de retehnologizare a Unității 1 de la CNE Cernavodă, precum și a deșeurilor rezultate din operarea timp de 30 de ani a Unităților 1 și 2. Proiectul de principiu este prezentat în Fig. 10.



Fig. 9

Amplasamentul viitorului depozit de deșeuri radioactive de la CNE Cernavoda

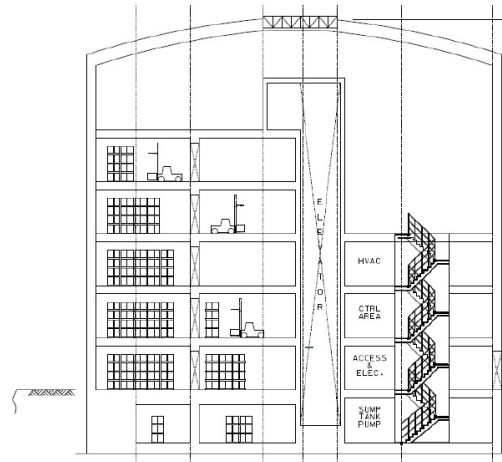


Fig. 10

Proiect de principiu pentru noul depozit de deșeuri radioactive de la CNE Cernavoda, DIDR

Noul DIDR va asigura facilități comune pentru gestionarea deșeurilor de la retehnologizarea Unității 1 a celor rezultate din operarea Unităților 1 și 2 după retehnologizare.

Planul general ia în considerare spațiul pentru depozitarea intermediară a deșeurilor radioactive, amplasarea echipamentelor de compactare, spații pentru pretratarea/tratarea/caracterizarea deșeurilor, asigură zona de control al accesului personalului și pentru controlul contaminării.

Pentru asigurarea transferului deșeurilor mediu active din containerul de transport în containerele de depozitare intermediară, precum și pentru încărcarea în containerul de transport a LWC/SWC goale a fost prevăzută construirea unei anexe la clădirea reactorului Unității 5.

Aspecte specifice de radioprotecție la retehnologizarea unui reactor CANDU

Radioprotecția personalului în timpul retehnologizării unui reactor CANDU se confruntă cu o serie de provocări semnificative, neobișnuite pentru activitățile curente din operarea normală: câmpuri de radiații de ordinul Sv/h, niveluri înalte ale contaminării aerului, prezența tritiului, transuranienelor, particulelor fierbinți.

Asigurarea protecției la radiații este complicată și de prezența unui număr suplimentar de aproximativ 1000 de lucrători expuși recrutați temporar pentru lucrările de retehnologizare. Pentru asigurarea unui ritm corespunzător al activităților este necesară reconfigurarea zonei radiologice pentru facilitarea mișcării personalului, controlul eficient al contaminării și pentru instalarea echipamentelor auxiliare pentru retubare.

În aceste condiții pentru controlul pericolelor radiologice în timpul retehnologizării sunt necesare:

Asigurarea unei pregătiri corespunzătoare de radioprotecție pentru toate categoriile de personal;

Antrenamente pe simulatoare (mock-up) înainte de începerea lucrării pentru minimizarea duratei și identificarea zonelor care necesită îmbunătățiri sau măsuri compensatorii;

Planificarea ALARA a fiecărei lucrări, asigurarea mijloacelor de protecție necesare și asistență permanentă de către tehnicienii de radioprotecție la admiterea la lucru și pe parcursul lucrărilor. Supervizarea continuă a activităților;

Asigurarea echipamentului de protecție adecvat pentru toate pericolele radiologice existente. Costumul de plastic a fost folosit pentru activitățile de drenare a apei grele, tăierea fiderilor, înlocuirea canalelor de combustibil și a tuburilor calandria;

Asigurarea funcționalității sistemelor de radioprotecție: Sistemul de monitorizare a câmpurilor de radiații gama –SMFG, sistemul de monitorizare a tritiului din aer – TAM, Sistemul de monitori ficși de contaminare, Aparatura portabilă și semiportabilă, Teledozimetrie;

Asigurarea funcționării RMS – Radiation Monitoring System în condițiile în care Unitatea 1 va fi în curs de retehnologizare, iar Unitatea 2 în operare normală;

Analiza în adâncime a lucrărilor care se desfășoară în paralel pentru evaluarea impactului radiologic a unei lucrări asupra condițiilor radiologice a lucrărilor care se desfășoară în aceeași zonă sau în zonele adiacente;

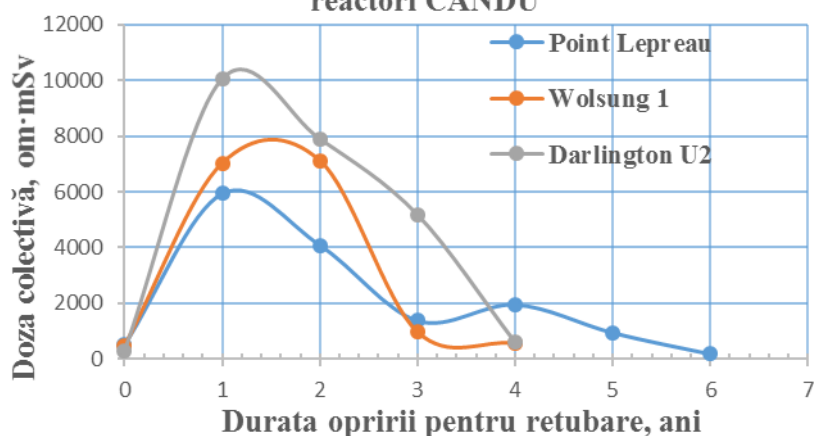
Colectarea deșeurilor radioactive și transferul ritmic în afara zonelor de lucru.

3.1 Câmpuri mari și fascicule intense de radiații gama

Lucrările de retubare se desfășoară în prezența unor câmpuri mari de radiații și a unor fascicule intense de radiații gama fiind necesar un control în timp real al expunerilor dintr-un Centru Integrat de Control al Dozelor utilizând sistemul de teledozimetrie îmbunătățit cu facilități de comunicare și urmărire video.

Aşa cum se poate vedea din Fig. 11 şi Tabelul 2 doze colective raportate pentru lucrările de retehnologizare au valori cu totul neobişnuite pentru operarea normală şi opririle planificate ale centralelor CANDU,

Fig. 11 Doze colective la retehnologizarea unor reactori CANDU



Tabelul 2 Doze colective la retehnologizarea unor reactori CANDU

Timpul, ani	Doza colectivă, om mSv		
	Point Lepreau	Wolsung 1	Darlington 2
1	5942	7009	10034
2	4082	7112	7889
3	1375	975	5179
4	1953		
5	939		
Doza totală	14291	15097	23102

3.2 Tritiu şi particule radioactive în aer

După descărcarea combustibilului în Bazinul de combustibil uzat SPTC – Sistemul primar de transfer al căldurii şi SM – Sistemul Moderator sunt golite şi uscate pentru a permite înlocuirea canalelor de combustibil şi a tuburilor calandria. Apa grea tritiată va fi stocată în condiţii sigure. Pentru gestionarea pericolului de contaminare internă cu tritiu trebuie asigurată funcţionarea sistemului de uscare a aerului din clădirea reactorului şi monitorizarea continuă pe toată durata retehnologizării utilizând sistemul TAM şi monitorii semiportabili de tritiu.

Pentru limitarea radioactivităţii aerului în zonele de lucru echipamentele de retubare sunt prevăzute cu sisteme locale de ventilaţie activă cu filtre HEPA – High Efficiency Particulate Air. Evacuarea aerului din acest sistem trebuie controlată astfel încât emisiile radioactive să respecte limitele derivate de evacuare aprobate.

În cazul inhalării sau ingerării de particule care conţin transuraniene radiaţiile alfa reprezintă un pericol pentru organismul uman pe toată durata vieţii. Aşa cum a demonstrat experienţa din industrie prezenţa transuranienelor este posibilă în straturile de magnetită depuse în circuitul primar. Deoarece extragerea componentelor SPTC este efectuată prin metode generatoare de particule radioactive de dimensiuni reduse care se pot suspenda în aer este necesară monitorizarea aerului şi a suprafeţelor, asigurarea echipamentului de protecţie corespunzător şi decontaminarea promptă în cazul identificării unei contaminări. Pentru monitorizarea aerului sunt folosite monitoare cu alarmă CAM – Continuous Air Monitors pentru avertizarea promptă a personalului din zona de lucru sau din zonele adiacente despre apariţia pericolului de contaminare internă din aer. Monitorizarea contaminării alfa a personalului şi echipamentelor se face utilizând contaminometre cu contori proporţionali cu suprafaţă mare. În punctele de trecere dintr-o zonă radiologică în alta trebuie amplasaţi monitori pentru întregul corp cu capacităţi de detecţie a radiaţiilor alfa. În cazul apariţiei unor contaminări interne programul de dozimetrie trebuie să asigure evaluarea dozelor interne prin analize de probe biologice sau metode alternative.

3.3 Particule fierbinți

Tehnologia utilizată pentru extragerea componentelor puternic activate ale zonei active poate genera particule de dimensiuni reduse cu radioactivitate foarte mare, așa numite particule fierbinți. Acestea sunt dificil de identificat și pot cauza expuneri neanticipate în intervale scurte de timp. Pentru identificare este recomandabilă utilizarea de spectrometre cu opțiunea de vizualizare a distribuției câmpurilor de radiații gama. Lucrările cu pericol de producere a particulelor fierbinți trebuie tratate cu multă atenție încă din faza de planificare și urmărite cu atenție de către personalul de radioprotecție în faza de execuție.

3.4 Pregătirea personalului

Pentru ca lucrările de retubare să fie efectuate în mod eficient și în condiții de securitate radiologică, menținând expunerile la radiații la un nivel cât mai scăzut în mod rezonabil (ALARA) lucrătorii implicați în proiectul de retehnologizare trebuie să aibă competențe care nu pot fi obținute decât printr-un program de pregătire strict adaptat la tehnologia de retubare și care trebuie parcurs înainte de admitere la lucrări pe fețele reactorului. Programul de pregătire trebuie să asigure abilitățile necesare pentru operarea echipamentelor de retubare, atât la demontarea componentelor uzate cât și la montarea componentelor noi. O parte importantă din programul de pregătire se va desfășura într-o clădire dedicată “Mock-up and Training Facility” în care se va amenaja un simulator care reproduce parțial fețele reactorului, unde este exersată utilizarea tuturor echipamentelor folosite la retubare.

Fig. 12 Imagine din “Mock-up and Training Facility”, Darlington OPG [9]



Deoarece majoritatea lucrărilor de retubare se desfășoară într-un mediu cu debite mari de doză și niveluri crescute ale contaminării radioactive, și se încadrează în categoria „cu risc ridicat” pregătirea de radioprotecție este o componentă esențială a programului de pregătire. Pregătirea de radioprotecție trebuie să asigure obținerea permisului de exercitare de nivel 1 sau 2, cunoașterea pericolelor radiologice specifice și a măsurilor de protecție pentru fiecare etapă a procesului de retubare.

Tehnicienii de radioprotecție care vor exercita atribuții de asistent de radioprotecție vor trebui să aibă calificările necesare conform programului de pregătire al CNE Cernavodă, în plus vor beneficia de o pregătire specifică pentru activitățile de retubare care va fi asigurată de specialiști cu experiență solidă atât în radioprotecție cât și în retubare.

Bibliografie

- General Long Term Operation Framework, IAEA, 2006;
- Country Nuclear Power Profiles, Romania (updated 2020), IAEA report
- Studiul de fezabilitate privind gestionarea deșeurilor radioactive generate în perioada de retehnologizare a Unității 1 și în perioada de operare a Unităților 1 și 2 de la CNE Cernavodă după retehnologizare
- Inventory of radioactive waste in Canada, Natural Resources Canada, 2016
- Canadian National Report for the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, 2011
- Darlington Refurb uses state-of-the-art waste facility, <https://www.opg.com/news/darlington-refurb-waste-facility/>
- CANDUTM6 Refurbishment and Optimization of Radiation Protection, Shahla Alavi, 2009, AECL
- ISOE DATABASE
- Darlington's First Refurbishment: A Model for Nuclear Construction, <https://www.powermag.com/darlingtons-first-refurbishment-a-model-for-nuclear-construction/>

Studiu statistic privind expunerea profesională la radiații ionizante a personalului laboratorului de radioterapie cu energii înalte

Carmen Mariana Hărdut¹ (*carmenhardut@yahoo.com*), Edina Morvay Szabo¹, Elisabeta Pățcaș¹,
E.-V. Macocian², Sanda Monica Filip², Monica Toderaș²

¹Spitalul Clinic Municipal „Dr. Gavril Curteanu” Oradea, Laboratorul de radioterapie;

²Universitatea din Oradea, Facultatea de Informatică și Științe, Departamentul de Fizică

Rezumat:

Lucrarea reprezintă un studiu statistic asupra expunerii profesionale la radiații ionizante în cadrul laboratorului de radioterapie cu energii înalte de la Spitalul municipal „Dr. Gavril Curteanu” din Oradea. Evaluarea expunerii a fost realizată prin estimarea dozelor încasate de expuși profesional care își desfășoară activitatea curentă în zonele controlate.

1. Introducere:

Evaluarea expunerii profesionale la radiații ionizante este reglementată legislativ prin Norme de dozimetrie individuală și radon nr.180 din 17 noiembrie 2020, publicat în MO partea I, nr.1225 bis/ 14.XII.2020 [1], Norma 13/ iunie 2018, privind cerințele de bază de securitate radiologică, emisă de Ministerul Sănătății, Ministerul Educației Naționale și CNCAN, publicată în MO nr.517 bis din 25 iunie 2018 [2] și diverse norme de securitate radiologică (NSR) emise de către CNCAN [3-7].

Responsabilitatea pentru protecția și securitatea radiologică în sensul normativelor de dozimetrie individuală, conform Normelor de dozimetrie individuală și radon nr.180 din 17 noiembrie 2020, revine următoarelor entități:

- Întreprinderea;
- Serviciile de dozimetrie individuală;
- Serviciile de înregistrare a dozelor;
- Lucrătorii;
- Expertul în protecție radiologică;
- Serviciile de medicina muncii

fiecărei entități fiindu-i stabilite responsabilitățile proprii în monitorizarea și evaluarea expunerii profesionale la radiații ionizante.

Dozele permise de către lucrători se evaluează în situații de expunere planificată, în situații de expunere existentă și în situații de expunere de urgență. Expuși profesionali din cadrul laboratorului de radioterapie sunt de categorie B și expunere planificată.

Mărimile dozimetrice utilizate în protecția radiologică pentru laboratorul de radioterapie sunt :

- doza efectivă E;
- doza echivalentă H_T în țesutul sau organul T.

Mărimile operaționale utilizate sunt:

- $H_p(10)$ - echivalentul de doză individuală pentru evaluarea dozei efective E;
- $H_p(0,07)$ - echivalentul de doză individuală pentru evaluarea dozei echivalente la piele și la extremități;
- $H_p(3)$ - echivalentul de doză individuală pentru evaluarea dozei la cristalin.

Incertitudinea de măsură este caracteristică fiecărui laborator standard secundar.

2. Monitorizarea dozimetrică a lucrătorilor expuși profesional în cadrul laboratorului de radioterapie

Spitalul Clinic Municipal „Dr. Gavril Curteanu” Oradea are în laboratorul de radioterapie două acceleratoare liniare (LINAC), un CT- simulare și o instalație de brahiterapie cu sursa închisă de radiații de Ir-192. Aceste instalații au fost operate, în perioada de raportare, de aproximativ 25 – 30 lucrători.

S-a determinat echivalentul de doză individuală pentru întregul organism $H_p(10)$. În determinările din anii 2017, 2018 și 2020 au fost utilizate dozimetre individuale de tip TLD – *Thermo Luminescent Dosimeter*, iar în 2019 dozimetre de tip OSL - *Optically Stimulated Luminescence dosimeter*. Metodele de achiziție a datelor sunt specifice fiecărui tip de laborator standard secundar. Frecvența de monitorizare a fost de 1 lună.

În cele ce urmează prezentăm datele de monitorizare ale personalului expus profesional în perioada 2017-2020. Din motive ce țin de protecția datelor cu caracter personal, acesta este indicat doar prin inițiale, fără precizări suplimentare referitoare la nume sau locul de muncă efectiv.

Rezultatele pe anul 2017:

Rezultatele monitorizării sunt trecute în tabelul următor:

Tabelul 1. Monitorizarea dozimetrică a personalului pe anul 2017

Nr.crt.	NP	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Total
1.	AL	-	-	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,14	0,41
2.	BD	0,07	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,06	0,03	0,04	0,45
3.	BV	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,37
4.	BM	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,37
5.	CIC	0,08	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,41
6.	CI	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,39
7.	DA	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,39
8.	FM	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,37
9.	FT	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,37
10.	GAM	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,03	0,39
11.	GA	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,39
12.	HC	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,37
13.	KM	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,37
14.	LD	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,36
15.	ME	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,36
16.	NA	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,38
17.	OP	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,36
18.	PE	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,37
19.	PEL	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,37
20.	PM	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,38
21.	RS	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,36
22.	SV	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,37
23.	SS	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,36
24.	UM	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,36
25.	VE	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,37
26.	VV	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,36

În figura următoare este indicată distribuția valorilor echivalentului de doză:

Echivalentul de doză anual [mSv]	Număr cazuri
0,36	7
0,37	10
0,38	2
0,39	4
0,41	2
0,45	1

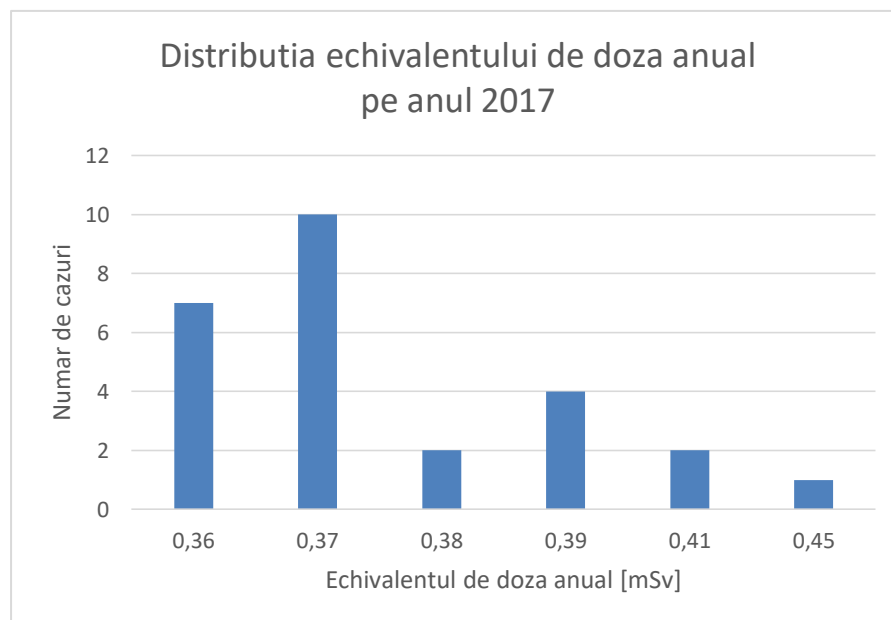


Fig. 1. Distribuția statistică a valorilor echivalentului de doză anual în 2017

Valoarea medie a echivalentului de doză a distribuției $H_p(10)=0,37$ mSv. Se observă valori anuale cumulate relativ similare, cu un maxim al distribuției chiar pe valoarea medie, ceea ce indică lipsa unor evenimente. Cea mai mare doză înregistrată – 0,45mSv este pentru BD, lucrător care nu lucrează efectiv cu pacienții si nu manipulează instalații de radioterapie fiind îngrijitoare (femeie de serviciu). Dozele de 0,41mSv pentru AL si CIC sunt datorate

neglijenței persoanelor (dozimetre lăsate după program pe mesele de lucru, în prezența razelor solare). Oricum, toate valorile sunt situate cu mult sub dozele maxime admise de 20mSv/an.

Rezultatele pe anul 2018:

Tabelul 2. Monitorizarea dozimetrică a personalului pe anul 2018

Nr.crt.	NP	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Total
1.	AL	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,41
2.	BD	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,10	0,49
3.	BV	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08	0,41
4.	BDM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03
5.	BM	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,40
6.	CD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03
7.	CL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03
8.	CC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03
9.	CIC	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,41
10.	CI	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,05	0,06	0,06	0,03	0,03	0,03	0,10	0,53
11.	DA	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08	0,41
12.	FT	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,40
13.	GAM	0,03	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,08	0,48
14.	GA	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,35
15.	GI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03	0,07	0,13
16.	GT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03	0,05	0,06
17.	HC	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,41
18.	JH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03
19.	KM	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08	0,43
20.	MI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03
21.	MK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03
22.	MS	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,40
23.	NA	0,04	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,06	0,05	0,03	0,04	0,07	0,48
24.	OP	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07	0,43
25.	PE	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,09	0,47
26.	PEL	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,40
27.	PM	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08	0,49
28.	RS	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,40
29.	SD	-	-	-	-	-	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,08	0,28
30.	SV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,08	0,11
31.	SS	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,40
32.	UM	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,06	0,43
33.	VE	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,08	0,03	0,07	0,48
34.	VV	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,06	0,48
35.	VL	-	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08	0,38

Echivalentul de doza anual [mSv]	Număr cazuri
0,03	7
0,06	1
0,11	1
0,13	1
0,28	1
0,35	1
0,38	1
0,40	6
0,41	5
0,43	3
0,47	1
0,48	4
0,49	2
0,53	1

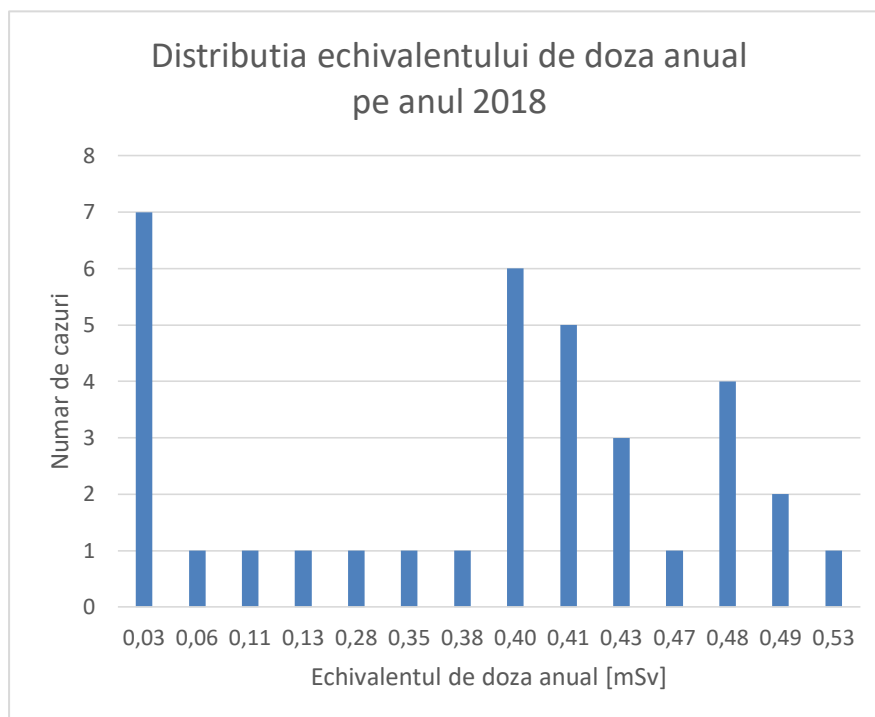


Fig. 2. Distribuția statistică a valorilor echivalentului de doză anual în 2018

Valoarea medie a echivalentului de doza a distribuției $H_p(10)=0,32$ mSv. Doza cea mai mare 0,58 mSv a fost înregistrată din nou din neglijență, iar dozele de 0,49 mSv au fost primite din nou de îngrijitoare. Pentru persoanele a căror muncă presupune intrarea în mediu de radiații se remarcă doze mai mici.

Rezultatele pe anul 2019:

Tabelul 3. Monitorizarea dozimetrică a personalului pe anul 2019

Nr.crt.	NP	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Total
1.	AL	0,11	0,15	0,12	0,15	0,15	0,12	0,12	0,13	0,18	0,19	0,12	0,13	1,69
2.	BD	0,13	0,13	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,15	0,14	0,17	0,15	1,67
3.	BL	-	-	0,12	0,15	0,15	0,13	0,14	0,14	0,16	0,14	0,15	0,16	1,34
4.	BV	0,14	0,16	0,15	0,15	0,15	0,11	0,11	0,10	0,18	0,12	0,15	0,15	1,67
5.	BD	0,13	0,13	0,13	0,13	0,15	0,11	1,46	0,11	0,17	0,13	0,14	0,14	2,93
6.	BM	0,12	0,13	0,12	0,13	0,13	0,10	0,10	0,14	0,17	0,16	0,11	0,13	1,54
7.	CD	0,11	0,10	0,13	0,16	0,14	0,12	0,14	0,14	0,17	0,13	0,14	0,15	1,63
8.	CL	0,12	1,31	0,13	0,16	0,16	0,13	0,12	0,13	0,43	0,15	0,14	0,16	3,14
9.	CC	0,13	0,16	0,12	0,14	0,13	0,10	0,13	0,12	0,19	0,17	0,13	0,17	1,69
10.	CI	0,12	0,13	0,14	0,19	0,14	0,10	0,12	0,12	0,16	0,13	0,14	0,16	1,65
11.	DA	0,12	0,15	0,16	0,18	0,12	0,11	0,11	0,12	0,20	0,15	0,14	0,20	1,76
12.	FT	0,14	0,13	0,13	0,16	0,15	0,12	0,14	0,15	0,20	0,12	0,12	0,14	1,70
13.	GAM	0,14	0,14	0,15	0,15	0,13	0,16	0,12	0,12	0,15	0,13	0,13	0,14	1,66
14.	GI	0,14	0,14	0,15	0,16	0,13	0,12	0,12	0,12	0,17	0,21	0,14	0,13	1,73
15.	HC	0,16	0,14	0,16	0,14	0,14	0,12	0,11	0,12	0,15	0,15	0,16	0,13	1,68
16.	JH	0,15	0,17	0,17	0,17	0,15	0,11	0,11	0,11	0,18	0,17	0,13	0,16	1,78
17.	MK	0,14	0,19	0,14	0,15	0,14	0,13	0,12	0,15	0,15	0,15	0,13	0,16	1,75
18.	MI	0,11	0,16	0,16	0,15	0,15	0,13	0,11	0,16	0,13	0,13	0,13	0,16	1,68
19.	ME	0,10	0,18	0,15	0,17	0,13	0,10	0,11	0,12	0,19	0,13	0,13	0,16	1,67
20.	NA	0,11	0,19	0,15	0,15	0,15	0,13	0,13	0,13	0,16	0,14	0,15	0,15	1,74
21.	OP	0,12	0,17	0,13	0,14	0,12	0,12	0,10	0,12	0,16	0,16	0,11	0,14	1,59
22.	PE	0,13	0,14	0,16	0,16	0,13	0,11	0,13	0,13	0,16	0,15	0,12	0,15	1,67
23.	PEL	0,13	0,12	0,12	0,16	0,12	0,10	0,12	0,16	0,16	0,13	0,14	0,12	1,68
24.	PM	0,12	0,12	0,14	0,15	0,16	0,13	0,12	0,14	0,18	0,13	0,12	0,16	1,67

25.	RS	0,11	0,14	0,15	0,16	0,11	0,12	0,13	0,13	0,15	0,14	0,13	0,12	1,59
26.	SV	0,13	0,14	0,14	0,18	0,15	0,13	0,11	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	1,71
27.	SS	0,11	0,14	0,13	0,16	0,16	0,11	0,13	0,13	0,17	0,14	0,14	0,14	1,66
28.	UM	0,15	0,13	0,14	0,17	0,14	0,12	0,12	0,13	0,16	0,14	0,13	0,16	1,69
29.	VE	0,14	0,12	0,15	0,17	0,13	0,13	0,11	0,15	0,18	0,15	0,14	0,15	1,72
30.	VC	-	-	0,90	0,15	0,13	0,10	0,13	0,12	0,18	0,17	0,13	0,16	2,17
31.	VL	0,15	0,14	0,13	0,15	0,16	0,10	0,11	0,13	0,15	0,12	0,14	0,15	1,63
32.	AG	0,16	0,13	0,14	0,13	0,14	0,12	-	-	-	-	-	-	0,82
33.	AFB	-	-	0,11	0,14	0,14	0,12	0,11	0,14	0,15	0,13	-	-	1,04
34.	KM	0,12	0,16	0,12	0,16	0,14	0,13	0,12	0,16	0,17	0,14	-	-	1,42
35.	VV	0,12	0,15	0,15	0,17	0,16	0,13	-	-	-	-	-	-	0,78
36.	C	0,14	0,11	0,15	0,12	0,15	0,13	0,12	0,14	0,15	0,14	0,13	0,13	1,51

Echivalentul de doza anual [mSv]	Număr cazuri
0.78	1
0.82	1
1.04	1
1.34	1
1.42	1
1.51	1
1.54	1
1.59	2
1.63	2
1.65	1
1.66	2
1.67	5
1.68	3
1.69	3
1.7	1
1.71	1
1.72	1
1.73	1
1.74	1
1.75	1
1.76	1
1.78	1
2.17	1
2.93	1
3.14	1

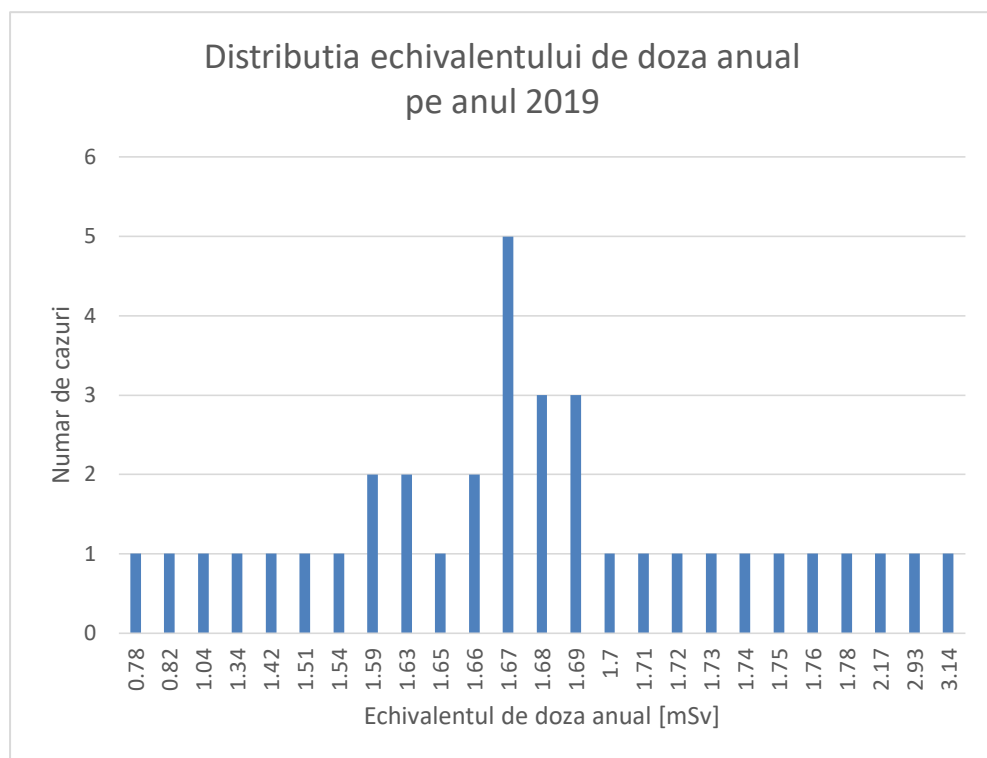


Fig. 3. Distribuția statistică a valorilor echivalentului de doză anual în 2019

Se observă că valorile măsurate în acest an diferă în mod esențial de cele din ceilalți ani, fiind însă și în acest an cu mult sub limita maximă admisă. Abaterea este explicată de metodologia diferită utilizată, bazată în acest an pe dozimetre *OSL*, spre deosebire de metoda standard cu dozimetre *TLD* utilizată în ceilalți ani. Media distribuției corespunde valorii $H_p(10)=1,68$ mSv. În urma investigațiilor, s-a stabilit și în acest caz, că cele mai ridicate valori corespund neatenției, în sensul expunerii directe a dozimetrelor la radiația solară.

Rezultatele pe anul 2020:

Tabelul 4. Monitorizarea dozimetrică a personalului pe anul 2020

Nr.crt.	NP	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Total
1.	AL	0,03	0,03	0,06	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,40
2.	BD	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	-	-	-	0,28
3.	BL	0,03	0,03	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,39
4.	BV	0,03	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07
5.	BD	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	-	-	-	-	-	-	-	0,18
6.	BM	0,03	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,41
7.	CD	0,03	0,03	0,06	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,43
8.	CL	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,37
9.	CC	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,36
10.	CI	0,03	0,07	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,42
11.	DA	0,03	0,04	0,07	0,03	0,03	-	-	-	-	-	-	-	0,17
12.	FT	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03	-	-	-	-	-	-	-	0,18
13.	GA	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,40
14.	GI	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,37
15.	HC	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,38
16.	JH	0,03	0,04	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,40
17.	KM	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,38
18.	MI	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	-	-	-	-	-	-	-	0,17
19.	ME	0,03	0,03	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,40
20.	NA	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,37
21.	OP	0,03	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06
22.	PE	0,03	0,03	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,40
23.	PEL	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,37
24.	PM	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,38
25.	RS	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,37
26.	SV	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,40
27.	SS	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,38
28.	UM	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,39
29.	VE	0,03	0,03	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,42
30.	VC	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03	-	-	-	-	-	-	-	0,18
31.	VL	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,38

Echivalentul de doza anual [mSv]	Număr cazuri
0.06	1
0.07	1
0.17	2
0.18	3
0.28	1
0.36	1
0.37	5
0.38	5
0.39	2
0.4	6
0.41	1
0.42	2
0.43	1

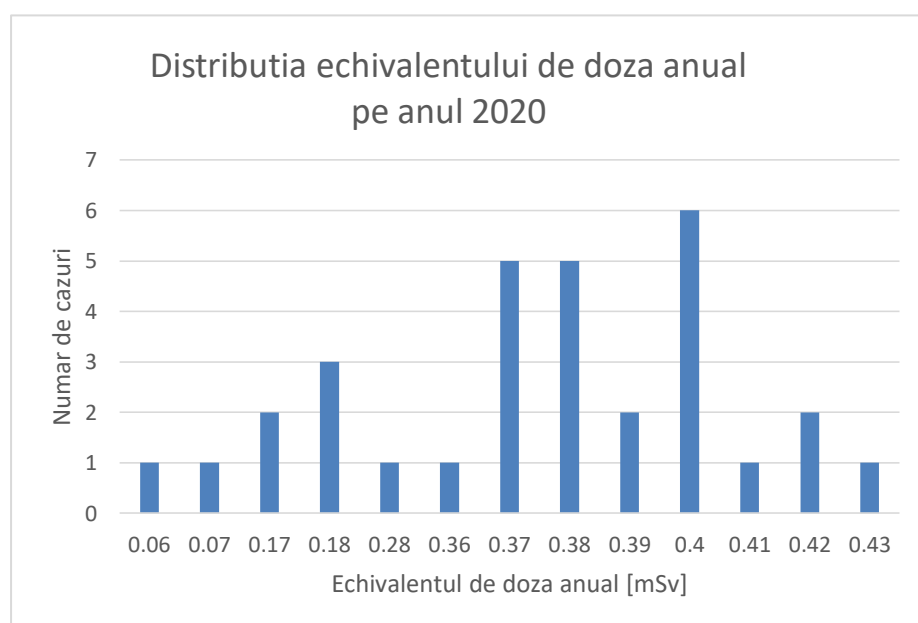


Fig. 4. Distribuția statistică a valorilor echivalentului de doză anual în 2020

Valoarea medie a echivalentului de doză a distribuției $H_p(10)=0,33$ mSv. Cele mai mici doze au fost înregistrate datorită ieșirii persoanelor din mediul de radiații.

3. Concluzii:

Monitorizarea dozimetrică a lucrătorilor expuși din cadrul laboratorului de radioterapie din Spitalul Clinic Municipal "Dr. Gavril Curteanu" Oradea evidențiază faptul că în perioada de monitorizare nu s-au înregistrat doze peste limitele admise.

Principiul de măsurare asociat tipului de dozimetre utilizat în monitorizare influențează valorile măsurate în mod sensibil. În situația prezentată mai sus, valorile măsurate cu dozimetre *OSL* sunt de câteva ori mai mari decât cele măsurate cu dozimetrele *TLD*. Acest rezultat trebuie admis, deoarece se regăsește la toți subiecții monitorizați, pe toate lunile, într-o perioadă în care nu s-au înregistrat evenimente de natură internă laboratorului sau externă. De asemenea, perioada de utilizare a dozimetriei de tip *OSL* este situată între două perioade în care a fost utilizată dozimetria de tip *TLD*, pentru care valorile sunt similare.

Un rezultat aparent paradoxal apare prin faptul că lucrători din personalul suport, neimplicat în mod direct în procedurile de tratament (de tipul îngrijitoare sau femei de serviciu) au încasat doze mai ridicate decât personalul medical și fizicienii. Acest lucru se explică prin intrarea lor repetată în zonele expuse în cadrul procedurilor de igienizare. Rezultatul implică acordarea unei atenții suplimentare acestui tip de personal în cadrul procedurilor de securitate radiologică.

Bibliografie:

- 1 Norme de dozimetrie individuală și radon nr.180 din 17 noiembrie 2020, publicat în MO partea I, nr.1225 bis/14.XII.2020;
- 2 Norma 13/ iunie 2018, privind cerințele de bază de securitate radiologică, emisă de Ministerul Sănătății, Ministerul Educației Naționale și CNCAN, publicată în MO nr.517 bis din 25 iunie 2018;
- 3 Norme de dozimetrie individuală (*NSR-06*), aprobate prin ordinul nr. 180/ 05.09.2002 al președintelui CNCAN și publicate în MO, Partea I nr. 769 bis din 22 octombrie 2002;
- 4 Norme de securitate radiologică în practicile de radiologie de diagnostic și radiologie intervențională (*NSR-11*), aprobate prin Ordinul președintelui CNCAN nr. 173/16.10.2003 și publicată în MO al României nr. 924/23.12.2003;
- 5 Norme de securitate radiologică în practica de radioterapie (*NSR-12*), aprobate prin Ordinul președintelui CNCAN nr. 94/14.04.2004;
- 6 Ordinul nr. 292/31.08.2004 pentru modificarea Normelor de dozimetrie individuală, (*NSR-28*), aprobate prin Ordinul 180/2002, al președintelui CNCAN și publicate în MO, Partea I nr. 1253 din 24/12/2004;
- 7 Ordinul nr. 293/30.08.2004 pentru modificarea și completarea Normelor de securitate radiologică în practica de radioterapie, (*NSR-29*), aprobate prin Ordinul 94/2004, al președintelui CNCAN și publicate în MO, Partea I nr. 1253 din 24/12/2004.

Evaluarea câmpurilor de radiații ionizante la experimente cu laseri de mare putere

I. O. Mitu (iani.mitu@eli-np.ro), I. Avram, M. Coiciu, F. Negoită

Extreme Light Infrastructure – Nuclear Physics (ELI-NP)/Institutul Național de C&D pentru Fizică și Inginerie Nucleară – Horia Hulubei (IFIN-HH), Str. Reactorului, nr. 30, Măgurele, Ilfov, Romania

Rezumat

Laserii de mare putere constituie în prezent baza unui nou mecanism de accelerare a particulelor încărcate la energii înalte, ce sunt mai apoi utilizate în experimentele de fizică nucleară. Datorită particularităților ansamblurilor experimentale utilizate pentru accelerarea particulelor încărcate, mai precis a fenomenelor apărute la interacția fasciculelor laser focalizate pe țintele materiale, sunt generate câmpuri complexe de radiații ionizante ce necesită o atenție deosebită din punct de vedere al radioprotecției. În comparație cu acceleratoarele clasice [1] unde caracterizarea câmpurilor de radiații ionizante este la îndemână utilizatorilor datorită disponibilității acestora în întreaga lume de câteva zeci de ani, în cazul acceleratoarelor bazate pe laserii de mare putere, evaluările de radioprotecție sunt unele mai complexe, bazându-se pe estimările teoretice ale condițiilor experimentale și pe câteva date obținute în puțină practică de până acum în acest nou domeniu la nivel global. Lucrarea de față abordează acest subiect prin prisma experimentelor de fizică nucleară propuse a se realiza în cadrul infrastructurii de cercetare ELI-NP, experimente ce implică accelerarea particulelor încărcate utilizând laseri de mare putere din clasa PW. Analiza câmpurilor de radiații ionizante a cărei rezultat este prezentat în cadrul acestui document a fost efectuată utilizând tehnici moderne de calcul, coduri de simulare Monte Carlo.

Introducere

Infrastructura de cercetare ELI-NP găzduiește un sistem laser de mare putere (HPLS), capabil să furnizeze pe două brațe, în paralel, fascicule laser cu puterea 0.1 PW, 1 PW și 10 PW. Cele trei fascicule laser sunt livrate către camerele experimentale ale facilității, prin intermediul sistemului de transport fascicul laser (LBTS). Experimentele propus a fi realizate cu laserii de mare putere [2] implică focalizarea acestora într-un punct focal de dimensiuni micrometrice pe ținte materiale (solide, lichide sau gazoase). Printr-o serie de mecanisme fizice dependente de parametri fasciculului laser, proprietățile țintei și caracteristicile plasmei generate, în urma interacției fasciculului laser cu țintele materiale sunt generate câmpuri complexe de radiații ionizante. În mare parte dintre experimentele propuse este urmărită accelerarea particulelor încărcate, însă o dată cu acestea sunt de asemenea produse o serie de alte particule de energii înalte. Particularitățile câmpurilor de radiații ionizante complexe produse în cadrul experimentelor ce utilizează laserii de mare putere sunt fără precedent, acestea nemaifiind generate și analizate în cadrul experimentelor clasice de fizică nucleară. Din acest considerent este necesar ca evaluările de radioprotecție să fie atent elaborate în vederea dimensionării elementelor de ecranare și a implementării sistemelor de protecție eficiente, în vederea asigurării unui nivel optim de protecție atât personalului expus ocupațional, cât și a mediului și publicului.

Cazul analizat în această lucrare este reprezentat de experimentele realizate în cadrul ariei experimentale denumită E4 cu laseri de 0.1 PW pe ținte gazoase (jet de gaz) în vederea accelerării electronilor din gaz la energii de câteva sute de MeV. Experimentele au ca scop obținerea unor pulsuri secundare de radiație X cu energii în domeniul keV, prin accelerarea electronilor în gaz, studiindu-se efectul pe care îl are configurația pulsului laser (prin utilizarea unor pulsuri elicoidale) și posibilitatea de a utiliza aceste pulsuri X pentru metode imagistice cu contrast de fază de interes medical.

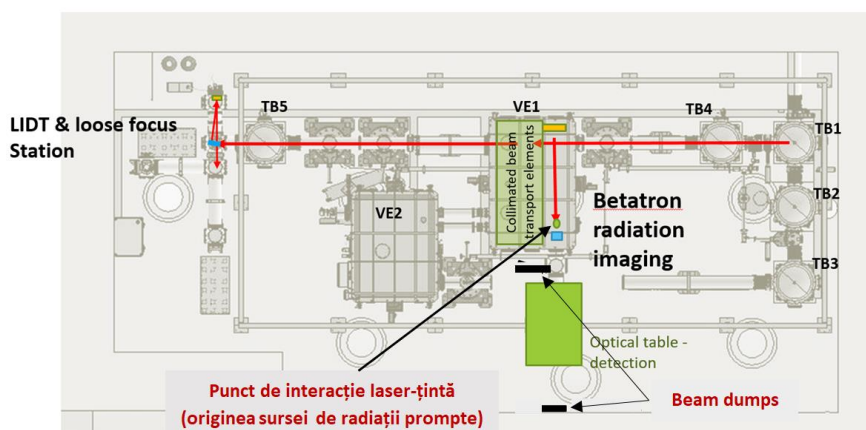


Figura 1 Aranjament experimental din cadrul ariei E4

Propunerea experimentală a trecut prin mai multe faze de optimizare, pentru a obține cât mai eficient fotonii în domeniul X de interes, cu reducerea radiațiilor secundare și ale activărilor datorate interacțiunii dintre electronii accelerați și materialul incintelor de vid și opritoarelor de particule (beam dump-uri). Proiectarea beam dump-urilor asigură că mare parte din câmpul primar de radiații ionizante generat în experiment să fie absorbit local, în vecinătatea țintei. Zidurile de radioprotecție ale ariei experimentale asigură mai departe că doza încasată de personalul expus

ocupational ce își desfășoară activitatea în zonele adiacente ariei E4 să fie atât ALARA (As Low As Reasonably Achievable) cât și acceptabilă din punct de vedere al constrângerilor de doză impuse facilității.

În cadrul acestui document sunt prezentate rezultatele studiilor de radioprotecție și dozimetrie, efectuate în vederea desfășurării experimentelor propuse pentru aria E4. Estimarea caracteristicilor câmpurilor de radiații ionizante produse în urma interacției fasciculului laser de mare putere cu ținta materială a condus la determinarea dozelor în aria experimentală și vecinătățile acesteia. De asemenea, în studiul efectuat au fost identificați radionuclizii produși și calculate dozele reziduale, rezultate în urma iradierii componentelor aranjamentului experimental, ecranelor de radioprotecție și aerul din aria experimentală.

Criterii de proiectare

Constrângeri de doză

Cadrul legislativ național și European impune limite de doză pentru radiații ionizante la care se poate expune oricare membru din categoria personalului expus ocupational ce își desfășoară activitatea la o instalație radiologică și membrii publicului general din jurul acesteia, valorile acestora fiind indicate în [3].

Măsurile de radioprotecție prevăzute la ELI-NP conduc, conform estimărilor efectuate, la următoarele constrângeri de doză efectivă pentru expușii profesional:

- Limita pentru doza efectivă estimată va fi mai mică de 2 mSv într-un an. În circumstanțe speciale, o doză efectivă mai mare poate fi autorizată într-un singur an, avându-se în vedere ca media peste cinci ani consecutivi să nu fie mai mare de 2 mSv pe an;
- Limita pentru doza echivalentă a cristalinului ochiului va fi mai mică de 15 mSv într-un an;
- Limita pentru doza echivalentă pentru piele va fi mai mică de 50 mSv într-un an mediat pe oricare 1 cm² suprafață a pielii, referitor la aria expusă;
- Limita pentru doza echivalentă a extremităților precum mâinile, antebrațele, picioarele și gleznele, va fi mai mică de 50 mSv într-un an.

Limitele de doză efectivă pentru personalul feminin, în timpul sarcinii sau alăptării, vor fi conform normelor de securitate radiologică în vigoare [3].

În completarea limitelor de doză menționate mai sus, proiectul constrânge dozele pentru public la a zecea parte din limita impusa pentru populație. Prin urmare limita pentru doza efectivă pentru un membru din grupul critic va fi de 0.1 mSv într-un an (limita include și contribuția tuturor practicilor IFIN-HH).

În vederea respectării criteriului limitării dozelor, organizarea activităților în zona experimentală E4 vor fi supuse principiului ALARA. Trebuie menționat faptul că dozele provenite din expunerea externă sunt datorate radiațiilor gamma și neutronilor, radiații puternic penetrante care pot traversa ecranele de radioprotecție. Beam dump-urile sunt concepute astfel încât contribuția la doza încasată de personal datorită particulelor din fasciculele primare va fi mică în comparație cu cea datorată radiațiilor gamma și neutroni aparținând câmpurilor secundare de radiații ionizante generate în urma interacției surselor primare (electronii) cu aranjamentul experimental, materialul beam dump-ului sau cu zidurile de radioprotecție.

Având în vedere constrângerile de doză menționate anterior, nivelul de ocupare al zonelor adiacente zonelor controlate și luând în considerare un scenariu de operare foarte conservativ pentru toate experimentele propus a fi realizate în cadrul infrastructurii ELI-NP, a fost stabilită pentru dimensionarea ecranelor de radioprotecție un debit de doză maxim de 0.1 μ Sv/oră pe coridoarele adiacente ariei experimentale E4 (zona supravegheată) și 0.1 μ Sv/oră în afara clădirii experimente ELI-NP (zonă acces public). Toate evaluările de radioprotecție și modelarea ecranelor au fost bazate pe acest criteriu.

Termeni sursă

Termenii sursă utilizați în prezentul studiu sunt sumarizați în Tabelul 1. Aceștia reprezintă fasciculele primare de particule accelerate generate în urma interacției laserului de 0.1 PW cu materialul țintei gazoase din cadrul experimentelor propuse.

Tabel 1 Termenii sursă utilizați în calculele de radioprotecție

Particula	Energie (MeV)	Particule/Puls	Frecvența (Hz)	Divergența (mrad)	Particule/Secunda
Electroni	500	1.0E+09	0.1	20	1.0E+08
	300	1.0E+09	0.1	20	1.0E+08
	100	1.0E+09	0.1	20	1.0E+08

Valoarea maximă a energiei electronilor accelerați, precum și numărul de particule per puls și divergența au fost stabilite în conformitate cu studiile teoretice și experimentale efectuate la alte instalații laser pentru caracterizarea interacției pulsurilor laser cu tipul de țintă gazoasă utilizată în acest experiment. Valori

inferioare ale energiei sunt posibile să fie obținute și utilizate în experiment pentru generarea razelor X cu spectrul și distribuția spațială dorite. Valorile alese pentru energie și studiul prezentat mai jos demonstrează îndeplinirea criteriilor de doză pentru toate energiile până la valoarea maximă. Rata de repetiție este limitată prin sistemul de control al sistemului laser și este necesară pentru a menține suficient de scăzut nivelul de vid în incintele de interacție în condițiile utilizării unei ținte gazoase de tip jet sincronizat cu pulsurile laser.

Geometrie

Pereții ariei experimentale, atât pe direcție orizontală cât și pe direcție verticală (tavan și podea) au o grosime de 1.5 m și sunt confecționați din beton cu densitatea de 2.32 g/cm^3 . Accesul în aria experimentală E4 se realizează prin intermediul ușii de acces poziționată în partea de nord-est a ariei, așa cum se poate observa în Figura 2. Ușa de acces are o grosime similară cu pereții ariei experimentale, de 1.5 m, și este confecționată din același material cu aceștia (beton).

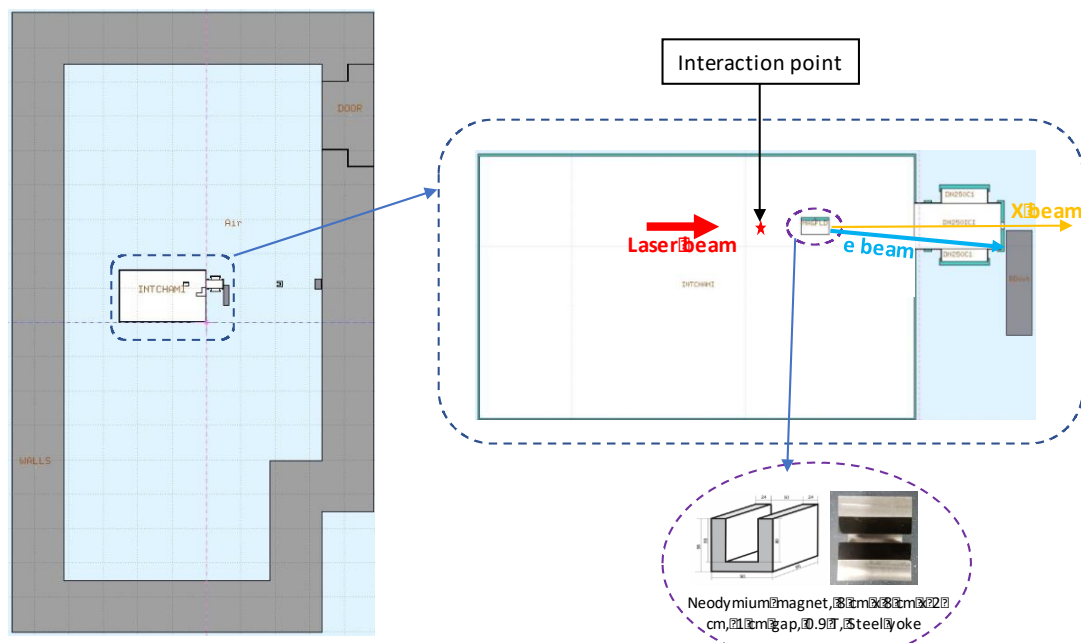


Figura 2 Geometria ariei experimentale E4 (stânga) și a camerei de interacție (dreapta - mărit), modelate în codul de simulare Monte Carlo FLUKA

Fasciculul laser de 100 TW intră în E4 prin partea de nord-vest, prin penetrația tehnologică aferentă tuburilor laser. Camera de interacție, unde va avea loc interacția fasciculului laser cu ținta jet de gaz se află în mijlocul ariei experimentale E4, așa cum se poate observa în Figura 1 și 2. În interiorul camerei de interacție, ținta jet de gaz reprezintă punctul de generare al fasciculelor primare de electroni. Pe direcția de propagare a fasciculului de electroni generați în ținta gazoasă este implementat un magnet de Nd (Neodymium) permanent ce are rolul de a devia electronii (reprezentat cu albastru în Figura 2) către un beam dump situat în vecinătatea camerei de interacție, în exteriorul acesteia. Beam dump-ul din vecinătatea camerei de interacție are dimensiunile 60 cm (lungime) x 15 cm (grosime) x 20 cm (înălțime) și este astfel poziționat încât să poată atenua electronii deviați de magnet pe un domeniu energetic începând de la aproximativ 100 MeV și până la energia maximă pe care aceștia o pot atinge de 500 MeV. Electronii din partea de jos a spectrului, adică cei cu energii mai mici de 100 MeV, împreună cu radiațiile secundare asociate, sunt eficient atenuați de peretele de oțel al camerei de interacție (grosime 1 cm) și zidul de radioprotecție din beton al ariei experimentale (grosime 1.5 m), astfel încât nivelul dozelor de radiații generate de aceștia nu depășesc pragul de $0.1 \mu\text{Sv/h}$ prestabilit, nefiind necesară implementarea unui beam dump suplimentar în acest sens.

A fost implementat un al doilea beam dump pe direcția de 0° a fasciculului de electroni pentru analiza scenariului în care magnetul nu este amplasat în camera de interacție și prin urmare fasciculul de electroni nu va fi deviat. Acesta are dimensiunile 30 cm (lungime) x 30 cm (înălțime) x 20 cm (grosime), dimensiuni rezultate în urma procesului de optimizare a design-ului pentru creșterea eficienței de atenuare a fasciculului de electroni cu energia maximă de 500 MeV. Acest volum de Pb în greutate de circa 200 kg, necesită o structură de suport și fixare pe perete, materialul ales în acest scop fiind Al (datorită timpilor scurți de viață ai produșilor de reacție), din care în geometrie a fost inclusă o placă de 2 cm plasată în fața plumbului.

Metoda utilizată

Modelarea numerică a ariei experimentale E4 în vederea evaluării eficacității ecranelor de radioprotecție și estimarea activității reziduale rezultate în urma iradierii componentelor aranjamentului experimental și a aerului din

interiorul ariei E4 a fost realizată utilizând codul de simulare Monte Carlo FLUKA [4]. A fost implementată geometria ariei experimentale, camerei de interacție, mesei optice, magnetului și beam dump-urilor în codul de simulare FLUKA. În Figura 2 este prezentată o vedere de sus a geometriei realizate.

A fost definit termenul sursă conform cu valorile prezentate în Tabelul 1 din prezentul document, poziția acestuia fiind indicată în Figura 2. Fasciculul de electroni se propagă către peretele de Est al ariei experimentale, pe această direcție fiind implementate cele două beam dump-uri, așa cum se poate observa în Figura 2. Beam dump-urile sunt poziționate astfel încât să atenueze eficient fasciculul de electroni primar care iese din camera de interacție, în funcție de devierea în câmp magnetic pe care o suferă, deviere dependentă de energia electronilor. Fasciculul de electroni primari generați în cadrul experimentului interacționează cu peretele estic al camerei de interacție și cu beam dump-urile, generând un câmp secundar intens de radiații X de frânare (Bremsstrahlung). Acesta, având un domeniu energetic comparativ cu electronii din fasciculul primar, va genera la rândul lui o serie de reacții nucleare din care rezultă câmpul mixt secundar de radiații ionizante, printre care se remarcă cele puternic penetrante, radiațiile gamma și neutronii. Cele din urmă se propaga prin spațiul din interiorul ariei experimentale și prin zidurile de radioprotecție, generând însă în partea rece a zidurilor (pe coridorul adiacent dinspre Est) un nivel al debitului de doză care se încadrează în limitarea impusă de $0.1 \mu\text{Sv/h}$, așa cum reiese din rezultatele obținute și prezentate în capitolul următor. Interacția câmpului secundar de radiații ionizante cu elementele aranjamentului experimental din cadrul E4 rezultă în generarea de radioizotopi, natura acestora fiind dată de tipul de material iradiat, care vor genera la rândul lor un câmp de radiații rezidual, în urma opririi iradierii propriu-zise. Calculul dozei reziduale, identificarea radionuclizilor generați în urma iradierii și valorile activității remanente sunt prezentate în capitolul următor. Datorată propagării câmpului secundar de radiații ionizante prin aerul din interiorul ariei experimentale E4, în special a neutronilor, activarea aerului a fost analizată în vederea identificării radionuclizilor generați, care mai apoi vor fi transportați prin intermediul sistemului de ventilație către exteriorul clădirii. Modalitatea de calcul a concentrației radioizotopilor din aerul evacuat precum și calculul debitelor de doză efectivă rezultate în urma inhalării acestor radionuclizi sunt prezentate în capitolul următor.

Rezultate

În condițiile experimentale prezentate mai sus au fost realizate o serie de simulări prin intermediul cărora s-a urmărit evaluarea eficacității ecranelor de radioprotecție, verificarea îndeplinirii criteriului de debit de doză de pe coridoarele adiacente și respectarea limitelor legale pentru cantitatea și concentrația de radionuclizi generați în urma activării elementelor din aria experimentală E4. Evaluările debitelor de doză care sunt generate în exteriorul ariei experimentale E4 au indicat ca radiațiile gamma și neutroni sunt cele care contribuie major la nivelul acestora.

Primul caz prezentat este cel în care fasciculul de electroni cu energia maximă de 500 MeV interacționează cu beam dump-ul de lângă peretele estic al ariei experimentale E4, în acest scenariu nefiind prezent câmpul magnetic generat de magnetul din interiorul camerei de interacție. În Figura 3 a) este prezentată distribuția spațială a debitului echivalentului de doză ambiental calculat pentru toate particulele din câmpul de radiație generat în acest caz experimental. Factorii de conversie folosiți sunt definiți în [5]. Se observă concentrarea dozei de-a lungul fasciculului de electroni, emisia/împrăștierea particulelor secundare de către beam dump înapoi către sala, precum și efectul de atenuare al zidurilor. Dozele prompte din interior nu sunt relevante în condițiile în care personalul este evacuat înainte de pornirea fasciculului (și interblocață de închiderea ușii).

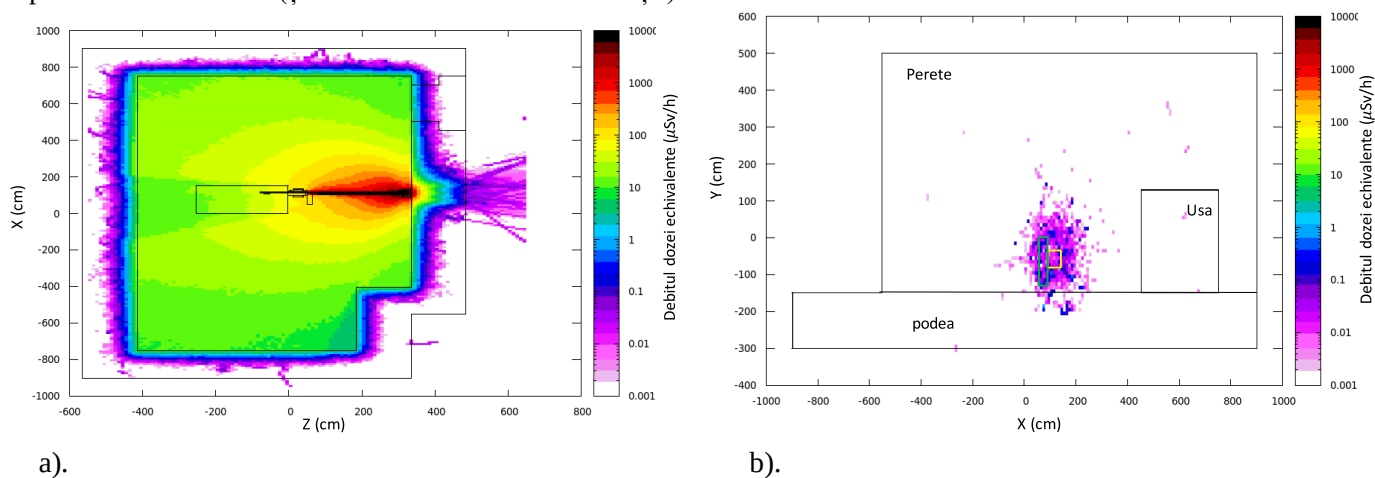


Figura 3 Harta debitului echivalentului de doză ambiental (toate particulele): a). vedere de sus, mediere într-o bandă centrată la nivelul fasciculului, de lărgime 100 cm; b). vedere din față, mediere într-o bandă verticală de grosime 10 cm adiacentă suprafeței exterioare a zidului.

Singura zonă unde se înregistrează o doză nenulă este pe coridor, în direcția fasciculului. O analiză a distribuției aceste doze în planul peretelui este prezentată în Figura 3 b). Proiecția beam dump-ului pe fața exterioară a peretelui este figurată prin pătratul galben. În medie, se observă o doză mai mică în acest pătrat decât în jurul acestuia, explicată prin efectul de ecranare suplimentară a beam dump-ului. Totuși, medierea în zona de maxim a dozei din

interiorul dreptunghiului verde din Figura 4 nu depășește la nici o distanță de perete valoarea de $0.1 \mu\text{Sv/h}$, așa cum se poate observa din Figura 4 demonstrând respectarea criteriului de doză pe coridor și optimizarea dimensiunilor beam dump-ului pentru acest scop.

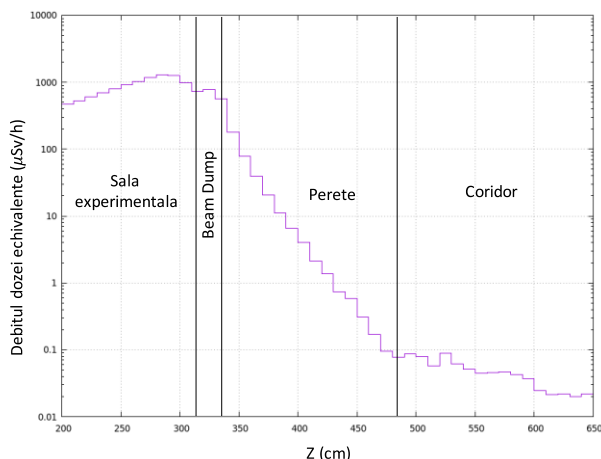


Figura 4 Debitul echivalentului de doză (toate particulele) de-a lungul axei Z, paralelă cu fasciculul de electroni, mediată în planul XY în dreptunghiul verde din figura 3 a).

Pentru evaluarea echivalentului de doză datorat radioactivității după oprirea fasciculului laser și, în consecință a fasciculului de electroni, a fost definit în codul FLUKA profilul temporal de iradiere corespunzător a 15 zile consecutive de iradiere cu 5 ore de iradiere continuă în fiecare zi. Acest profil de iradiere a fost utilizat în toate cazurile studiate pentru a facilita comparația, dar în realitate se preconizează că doar 1 sau 2 zile va fi folosită configurația din cazul 1.

Distribuția echivalentului de doză calculat la o secundă după oprirea fasciculului în ceea de-a 15-a zi de iradiere este prezentată în Figura 5. Se remarcă valorile foarte mici ale dozei, cu excepția unui domeniu foarte bine localizat în apropierea beam dump-ului. Acest rezultat este desigur așteptat pentru ca cea mai mare parte a reacțiilor care conduc la generarea de radioactivitate au loc la interacția cu beam dump-ul în timp ce fereastra de ieșire în aer, precum și parcursul de cca. 3 m în aer nu generează multe reacții. În fapt, secțiunea de reacție nucleară a electronilor este relativ scăzută, dar pierderea lor de energie prin radiație de frânare conduce la apariția unui flux important de raze gamma de mare energie care produc cu secțiune mare reacții fotonucleare cu emisie de protoni și mai ales de neutroni și astfel o paletă foarte largă de nuclee radioactive.

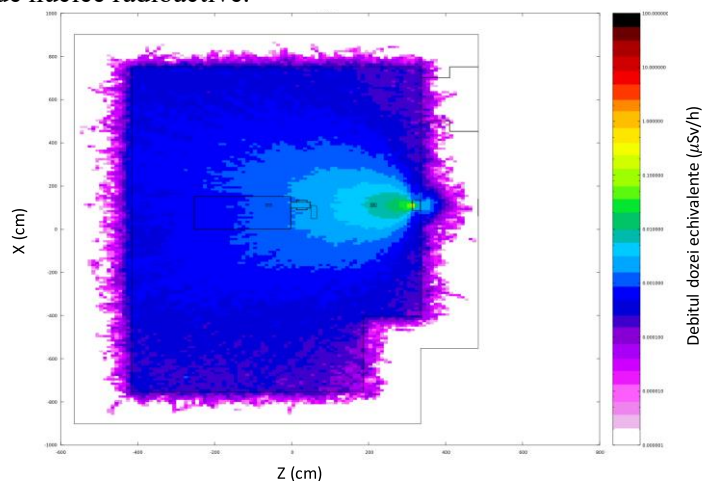


Figura 5 Harta debitul echivalentului de doză reziduală la 1 s după oprirea fasciculului. Mediere pe tot domeniul coordonatei Y (înălțimea).

Deoarece sunt prevăzute activități de reglaj ale sistemului de imagistică cu raze X plasat în apropierea beam dump-ului, o atenție deosebită trebuie acordată acestei zone de concentrare a dozei reziduale. Se observă că debitul echivalentului de doză la 10 cm în fața beam dump-ului este de $1 \mu\text{Sv/h}$, iar la contact cu beam dump-ul este de $5 \mu\text{Sv/h}$. În rest valorile sunt mult mai mici, atât la înălțimea fasciculului, cât și la alte înălțimi. Aceste valori nu descresc semnificativ după 1 oră de la oprirea fasciculului, dar după 5 ore, debitul dozei coboară sub $1 \mu\text{Sv/h}$ la contactul cu suprafața beam dump-lui.

Valorile de mai sus demonstrează că debitul dozei efective încasate de persoanele care vor desfășura activități în sala E4 în zilele când va fi utilizată configurația studiată în acest caz (fără câmp magnetic care să devieze electronii) se menține sub nivelul de $1 \mu\text{Sv/h}$, adică de 10 ori mai mică decât limita de $10 \mu\text{Sv/h}$ corespunzătoare valorii maxime permise legal de 20 mSv/an pentru persoanele expuse ocupațional cu un program de lucru normal (8 ore/zi, 250 zile

pe an), de asemenea încadrându-se și în criteriul de doză autoimpus de 2 mSv/an pentru angajații ELI-NP, pentru același scenariu de lucru.

În al doilea caz analizat fasciculul de electroni are energia de 500 MeV dar, fiind prezent câmpul magnetic de intensitate $B=0.6$ T generat de magnetul din interiorul camerei de interacție electronii sunt deviați spre beam dump-ul plasat în apropierea camerei de interacție. Grosimea acestui beam dump asigură oprirea completă a fasciculului de electroni și cea mai mare parte a particulelor secundare așa cum se observa în Figura 11 astfel încât debitul echivalentului de doză (și al dozei efective) pe coridor are valori foarte mici încadrându-se în criteriile de proiectare.

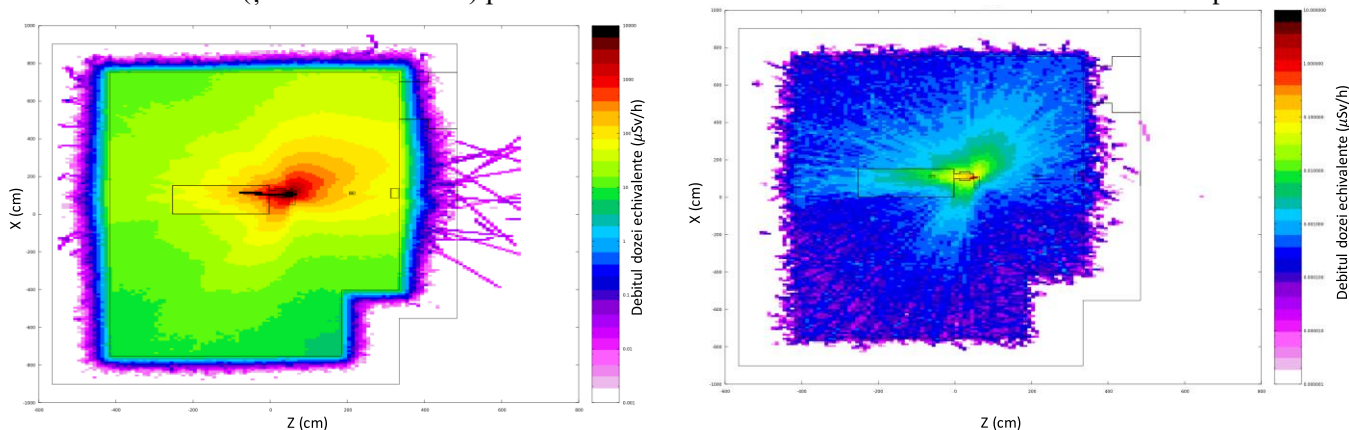


Figura 6 a). Harta debitului echivalentului de doză ambiental (toate particulele) în cazul 2, vedere de sus, mediere într-o bandă centrată la nivelul fasciculului, de lărgime 100 cm; b). Harta debitului echivalentului de doză reziduala la 10 min după oprirea fasciculului, mediat într-o banda de înălțime +/- 10 cm fata de axa fasciculului

Contururile debitului echivalentului de doză sunt extinse asimetric spre Nord (coordonata X pozitivă) deoarece particulele secundare sunt emise din apropierea marginii Nord a beam dump-ului. Extinderea spre Nord a beam dump-ului nu este posibilă pentru că ar obtura direcția înainte pe care sunt emise razele X utilizate în experiment (vezi Figura 2). Dar, așa cum a fost menționat și în cazul 1, dozele prompte nu sunt constrânse în interiorul ariei experimentale personalul fiind evacuat înainte de pornirea fasciculului.

De interes pentru protecția personalului este distribuția debitului echivalentului de doză la 10 minute după oprirea fasciculului când accesul în sală devine posibil. Harta debitului dozei din Figura 6 b) demonstrează că valorile sunt foarte mici în interiorul sălii E4, cu excepția unei regiuni foarte bine localizate în jurul beam dump-ului și a flânșei de vid din vecinătatea acestuia, la distanțe de cca. 10 cm față de acestea debitul dozei reziduale crescând peste $1 \mu\text{Sv/h}$. Ca și în cazul 1, după un timp de răcire radioactivă de 5 h valorile scad sub $1 \mu\text{Sv/h}$. Acest comportament este asemănător cu cel din cazul 1, concluziile favorabile privind încadrarea personalului expus ocupațional în constrângerile de doză fiind și ele asemănătoare.

Cazurile 3 și 4 corespund termenilor sursă din liniile 2 și 3 ale Tabelului 1, în care energiile electronilor sunt de 300 MeV și respectiv 100 MeV. Câmpul magnetic va devia mai puternic electronii comparativ cu cazul anterior (cazul 2) aceștia oprindu-se în beam dump așa cum se observă în Figura 7. Debitele dozelor sunt mai mici decât în cazul electronilor de 500 MeV în condițiile în care numărul de electroni per puls și rata de repetiție sunt identice în toate cele 3 cazuri. Condiția ca debitul dozei să fie mai mic de $0.1 \mu\text{Sv/h}$ pe coridor este respectată și în aceste cazuri.

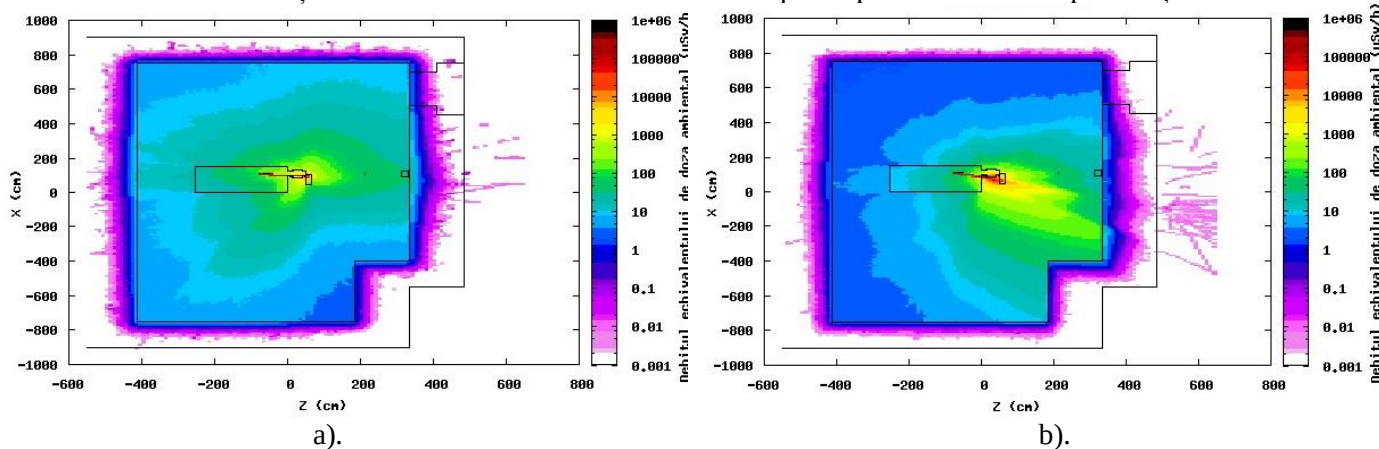


Figura 7 Harta debitului echivalentului de doză pentru electroni de energie 300 MeV (a) și 100MeV (b), mediat într-o bandă de înălțime +/- 50 cm față de axa fasciculului.

Energia mică a electronilor intrați în beam dump determină și o emisie mai scăzută ca număr și energie a particulelor secundare precum și a nucleelor radioactive produse. Astfel încât debitele de doză reziduale pentru aceste două cazuri sunt mai mici decât cele discutate în cazul 2 pentru un profil temporal de iradiere asemănător.

Discuție

În cadrul experimentelor de accelerare de electroni cu laseri, spectrele energetice sunt adesea largi și cu variabilitate mare de la puls la puls, dar pentru aranjamentul experimental propus în aria E4 sarcina totală (sumată peste toate energiile) va rămâne în limita precizată în Tabelul 1, astfel încât debitele de doză vor avea valori intermediare cazurilor prezentate mai sus și nu vor depăși pe cele calculate pentru energia maximă de 500 MeV (cazul 2). Pentru electronii de energii sub 100 MeV, devierea importantă în câmpul magnetic va face ca aceștia să nu mai ajungă în beam dump fiind opriți de pereții de inox ai incintei și de pereții de beton ai sălii E4, fără a produce pe coridor doze mai mari de 0.1 $\mu\text{Sv/h}$ nici în acest caz, așa cum se observă în Figura 8 pentru electroni de energie 50 MeV.

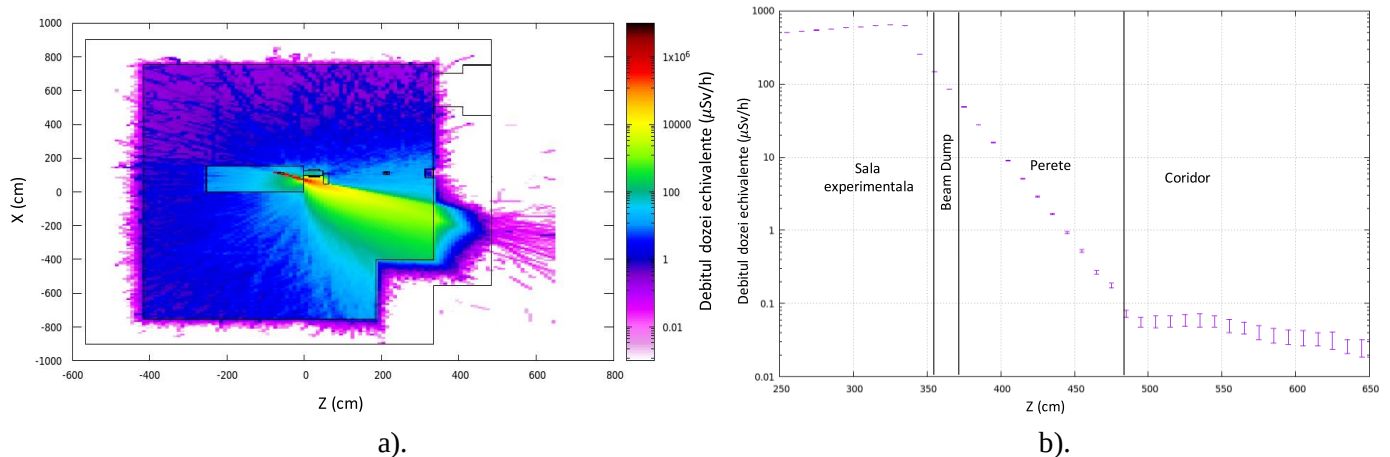


Figura 8 a). Distribuția debitului echivalentului de doză pentru electroni de energie 50 MeV, mediat într-o bandă de înălțime +/- 50 cm față de axa fasciculului; b). debitul echivalentului de doză este mediat și în intervalul -350 cm < X < -150 cm.

Pentru ca electronii de energii mai mari de 100 MeV să fie deviați mai mult astfel încât să treacă pe lângă beam dump-ul din apropierea camerei de interacție ar fi necesar un câmp magnetic mai puternic ceea ce este imposibil în cazul folosirii magneților permanenți în care se poate presupune degradarea în timp a magnetizării, dar nu creșterea acesteia, iar construcția fixă a magnetului nu permite apropierea polilor pentru a crește câmpul. În cazul demagnetizării este însă posibil ca devierea să fie prea mică pentru electronii de energii mari, dar în aceasta situație cazul 1 analizat mai sus pentru electronii de 500 MeV fără câmp magnetic reprezintă „the worst case scenario” din punct de vedere al dozelor prompte și reziduale care pot fi generate, ecranările implementate dovedindu-se suficiente și în acest caz pentru respectarea constrângerilor de doză impuse.

Activarea aerului

În analiza cazurilor prezentate mai sus a fost neglijată posibilitatea ca radioactivitatea nefixată să contribuie suplimentar la doza efectivă prin inhalare sau ingestie de către personalul expus ocupațional sau de public. Justificarea acestei neglijări este prezentată în continuare pe baza unei estimări în ipoteze simplificatoare conservative. În primul rând trebuie subliniat că experimentele nu folosesc material radioactiv pre-existent ci toți izotopii radioactivi sunt produși în experiment. Împreună cu activarea produsă în materialele solide, codul FLUKA calculează și activarea aerului pe care însă îl consideră fix, similar cu toate celelalte elemente de geometrie și material, deși în realitate radioactivitatea din aer este în mod continuu diluată și evacuată de sistemul de ventilație. Contribuția activării aerului la expunerea externă a personalului este astfel inclusă (supraestimat și deci conservativ) în hărțile debitului echivalentului de doză reziduală prezentate anterior, dar este dominată de activarea beam dump-ului. Pentru a determina activitatea evacuată și activitatea prezentă în aerul din sală în condițiile unei ventilații cu numărul de schimburi ale aerului pe oră să folosim ecuația diferențială:

$$dN/dt = P - \lambda N - sN$$

$$\text{cu soluția} \quad N(t) = \frac{P}{\lambda+s} (1 - e^{-(\lambda+s)t}) + N_0 e^{-(\lambda+s)t}$$

unde N este numărul de nuclee de tipul studiat prezente în sală la momentul t, P este rata de producere a acestuia, $\lambda = \ln(2)/T_{1/2}$ este rata de dezintegrare și N_0 este numărul de nuclee prezente în sală la începutul ciclului de iradiere. Activitatea raportată de codul FLUKA și prezentată în Tabelul 2 de mai jos corespunde cazului s=0 și a permis

determinarea ratei P după care a fost determinată concentrația activității în sala $C_0^{sala} = \lambda N/V$ folosind valoarea $s=5$ schimburi pe oră și volumul $V= 540 \text{ m}^3$ al sălii E4. A fost calculată de asemenea concentrația activității evacuată în exterior $C_0^{evac} = \lambda (sN/d^{evac})$ unde factorul $d^{evac} = 80000 \text{ m}^3/\text{h}$ reprezintă debitul de evacuare total al facilității ELI-NP. Desigur, aceste concentrații evoluează în timp, valorile luate mai departe în calcul corespunzând valorii maxime la sfârșitul perioadei de iradiere.

Tabel 2 Listă izotopi radioactivi datorati activării aerului. Semnificația coloanelor este descrisă în text.

Izotop	Perioada de înjumătățire $T_{1/2}$	Activitate calculată FLUKA (Bq)	Factorul debitului de doză efectivă $\dot{e}$ (Sv/day / (Bq/m ³))	C_0^{sala} (Bq/m ³)	C_0^{evac} (Bq/m ³)	$E_{prof.}$ (Sv)	$E_{pub.}$ (Sv)
¹³ N	10 min	1.33E+02	3.6E-08	1.12E-01	3.78E-03	2.7E-10	4.5E-10
¹⁵ O	122 sec.	6.63E+01	3.8E-08	9.87E-03	3.33E-04	9.3E-12	4.0E-11
⁴¹ Ar	106 min	1.02E+03	5.3E-09	1.01E+00	3.39E-02	6.2E-10	8.6E-10

Neglijând orice diluție suplimentară sau dezintegrare radioactivă datorită timpului suplimentar de la evacuare sau de la oprirea iradierii până la începerea expunerii, concentrațiile din Tabelul 2 permit determinarea contribuției la doza efectivă $E_{prof.}$ pentru expuși ocupațional care accesează sala E4 și respectiv doza efectivă $E_{pub.}$ pentru public folosind factorii de conversie pentru izotopii de interes disponibili în raportul ICRP 119 (pentru ⁴¹Ar) și în publicația [6] dedicată materialelor radioactive (¹³N și ¹⁵O) produse cu precădere de acceleratori. Relația de calcul a contribuției la doza efectivă este:

$$E = \int \dot{e} C(t) dt$$

implicând $E_{prof.} = \dot{e} C_0^{sala} * 15 * \frac{1}{\lambda + s}$

și $E_{pub.} = \dot{e} C_0^{evac.} * 15 * (5h + \frac{1}{\lambda})$

ținând cont de profilul de iradiere/evacuare menționat. Se observă că dozele efective pentru un experiment de 15 zile sunt sub nSv, chiar în condițiile foarte conservative precizate mai sus.

Concluzii

Calculule efectuate folosind codul FLUKA cu geometrie și materiale realiste demonstrează mențiunea unui debit al echivalentului de doză promptă sub 0.1 μSv/h pe coridorul adiacent sălii E4, și al unui debit al echivalentului de doză reziduală sub 1 μSv/h în interiorul sălii E4, cu excepția unei regiuni foarte restrânse spațial unde pentru o perioadă limită de câteva ore scade de la valoarea de maxim 5 μSv/h până la 1 μSv/h. Aceste calcule demonstrează încadrarea în limitele de doză asumate și optimizarea ecranelor de radioprotecție pentru scopul experimentelor avute în vedere.

În urma analizei rezultatelor calculului pentru activarea aerului utilizând raționamentul prezentat în capitolul anterior, se poate concluziona că doza efectivă pentru personalul expus ocupațional sau public, rezultată atât din expunerea externă cât și în urma inhalării aerului ce conține radioizotopii generați în timpul desfășurării experimentelor în interiorul ariei E4, cumulează o valoare foarte mică, în domeniul nSv după scenariul de operare conservativ de 15 zile, considerată prin urmare nesemnificativă.

Referințe

- [1] *The White Book of ELI Nuclear Physics Bucharest-Magurele, Romania*, The ELI-Nuclear Physics working groups, www.eli-np.ro
- [2] Romanian Reports in Physics, Vol. 68, Supplement, P. S37–S144, 2016.
- [3] Norme privind cerințele de bază de securitate radiologică, aprobate prin Ordinul ministrului sănătății, al ministrului educației naționale și al președintelui Comisiei Naționale pentru Controlul Activităților Nucleare nr. 752/3.978/136/2018 și publicate în Monitorul Oficial al României, Partea I nr. 517 bis din 25.06.2018.
- [4] A Fasso, A Ferrari, J Ranft and P R Sala, FLUKA-2011: a multi-particle transport code, CERN-2005-10 (2005), INFN/TC_05/11, SLAC-R-773
- [5] M. Pellicioni, Overview of Fluence-to-Effective Dose and Fluence-to-Ambient Dose Equivalent Conversion Coefficients for High Energy Radiation Calculated using the FLUKA Code, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 88, No. 4, pp279-297, 2000
- [6] K. F. Eckerman R. W. Leggett, Dose Coefficients and Derived Air Concentrations for Accelerator-Produced Radioactive Material, ORNL report ORDOS/2006/01

Studiu comparativ al debitelor de doză potențial încasate de lucrătorii implicați în decontaminarea celulelor fierbinți ale unui Reactor Nuclear de Cercetare de tip VVR-S aflat în dezafectare

Carmen Tuca (tuca@nipne.ro)

“Horia Hulubei” National Institute for R&D in Physics and Nuclear Engineering, IFIN-HH, P.O.B. MG-6, RO-077125, Măgurele, Romania

Abstract:

Prezentul studiu constă în evaluarea debitelor de doză potențial încasate de lucrătorii implicați în decontaminarea celulelor fierbinți ale unui reactor de cercetare nucleară de tip VVR-S aflat în dezafectare. Debitul de doză s-a estimat presupunând că cele mai mari riscuri radiologice provin de la podelele camerelor fierbinți, contaminate în timpul operării datorită deversărilor accidentale ale soluțiilor radioactive lichide și surselor radioactive solide. Evaluarea dozelor s-a făcut înainte de decontaminarea propriu-zisă, considerând două scenarii de expunere: i) dozimetrist potențial expus în timp ce efectuează măsurători de scanare a contaminării ($H \cdot (10)$ suprafețelor interne ale camerei fierbinți; ii) operator mecanic potențial expus în timpul decontaminării podelei. Evaluarea dozelor s-a făcut atât prin metoda de calcul standard cât și o metodă numerică de calcul (codul RESRAD Build), pe baza concentrațiilor de activitate măsurate în punctelor fierbinți ale podelei. Din compararea rezultatelor s-a observat că debitul dozei externe este destul de mare atât pentru dozimetristul care efectuează măsurători de scanare a contaminării podelei cât și pentru operatorul mecanic care decontaminează podeaua. Debitul dozei externe obținut prin metoda numerică în cazul decontaminării este cu 32% mai mic decât cel evaluat prin metoda standard, datorită complexității modelului. Expunerea potențială internă a operatorului mecanic la decontaminarea podelei este nesemnificativă, doza efectivă internă potențial angajată este destul de mică datorită faptului că evaluarea a presupus că lucrătorul este echipat cu mască de protecție prevăzută cu filtru de eficiență ridicată (99%).

Keywords: Reactor, Celula fierbinte, dezafectare, decontaminare, debit de doză.

1. Introducere

Reactorul de cercetare nucleară de tip VVR-S, aflat în proprietatea Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare în Fizică și Inginerie Nucleară (IFIN-HH) „Horia Hulubei”, România, a fost operat în perioada 1957 – 1997, fără niciun incident radiologic major. Scopul principal pentru care a fost proiectată această instalație nucleară a fost producerea de radioizotopi pentru aplicații medicale și industriale, cercetări în domeniile fizicii, biofizicii și biochimiei. În timpul perioadei de funcționare, producția de radioizotopi a fost realizată folosind patru celule fierbinți situate în subsolul clădirii reactorului (vezi figura 1 [1]). O descriere detaliată a designului, scopului și modului de utilizare a celulelor fierbinți este prezentată în lucrarea [2].

Datorită îmbătrânirii componentelor și sistemelor, specialiștii din domeniu și guvernul român au decis deopotrivă scoaterea din funcțiune a reactorului în vederea dezafectării acestuia. Dezafectarea propriu-zisă a reactorului s-a realizat în perioada 2010- 2020. Procesul de dezafectare a reactorului a fost împărțit în 3 faze principale. Celulele fierbinți au fost dezafectate în cel de-a treia fază.

Dezafectarea celulelor fierbinți a constat în: evacuarea deșeurilor, decontaminarea suprafețelor interne și demontarea componentelor interne (echipamente și căptușeala din oțel inoxidabil). Deșeurile din celulele fierbinți nr. 3, 2 și 1 au fost evacuate cu brațele mecanice aferente fiecărei camere și ale căruciorului de transport. Deșeurile din celula nr. 4 au fost evacuate manual, de la distanță, datorită faptului că brațele mecanice erau defecte. După evacuarea deșeurilor, suprafețele interne ale celulelor au fost scanate pentru a identifica nivelul de contaminare. Măsurătorile au arătat că principala contaminare este localizată pe podele, datorită deversării accidentale a substanțelor lichide iradiate sau împrăștierea de surse radioactive solide în perioada de funcționare a reactorului [2]. Înainte de decontaminarea suprafețelor interne ale celulelor fierbinți, doza echivalentă a fost evaluată prin două metode de calcul diferite, pentru a preveni supraexpunerea lucrătorilor implicați în acest proces. Decontaminarea suprafețelor interne s-a efectuat manual.

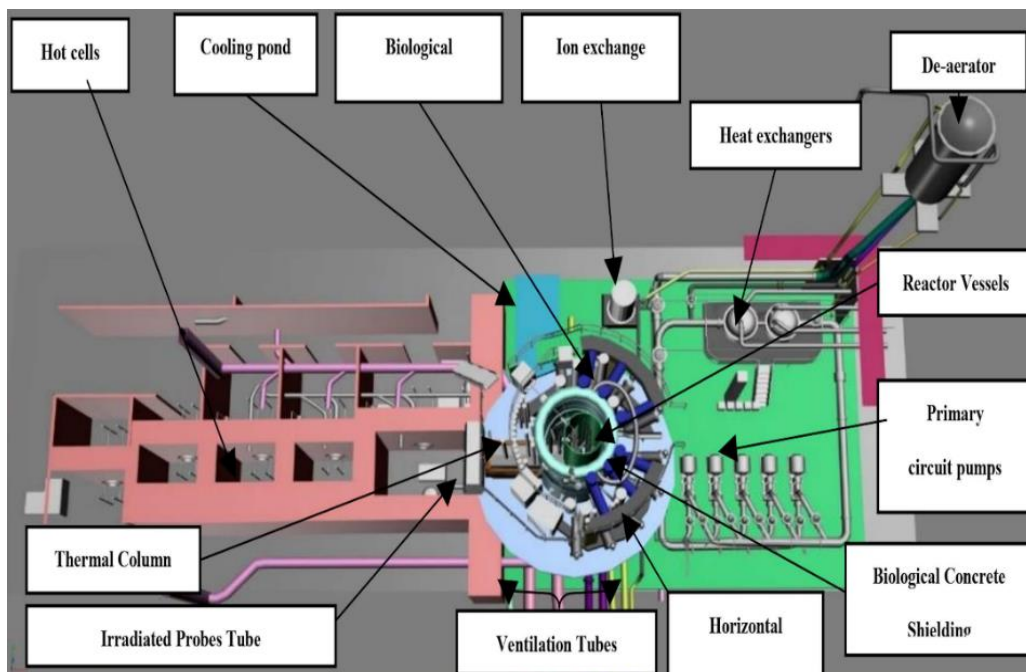


Figura 1: Vedere ansamblu a

de

reactorului [1]

2. Metode de evaluare a dozelor

Debitul dozei echivalente a fost evaluat pe baza măsurătorilor concentrației de activitate în situ, utilizând atât metoda de calcul standard cât și metoda numerică de calcul – codul de calcul RESRAD-BUILD. În acest scop, evaluarea s-a făcut pentru cel mai semnificativ scenariu de supraexpunere, decontaminarea celulei fierbinți nr. 4, deoarece procesul trebuia efectuat manual datorită faptului că mâinile mecanice ale acestei camere erau defecte.

2.1. Metoda standard

Pentru a determina expunerea potențială a dozimetristului și a lucrătorului mecanic în timpul procesului de scanare a contaminării superficiale și a procesului de decontaminare din camera fierbinți nr. 4, s-a utilizat o metodă standard de calcul. Astfel, pentru a calcula debitul dozei externe potențial încasate de dozimetristul care efectuează măsurarea directă a debitului de doză echivalentă ambientală, $H^*(10)$, în interiorul camerei fierbinți timp de 5 minute, am presupus că lucrătorul este poziționat în exteriorul camerei fierbinți, la aproximativ 70 cm de zona fierbinți de-a lungul axei orizontale (vezi Figura 2) [2].

Scanarea contaminării superficiale a podelei s-a realizat în conformitate cu procedura specifică [3], utilizând un debitmetru portabil digital de tip Thermo Scientific™ FH 40 G, prevăzut cu sondă de măsurare a debitului de doză gamma, tip FHZ 612-10. Pentru a determina punctele fierbinți, detectorul a fost plasat la mai puțin de 1 cm deasupra suprafeței. Astfel, pe podeaua camerei fierbinți nr. 4 s-au identificat 7 puncte fierbinți [2].

Pentru a avea o imagine cât mai clară a magnitudinii contaminării în punctele fierbinți, s-a procedat la efectuarea de măsurători paralele ale debitului de doză ambientală utilizând dozimetre cu detectoare termoluminiscente (TLD-S) cu sensibilitate ridicată echivalentă pentru țesut, de tip GR-200A [4]. Acestea s-au amplasat timp de o oră în fiecare punct fierbinți (vezi Figura 3). Descrierea detaliată a echipamentelor utilizate și a modului care s-au efectuat măsurătorile este prezentată în lucrarea [2].

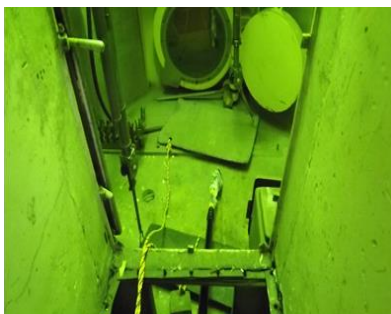


Figura 2: Scanarea contaminării pe podeaua CF 4 [2]

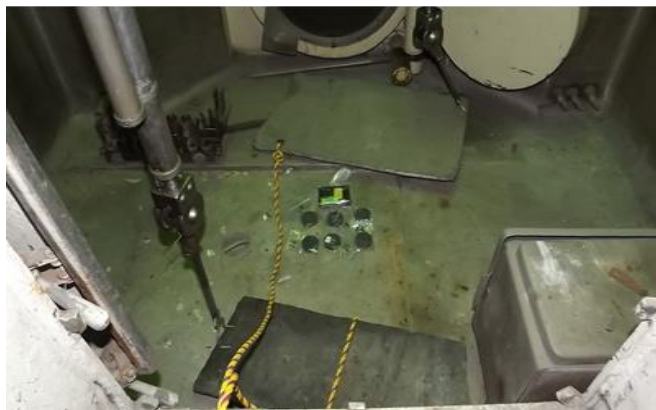


Figura 3: Amplasarea TLD-urilor în punctele fierbinți [2]

Activitățile punctelor fierbinți au fost estimate prin măsurări indirecte ale probelor prelevate de pe o suprafață de cca. 100 cm² în jurul fiecărui punct fierbinte, utilizând sistemul spectrometric cu raze gamma cu un detector coaxial de germaniu de înaltă puritate GEM60P4-95 (HPGe) [2]. Măsurătorile au fost efectuate în conformitate cu EN/ISO IEC 17025: 2005, conform procedurii specifice [5, 6-8].

Debitul dozei penetrante externe s-a calculat utilizând concentrația de activitate a radionuclizilor din fiecare punct fierbinte, conform metodologiei prezentate în lucrare [2]. În acest scop, am presupus că randamentul de prelevare pentru măsurarea activității este de 10% și că activitatea este concentrată în punctul cel mai fierbinte a cărui activitate totală este egală cu suma activităților tuturor punctelor fierbinți [2]. Pentru a calcula doza externă penetrantă pentru operatorul mecanic care decontaminează podeaua camerei fierbinți nr.4, am considerat că procesul se realizează în trei etape a câte 4 minute fiecare. În prima etapă, muncitorul pulverizează decontaminant (tip DeconGel 1108), de la înălțimea de 90 cm, și distanța de 45 cm de zona contaminată în direcție orizontală (vezi Figura 4 a) [2]. Apoi, stratul de hidrogel a fost împrăștiat cu o mistrie cu dinți în forma de V, de la înălțimea de 40 cm și distanța de 45 cm față de zona contaminată, în direcție orizontală (vezi Figura 4 b) [2]. În ultima etapă, la circa 24 ore de la împrăștierea decontaminantului, lucrătorul a îndepărtat pelicula uscata de gel, fiind poziționat similar ca în prima etapă (a se vedea Figura 4 c) [2].

Figura 4a: Sprierea pe podea a decontaminantului [2]

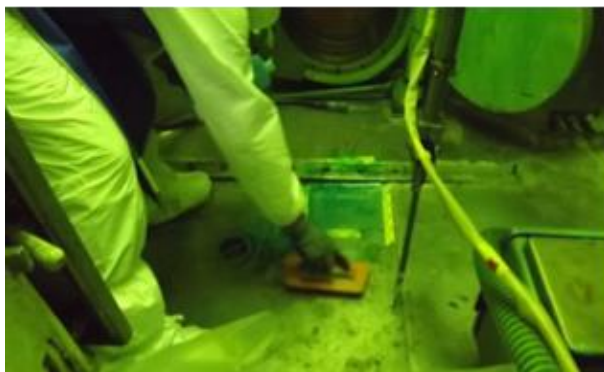


Figura 4b: Împrăștierea pe podea a decontaminantului [2]





Figura 4c: Îndepărtarea peliculei de gel [2]

Doza efectivă internă angajată, $E(50)$, s-a calculat luând în considerare faptul că în aer a fost concentrată doar 10^{-4} din activitatea totală a podelei și că lucrătorul purta o mască a cărei filtru are o eficacitate de retenție de 99% [2].

2.2 Metoda numerică de calcul - Modelarea utilizând codul RESRAD-BUILD

Având în vedere faptul că expunerea externă a operatorului mecanic ar putea fi mult mai mare decât a dozimetristului, s-a fost efectuat o evaluare suplimentară a dozei externe penetrante utilizând codul de calcul RESRAD Build (versiunea 3.5). Codul este conceput special pentru estimarea dozelor de radiații și a riscurilor RADioactive REZiduale pentru site-uri contaminate cu materiale radioactive [9].

Radiația externă care pătrunde în pereți, plafoane sau podele este calculată pe baza parametrilor de intrare care iau în considerare tipul, grosimea și densitatea materialelor din care sunt construite scuturile de protecție. Scutul de protecție poate fi specificat pentru fiecare pereche sursă-receptor. Expunerea internă este calculată pe baza modelului de calitate a aerului ce ia în considerare atât schimbul de aer între compartimente (camere) cât și schimbul de aer cu exteriorul acestora [9].

Codul ia în considerare următoarele căi de expunere: expunerea externă datorată sursei și a materialelor radioactive depuse pe podea, precum și a celor imersate în aerul din camera; expunerea internă datorită inhalării de particule radioactive aeropurtate, inhalarea de aerosoli descendenți ai radonului camerei, ingestia accidentală de materiale radioactive direct de la sursa sau a materialelor depuse pe suprafețe (vezi Fig. 5) [9].

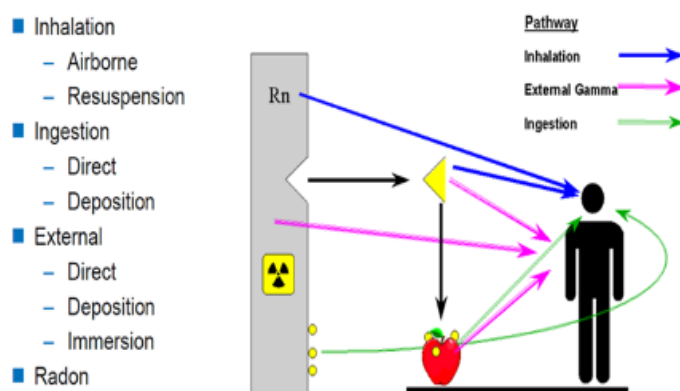


Figura 5: Căile de expunere utilizate de codul RESRAD Build [9]

Doza totală externă la momentul de timp t , de-a lungul duratei de expunere, ED , provenita de la o sursă volumică care conține radionuclidul n în compartimentul i , $D_{iV}^n(t)$, s-a calculat folosind (Eq. (1)), [9]:

$$D_{iV}^n(t) = \left(\frac{ED}{365}\right) F_{in} \cdot F_i \cdot \overline{C_{SV}^n} \cdot DCF_V^n \cdot F_G^n \quad (1)$$

Unde:

- ED : durată expunerii (zile), durată totală de timp considerată pentru evaluarea dozei, inclusiv intervalele în care receptorii pot fi absenți din clădire sau dintr-o locație interioară contaminată;
- 365: factorul de conversie a timpului (zile/an);
- F_{in} : fracțiunea de timp petrecută în interior;
- F_i : fracțiunea de timp petrecută în compartimentul i ;
- DCF_V^n : factorul de conversie al dozei, conform FGR-12, pentru o sursă de volum infinit exprimat în [(mrem/an)/(pCi/g)];

- F_G^n : factor geometric care ia în considerare aria finită, grosimea sursei, a ecranului, materialul sursei și poziția receptorului în raport cu sursa radionuclidului n;

- $\overline{C}_{SV}^n$: concentrația medie a sursei volumice (pCi/g) conținând radionuclidului n pe durata expunerii, ED, începând cu momentul t [9].

Pentru cazul analizat (camera fierbinte nr. 4), s-au fost luat în considerare următoarele date de intrare și parametri (a se vedea Fig. 6 și Tabelul 1): 1 compartiment, celula fierbinte propriu-zisă, sursa (un cerc de rază de 2 m situat în centrul camerei). Construcția RESRAD consideră sursele superficiale ca fiind surse volumice cu grosime mică (0,01 cm), având până la cinci straturi cu oricare dintre ele contaminate [9]. Pentru receptori (operatorii mecanici), s-au considera trei poziții distincte (x, y, z) în raport cu sursa: R1 (1,45 m, 0,60 m, 0,90 m) - receptorul 1 care efectuează pulverizare decontaminantului, R2 (0,55 m, 0,60 m, 0,45 m) - receptorul 2 care împrășteie decontaminantul pe podea și R3 (0,55 m, 0,40 m, 0,90 m) - receptorul 3 care îndepărtează pelicula de gel de pe podea după solidificarea acesteia.

Rata de inhalare a receptorului este de $28 \text{ m}^3/\text{zi}$ ($1.2 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h}$) [2]; rata de ingestie a receptorilor este 0 (muncitorii poartă masca respiratorie) [2], iar fracțiunea de eliberare a aerosolilor radioactivi (fracția de material eliminat mecanic care devine aeropurtat) este 0.0001.

Fracția de îndepărtare și timpul de eliminare al sursei (durata de viață a sursei) nu sunt necesare pentru acest scenariu, scenariu de renovare clădiri; rata de eroziune sursă (cm/zi) este 0 datorită timp foarte scurt afectat procesului de decontaminare [9].

Pentru studiul nostru de caz, debitul dozei penetrante s-a calculat luând în considerare punctul fierbinte cu cea mai ridicată concentrație de activitate - punctul (A7)- identificat prin scanare și măsurători gama spectrometrice in situ. S-a presupus că este necesar să se efectueze trei cicluri de decontaminare a câte 12 min. fiecare și că durata de expunere este de 30 de zile [13], iar fracția internă (calculată ca raport între timpul de lucru și durata de expunere) este 0,003.

Evaluarea s-a efectuat pentru momentele: inițial, după 7 zile, 14 zile, 21 de zile și, respectiv, 28 de zile, considerând că activitatea inițială (A_i) a scăzut în timp de la 100% la 15%.

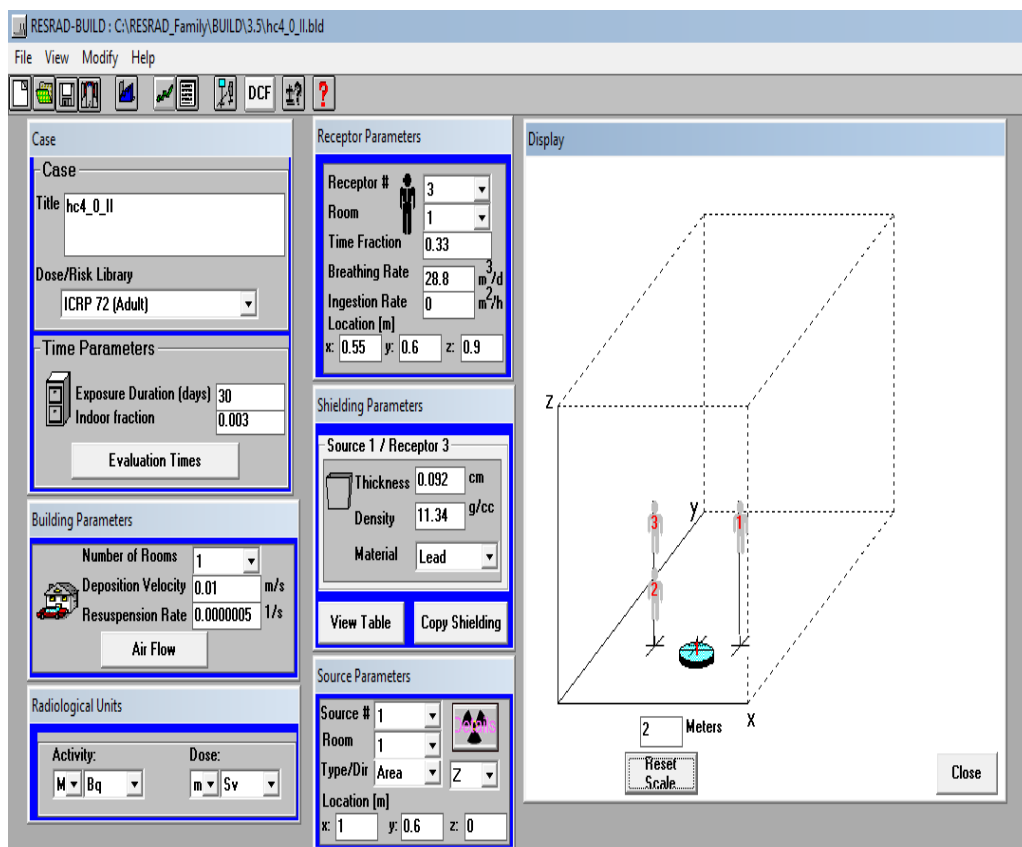


Figura 6: Date de intrare pentru codul RESRAD Build, studiului de caz decontaminarea CF 4

Tabel 1: Parametrii de intrare pentru studiului de caz, decontaminarea camerei fierbinți nr. 4

Parametru	Unitate	Scenariu renovare clădiri	Observații
Durata expunerii	zile	30.00	Durata totală luată în considerare pentru evaluarea dozei, inclusiv intervalele în care receptorii pot fi absenți din locația interioară contaminată
Fracția internă	adimensională	0.003	Fracție din duratei expunerii, petrecută de unul sau mai mulți receptori în interiorul unei clădiri (timpul de lucru/durata expunerii) [9]
Locația receptorului	m	R1 (1.45, 0.60, 0.90) R2 (0.55, 0.60, 0.45) R3 (0.55, 0.40, 0.90)	Poziția receptorului în raport cu centrul sursei
Rata de inhalare a receptorului	m ³ /zi	28.8 [2]	Pentru scenariul de renovare al unei clădiri, rata de respirație pentru activități moderate este considerată a fi de 1,6 m ³ /h în 24 de ore, (rata de respirație x 24 h) [10]. În cazul nostru s-a considerat o rata de respirație de 1,2 m ³ /h datorită faptului că lucrătorii poartă măști respiratorii
Rata de ingestie indirectă a receptorului	m ² /h	0.00001	Datorită purtării măștii respiratorii [2]
Tipul sursei	-	Sursa de suprafață	Geometria sursei
Rata directă de ingestie	1/h (suprafață) g/h (volum)	0.052	Calculată din rata de ingestie implicită de 1,1 x 10 ⁻⁴ m ² /h în scenariul de ocupare a clădirii NUREG / CR-5512 [11]
Fracția de eliberare în aer	—	0.0001	Fracția de material îndepărtată sau erodată mecanic care devine aeriană. Pentru scenariul de renovare a clădirii, este respirabilă o fracțiune mai mică [9]
Fracția de îndepărtare	—	Nu este necesar pentru studiul de caz analizat	Conform NUREG / CR-5512, 10% din contaminare este îndepărtabilă. Pentru surse volumice este nulă [12].
Timp de eliminare a sursei sau durata de viață a sursei	zile	Nu este necesar pentru studiul de caz analizat	Parametrul nu este necesar pentru surse volumice. [9].
Rata de eroziune a sursei	cm/zi	0	Datorită duratei foarte scurte a procesului de decontaminare

3. Rezultate

3.1. Metoda standard

Valorile medii ale dozei ambientale echivalente $H^*(10)$ sunt prezentate în tabelul 2 [2]. Pentru cele șase puncte fierbinți, valoarea medie, determinată prin scanarea contaminării podului, este de 15,6 mSv/h și respectiv de 28,6 mSv/h pentru măsurătorile efectuate cu TLD-uri [2]. Principalul risc pentru dozimetrist în timpul scanării contaminării se datorează punctului fierbinte A7. Pentru acest punct, doza ambientală echivalentă este de aproximativ 26 (27 pentru TLD) de ori mai mare decât valoarea medie a celorlalte șase puncte fierbinți [2].

Activitatea ^{60}Co ($4.57\text{E}+08$ Bq) în punctul cel mai fierbinte, A7, este cu 3 ordine de mărime mai mare decât valoarea medie ($3.60\text{E}+05$ Bq) a celorlalte 6 puncte fierbinți, fiind astfel confirmate rezultatele măsurărilor de debit de doză ambientală [2]. Activitățile ^{134}Cs , ^{137}Cs și $^{108\text{m}}\text{Ag}$ sunt de trei ori respectiv de două ori mai mici decât ale ^{60}Co [2].

Tabel 2: Doza ambientală echivalentă $H^*(10)$ [2]

Punct fierbinte	$H^*(10)_{\text{scan}}$ [mSv/h]	$H^*(10)_{\text{TLD}}$ [mSv/h]	Poziția sondei deasupra punctului fierbinte [cm]	Poziția TLD-ului fata de punctul fierbinte [cm]
A ₁	23.00 ± 2.76	31.70 ± 4.08	1.22	1.04
A ₂	9.40 ± 1.13	31.80 ± 4.54	0.90	0.49
A ₃	17.00 ± 2.04	31.87 ± 4.71	0.83	0.61
A ₄	15.00 ± 1.08	41.40 ± 7.63	0.89	0.53
A ₅	18.00 ± 2.16	23.97 ± 2.37	0.57	0.50
A ₆	11.00 ± 1.32	10.70 ± 0.94	0.90	0.91
A ₇	400.00 ± 20.00	782.00 ± 6.07	6.49	4.64

Debitul dozei penetrante pentru lucrătorii implicați în decontaminare a fost calculată prin metoda standard, presupunând că randamentul eșantionării pentru măsurarea activității este de 10% și că întreaga activitate este concentrată în punctul cel mai fierbinte. Valorile obținute sunt prezentate în tabelul 3.

Tabel 3: Debitul dozei penetrante externe estimate prin metoda standard [2]

Punct fierbinte	$\dot{H}_p(10)_{\text{scanare}}$ [mSv/h]	$\dot{H}_p(10)_{\text{decon.}}$ [mSv/h]	E (50) _{decon.} [mSv]
A ₁	5.36E-03	1.12E-02	3.33E-06
A ₂	1.18E-03	2.45E-03	7.48E-07
A ₃	2.09E-03	4.71E-03	1.14E-06
A ₄	2.41E-03	5.85E-03	1.16E-06
A ₅	1.19E-03	2.87E-03	5.74E-07
A ₆	2.45E-03	5.52E-03	8.55E-07
A ₇	3.37E+00	7.93E+00	1.62E-03
Total	3.39E+00	7.97E+00	1.63E-03

Conform legislației românești, limita de doză pentru expuși profesional este de 20 mSv/an, ceea ce înseamnă că pentru 2000 de ore de lucru pe an, limita de doză este de 10 μSv/oră [2]. Rezultatele obținute prin metoda standard releva că debitul dozei penetrante pentru dozimetrist este de 3.39 mSv/h, respectiv 0.28 mSv pentru o expunere de cinci minute, astfel că riscul este destul de ridicat. În consecință, timpul de lucru pentru activitățile viitoare nu trebuie să depășească 5.9 ore/an [2].

Pentru lucrătorul mecanic care efectuează decontaminare podelei, doza penetrantă estimată este de 7.97 mSv/h, respectiv 1.59 mSv pentru o expunere de 12 minute. Riscul este, de asemenea, foarte mare, prin urmare timpul de lucru trebuie să fie mai mic de 2.5 ore/an pentru activitățile viitoare [2].

Doza efectivă internă angajată E(50) s-a calculat pentru lucrătorul mecanic care efectuează decontaminarea podelei. Iradierea internă s-ar putea datora în principal prezenței punctului cel mai fierbinte A7 pentru care doza estimată este de 1.62 μSv. Doza este suficient de mică astfel că putem afirma că iradierea internă nu afectează lucrătorul datorită eficienței ridicate a filtrului [2].

3.2. Metoda numerică

Debitele de doză externă penetrantă pentru operatorii mecanici (receptori) care efectuează decontaminarea podelei, evaluate utilizând codul de calcul RESRAD Build, sunt prezentate în Tabelul 4 și în Fig. 7.

Tabel 4: Debitele de doză externă penetrantă evaluate cu metoda numerică

Perioada [days]	Ai [%]	Ai	R1 [mSv/h]	R2 [mSv/h]	R3 [mSv/h]	Total [mSv/h]	Rezultatele 4 arata că la procesului
0	100	4.57E+09	1.34E+00	2.86E+00	1.22E+00	5.42E+00	
7	60	2.74E+09	8.04E-01	1.71E+00	7.30E-01	3.24E+00	
14	40	1.10E+09	3.20E-01	6.80E-01	2.91E-01	1.29E+00	
21	25	2.74E+08	7.97E-02	1.70E-01	7.25E-02	3.22E-01	
28	15	4.11E+07	1.20E-02	2.54E-02	1.09E-02	4.82E-02	

decontaminare, riscul de expunere externă este cel mai ridicat. Astfel, cel mai mare risc îl are receptorul 2 (R2) care împrăștie decontaminantul pe podea pentru care valoarea estimată a debitului de doză externă este de 2.86 mSv/h. În ceea ce privește receptorul 1 (R1) care efectuează pulverizare decontaminantă și receptorul 3 (R3) care îndepărtarea

gelul de e podea se observa că valorile debitelor de doză externă penetrantă sunt similare, 1.34 mSv/h respectiv 1.22 mSv/h, doza potențial încasată de receptorul R2 fiind de 2.1 ori mai mare decât doza primită de R1, respectiv de 2.3 ori mai mare decât doza primită de R3.

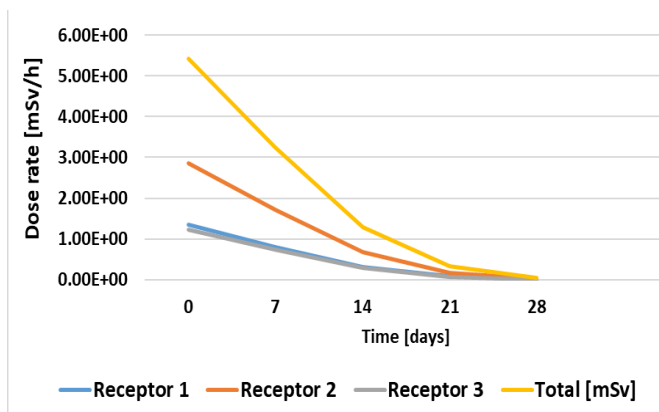


Figura 7: Debite de doză externa evaluate cu codul RESRAD Build

Analizând comportamentul în timp, se observa că deși, după 28 de zile (sfârșitul decontaminării), debitul dozei externe totale a scăzut destul de mult, la 48.2 μ Sv/h, valoarea rămâne de aproximativ 5 ori mai mare decât limita de doză pentru expușii profesionali, 10 μ Sv/h. Din compararea debitelor de doză penetrante externe totale evaluate pentru lucrătorul mecanic implicat în procesul de decontaminare al podelei camerei fierbinți nr. 4, la momentul inițial, se poate observa că debitul dozei de 5.42 mSv/h, obținut cu metoda numerică, codul de calcul RESRAD, este de 1,5 mai mic decât cel obținut cu standard metoda (7.97 mSv/h). Diferențele dintre rezultate pot fi puse pe seama complexității modelului numeric RESRAD. Metoda numerică este mai precisă și ar putea fi utilizată cu succes în evaluările viitoare legate de riscurile radiologice pentru profesioniștii implicați în dezafectarea instalațiilor nucleare.

Doza evaluată arată că riscul radiologic este foarte mare deoarece decontaminarea se efectuează manual. Nivelurile de contaminare rămân semnificative după trei cicluri de decontaminare, deoarece căptușeala din oțel inoxidabil este activată.

4. Recomandări și perspective viitoare

Datorită dozei mari, riscurile pentru lucrători sunt considerabile. În astfel de circumstanțe, considerăm că scanarea și decontaminarea pardoselii ar trebui efectuate cu roboți [13] pentru a preveni supraexpunerea lucrătorilor. Înainte de decontaminare, sursele situate în interiorul celulei fierbinți trebuie extrase de asemenea cu dispozitive controlate de la distanță (vezi Figura 8).

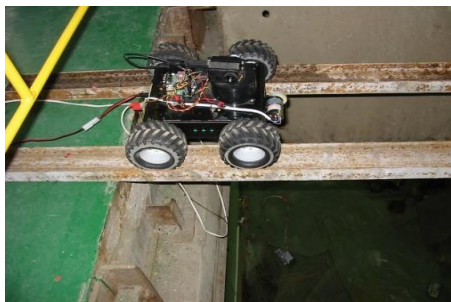


Figura 8: Dispozitiv de evacuare surse



Figura 9: Scanarea contaminării de la distanță

Gelul decontaminant ar trebui pulverizat de la distanță, lucrătorul fiind situat în afara celulei fierbinți (vezi Figura 10) iar decontaminarea trebuie efectuată cu un braț robotic Schunk montat pe platformă Neobotix [13-14].



Figura 10: Sprayere decontaminantului din exteriorul camerei



Figura 11: Braț robotic decontaminare [13]

5. Concluzii

Debitele de doză potențial încasate în timpul decontaminării unei celule fierbinți aparținând Reactorului de Cercetare Nucleară VVR-S al IFIN-HH aflat în dezafectare au fost evaluate atât printr-o metodă standard, cât și printr-o metodă numerică. Din ambele evaluări a rezultat că debitul de doză pentru expușii profesional implicați în acest proces este mai mare decât limita anuală admisă. Riscul este foarte mare datorită faptului că procesul de decontaminare este presupus a fi realizat manual. Astfel, este indicat ca decontaminarea suprafețelor să se facă cu un robot pentru a preveni supraexpunerea lucrătorilor.

Debitele de doză estimate cu codul RESRAD Build sunt mai mici și mai precise decât cele obținute prin metoda standard datorită complexității modelului. În ciuda diferențelor mici, se poate concluziona că ambele metodologii pentru evaluarea dozelor sunt de acord și utile pentru situații de expunere similare.

Referințe

1. Tuca C, Deju R. The assessment of the radioactive inventory for the solid wastes from VVR-S Nuclear Research Reactor Decommissioning. *Acta Physica Polonica A*. 2019; 135:1050-1054. DOI: 10.12693/APhysPolA.135.1050
2. Tuca C, Deju R, Zorliu A. Radiological Risk Assessment for Hot Cell Decontamination, *Romanian Journal of Physics*. 2017;62:812. DOI10.4172/2155-9619.C1.008
3. Ionescu E. Direct measurement of the surface contamination, control procedure PC-DEZ-401, 2012.
4. Stochioiu A. The monitoring of the environmental radioactivity using thermo-luminescent dosimetry system, operational procedure, PL-UMRM-01, 2015.
5. Gurau D. Gamma-ray spectrometry analysis with HPGe detector, model GEM60P4-95, control procedure, PC-DEZ-408, 2011.
6. Radu D, Stanga D, Sima O. A method of efficiency calibration for disk sources in gamma-ray spectrometry, *Rom. Rep. Phys.* 2009; 61,2:203–213
7. Sahagia M, Razdolescu A. C., Luca A., Macrin R. Volume standard sources in soil matrix, *Rom. J. Phys.* 1997; 42, 9–10: 659–663
8. Luca A, Neacsu B, Antohe A, Sahagia M. Calibration of the high and low resolution Gamma- ray spectrometers, *Rom. Rep. Phys.* 2012;64,4:968–972
9. C. Yu, A.J. Zielen, J.-J. Cheng, D.J. LePoire, E. Gnanapragasam, S. Kamboj, J. Arnish, A. Wallo III,* W.A. Williams,* and H. Peterson*. July 2001. User's Manual for RESRAD Version 6, by Environmental Assessment Division Argonne National Laboratory, 9700 South Cass Avenue, Argonne, Illinois 60439
10. U.S. Environmental Protection Agency, Exposure Factor Handbook, EPA/600/P-95/002Fa, Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, 1997
11. Beyeler W.E. et al., Residual Radioactive Contamination from Decommissioning; Parameter Analysis, NUREG/CR-5512, Vol. 3, Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research, Oct. 1999.
12. Wernig M.A., et al., Residual Radioactive Contamination from Decommissioning: User's Manual, NUREG/CR-5512, Vol. 2, Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research, May 1999
13. Pavelescu A.O, Popa V, Drăgușin M. Modelling of the dose rates and risks arising from hot-cells clean-up activities in the decommissioning of the VVR-S research reactor; *Rom. Rep. Phys.* 2012; 64, 1:33–49
14. Schunk GmbH & Co., LWA3 Lightweight Arm Modular Robotic Specification Sheet, Catalog Automation Highlights, 2009.

Mulțumiri

Autorul își exprima mulțumirile calde doamnei dr. Maria Sahagia și domnului dr. A. O. Pavelescu pentru sugestii și feedback-ul în realizarea evaluării precum și domnului Adrian Zorliu pentru sprijinul acordat la prelevarea probelor.

SECȚIUNEA III - MASĂ ROTUNDĂ: PLANIFICAREA ȘI PREGĂTIREA RĂSPUNSULUI LA URGENȚA NUCLEARĂ ÎN ROMÂNIA, DUPĂ ACCIDENTUL DE LA FUKUSHIMA

MODERATORI: VERONICA ANDREI, P. MIN ȘI A. NEDELCU

SRRp – partener de încredere privind comunicarea riscurilor radiologice, pledoarie în acord cu preocupările internaționale actuale în domeniul protecției radiologice

**Veronica Andrei (veronica_andrei@yahoo.com), Ruxandra Săpoi, I. Chiosilă –
Societatea Română de Radioprotecție**

1. Introducere

Rezultatele bune în comunicare pe linie de protecție radiologică au reprezentat în ultimii ani una dintre țintele-cheie ale activității Societății Române de Radioprotecție (SRRp). Acțiunile desfășurate au vizat deopotrivă comunicarea internă ca urmare a preocupărilor permanente de a asigura membrilor asociației noastre accesul la cât mai multe informații de interes pentru aceștia și comunicarea externă, la nivel național și internațional, care contribuie semnificativ la îndeplinirea obiectivelor societății (<https://srrp.ro/obiective/>):

- să contribuie la protejarea populației și a celor care lucrează în zone cu expunere la radiații ionizante,
- să dezvolte și să facă cunoscute aspectele științifice, tehnice, medicale și legale legate de protecția împotriva radiațiilor la nivel național,
- să implice societatea civilă în analize de risc/beneficiu legate de utilizarea radiațiilor ionizante.

Forumul Conferinței Naționale a SRRp din 2021 are loc într-un moment în care la nivel național și internațional se desfășoară acțiuni și evenimente importante, care tratează în mod direct sau aduc în prim plan noi abordări și dezvoltări privind comunicarea în domeniul protecției radiologice. Lucrarea de față își propune să prezinte membrilor SRRp, fără a avea pretenția unei analize de specialitate, o imagine generală a preocupărilor și activităților internaționale actuale privind comunicarea în domeniul riscurilor radiologice cu scopul de a facilita/asigura discuții privind modul în care SRRp poate contribui în comunicarea acestora la nivel național.

2. Un context al inițierii discuțiilor mesei rotunde a Conferinței anuale a SRRp

În luna octombrie 2021, masa rotundă planificată în cadrul Conferinței anuale a SRRp a inclus în program un subiect de interes pentru membrii săi “Planificarea și pregătirea răspunsului la urgența nucleară în România după accidentul de la Fukushima”.

Decizia a fost una potrivită inclusiv în contextul în care Comisia Națională pentru Controlul Activităților Nucleare (CNCAN) a avut în dezbateră publică un proiect de Ordin pentru modificarea și completarea Ordinului MAI și al președintelui CNCAN nr. 61/113/2018. Prin noul Ordin se aproba Normele de baza privind informarea și comunicarea publică în situații de urgență nucleară și radiologică (normele vor fi integrate ca anexă la Regulamentul privind gestionarea situațiilor de urgență specifice riscului nuclear sau radiologic). În cadrul mesei rotunde de la Conferința SRRp, participanții vor avea ocazia să fie informați direct de la personale responsabile din cadrul CNCAN și să exprime opinii asupra aspectelor ce caracterizează sistemul de informare și comunicarea publică pentru situații de urgență nucleară și radiologică din România.

În context internațional am reținut pentru scopul discuțiilor la masa rotundă, *workshop-ul* organizat de Comisia Internațională de Protecție Radiologică (ICRP) din 19-20 octombrie 2021, cu tema “Viitorul Protecției Radiologice”. Workshop-ul ICRP este un eveniment foarte important în contextul în care ICRP a început un proces de analiză și revizie a Sistemului de Protecție Radiologică care va actualiza Recomandările Generale 2007 din Publicația ICRP 103 [1].

Așa cum este menționat în anunțul workshop-ului, acesta reprezintă începutul procesului care va dura câțiva ani și se va desfășura implicând deschis și transparent organizații și persoane individuale din lumea întreagă. Pe fond, sistemul actual care este robust și s-a dovedit un sistem bun în raport cu obiectivele de protecție, acesta trebuie să se adapteze schimbărilor pe care știința și societatea le-a înregistrat în ultimul deceniu, pentru a rămâne “potrivit scopului”. Ceea ce mai trebuie menționat din mesajul workshop-ului este că ICRP își propune să identifice acolo unde va fi benefică, încorporarea explicită a bazei etice a Sistemului, cum să fie reflectată mai bine importanța comunicării și a implicării stakeholderi-lor și îndrumarea în continuare în educație și pregătire.

Intervenția din lucrarea de față este o pledoarie pentru a iniția în cadrul asociației noastre discuții despre cum ar trebui să continuăm să procedăm și în viitor, pentru a avea și/sau contribui la informarea și comunicarea riscului în protecția radiologică, cu scopul principal de a face oamenii sau grupurile cărora SRRp li se adresează să înțeleagă, să capete încredere și să folosească informația primită (de ex. organizare de discuții, inclusiv sub formă de workshop-uri, la care pot fi invitați și reprezentanți ai unor organizații care vor să colaboreze cu SRRp, pentru programul lor de comunicare).

3. Definiții și concepte utile pentru o înțelegere comună

În prezent, organizațiile internaționale de protecție radiologică și-au declarat transparent poziția potrivit căreia comunicarea și implicarea stakeholderi-lor permit îmbunătățirea substanțială a calității procesului de luare a deciziei, construirea unei înțelegeri comune și a unei încrederi în instituții, o rezolvare a conflictelor printre interese în competitive, inclusiv prin aducere în prim plan în procesele de luare a deciziilor a unor considerații dincolo de efectele direct ale expunerii la radiații.

Sunt prezentate în continuare câteva definiții și concepte, pentru claritate în mesajul care să faciliteze discuția privind locul și rolul în informarea și comunicarea riscurilor radiologice.

- **Cine este “publicul”:** Când ne referim la public acesta înseamnă ca ne referim în realitate la multe grupuri diferind între ele și tipuri de oameni diferind între ei și în particular și la multe tipuri de situații diferite în care este nevoie de o implicare activă [3].
- **Ce este un stakeholder sau parte interesată:** A fost definit ca un individ sau un grup care este interesat și/sau poate fi afectat sau care poate afecta succesul unei organizații, politici, program sau decizie (Freeman, 1984) și definiția a fost extinsă pentru a include grupul care are interes într-o corporație, indiferent de interesul corporației pentru acestea. (Grung and Reepper 1992). De asemenea, stakeholderii într-o organizație sunt indivizii și constituenții care contribuie, voluntar sau involuntar, la crearea valorilor și deci potențialii beneficiari la profit sau riscuri [8]. Când vorbim de comunicare vorbim de stakeholderi.
- **Cum diferențiem termenii stakeholder și public:** Organizațiile își aleg stakeholderii prin strategii de marketing, recrutări și planuri de investiții dar “publicul vine în nume propriu și alege organizația” [4]

O definiție dată de Dewey în 1927 spune că publicul este un grup de oameni care se confruntă cu o problemă similară, recunoaște problema și se organizează singuri pentru a face ceva în legătură cu aceasta. Prin urmare publicul se organizează în rândul stakeholderi-lor (părților interesate) atunci când recunosc o problema și acționează în baza ei.

- **Ce este “comunicare greșită”:** Este o traducere a cuvântului ‘*miscommunication*’ din limba engleza, larg utilizat de științele sociale și umaniste și se referă la eșecul de a comunica adecvat
- **La ce se referă “înțelegerea greșită/misunderstanding”:** Un răspuns simplu ales pentru aceasta prezentare este ca o înțelegere greșită ce poate avea loc și are loc de fapt, foarte des, atunci când o parte sau ambele părți nu se asigură că au aceeași idee despre ceea ce s-a vorbit sau despre ce decizie a fost luată.
- **Ce este procesul de “co-expertiză”:** Publicația 146 ICRP (ICRP, 2020b) a introdus acest concept ca parte integrală a implementării practice a principiului de optimizare a protecției bazat pe implicarea și împuternicirea publicului. Este [1] un proces al co-operării între experți, specialiștii în protecția radiologică (Rp), și stakeholderi cu scopul de a oferi cunoștințe și expertiza științifică a stakeholderi-lor pentru scopul evaluării și a unei bune înțelegeri a situației radiologice, a dezvoltării de acțiuni protective pentru public și mediu și al îmbunătățirii condițiilor de trai și de muncă. De asemenea, co-expertiza favorizează dezvoltarea culturii de protecție radiologică, prin care oamenii capătă cunoștințele și abilitățile de a lua decizii bine informate și de a se comporta inteligent în situații

implicând expuneri potențiale sau actuale și permite oamenilor să își construiască propriile baze de informații în relație cu radioactivitatea prezentă zilnic în viața lor, să ia decizii proprii pentru a se proteja pe ei și pe cei dragi și chiar de a evalua relevanța și efectivitatea acțiunilor protective implementate de autorități, organizații sau de ei înșiși.

- **Considerații fundamentale privind riscul** [3]

- **Știința riscului la radiații:** La niveluri de cea mai practică relevantă (câțiva mSv/an), cunoștințele actuale despre radiații sunt acelea ca dacă este un risc, acesta este mic și comparabil cu riscurile acceptate în mod frecvent în societate
- **Percepția riscului:** Exprimarea riscului ca mai sus este pe înțelesul specialiștilor în Rp. Percepția publică despre riscul radiației este foarte diferită de înțelegerea științifică. Există percepție care conduce la comportament și atitudine și de aceea s-a ajuns la înțelepciunea că un dialog trebuie să se bazeze pe înțelegerea și recunoașterea prealabilă a percepțiilor, îngrijorărilor, fricilor și aspirațiilor publicului și recunoașterea acestora cu empatie.
- **Beneficii și riscuri:** Se discută adesea ce este un nivel acceptabil de risc. Totuși, în realitate nu este risc în sine care este acceptabil sau inacceptabil. Pentru un individ, fiecare situație sau activitate are elemente de beneficii și riscuri care se combină pentru a permite o judecată generală sau acceptabilitate. La același nivel de expunere, o situație poate fi considerată ca acceptabilă sau nu depinzând de context. Specialiștii în Rp ar trebui să caute întotdeauna cât de mult este posibil să informeze sau să comunice când este implicat publicul într-un cadru de beneficii și riscuri.

4. Pregătirea informării și comunicării

Dacă ne preocupa și trebuie să ne preocupe eficiența și rezultatul comunicării riscului în protecția radiologică atunci trebuie să ne pregătim înainte de a realiza un program propriu sau un parteneriat de informare și comunicare.

Ca parte a pregătirii ar trebui să recunoaștem realități care fac deja rezultatul unor studii de cercetare și să folosim recomandările acestora. Am reținut câteva dintre acestea care ar putea fi importante pentru activitatea de informare și comunicare a SRRp.

- **Să acceptăm incertitudinile din domeniu**

Un studiu recent susținut din fonduri comunitare - programele de cercetare Euratom - precizează că în contextul în care există literatura extensivă asupra percepției riscului, comunicare și guvernanta în general, dacă se investighează percepția riscului și a incertitudinilor, aceasta investigație oferă informație relevantă pentru a construi o comunicare efectivă; totuși, literatura referitoare la comunicarea de/și luare a deciziei sub incertitudini în domeniul protecției radiologice rămâne rară și împrăștiată.

Totodată, sunt multe opinii care spun ca literatura de specialitate se adresează în principal comunității științifice și rar implică comunicarea riscului către audiența generală.

Lipsa de cunoștințe sau cunoștințe incomplete sunt văzute ca o sursă de incertitudini.

În această prezentare este adus în atenție un mesaj cheie de la Workshopul NEA privind implicarea stakeholderi-lor: comunicarea riscului din 2019, care arată că, profesioniștii în Rp trebuie să se pregătească continuu și transparent în domeniul lor, deoarece știința trebuie să evolueze [6]: “O cale către armonizarea și consecvența în comunicarea riscului radiologic ar putea fi să ajungem mai întâi la un consens internațional cu privire la atribuirea obiectivă a efectelor radiațiilor și la inferența potențială subiectivă a riscului radiației”.

Nota: Inferența = operație logică de derivare a unui enunț din altul, prin care se admite o judecată în virtutea unei legături a ei cu alte judecăți considerate ca adevărate.

- **Este recomandabil să știm ce fel de informație este dorită și necesară celor care recepționează informația.**

Există incertitudini în cunoștințe independent de cine este utilizatorul de informație sau cel care o oferă. Dar când ne uităm la incertitudinile în comunicare vorbim de incertitudinile la “furnizorul” de informație și incertitudinile la receptorul/destinatarul de informație (Maxim and van der Sluis, 2011). [7]

Concluzia unor cercetări/documentări recente indică că majoritatea literaturii științifice se referă la incertitudinile comunității științifice în timp ce incertitudinile decidenților și cele ale oamenilor fără cunoștințe profesionale și de specialitate (receptorii de informație) sunt analizate la un nivel scăzut. Concluziile acestor cercetări arată că, atunci când sunt înțelese incertitudinile diferiților actori, acestea

trebuie adresate prin comunicare pentru a contribui efectiv la luarea unei decizii mai bune. În timp ce incertitudinile oamenilor de știință sunt mai mult legate de metodologii și rezultate, cele ale decidenților sunt legate de problemele în luarea deciziei, reacțiile publicului și problemele economice iar cele ale oamenilor fără cunoștințe profesionale și de specialitate sunt legate de lipsa de încredere, lipsa de informație și apar sub forma de emoții și sentimente, precum frică, frustrare, anxietate etc. [7].

Neacționând pentru a înțelege și recunoaște incertitudinile, eșecul în comunicare este mare, în sensul că se ajunge la situația în care oamenii care nu au cunoștințe în domeniu nu au încredere în specialiști, care în opinia lor nu par să știe necesitățile oamenilor iar specialiștii nu au încredere în persoanele fără cunoștințe în domeniu, care în opinia lor nu sunt capabili să înțeleagă informații incerte. Astfel, într-un studiu din 2015 (Harris 2015:20) se prezintă modul în care oamenii de știință susțin că afirmațiile lor au fost prezentate greșit în articolele din media și că reporterii sunt prea slab pregătiți, în timp ce reporterii media de cealaltă parte au susținut ca “uneori oamenii de știință vorbesc ca specialiștii și nu ca oamenii obișnuiți...unii oameni nu știu ce înseamnă presiunea scăzută și unii oameni nu știu și nu le pasa ce înseamnă millibari” [7]

- ***Trebuie să vorbim fiecare pe limba celuilalt pentru a obține succesul în comunicare***

Atunci când incertitudinile științifice privind radiația întâlnesc incertitudinile foarte diferite ale vieții de toată ziua, logica științifică deviază creând probleme mari privind comunicarea și înțelegerea. *Recomandarea este de a aborda comunicarea bidirecțională inițiată între oamenii de știință, decidenți și oamenii fără cunoștințe profesionale și de specialitate. Aceasta ar ajuta oferindu-se perspective diferite și creându-se înțelegere mutuală, precum și încredere între părți. Într-un proces de comunicare bidirecțională trebuie să vorbim fiecare pe limba celuilalt pentru a obține succesul în comunicare* [7].

Prin analizarea incertitudinilor prezentate în literatură care îngrijorează diferiții actori ce sunt respondenți, putem fi capabili să vedem incertitudinile diferite cu care acești actori se confruntă și astfel va fi mai ușor să realizăm ce fel de informație este necesar să comunicăm pentru a reduce incertitudinile și a permite receptorilor/ destinatarilor informației astfel încât să ia decizii informate în situațiile de expunere la radiații.

Incetitudinile se pot studia în mod empiric utilizând sondaje, experimente, grupuri-focus, analiza conținutului etc., care utilizează receptorii de informații ca respondenți.

Este necesar ca atât evaluatorii de incertitudini care sunt experții în Rp, cât și comunicatorii de incertitudini (experții în managementul riscului, personalul medical, comunicatorii acționând în numele instituțiilor/organizațiilor) să comunice clar despre incertitudini [7].

- ***Rolul cheie al specialiștilor în Rp în informare și comunicarea riscului***

Pentru aceasta prezentare s-a ales o opinie pe care autorii o considera cu grad înalt de realism, în sensul că procesul de informare și comunicare al SRRp trebuie să se bazeze pe oameni competenți și cu abilități de implicare/comunicare.

“Oamenii au încredere în alți oameni și nu în organizații și astfel impresionați de experți să se implice/angajeze direct cu publicul și să interacționeze cu oamenii. Experții au o înțelegere profundă a industriei nucleare, a radiațiilor și a cadrului de reglementare existente pentru a asigura funcționarea în siguranță a instalațiilor nucleare, precum și utilizarea substanțelor radiologice. Rămâne responsabilitatea acestor experți să explice știința și tehnologia nucleară unui public non-tehnic. Deși nu este o sarcină ușoară, este una care trebuie făcută.” (*Directorul General NEA William D. Magwood IV, [6]*)

5. Cum și cu ce se pot pregăti specialiștii în Rp

Organizațiile non-guvernamentale și stakeholderii locali au o înțelegere specifică și cunoștințe ale contextului local, care pot fi în mod particular de folos decidenților la nivel național, regional și local.

Comunicarea efectivă și eficientă a riscului radiologic depinde de mesajul și instrumentele de comunicare, respectiv dacă sunt adaptate necesităților audienței și adresează îngrijorările acesteia.

- ***Există metode și instrumente pentru comunicare și informație digitalizată care să ajute specialiștii în Rp să comunice***

Este de menționat în această prezentare o noutate. La Conferința anuală a AIEA din luna septembrie a.c. a fost lansată o nouă platformă de pregătire online Radiation Safety Navigator. Navigatorul conține [8]: explicații și termeni cheie de protecție la radiații, sfaturi de comunicare, recomandări de instrumente de comunicare și canale pentru diseminarea informațiilor și produse internaționale și naționale de comunicare, precum postere explicative, video sau foi informative. Instrumentele acoperă șase arii de subiecte:

radioactivitate și dezintegrare radioactivă, doze de radiații și efecte; cantități și unități, surse de radiații, protecție radiologică și expunere la radon.

Experiența și informația relevantă în comunicarea și angajarea cu publicul este prezentată pe site-ul IRPA <http://www.irpa.net/index.asp>.

Social media este un instrument cheie de comunicare în particular pentru a câștiga generațiile mai tinere și când se identifică îngrijorări în avans. Totuși, este necesară monitorizare și răspunsuri rapide, care necesită resurse intensive.

- ***Există ghiduri și recomandări pentru implicarea specialiștilor în Rp cu publicul privind radiația și riscul***

În 2020, Asociația Internațională de Protecție Radiologică a publicat “Practical guidance for engagement with the public on radiation and risk” [3] care prezintă importanța implicării cu publicul a specialiștilor în Rp privind radiația și riscul. Ghidul pledează pentru pregătirea specialistului în Rp pentru a se implica cu publicul, în mod individual sau ca un reprezentant al unei organizații în loc de a lăsa această comunicare unui reprezentant Relații cu Publicul sau unui nespecialist. Rezultă ca specialistul în Rp trebuie să fie competent și confident în știința și arta implicării.

Ghidul IRPA face recomandări de care ar trebui să țină cont specialistul în Rp atunci când își planifică o strategie/un plan de acțiuni pentru comunicarea cu publicul.

- **Codul de conduită IRPA al specialiștilor în Rp și Implicarea publică [3]**
 - Ca specialist în domeniul Rp este o datorie să interacționezi cu publicul pentru beneficiul societății.
 - Asigură-te ca ești familiar cu principiile și experiențele cheie în comunicarea și implicarea cu publicul.
 - Întotdeauna fii sincer și bine echilibrat.
 - Nu depăși limitele cunoștințelor și experienței tale.
 - Întotdeauna arată respect pentru opiniile altor părți.
 - Nu ataca deschis opiniile altora.
 - Nu contestăți în mod deschis punctele de vedere expuse de angajatorul dvs. sau de autorități; contestați/discutați intern dacă este necesar.
 - Atunci când reprezentați perspectiva profesională de protecție radiologică, evitați să faceți declarații care ar putea fi considerate ca susținând tehnologii specifice (cum ar fi energia nucleară sau tehnologia telefoniei mobile).
- **Principiile IRPA de ghidare în implicarea stakeholderilor** pe care specialiștii în Rp ar trebui să le încerce [3]
 - Identificați oportunitățile de implicare și asigurați-vă că nivelul angajamentului este proporțional cu natura problemelor de radioprotecție și contextul acestora.
 - Începeți procesul cât mai curând posibil și dezvoltați un plan de implementare sustenabil.
 - Permiteți un proces de implicare deschis, inclusiv și transparent al stakeholderilor/părților interesate.
 - Căutați și implicați părțile interesate și experții relevanți.
 - Asigurați-vă că rolurile și responsabilitățile tuturor participanților și regulile de cooperare sunt clar definite.
 - Dezvoltați colectiv obiective pentru procesul de implicare a părților interesate, pe baza unei înțelegeri comune a problemelor și a limitelor.
 - Dezvoltați o cultură care să prețuiască o limbă și o înțelegere comună și să favorizeze învățarea colectivă.
 - Respectați și apreciați exprimarea perspectivelor diferite.
 - Asigurați-vă că există un mecanism regulat de feedback pentru a informa și îmbunătăți procesele actuale și viitoare de implicare a părților interesate.

- Aplicați Codul de etică al IRPA în acțiunile lor în cadrul acestor procese, pe baza cunoștințelor celor mai bune.

Organizația Mondială a Sănătății a publicat câteva ghiduri, inclusiv Comunicarea riscului în urgențe privind sănătatea publică (WHO, 2018) care oferă îndrumare bazată pe evidențe pentru construirea încrederii, implicarea cu comunitățile și comunicarea incertitudinilor pentru integrarea comunicării riscului în structurile existente naționale și locale privind pregătirea la urgență și în practicile de comunicare a riscului în urgență [7].

6. Despre rolul specialiștilor în Rp pentru comunicare în situații de urgență

În ultimii ani, putem spune ca este mai greu de definit rolul specialistului în Rp și cu atât mai mult implicarea ONG-urilor.

Una dintre caracteristicile principale referitoare la rolul specialistului în Rp în recuperarea situației post-accidente [5] este de a pune procesul de co-expertiză în serviciul îmbunătățirii condițiilor de viață ale comunităților afectate, contribuind la dezvoltarea unui proces decizional informat. pentru rezidenții care se confruntă cu situația.

Nu există o abordare unică și este necesară flexibilitatea atât în mobilizarea expertizei cât și în alegerea mijloacelor care folosesc pentru a însoți inițiativele locale. Pentru a implementa procesul de co-expertiză cu stakeholderii locali, experții și specialiștii în Rp trebuie să își revizuiască abilitățile. Este important să fie conștienți de nevoile și așteptările particulare ale persoanelor afectate, precum și de provocările dincolo de problemele de protecție radiologică.[5]

Mai multe proiecte europene și internaționale* abordează problema împărtășirii experienței din managementul post-accident cu privire la rolul specialistului în Rp care să contribuie la îmbunătățirea pregătirii și la dezvoltarea unui cadru pentru a trata problemele de recuperare. Angajarea cooperării și dezvoltarea activităților de educație și formare cu experți/specialiști și organizații deja implicate în gestionarea recuperării sunt esențiale pentru abordarea cu adevărat a noului rol al specialistului în Rp în dezvoltarea proceselor de co-expertiză în serviciul părților interesate locale. [5]

**Nota [3]: European research projects CONFIDENCE and TERRITORIES, ICRP Task Group on update of publications 109 and 111, Expert Group on Recovery Management at the Nuclear E*

Este de așteptat ca o opinie privind rolul SRR și/sau al specialiștilor SRRp în informarea și comunicarea în situații de urgență radiologică va fi exprimată de reprezentanții CNCAN, în timpul mesei rotunde a Conferinței anuale SRRp, aceasta fiind și o invitație la reacții din partea participanților.

7. Unele provocări/realizări în activitatea specialiștilor SRRp de informare a populației

În cadrul Conferinței anuale din 2020 a SRRp un grup de membri a făcut o prezentare pe larg a modului în care SRRp s-a implicat în cei 30 de ani de la înființarea asociației în informarea populației asupra aspectelor științifice, tehnice, medicale și legislative din domeniul protecției radiologice [9]. Au fost prezentate și se regăsesc în broșurile conferințelor metodele tradiționale utilizate cu succes de SRRp de-a lungul anilor: publicarea de cărți de specialitate, articole în presă, *site-ul* SRRp; dreptul la replică față de unele articole sau emisiuni din mass-media, participarea la emisiuni radio și TV, realizarea unui film documentar-științific, precum și a unei pagini de Facebook a SRRp. Analiza din 2020 ne-a condus la concluzia că *SRRp este o sursă de încredere demonstrată privind informarea în domeniul protecției la radiații și are în față provocarea că aceasta tradiție trebuie continuată de generațiile mai tinere* [9].

Fluxul masiv de informații care caracterizează era digitală cere ca cititorii să poată distinge între fapt și opinie și să învețe strategii pentru a detecta informații părtinitoare și conținut rău intenționat, cum ar fi e-mailurile de *phishing* sau știrile false. Modul în care SRRp se va implica să corecteze informația greșită sau știrile false este o întrebare la care trebuie să încercăm să găsim răspunsuri și în continuare.

Pagina de Facebook a SRRp postează informații de interes în domeniul protecției radiologice, distribuie: informații corecte și avizate de către specialiștii SRRp referitoare la diverse știri din mass media, legate de iradiere sau contaminări radioactive în România sau în alte țări, informații referitoare la locuri noi de muncă din domeniul nuclear, oportunități în educație pentru studenți și cercetători (master, doctorat, post-doc, diverse cursuri), noutăți din domeniul utilizării energiei nucleare în industrie, medicină, cercetare, etc., informații referitoare la evenimente din domeniul nuclear (conferințe, seminarii, ateliere de lucru, etc.).

Incertitudinile pe care le poate întâmpina SRRp în informare și comunicare sunt și ale altora. Nu este clar pe deplin cum primesc ONG-urile informații asupra proiectelor guvernamentale și activitățile de

implicare sau cum pot fi implicate aceste grupuri în programele de informare guvernamentale și/sau cele ale organizațiilor [1]. Tehnicile comune de implicare a terțe părți corespund la niveluri mai înalte de implicare și anume: discutare, angajare/implicare, parteneriat [2]. Creând schimbul de informații cu terțe părți, de ex. ONG-urile, se poate crea un pod între guvern/organizații și public. Totuși, ONG-urile pot avea dificultăți în a obține ușor informația și acces la date brute pe baza cărora are loc evaluarea și decizia [1]. SRRp poate ajuta publicul interesat care ar putea să fie neîncrezător în organizațiile guvernamentale să înțeleagă mai bine riscurile.

SRRp are competențele necesare și trebuie să continue tradiția informării membrilor săi și a publicului, urmând să analizeze caz cu caz, gradul și modul de implicare și/sau parteneriate pe care le poate încheia atunci când este solicitată ca organizație de anumite grupuri din public, organizații și/sau stakeholderii cheie ai acestora.

Concluzii

În continuarea misiunii sale tradiționale de informare și educare a populației în domeniul protecției la radiații, principala activitate pentru care ar trebui să se pregătească continuu SRRp în comunicarea riscului în acest domeniu este parteneriatul cu publicul, pregătirea făcând-o bazându-se pe specialiști în Rp competenți și confidenți în știința și arta implicării și care țin cont de schimbările din știință și societate.

Este dificil a stabili, în prezent, rolul SRRp în situații de urgență dincolo de o ofertă voluntară de a interacționa cu publicul din partea membrilor săi specialiști competenți în informarea corectă asupra riscurilor radiologice în situații de urgență radiologică și măsuri de protecție radiologică.

Selectarea și prezentarea aspectelor de mai sus se constituie într-o invitație adresată participanților la masa rotundă a Conferinței anuale SRRp de a se angaja în discuții cu propriile opinii despre modul în care să continue să abordeze SRRp efectiv și mai bine, informarea și comunicarea în protecție radiologică.

Referințe

- 1) Christopher Clement&all, Keeping the ICRP recommendations fit for purpose, Journal of Radiological Protection, accepted manuscript-open acces
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6498/ac1611>
- 2) NEA, Stakeholder Involvement Techniques, 2004
- 3) IRPA, Practical guidance for engagement with the public on radiation and risk, edition 2020
- 4) Thierry Schneider& all, The role of radiological protection experts in stakeholder involvement in the recovery phase of post-nuclear accident situations: Some lessons from the Fukushima-Daïchi NPP accident, Radioprotection, Vol 54, Nr 4, dec 2019, p 259-270
<https://doi.org/10.1051/radiopro/2019038>
- 5) NEA/OECD, Towards a shared understanding of radiological risks, 2021
- 6) <https://www.iaea.org/newscenter/news/now-available-new-iaea-online-platform-to-enhance-clarity-of-communication-on-radiation-safety-and-protection>
- 7) Ferdiana Hoti et al 2020 J. Radiol. Prot. 40 612 Radiation risks and uncertainties: a scoping review to support communication and informed decisionmaking
- 8) <https://schimbamromania.ro/mai-multi-clienti/networking/ce-sunt-stakeholderii/>
- 9) Ion Chiosila&all, Informarea corectă a populației de către specialiștii SRRp în cei 30 de ani de la înființarea organizației, Conferința Anuala SRRp, 2020

Transpunerea și implementarea standardelor internaționale EPR în legislația românească după Fukushima; Sistemul de informare și comunicare publică pentru situații de urgență nucleară și radiologică din România - percepții și provocări

P. Min (petre.min@cncan.ro), S. Alupoaei, O. Vișan, A. Smocot

Rezumat

În ciuda riscurilor sale potențiale, energia nucleară oferă beneficii economice, inclusiv electricitate ieftină. Acest beneficiu clarifică o parte din motivul pentru care oamenii susțin energia nucleară. Ca urmare a accidentelor majore de la Cernobîl în 1986 dar mai ales din Japonia, Fukushima Daiichi din 2011, a fost identificată nevoia de comunicare a riscurilor bazată pe dovezi, astfel încât să poată fi făcută înțeleasă percepția riscului radiologic și eficacitatea informațiilor de comparare a riscurilor. Percepția riscului se consideră ca fiind diferența dintre cum riscul este perceput de public și cum riscul este evaluat și măsurat de către experți.

Comunicarea privind riscurile este mai mult decât cuvinte și mesaje, este un efect implicit al acțiunilor și politicilor implementate în situații. În vederea unei înțelegeri cât mai bune dar mai ales importanța comunicării și informării publice în mecanismul de răspuns la o situație de urgență nucleară, lucrarea își propune să prezinte sistemul național de comunicare publică și lecții învățate după accidente nucleare majore întâmplate.

1. INTRODUCERE

Experiențele privind urgențele nucleare sau radiologice de la infrastructuri de mari dimensiuni au scos în evidență comunicarea publică, ca fiind una din cele mai importante provocări în cadrul managementului situațiilor de urgență. Uneori, un eveniment nu este considerat de către experți o situație de urgență dar percepția publicului larg este foarte diferită. Comunicarea despre urgențele radiologice către public într-un mod proactiv poate reprezenta cheia succesului managementului urgențelor. De asemenea, o comunicare efektivă va ajuta la minimizarea riscurilor, va susține implementarea acțiunilor de protecție și va contribui la minimizarea efectelor negative ale impactului psihologic.

Comunicarea publică efektivă a arătat că încurajează implementarea eficientă a acțiunilor de protecție adecvate pentru persoanele potențial afectate sau afectate de situația de urgență și ca asigură persoanele care nu sunt direct afectate prin reducerea zvonurilor și fricilor[1]. Comunicarea publică poate ușura eforturilor și de asemenea poate menține încrederea publicului în instituțiile responsabile pentru asigurarea protecției și bunăstării populației, cu atât mai mult cu cât subiectul în sine, accidentul nuclear, are potențial de a suscita la anxietăți/impact negativ asupra populației. Comunicarea cu publicul este o provocare și este foarte important să avem în vedere că trebuie să comunicăm într-un limbaj pe înțelesul interlocutorului. În plus, în cadrul serviciilor de urgență (ex. medici, polițiști, pompieri), ofițerii de presă au un rol foarte important în răspunsul imediat la o urgență radiologică. Pentru a-și îndeplini cu succes sarcinile, ofițerii de presă trebuie să fie pregătiți și antrenați înainte de apariția urgenței.

2. PERCEPȚIA RISCURILOR

Autoritățile au experiență mai mare în gestionarea unor dezastre (precum inundații, alunecări de teren) și, implicit, au experiență în comunicarea amenințărilor, amenințări care sunt în general familiare publicului. În schimb, o urgență nucleară este diferită, având o serie de particularități explorate în acest capitol.

Publicul larg are foarte puține cunoștințe și un număr mare de incertitudini atunci când este vorba despre o urgență nucleară. Aceasta poate fi atribuită unui număr mare de factori. Acest domeniu de expertiză nu este ușor accesibil publicului larg. În același timp, cu toate acestea, spre exemplu, efectele unui accident nuclear sunt foarte bine cunoscute. Lipsa cunoștințelor de specialitate de către populație ne arată că cele mai multe persoane sunt dependente de pozițiile experților sau de informațiile comunicate în mass-media. Obiectivul principal al unui răspuns național la o situație de urgență ar trebui să fie asigurat prin buna implementare a acțiunilor luate pentru protejarea vieții, sănătății și mediului. Cu toate acestea, acest obiectiv impune ca încrederea și credibilitatea organizațiilor de răspuns să fie cerințe majore în ochii publicului[2].

Pentru a deține capacitatea de a influența decizii și a schimba comportamente, este esențial ca toate părțile implicate să ofere informații corecte și complete, într-un timp scurt pentru a nu permite infuzia unor informații eronate sau menită să stârnească panica și să prezinte încredere. În plus, populația trebuie să știe cine este autoritatea responsabilă înainte ca urgența să apară. Activitățile de comunicare publică trebuie să fie vizibile, cu impact în media astfel încât „*efectul de recunoaștere*” să fie realizat [3]. Așadar, ca autoritatea să fie eficientă în comunicarea și informarea publică trebuie să aibă o bună reputație, să dea dovada de transparență și să lucreze în interesul publicului și totodată la fel de bine să fie cunoscută publicului. Pentru a fi îndeplinite aceste criterii vitale, este obligatoriu ca autoritatea responsabilă să aibă o comunicare proactivă, să-și construiască imaginea publică, până la momentul apariției unei situații de urgență.

Comunicarea efectivă a riscului implică două părți: procesul de transmitere a informațiilor și conținutul informației. Procesul de transmitere este alcătuit obligatoriu din două căi (transmitere și feedback) astfel încât să se asigure un dialog între organizațiile de răspuns și public. Situația de urgență și percepția publicului asupra riscului conduc la nevoia de organizare a acestui proces de transmitere.

Percepția riscului se considera ca fiind diferența dintre cum riscul este înțeles de public și cum riscul este evaluat și măsurat de către experți [3][4].

De obicei, o ipoteza lansată în spațiul public face ca percepția publică să fie greșită. De aceea eforturile autorităților trebuie să se concentreze pe strategia de informare și o comunicare publică care să conducă la o creștere a gradului de încredere a publicului în autorități. De fapt, obiectivul comunicării riscului nu are rolul de a întări un schimb de opinii divergente între experți și public, mai degrabă are rolul de a dezvolta o înțelegere comună astfel încât fiecare opinie să fie luată în considerare. Aceasta cere o înțelegere a factorilor care conduc la crearea unei anumite percepții a publicului asupra riscului.

Încrederea și disponibilitatea informațiilor sunt elementele cheie pentru comunicarea riscului. Pentru a construi această încredere, în mod special în timpul urgențelor, atunci când persoanelor s-ar putea să le fie cerut să se supună diverselor măsuri care conduc la protecția acestora, informația ce trebuie să fie oferită publicului trebuie să fie oferită într-un limbaj ușor de înțeles astfel încât să ușureze implementarea măsurilor de protecție.

Psihologii oferă o explicație științifică robustă pentru explicarea emoțiilor și trăirilor care conduc la percepția riscului și clarifică de ce pentru anumite riscuri amenințările sunt simțite ca fiind mai mari decât altele. Știința care explică percepția riscului de către oameni pentru răspunsul la urgențe este la fel de importantă pentru răspunsul la urgențe ca și fizica și medicina. Informarea și comunicarea despre privind urgențele nucleare, trebuie să țină cont că riscul și acceptarea riscului sunt lucruri diferite pentru diferite categorii de populație. Este corect să spunem că este o diferență de înțelegere în ceea ce privește riscul de către populație și experți [3][4].

Aceste diferențe de percepere a riscului este important să fie înțelese deoarece a fost observat faptul ca persoanele responsabile cu comunicarea și informarea publică nu iau în considerare aceste diferențe și de cele mai multe ori pot cauza reducerea succesului în comunicarea riscului. Experții definesc riscul ca fiind relația cauza-efect și încearcă să cuantifice efectele negative care pot rezulta, pe când persoanele din publicul larg iau în considerare mai multe criterii calitative și decid dacă riscul este acceptabil sau nu. De aceea este puțin probabil ca „riscul real” să fie convertit în „risc perceput” și în același timp dar cu o probabilitate foarte mare publicul sa-si formeze percepția proprie asupra riscului.

În mod contrar, opinia predominantă în ceea ce privește comportamentul oamenilor în timpul situațiilor de urgență urgente este de panică, teamă, egoism și comportament irațional, adevărul fiind exact pe dos. S-a demonstrat ca oamenii aflați în pericol pot fi foarte curajoși sau altruști, ei se pot comporta foarte bine în timpul urgenței și își vor ajuta familia, vecinii, colegii sau chiar și străini. Problema că avertizările și informările populației într-o urgență pot genera panică este falsă, de obicei populația amenințată tinde să se comporte ca și când nu s-a întâmplat nimic sau nefăcând nimic. Concluzia este că persoanele responsabile cu comunicarea nu ar trebui să se teama să avertizeze imediat despre pericol populația; ***avertizările și informările nu vor produce panica ci vor pregăti sau ghida populația.***

În timp, avertizările transmise cu celeritate și cu o consistență adecvată, transmit populației semne că situația este sub control. Motivul pentru care oamenii intra în panica sau au comportament irațional în situații periculoase este legat de faptul ca ei nu s-au mai confruntat cu asemenea experiențe și nu știu ce să facă în asemenea situații. Reacțiile de panică sunt, de fapt, rare și, prin urmare, ezitarea pentru a emite un avertisment (de exemplu, "a nu cauza panică") nu este adesea justificată. De fapt, persoanele care nu au fost avertizate în mod corespunzător cel mai puțin probabil să se comporte în mod corespunzător. Membrii familiei doresc să rămână împreună în casele lor, în special părinții și copiii, iar acest lucru este atât rațional cât și inteligibil.

3. ROLUL ȘI RESPONSABILITĂȚILE ORGANIZAȚIILOR CU PRIVIRE LA COMUNICARE

Autoritățile locale pot deține o varietate de funcții în timpul unei situații de urgență, inclusiv diseminarea informațiilor, mobilizarea îngrijirii și a sprijinului precum și asistarea la nevoile de baza ale populației [5]. Pregătirea și conștientizarea comunității privind măsurile de urgență vor contribui la îmbunătățirea acceptării și a respectării acestora în caz de urgență. Ulterior, va contribui, de asemenea, la creșterea rezilienței în faza de recuperare. Autoritățile locale ar trebui să își planifice răspunsul la orice situație de urgență, inclusiv necesitatea evacuării în caz de urgență radiologică. Aceste planuri ar trebui să fie coordonate cu alte planuri la nivel național. Autoritățile locale așteaptă și se așteaptă să comunice despre activitățile și măsurile pe care le întreprind în timpul unei situații de urgență radiologică. În timpul unei situații de urgență locuitorii precum și mass-media vor căuta oficialii locali atât pentru informații, cât și pentru serviciile din fazele de urgență, dar cel mai mult pentru măsurile de protecție, gen evacuarea sau măsurile din faza de recuperare și revenire la o situație normală, unde pot fi necesare măsuri pe termen lung pentru comunitatea afectată.

Autoritățile locale pot fi, de asemenea, implicate în gestionarea impactului economic asupra industriei locale, a turismului și a valorii proprietății pe termen lung. Pentru a furniza informații coerente mass-media și publicului,

comunicările publice de la nivel local trebuie să fie coordonate cu comunicările publice realizate la nivel național. Este vital ca purtătorul de cuvânt al autorității locale precum și oficialii aleși (primar, prefect, președintele Consiliului Județean) să fie conștienți și să cunoască măsurile și acțiunile de răspuns luate și evaluările de risc efectuate [5][6][7]. Deși este puțin probabil ca mass-media să privească răspunsurile oficialilor ca pe ale unor experți, li se pot pune întrebări cu privire la ceea ce se întâmplă. Dacă se vor evita răspunsurile sau nu se vor oferi răspunsuri, s-ar putea crea percepția că răspunsul nu este bine gestionat sau că se ascund informații publicului larg. Mai mult, autoritățile locale ar trebui să aibă cunoștințe aprofundate despre comunitate și ar trebui să ofere informații cu privire la amplasarea centrelor de informare, organizarea de întâlniri publice, grupuri bisericești și comunitare care pot oferi informații și/sau alte mecanisme existente de comunicare cu rezidenții locali.

În cazul autorităților naționale, este necesar să existe o coordonare la nivel național între autoritățile responsabile astfel încât să se emită publicului un răspuns efectiv la o situație de urgență, pentru a evita mesaje contradictorii sau dezinformarea. Structura de răspuns, inclusiv rolurile și responsabilitățile diferitelor instituții implicate, ar trebui planificate în avans și să se regăsească în toate planurile de răspuns.

Sistemul de comanda al situației de urgență sau structura similară ar putea fi utilizată pentru a asigura nivelul de coordonare interinstituțională. Nu numai că această structură va ajuta organizațiile de răspuns să-și înțeleagă rolul, ci va asigura ca apelurile media sunt adresate purtătorului de cuvânt sau instituției conform rolurilor și responsabilităților stabilite [5] [6] [7].

Infrastructura necesară pentru comunicarea publică în cazul unei situații de urgență nucleară sau radiologică trebuie să fie disponibilă în orice moment. De aceea putem denumi că o infrastructură este disponibilă dacă include toate sistemele și mecanismele necesare pentru primirea și diseminarea informațiilor, pentru coordonarea și comunicarea cu alți factori responsabili de modul de intervenție în caz de urgență și pentru comunicarea și monitorizarea mass-media tradiționale, mass-media on-line și social media și poate fi operaționalizată în orice moment.

În România, sistemul de informare și comunicare publică este alcătuit din infrastructurile de comunicare, informare publică și relații cu publicul ale autorităților responsabile stabilite prin hotărârea de guvern 557/2016 și ale Centrului Național de Coordonare și Conducere a Intervenției (CNCCI).

Autoritățile responsabile au stabilite în structurile lor organizatorice purtători de cuvânt și ofițeri de presă.

Pentru îndeplinirea funcției de informare și comunicare publică, CNCCI este operat cu personal specializat în comunicarea și informarea publică care provine din rândurile structurilor specializate ale autorităților responsabile și cuprinde următoarele componente:

- a) ofițer de presă coordonator;
- b) structura de informare și comunicare publică;
- c) structura de relații cu publicul

În timpul unei situații de urgență, Ofițerul de presă (PIO) este responsabil pentru transmiterea informațiilor către mass-media și a publicului și coordonarea tuturor surselor de informații oficiale pentru a se asigura că informațiile furnizate mass-mediei / publicului sunt coerente, corecte și în timp util. În funcție de complexitatea și durata de urgență, această funcție poate fi efectuată de către o persoană sau un grup. În general, țările care utilizează energie nucleară sau alte surse semnificative de radiații ar trebui să desemneze în avans o organizație responsabilă cu activitățile de comunicare publică, care ar putea prelua aceasta funcție în caz de urgență.

Pentru a fi eficiente, activitățile de comunicare publică sunt susținute de experți adecvați care pot oferi consultanță tehnică în dezvoltarea tuturor informațiilor/ informațiilor publice. Vor fi, de asemenea, desemnați purtătorii de cuvânt în mass-media, de obicei experți tehnici care sunt atât credibili, cât și buni comunicatori. Pentru a menține coerența, numărul de purtători de cuvânt trebuie să fie cât mai mic posibil, în funcție de volumul de muncă.

Comunicările publice în caz de urgență sunt mai eficiente dacă se iau măsuri în avans. Aceasta include nu numai stabilirea de planuri, proceduri și responsabilități, ci și cercetarea atitudinilor publice, proiectarea și testarea mesajelor și chiar organizarea de exerciții pentru a crește vizibilitatea publicului țintă și a conștientizării mass-mediei. În timpul fazelor de pregătire și de recuperare post-urgență, timpul permite testarea mesajelor și sondajelor privind atitudinile publice. Acest sistem de detectare este la fel de important ca și testarea detectării radiațiilor unui amplasament afectat. Respondenții la urgență nu ghicesc nivelurile de radiații la un amplasament contaminat. PIO nu ar trebui să ghicească și atitudinile și comportamentul populației în timpul unei urgente radiologice. După cum permite timpul, aceste atitudini, eficacitatea acțiunilor și a mesajelor ar trebui testate, iar revizuirile ar trebui făcute după cum este necesar.

4. PROVOCĂRI ÎN TIMPUL UNEI URGENȚE NUCLEARE

Datorită provocărilor legate de comunicarea informațiilor tehnice, sprijinul este acordat organizațiilor care, în mod normal, nu sunt implicate inițial în răspunsul la situațiile de urgență nucleară. Odată cu evoluția situațiilor de urgență, de asemenea rolul și responsabilitățile autorităților publice în ceea ce privește comunicarea vor evolua.

Ca exemple de sprijin, organizația de răspuns la urgență a centralei nucleare ar trebui să pună la dispoziție personal autorităților locale pentru a ajuta la înțelegerea situației de urgență. Un alt exemplu, Organismul de

Reglementare Nucleară ar trebui să ofere suport tehnic Centrului de Informare Publică, care coordonează comunicarea.

Organizațiile de experți, precum Societatea Romana de Radioprotecție poate îndeplini un rol important major în comunicarea și informarea publică. Populația are nevoie de o înțelegere corectă a faptelor astfel încât o percepție eronată să fie pe cât posibil evitată. Eficiența comunicării prin experți ține de planificarea în avans a modului de cooperare între aceștia și autorități. Experții pot fi folosiți ca și purtători de mesaje.

Informația de background poate oferi echipei de comunicare un avans important. Aceasta informație nu se schimbă de-a lungul unei crize.

Poate ca nu sunt atât de unice, dar provocările importante pentru comunicare sunt exemplificate prin următoarele:

Subiectul nu este bine înțeles de către public

- Risc de radiații
- Terminologie privind energia nucleară

Cu toate acestea, consecințele sunt bine cunoscute (un fel de)

- Three Mile Island
- Chernobyl
- Fukushima

Percepția riscului

- Avizul expertului vs. bunul simț public și indignarea
- Alți experți și agenții vor face diverse declarații
- Schimbul rapid de informații prin intermediul rețelelor sociale

5. STUDIU DE CAZ : ACCIDENTUL DE LA FUKUSHIMA

Aceste fraze explica și asigura înțelegerea celor care sunt îngrijorați de sănătatea și siguranța lor? Exemple de fraze utilizate de reprezentanții guvernului japonez:

- "... nici un efect imediat asupra corpului uman"
- "... nu dăunează sănătății umane mult"
- "... situația nu se va dezvolta pentru a afecta sănătatea în opinia noastră"
- "... o cantitate care să nu va faceți griji"
- "... deoarece cifrele nu sunt la un nivel care afectează imediat sănătatea dumneavoastră"

O alternativa potențială pentru aceste fraze ar putea fi: **Nivelurile de radiație sunt sub nivelurile de referință naționale iar acest lucru ne permite să declarăm ca tu și familia ta sunteți în siguranță.**

Pentru cea mai mare parte a Japoniei și a restului lumii, primul semn clar al problemei de la centrala nucleară de la Fukushima Daiichi a fost un clip video de știri care a fost difuzat a doua zi după tsunami în martie 2011. Capturat live (în direct) de către Fukushima Central Television (FCT) patru minute mai târziu, videoclipul a arătat un nor alb gros care apărea peste centrală - ceea ce s-a dovedit a fi o explozie de hidrogen la reactorul din Unitatea 1. În acel moment, totuși, singurele informații care au fost cunoscute publicului au venit din presă, comunicarea reporterului: *Arata ca un fum, spuse ea, dar ar putea fi vapori de apă. Se pare ca plutește spre nord, peste ocean.*

Martin Fackler, șeful biroului de la Tokyo pentru The New York Times și un alt jurnalist, Brumfiel: *au fost în întineric, așa aș caracteriza primele zece zile, a spus Fackler. Guvernul nu ne spunea nimic. TEPCO [Tokyo Electric Power Co., operatorul centralei] nu ne spunea nimic. Am avut foarte puține contribuții din partea comunității științifice din Japonia. Aici încercam să aflăm asta, și am avut prima, apoi doua, apoi trei explozii [8][9].*

Numai camera FCT a supraviețuit întreruperii de curent și a capturat exploziile. Si filmul a fost difuzat exclusiv pe o rețea media din Japonia. Guvernul japonez a declarat o stare de urgență, iar confuzia și teama au fost exagerate.

Ca rezultat al acestei emisiuni, publicul a realizat seriozitatea grava a crizei, a spus Terashima, și mulți au decis să evacueze.

Problema reală, a sugerat Brumfiel [10], **nu a fost lipsa de informație, ci lipsa de comunicare.** După o săptămână și jumătate, cu un cuvânt puțin oficial, Fackler a spus: **a existat o groapa de gunoi de informații. Cred ca guvernul a avut destule critici.**

La acel moment, Brumfiel a spus: cu câțiva reporteri care aveau câteva cunoștințe despre fizica atomică și nucleară, "a fost foarte greu pentru mass-media să înțeleagă ce este de fapt riscul. Iar guvernul, între timp, încearcă să scape de numerele pe care le citeau. Chiar și în condițiile în care dozele depășesc nivelurile de siguranță stabilite, ei spuneau: "Totul este bine, nu exista nici un risc"[10].

Brumfiel a remarcat faptul că unele prefecturi afectate, în zilele următoare dezastrului, au declarat că produsele lor locale cum ar fi orezul și pestele se pot mânca - și constatările ulterioare au arătat ca produse alimentare erau contaminate. Chiar și mai dăunătoare, a spus el, au fost inexistența explicațiilor guvernului și deciziile aparent arbitrare - creșterea nivelurilor de expunere la radiații în condiții de siguranță pentru elevi, de la 1 milisievert la 20 millisieverts pe an.

În combinație cu incertitudinea majoră cu privire la efectele radiațiilor de nivel scăzut, aceste greșeli oficiale au generat frustrare și furie în emoțiile populației japoneze care s-au îndreptat nu numai către guvern, ci și către oamenii de știință japonezi, mulți au renunțat să vorbească în mod public.

6. CONCLUZII

Dacă există o lecție pe care am învățat-o din această experiență (Fukushima), aceasta este: comunicarea este știință și este o problemă incredibil de dificilă. Din lipsa comunicării instituțiilor responsabile, cetățenii îngrijorați s-au îndreptat spre alte surse pentru informare. Întârzierea comunicării informațiilor despre accident de către guvern a condus la confuzie.

Eșecul de a pregăti și implementa o strategie eficientă de comunicare în timpul urgenței a contribuit la erodarea încrederii publicului pentru guvernul japonez, autoritatea de reglementare și industria nucleară.

Standardele privind nivelurile de protecție la radiații au fost diferite și revizuite, iar modificările criteriilor și politicilor de decontaminare au contribuit la confuzia publicului și la neîncrederea față de guvernul japonez. Deoarece instrucțiunile de evacuare au fost făcute ad-hoc, mulți oameni au fost evacuați de mai multe ori, evacuați în zone cu radiații înalte și evacuați doar cu cele mai bune necesități.

Încercarea de a minimiza îngrijorările cetățenilor este contraproductivă.

Înainte de declararea unei situații de urgență, trebuie construite mesaje cu răspunsurile la întrebările anticipate ale publicului. Acestea pot fi testate, în exerciții, simulări, aplicații astfel încât experții care se ocupa de comunicare să fie siguri că ele sunt cele potrivite. Trebuie comunicat faptul ca exista proceduri care au fost activate, care sunt masurile luate, rolul și responsabilitățile celor care acționează, posibilele soluții.

Începutul oricărei situații de urgență este caracterizat de incertitudine, de aceea și informațiile care sunt publicate pot fi clasificate ca **“Informații preliminare”, “Update”, “Recomandare bazată pe informațiile de până acum”**. Cu cât o echipa de comunicare anticipează cât mai multe dintre întrebările mass-media, cu atât devine mai eficientă informarea publicului și îi ajută pe aceștia să înțeleagă măsurile care sunt luate și recomandările experților.

Bibliografie:

[1] THE CHERNOBYL FORUM: 2003-2005, “Chernobyl’s Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine,” IAEA, Vienna (2006)

[2] RENN, O. and LEVINE, D., Credibility and Trust în Risk Communication, În: R. E. Kasperson and P.J. Stallen (eds.): Communicating Risks to the Public: International Perspectives, Amsterdam und New York, Kluwer Academic, (1991).

[3] SLOVIC P., Perception of Risk. Science 236:280-285 (1987).

[4] FISCHHOFF B, SLOVIC P., LICHTENSTEIN S., et al., How Safe is Safe Enough - Psychometric Study of Attitudes Towards Technological Risks and Benefits, Policy Sciences 9:127-152 (1978)

[1] CNCAN, M. (2018). Regulamentul privind gestionarea situațiilor de urgență specifice riscului nuclear sau radiologic. București: Monitorul Oficial al României

[5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Criteria for Use în Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, General Safety Guide, IAEA Safety Standards Series, No GSG-2, IAEA, Vienna(2011).

[6] G. României, (2004). OUG 21/2004 privind Sistemul Național de management al Situațiilor de urgență. București: Monitorul Oficial al României.

[7] G. României, (2016). HG 557/2016 privind managementul tipurilor de risc. București: Monitorul Oficial al României.

[8] Fackler, M. (2016) ‘The Asahi Shimbun’s failed foray into watchdog journalism’, The Asia Pacific Journal Japan Focus, 14(24) [Online]. Accessed: June 25, 2021.

[9] <https://apjff.org/2021/17/Fackler.html#:~:text=Media%20Coverage%20of,Martin%20Fackler> [10] <https://edition.cnn.com/2013/02/28/world/asia/japan-who-radiation/index.html>

Actualizarea Planului de Urgență la CNE Cernavodă pentru transpunerea modificărilor legislative, cerințelor organismului de reglementare, noilor standarde și bune practici

A. NEDELCU



Actualizarea Planului de Urgență la CNE Cernavodă
pentru transpunerea modificărilor legislative, cerințelor
organismului de reglementare, noilor standarde și
bunelor practici



Conferința Națională a Societății Române de
Radioprotecție - 22 Octombrie 2021

Alexandru Nedelcu – CNE Cernavoda

Cuprins



I. Introducere
II. Ansamblul procedural
III. Modificări (cerințe legale/de autorizare, standarde, bune practici)
IV. Contextul pandemic
V. Concluzii

V. Concluzii



- Ansamblul procedural aplicabil Procesului Planificarea și Pregătirea Raspunsului la Urgențe la CNE Cernavodă, respectiv Planului de Urgență pe Amplasament, a suferit modificări/îmbunătățiri semnificative în perioada 2018-2021 (atat din punct de vedere al formalismului, cât și al fundamentării măsurilor prevăzute în documentele de proces);
- Încă există acțiuni în progres legate de gestionarea descurilor radioactive rezultate din SU, respectiv, modul de participare (solicitare/furnizare) în cadrul rețelei RANET;
- Benchmarking-ul (Schimbul de experiență de Exploatare) rămâne un reper esențial pentru continuă îmbunătățire a PPSU și PU, cu impact asupra modului de implementare a cerințelor din documentația de proces.

SECȚIUNEA IV: ADUNAREA GENERALĂ A MEMBRILOR **SOCIETĂȚII ROMÂNE DE RADIOPROTECȚIE**

***MODERATORI: CONSTANTIN MILU – PREȘEDINTE,
FELICIA-STELIANA POPESCU, ION CHIOSILĂ, VASILE
SIMIONOV – VICEPREȘEDINTI ȘI
MIRELA ANGELA SAIZU – SECRETAR EXECUTIV***

- Informare privind activitatea Consiliului de conducere în perioada noiembrie 2021 - octombrie 2021 și numărul de membri ai SRRp la 22 octombrie 2021, Mirela-Angela Saizu.

- Participarea SRRp la activitățile IRPA, inclusiv la pregătirea Conferinței Europene din 2022 la Budapesta, Ungaria, Constantin Milu.

- Preocupări privind implicarea tinerilor în activitățile recente ale SRRp, Ruxandra Săpoi.

- Situația financiară a SRRp la 22 octombrie 2021 și aprobarea cotizației de membru pentru 2022, Constantin Milu

- Discuții libere.

News from IRPA:

Selected parts from IRPA Bulletin 29 (English)



MARCH 2021

ISSUE #29



Photo by Margareta Cherestes, Romanian Society for Radiological Protection

In this issue:

PRESIDENT'S BLOG - 2

RECAP - THE 15TH IRPA CONGRESS - 3

MEET THE NEW IRPA EXECUTIVE COMMITTEE - 6

**UPDATE ON THE ROMANIAN SOCIETY FOR RADIOLOGICAL
PROTECTION - 10**

UPDATE ON THE EGYPTIAN RADIATION PROTECTION SOCIETY - 12

IRPA GUIDANCE ON PUBLIC ENGAGEMENT - 13

**LET'S BE CLEAR - PRACTICAL ADVICE TO HELP SCIENTISTS WRITE
WITH CONFIDENCE- 15**

ICRP 2021 INTERVIEW WITH CHRIS CLEMENT - 18

UPCOMING WEBINARS AND SYMPOSIA - 20

Your IRPA Commission on Publications

IRPA Communications Officer: Andrew Karam; Bulletin Editors: Andrew Karam & Dave Niven; Associate Societies Liaison: Adelene Gaw; Website: Managers Andrew Karam & Chris Malcolmson; Social Media Managers: Sven Nagels & Chris Malcolmson; Media Reviewers: Sven Nagels, Young-Khi Lim & Hattori Takatoshi; Proceedings Advisor: Haruyuki Ogino



PRESIDENT'S BLOG

DR. BERNARD LE GUEN



Honourable members of IRPA,

Last January, I took over the presidency of IRPA with a great deal of enthusiasm and with the support of an excellent Executive Council (EC) team. During a time when travel has been difficult, the whole IRPA EC team has embraced digital tools, as have many others. We took the decision to hold an approximately 2-hour meeting every 6 weeks, from 13:00h to 15:00h to take account of time differences between North America, Europe, Africa, and Asia. That's right! The EC now includes members from every continent, so that all of you are represented.

We have only just brought the IRPA15 Congress to a close, and are already preparing for IRPA16 with the help of Kevin Nelson, our new VP for Congress Affairs. It is now the moment for you to appoint representatives who will join the Organising Committee and thus become active participants in the success of this Congress.

We must applaud the outstanding efforts of our Korean colleagues. Within the EC, Andrew Karam, our Publications Manager, is working closely with the IRPA15 Committee to give a second lease of life to numerous videos in a few months' time. And we are relaunching the IRPA TV channel on YouTube. Having prerecorded all our presentations for IRPA members "now and in the future" is a unique opportunity for a common memory, which will leave a mark for future IRPA generations.

As and when we are reflecting on the future of our profession, this is how IRPA can pave the way for the future of education and training for our young generations. I have had the opportunity to have my first meeting with Sylvain Andresz, the IRPA Young Generation Network Committee Chair. I have formally commissioned him to produce an IRPA report on how to optimise the use of digital tools, and consider how IRPA could foster the sharing of information across the associations. An interesting survey on the Young Generation Network is underway and will be presented separately.

In this regard, when I first attended a meeting of the IACRS as EC President, the IAEA presented its highly ambitious project NAVIGATOR platform, an online communication methods and tools, which was aired at the first IACRS meeting. Doctors undergoing oncology (the study of cancer) training in France today have been given access to databases which ensure they can always be updated and informed of appropriate protocols. These innovative e-learning platforms constitute a stimulus to continuing professional development and access to information.

The COVID crisis has accelerated the use of these tools which, I am convinced, will transform our approach to continuing professional development and to the establishment of a strong radiation protection culture. It is up to us to ensure that tomorrow's radiation protection training becomes a reality today.

Bernard le Guen
IRPA President



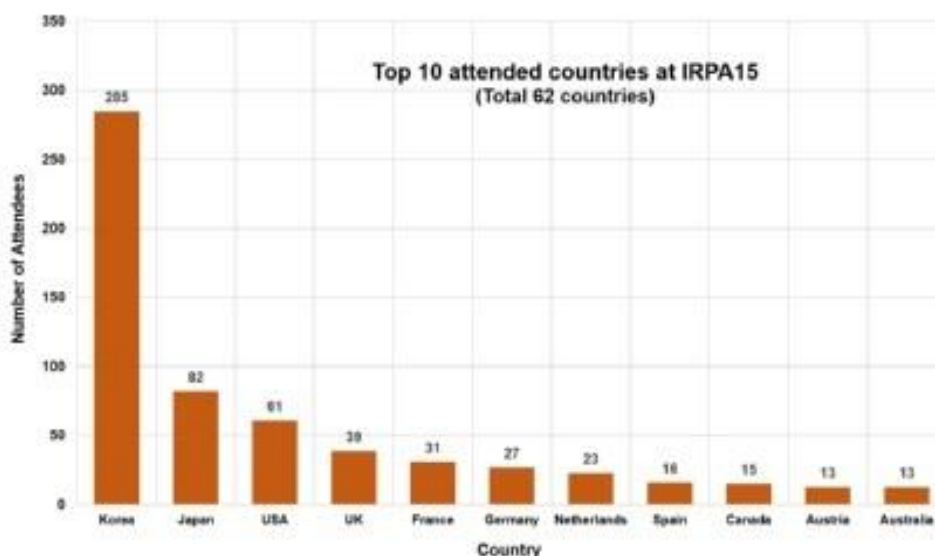
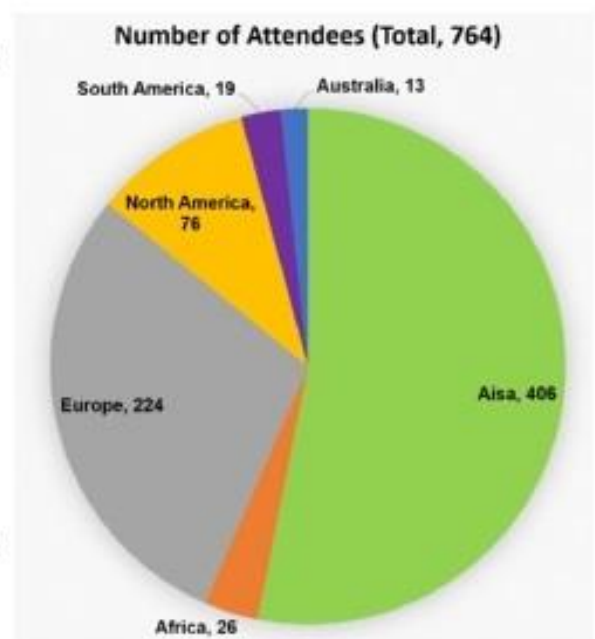
RECAP - THE 15TH IRPA CONGRESS

HEE-SEOCK LEE

IRPA15 ICOC SECRETARIAT GENERAL



IRPA 15, originally planned for three weeks from January 18 to February 5, 2021, was extended by a week and successfully came to an end on February 12, 2021. There was a total of 764 participants from 62 countries around the world, 406 of whom were from Asia, and 224 from Europe (Fig. 1). Asia and Europe had the highest contribution to IRPA15 as about 80% of the participants were from those continents. In terms of countries, we had the most participants from Korea with 285, followed by Japan with 82 (Fig. 2). There was a small number of participants, 41, from Asian countries other than Korea and Japan. This may be because many of these Asian countries do not have an association for radiation protection, or even if they do, the association is not particularly active. Although we were expecting many participants from China, only 11 participants attended due to some national policy. Moreover, because of the streaming service regulation in China, we could not help but have a small number of participants.





RECAP - THE 15TH IRPA CONGRESS

The Young Generation Network was first set up within IRPA in 2019, and we had the first YGN meeting in the form of a joint workshop with JHPS, SRP, and KARP in December 2019 at the JHPS Conference in Japan. At IRPA15, there was an independent session from the YG called "Innovation in Radiation Protection." In addition, the YSA (Young Scientists & Professionals Awards) Competition was opened for those who were nominated by the 22 IRPA Associate Societies from around the world (Fig. 4). The honorable Top Prize was given to Ms. Chiara Magni, nominated by the Italian Association of Radioprotection (L'Associazione Italiana di Radioprotezione, AIRP).

IRPA15 YSA Winners		
Top Prize	Chiara Magni (University of Padua, Italy)	
Second Prize	Florian Muehl (TU Darmstadt University, Germany)	
Second Prize	Reneath Winkler (BUT, Austria)	
Third Prize	Changchun Chai (Shanghai University, China)	

1. Prize 1,500 USD 1. Prize Certificate
2. Prize 1,000 USD 2. Prize Certificate
3. Prize 500 USD 3. Prize Certificate

Among the papers presented at IRPA15, the IRPA publication team is planning to submit those with distinguished academic value to the Journal of Radiological Protection (JRP). The papers nominated by the chairs of each session were reviewed and selected by the ICPC Core Group members in each topic field. After the selection, approximately 60 papers were recommended to the JRP. An additional 40 papers that gave excellent presentations are also expected to be recommended to the Journal of Radiation Protection and Research (JRPR). All other papers will be published as IRPA Proceedings and be uploaded to the IRPA15 tab on the IRPA.net website. Also, as the Secretariat received all pre-recorded videos of the presentations for the online congress, it remains to be discussed how to keep these videos including live session records so that they will be available anytime on IRPA.net. It is expected that these videos and presentations will be uploaded to IRPA.net by the first half of this year.

IRPA15 has great significance as the first 'Online Congress' that may not happen again in the history of IRPA. As we come to an end, we would like to thank everyone at the ICOC, ICPC, and the ICSC for working so diligently to make sure that IRPA15 was successful, as well as all of our participants, and the AS from many countries around the world for their support.





MEET THE NEW IRPA EXECUTIVE COUNCIL: BERNARD LE GUEN - PRESIDENT

BERNARD LE GUEN, MD, PHD IRPA PRESIDENT

IRPA's new President is Dr. Bernard Le Guen. Bernard is an accomplished physician, specializing in occupational medicine, and an accomplished radiation safety professional; the awards he has received from both the medical and the radiation protection communities are a testament to the respect with which he is viewed in both of these areas.



About his early career, Bernard recollects "I have never forgotten my first steps in radiation protection. I had just finished my studies at the hospital, I was familiar with radiotherapy and therefore with high doses, and as a young doctor I had joined the IRSN (French National Institute for Radiation Protection and Nuclear Safety) as a medical advisor to occupational physicians. From the very first days, IRSN asked me to give a course on internal dosimetry at the IAEA, although I was not at all a specialist in contamination and low doses. I had memorized the course, hoping that the students would not have any specific questions. It went very well and I still thank IRSN for having given me the opportunity to open up to the international world from the beginning of my career. My vocation to become president of IRPA and to have an international career was perhaps born on that day, who knows?"

Like many of us, Bernard was affected by the 2011 Fukushima accident. "In this period where we remember the terrible tsunami of March 2011 and the accident of Fukushima, a second important event was for me the publication of a joint report of the French Academy of Sciences and the Academy in Medicine. They had allowed me to lead a working group on the health effects of the Fukushima accident, a way for me also through this dramatic event to reflect with many experts in many fields related to radiation protection to achieve a common report. It is also one of the lessons for IRPA, never work alone and see how by associating us we can reflect and bring a reflection for our colleagues. It is also this experience that led me to propose on behalf of IRPA to IOMP, WHO and the AIEA to work together on a document on enhancing the radiation safety in Health Care. It was during the IRPA regional congress in Malaysia in 2014. By joining forces, we better serve our community of radiation protection professionals."

Over the years, Bernard has held a number of positions, retiring as the Senior Vice President in charge of Radiation Protection and Industrial Safety at the Electricite de France's (EDF) Nuclear Power Generation Division and today VP in charge of international relation and fellow expert in Health and Radiation Protection for the EDF group. In addition to his work for EDF, Bernard has also been impressively active in our profession, serving IRPA in a number of capacities as well as serving as Chairman of the CEPN Governing Board, serving as a member of a number of governmental advisory groups, and as a member of the education advisory board of the Doctoral School of Oncology of the Institut Gustave Roussy at the Paris Saclay University.



MEET THE NEW IRPA EXECUTIVE: CLAIRE-LOUISE CHAPPLE

**CLAIRE-LOUISE CHAPPLE, PHD, CRADP, CSCI,
FSRP FIPEM
EXECUTIVE COUNCIL MEMBER**



Dr. Claire-Louise Chapple was nominated for a position on IRPA's Executive Council by the United Kingdom's Society of Radiological Protection in recognition of her expertise and years of exceptional service to the SRP and to our profession.

After completing a degree in physics at Cambridge University, Claire-Louise went on to study for a Masters in Medical Physics at the University of Aberdeen before starting work with Newcastle upon Tyne Hospitals NHS Foundation Trust, where she is now Head of Imaging Physics and Radiation Safety and appointed as both a Radiation Protection Expert and Medical Physics Expert. Although she claims that "My path into radiation safety was fairly mundane, once I had given up my early dream of being a ballerina," she also noted that "I did once take my 3-week-old third son to a conference with me while on maternity leave, so that I could keep up with CPD (Continuing Professional Development). It caused a bit of a stir at the time but, disappointingly, didn't seem to start a new trend."

Claire-Louise has accomplished a tremendous amount already in her career, both within Great Britain and internationally. In the UK, she has served as a journal reviewer, as the author of a number of papers on various aspects of medical radiation safety, and in various positions within the SRP, most recently as Honorary Secretary; internationally she has also done considerable work with the IAEA as a lecturer on medical physics and radiation safety in Africa, Asia, and the Middle East; as a consultant to help draft guidance documents in the area of pediatric diagnostic x-ray dosimetry, and as a participant in expert missions on imaging safety in Uganda and the United Arab Emirates. To that can be added international work with IRPA, as an invited speaker at international conferences, and participating in a series of workshops on Radiation Safety Culture in Healthcare that were hosted by IRPA, IOMP, WHO, and IAEA. To these professional accomplishments she is working on achieving a more relaxing personal goal as well – "I have, in recent years, acquired a drum kit which I am attempting to learn to play."

In her new position within IRPA, Claire-Louise notes that "I have particular interest in continuing to develop the concept and promotion of radiation protection culture, along with issues of training and education in radiation protection within different communities."



MEET THE NEW IRPA EXECUTIVE: KEVIN NELSON - CONGRESS AFFAIRS

KEVIN NELSON, PHD, CHP VICE PRESIDENT FOR CONGRESS AFFAIRS



No sooner had IRPA 15 ended than preparations for IRPA 16 began; leading this work is Dr. Kevin Nelson, IRPA's new Vice President for Congress Affairs.

Like most of us in radiation protection, Kevin's entry into the field had a crooked path. He had wanted to become a medical doctor but after failing to get into medical school on his initial attempt, he decided to get a Master's degree in Environmental Health. He would then try to get into medical school again. But he had to choose a major. In the United States, the Clean Air Act had been enacted a few years earlier. Unfortunately, on the summer day he decided to visit the department, the Air Pollution professor was not present. When asked if he had another interest, Kevin had remembered that Three Mile Island had just occurred so he decided he would inquire about a Health Physics major. Fortunately, the Health Physics professor was in that day and after speaking to Kevin for 45 minutes, Kevin knew what he wanted to do for the rest of his life.

After several positions in both academic/medical and industrial radiation protection, Kevin began working for the Mayo Clinic in 1995, returning to medical radiation safety, and he's worked at Mayo ever since – working as a medical physicist and Radiation Safety Officer at the Mayo Clinic in Jacksonville Florida and then moving to Arizona in 2014, to work as a medical health physicist and Radiation Safety Officer at the Mayo Clinic in 2014.

Kevin's been doing more than managing Mayo's radiation safety programs; in Florida he worked on a team that developed new methods for radioactive breast seed localization and radioembolization, and helping to design, commission, and license a new proton beam and cyclotron facilities in Arizona.

Kevin is equally active outside of work – he's been involved in the Health Physics Society for over two decades, serving on a number of committees (chairing some), serving on the Board of Directors, serving as HPS President in 2007-2008, and serving as an associate editor for the Health Physics Journal. His contributions to the science and profession of radiation safety was recognized by being named a Fellow of the HPS in 2008.



ASSOCIATE SOCIETY HIGHLIGHTS: ROMANIAN SOCIETY FOR RADIOLOGICAL PROTECTION

WWW.SRRP.RO

CONSTANTIN MILU, PH.D.
RSRP PRESIDENT

DECEMBER 2020
BUCHAREST, ROMANIA



The Romanian Society for Radiological Protection (RSRP) is a professional association of radiation protection specialists, physicians, physicists, chemists, biologists, engineers from Romania. It was founded on May, 30 1990 and currently has 70 active members from the across the country. The RSRP became an IRPA Associate Society in 1992.

To celebrate its 30th year of activity, RSRP organized a special National Conference on Friday November 20, 2020, held online due to the COVID-19 pandemic. The Conference included ten presentations on "History of SRRP/IRPA" and "Scientific Works", a Round Table with MEDIA participation regarding "Radiation Safety Culture" and a special session commemorating five former important SRRP personalities, Prof. Mircea Oncescu, Phys. Petrică Șandru, Prof. Dr. Constantin Cosma, Dr. Laszlo Toro and Dr. Leon Grigorescu. The conference logged between 65 and 94 simultaneous participants in the Virtual Space, details of which can be found on the RSRP website.



**RSRP PRESIDENT CONSTANTIN MILU AND SOME OF THE
MANY ONLINE PARTICIPANTS IN THE RSRP'S 30TH
ANNIVERSARY CONFERENCE**



ASSOCIATE SOCIETY HIGHLIGHTS: ROMANIAN SOCIETY FOR RADIOLOGICAL PROTECTION WWW.SRRP.RO

Romania is a lovely nation located in southeastern Europe, bordered by Moldova, Ukraine, Hungary, Serbia, and Bulgaria; and with a history (and a prehistoric legacy) that goes back millennia and that includes the earliest known Homo sapiens remains in Europe, Greek and Roman colonies, invasions by the Mongols, Huns, and Goths, and millennia of other tumult.



Today, while still a developing country, Romania has a good (and growing) economy and ranks "very high" among the top 50 nations on the Human Development Index. Geographically, the center of Romania is dominated by the rugged Carpathian Mountains with forests, hills, and steppes covering the rest of the nation.



**SHEPHERD BOY (PHOTO BY RSRP MEMBER
MARGARETA CHERESTES)**



**A YOUNG NUN AT A SMALL MONASTERY IN
NORTHERN ROMANIA (PHOTO BY RSRP
MEMBER MARGARETA CHERESTES)**



IRPA GUIDANCE ON PUBLIC ENGAGEMENT



IRPA

INTERNATIONAL RADIATION PROTECTION ASSOCIATION

PRACTICAL GUIDANCE FOR ENGAGEMENT WITH THE PUBLIC ON RADIATION AND RISK



Most of us have spent a fair amount of time talking or writing about radiation and its risks to people who don't understand it. These people can be the media, but they can also be our neighbors, the person sitting next to us on an airplane or at the bar, or anybody else who asks us what kind of job we have. Or, of course, the people we're communicating with might be reporters, authors, those attending a public meeting, patients, or members of the public calling their government's radiation experts.

Not only that, but many of us also write for the public – magazine articles, for example, or books...as well as blogs, social media posts, websites, fact sheets, and more. The problem is that, while it's easy to write materials for our colleagues, writing for people who aren't radiation protection professionals or scientists does not come as naturally to us and it's harder to get right. As just one example – if you mention to a colleague that the risk of developing a fatal cancer from a particular radiation exposure is 1×10^{-6} they are likely to focus on the 10^{-6} and will conclude that the risk isn't very likely to affect them; give the same number to a non-scientist and they'll focus on the "1" and are likely to feel a bit uneasy.

And then we have to consider that radiation is increasingly important around the world. Consider the ubiquity of medical radiation – nuclear medicine, radiation oncology, various x-ray modalities are available to a majority of people on Earth; industrial radiography, well logging, and industrial process control gauges are widely used; nuclear power remains virtually the only reliable source of CO₂-free baseline power (not to mention that it already provides more than 10% of global electrical power); as well as the ever-present concerns about radiological and nuclear attacks. As knowledgeable professionals, we have an obligation to share our knowledge and expertise to help others to better understand radiation and its effects. The problem is that we are accustomed to communicating with our colleagues, not to those who lack our knowledge and our professional vocabulary.



IRPA GUIDANCE ON PUBLIC ENGAGEMENT

Lucky for us that IRPA recently published a wonderful 44-page document that's chock-full of information on just this topic!

This guidance was developed with two objectives in mind; to help all of us in our profession to be more enthusiastic public advocates of radiation protection, and to provide you with the information, techniques, and experiences that will help you to do so.

IRPA's Practical Guidance for Engagement with the Public on Radiation and Risk offers a great deal of solid information that's aimed at people like us – those who feel quite comfortable with numbers, facts, and problem-solving but who might not be equally adept at addressing people's fear (especially if we feel them to be unreasonable or illogical), illogic, and people making decisions based on their "gut feel" rather than through some sort of problem-solving methodology.

There is also a very nice chapter that goes through some specific circumstances many, if not all of us will be called upon to communicate about – medical radiation exposure, radon, emergencies, and so forth. And it wraps up with a nice list of references and some helpful appendices to round things off.

IRPA encourages the Associate Societies to develop effective tools for enhancing the public's understanding of radiation risk through the sharing of good information, good work practices, and high-quality resource materials. So, if you – or your radiation protection society – are involved in communicating with the media or with the public, you need to read this short (44-page) document. It will stand you in good stead.



"Since I was x-rayed today,
can I stay up and see if I glow in the dark?"
A.J. Toos, 1991

IRPA Perspective on "Reasonableness" in the Optimisation of Radiation Protection Edition 2021

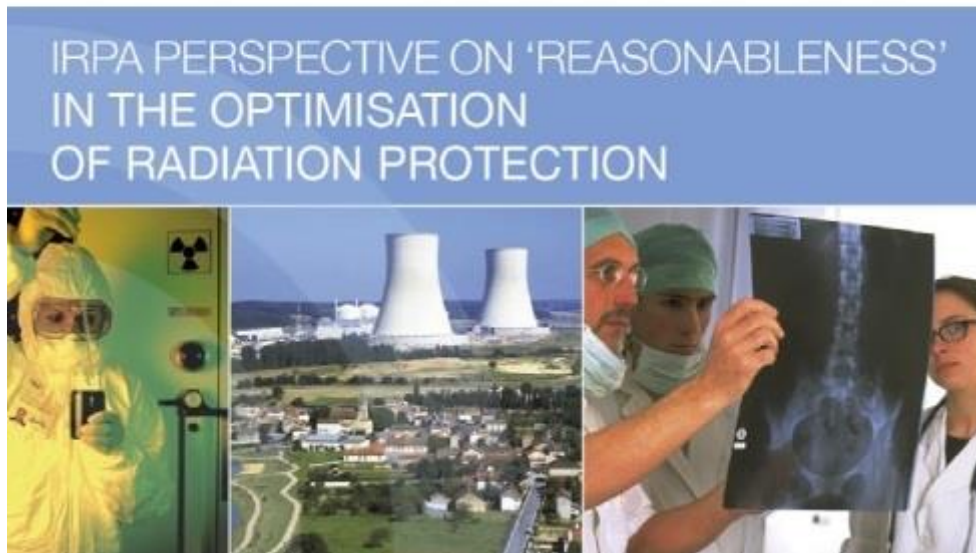


Table of Contents

1. Introduction and Background

2. Fundamental Considerations and Context

2.1. Radiation Protection Principles

2.2 Dose Response Model: LNT/Threshold

2.3 Ethical Values

2.4 Context of risks and natural background exposure

3. Principal Underpinning Factors for 'Reasonableness'

3.1. Judgement Call

3.2. Proportionality

3.3. Stakeholder Engagement

3.4. Holistic 'All Hazards' Approach

3.5. Avoidance of Over-Conservatism

3.6. Value for Society – Optimal Use of Societal Resources

3.7. De Minimis Approach

3.8. Alignment with Radiation Safety Culture

3.9. Audit Trail

4. Conclusions: What is 'Reasonable' in Optimisation of Protection.

References

1. Introduction and Background

Optimisation of protection, including the inherent judgement on what is ‘reasonable’, is a cornerstone of radiation protection for ionising radiation. There is a very broad experience of its application in practice across all fields of protection. However, as expressed in the IRPA consultation on the system of protection¹, there are some concerns that the interpretation of what is ‘reasonable’ in applying the ALARA concept has led to a tendency in many situations towards an approach of minimisation of exposure rather than exercising a balanced judgement on what is ‘reasonable’. This is perhaps reflective of an embedded conservatism within the profession, including within the regulatory community, and it is now very timely to reconsider our fundamental approach to optimisation.

Because ‘reasonableness’ is so central to practical protection there have been many workshops and exercises at an international level to deliberate on this topic. For example, following the IRPA system of protection consultation the French Radiation Protection Society (SFRP) arranged two internationally-oriented workshops on this topic², the European ALARA Network (EAN) has published guidance on optimisation³, and the Nuclear Energy Agency (NEA) held a workshop on ‘Rethinking the Art of Reasonableness’⁴. Hence there is much information regarding specific exposure scenarios for the optimisation of protection, and many conclusions relating to the specifics of the chosen scenario. In addition, some general conclusions on the approach to optimisation have also been identified.

Whilst these outcomes are indeed very valuable, it is inevitable that international considerations will continue on this important topic, for example with ongoing work planned by ICRP, NEA and many other organisations. IRPA strongly supports these developments and believes that it is necessary to have a clear understanding of the wider generic issues which provide a common underpinning of the process of optimisation of protection across all exposure situations and scenarios. Noting this, we believe it is essential that ongoing considerations take account of the experience of those professionals who have to implement radiation protection on a day-to-day basis – i.e., the perspective of the IRPA practitioner. IRPA has therefore prepared this document, which has been developed through consultation with the Associate Societies, and which therefore reflects the views of a wide range of radiation protection professionals and practitioners (see appendix). In taking this approach we also invited input from other international organisations so that we could be informed from a wider perspective, although it must be stated that this document is principally reflecting the views of the practitioner community.

Because the IRPA community is so wide-reaching, both in terms of fields of experience and geographical cover, it is inevitable that on some issues there cannot be universal agreement. Where this divergence is reflected in responses from our membership, our approach is to seek out the widest possible consensus whilst accepting that there are some alternative perspectives. However, overall, there was broad agreement on the key issues under consideration.

Optimisation of protection is one of the three fundamental principles of radiation protection. It is often referred to as ALARA – keeping exposures As Low As Reasonably Achievable, taking account of economic and societal factors. Optimisation of protection is a wider picture than just consideration of dose or exposure, although exposure is a key parameter in the concept. Experience has demonstrated that the optimisation principle is the central pillar for the practical implementation of radiation protection, and is a dominant factor controlling exposures in any well-developed system of protection.

The specific characteristics and complexity of optimisation can depend on the exposure situations, with different emphasis often given to various characteristics of approach. Emergency and existing exposure situations are often more challenging than planned exposure. Within the planned exposure situation there are significant differences in approach, for example relating to medical exposure, largely because for this case too low a dose is as inappropriate as too high a dose: the emphasis is on ensuring the lowest reasonable dose which meets the clinical requirements (e.g. in terms of image quality or cancer cell killing). In all situations every scenario needs its own specific considerations, but in recognising these differences it is also important to have a broad understanding of the key issues in judging what is ‘reasonable’ in optimisation of protection across all situations – i.e. the underpinning factors and principles which are common across all situations even if the emphasis varies from case to case.

This IRPA document is addressed to all radiation protection professionals and organisations involved across all fields of protection, as well as other interested parties involved in optimisation of protection.

2. Fundamental Considerations and Context

Optimisation of protection has been an essential component of the system of protection for many years, and the concept of ‘reasonableness’ is integral to this approach. ICRP Publication 1015 outlines some basic tenets of the approach, noting in particular the increasing role given to considerations of equity, safety culture and stakeholder involvement. It emphasises that optimisation is not minimisation, and thus the best option is not necessarily the one with the lowest dose. ICRP Publication 1386 defines reasonableness as making ‘rational, informed, and impartial decisions that respect other views, goals, and conflicting interests’.

In working towards a common understanding on reasonableness it is helpful to provide for ongoing dialogues between regulators, industry/healthcare and other sector groups, professional bodies such as radiation protection societies and other relevant interest groups. This can provide a supporting international or national framework for the judgement and decision-making process.

Before defining the key generic issues for reasonableness it is helpful to explore some fundamental considerations on which any guidance is based.

2.1. Radiation Protection Principles

Optimisation is the second of the three principles underpinning the system of protection - Justification, Optimisation and Limitation - and cannot be considered in isolation. Firstly, it must be demonstrated that the exposure, or the proposed protection strategy, is justified: namely that it provides more benefit than harm. The optimisation process follows on from this justification and does not replace or second guess that fundamental question.

It can also be helpful to note the role of dose reference levels, diagnostic reference levels and dose constraints in the optimisation process. These are aimed at limiting the upper end of the range of exposures in the interest of ensuring equity amongst the exposed population. They are not direct limits, and must never be considered as such, but can be very useful in the optimisation process and helpful to the understanding of stakeholders.

2.2 Dose Response Model: LNT/Threshold

There is scientific uncertainty in the risk posed by radiation in the key dose range of around a few mSv/year, which is the situation of greatest importance for practical decisions on protection. Recognising this uncertainty, the system of protection in general use is based on the Linear No Threshold (LNT) model, which assumes for the purposes of protection that the cancer risks identifiable at higher doses (typically down to around a hundred mSv or so) are extrapolated pro-rata to the low dose region. There are other alternative concepts for a risk model for which there is some scientific support, in particular the concept of a threshold below which the risk would be zero, or that there could even be an hormetic benefit from such exposure.

It is clear that in a threshold model the concept of optimisation for each potential contribution to the total individual dose would be complex and less clear, with there being virtually no role for such an approach where the total dose is below any declared threshold. Whilst there are some strongly-held views in favour of such an approach, including some of the IRPA practitioners contributing to this report, the internationally-accepted basis for the system of protection, as recommended by ICRP and endorsed by the principal international organisations, adopts the LNT model. This IRPA document follows this approach.

In practice there is a wide consensus that at low exposure levels typically around ‘a few mSv’ or less, all we know is that if there is a risk, then it is very small and is equivalent to many risks in situations commonly accepted in society. In recognition of this we should accept that it is necessary at these low exposure levels to give careful thought before allocating significant effort and resources to the pursuit of even lower doses, where there would be little direct health benefit. It is also recognised that the acceptance of LNT can be seen to underpin the idea in the public consciousness that ‘there is no safe level of radiation’. Whichever model (LNT or threshold) is assumed, what is common is the need to emphasise the importance of ongoing public information and interaction on radiation risks, both in general terms and within each specific engagement on optimisation.

2.3 Ethical Values

Protection judgements must take account of the key ethical values, as outlined in ICRP Publication 1386, and the relative importance of each will depend on circumstances:

- Prudence: This is the ability to make informed and carefully considered choices without the full knowledge of the scope and consequences of actions. Whilst this is an important and essential concept, in practice it is often interpreted as a need for precaution, which in turn requires careful judgement. In Publication 138 ICRP notes that prudence should not be taken to be synonymous with caution, conservatism or never taking risks. In practical situations where it is necessary to seek a balance between the ethical values, the weight given to prudence and precaution should reflect the level of risk: the relative emphasis given to precaution at for example tens of μSv should be lower than at tens of mSv , where risks are at least a factor of one thousand higher. It should also be recognised that characteristics of the exposure situation in addition to dose may also serve as a basis for action.

- Dignity and Justice: These values are related to fairness and limiting inequity, which lead to the need to involve stakeholders in the judgement process, and also support the general principle of optimisation. The values therefore support the introduction of equity and fairness in the distribution of exposure among people exposed, and the involvement of all interested parties in a transparent and inclusive process during optimisation.

- Beneficence (in association with Non-Maleficence): ICRP 138 notes that this aims ‘to increase the direct and indirect benefits for individuals, community and the environment’. In broad terms this implies that we strive for the best value for society, with an expectation that the use of resources should be seen to deliver appropriate benefits.

In any specific optimisation situation, it will be necessary to respect these key ethical values, whilst noting that because the values are not absolute in nature it will be necessary to judge the most appropriate balance between them. In summary it can be said that the ethical values in radiation protection support the concepts of proportionality, the engagement of interested parties, and the effective use of resources in the approach to reasonableness.

2.4 Context of risks and natural background exposure

Although there are exceptions, particularly for some medical, existing and emergency situations, most radiation protection decisions involve doses less than ‘a few’ mSv/year . As such the majority of exposures are within or less than the unavoidable basic range of natural background exposure (typically say from 2 up to around 5 mSv/year), and hence make little difference to the total dose received by any individual, with total exposure from all sources remaining within this typical range of natural background. As noted above, in this low dose exposure range there is no definitive direct evidence of harm, hence giving uncertainty over the true risk.

Whilst we cannot ignore the optimisation of such low dose exposures, we should nevertheless be cognisant of society’s pragmatic ‘common sense’ approach to variations of background exposure levels. In normal day-to-day life the many individual decisions which contribute to such exposure variations, such as where to live or go on holiday, what to eat, how to travel (etc.), are not generally based on concerns or considerations of radiation risks. Whilst such exposures are often classed as ‘voluntary’, and as such are taken to be less sensitive than imposed risk, in practice for most situations the decisions are taken by individuals in the absence of knowledge regarding radiation exposure, and any associated risks are therefore implicitly deemed as acceptable by society.

Although such considerations may well not be universally applicable, they do nevertheless re-inforce the need to ensure that the radiation protection decisions we make at low doses are aligned with wider experiences and are seen to result in reasonable value for society. It also emphasises that it would be helpful for all parties (stakeholders) engaged in the optimisation process to be aware of the context and perspective of natural background exposure, ideally in the context of a wider risk-informed society. However, whilst providing helpful context, natural background exposure cannot be seen in itself as a justification for exposure from other sources.

3. Principal Underpinning Factors for ‘Reasonableness’

3.1. Judgement Call

Optimisation of protection is a judgement call which is essentially situation-based, often termed ‘taking account of the prevailing circumstances’ (which of course applies to all decisions in life). What is considered reasonable in one situation does not automatically determine, or necessarily strongly influence, what may be reasonable in another situation. It is helpful to follow a structured deliberative process to assessing optimisation, without basing this on specific numerical criteria, and also to recall that optimisation has been described as ‘a frame of mind’⁷. There is no automatic judgement-free process which leads to a decision. It is important that the specific circumstances are always taken into account; hence any generalised assertion that the lowest exposure for a particular activity is ‘best practice’, and must therefore be achieved by all relevant practitioners, should not be made without proper consideration of all relevant circumstances.

3.2. Proportionality

It is widely acknowledged that the effort and resources allocated to optimisation should in broad terms be proportionate to the level of risk, whilst also taking account of social perception aspects. The effort should also reflect the potential degree of exposure reduction. This aligns with pragmatic common-sense approaches generally across society, and also with the regulatory principle of a graded approach, where the degree of resource allocation should take account of risks and both social and economic impact.

Taking due account of the number of persons exposed can be a relevant factor in some situations, for example in occupational exposure considerations. Whilst the concept of collective dose has been used in some optimisation situations, its value and use may be limited and must be carefully judged, especially when aggregating a large number of very small doses where the concept essentially becomes meaningless – see further discussion in ICRP Publication 1015.

The incremental benefits to be obtained in terms of dose reduction decrease progressively as the associated expenditure increases. Even the cost of considering the ways in which doses can be reduced can become significant compared with the benefit to be achieved. At some stage, for low doses, the effort might not be worthwhile.

3.3. Stakeholder Engagement

It is essential that all those parties potentially impacted by the outcome, usually termed ‘stakeholders’, are involved in judging what is reasonable in the particular circumstances. Stakeholder involvement should be educative for all parties, and where some participants are not familiar with radiation risk it is essential to take enough time to explore and engage cooperatively in order to share understanding of both the science and perception issues involved. Such an approach can provide helpful context for what seems to be an inherent fear of radiation in some quarters. A key to informed decision-making is moving to a shared understanding of the science, radiation protection concepts and principles, and perceived and actual risks and concerns, through a process of dialogue.

It must be recognised that it might not always be possible to reach a full consensus on what is reasonable. Whilst all stakeholders must have the opportunity to express their own expectations and concerns, it is important as far as possible to avoid strongly-held but singular opinions dominating the process. The stakeholder process must be seen as open, fair and honest, and provide the basis for developing trust between the parties. It is important that there is clarity on the responsibility for making the final decision – i.e. who has the decision authority, and defining the role of the other interested parties. The ideal objective of the stakeholder engagement process would be that all parties agree that what is to be implemented is a fair outcome that is appropriately safe: this has been referred to as maximising overall well-being, which takes account of the full range of social considerations.

It is important to ensure that the party ultimately responsible for associated expenditure of resources in implementing the decision outcome must be fully engaged and represented in the stakeholder engagement process. This may involve careful consideration of who is really paying the true costs, especially where it may involve imposed costs to customers/consumers or the use of wider society resources. The funding party’s role and responsibilities in the optimisation process must be clearly defined.

ICRP 1015 notes that the extent of stakeholder involvement will vary from one situation to another. Depending upon the circumstances, it may not be necessary to involve all stakeholders, or types of stakeholders, in every aspect or phase of the optimisation process. Many radiological protection decisions will not be complex or socially contentious, and thus will not need significant broad stakeholder involvement.

Further guidance is contained in IRPA's Guiding Principles for Radiation Protection Professionals on Stakeholder Engagement⁸.

3.4. Holistic 'All Hazards' Approach

The optimisation process should take account of all relevant hazards, and not necessarily focus solely on radiation – i.e. adopt an holistic 'All Hazards' approach. Indeed, a complete consideration should address not just all hazards, but all negative considerations (detriments) such as expense or loss of income, decrease or loss of services, social disruption, discrimination, the health risks of not undertaking medical radiological interventions, and so on. Furthermore, it must consider all benefits, not just the abatement of hazards or other negative considerations. In some situations the total risk could be increased when only radiation hazards are considered. Radiation is not always the most significant hazard, although it often receives the most regulatory attention.

The optimisation principle applies to all exposure situations, including environmental exposure. This is a developing field which must be kept under review. Some experiences with the application of 'Best Available Technology' to environmental discharges have identified concerns over the perceived emphasis on minimisation rather than optimisation, and a lack of appropriate financial considerations in this approach. Optimisation also applies to situations involving potential exposures, where assessment of the likelihood of events is necessary as well as of the resulting exposures (individual doses and the numbers of persons potentially exposed).

It is recognised that in some jurisdictions the scope/competence of a regulatory body may be limited to radiation safety, and hence not formally encompass other risks which should be taken into account in an holistic 'all hazards' approach. In such situations it is important for the regulatory body to establish working relations and practical agreements with other relevant regulatory authorities.

3.5. Avoidance of Over-Conservatism

It is very important that optimisation processes are based on realistic assessments of risks and benefits, including dose assessments and other relevant risks. The use of multiple conservative assumptions in assessments, which result in significant over-estimates of exposure, or the use of 'worst case scenarios', are a misinterpretation of reasonableness and can lead to a misallocation of resources. Where there is a range of possible outcomes for a scenario, then careful judgement is necessary to determine the basis for optimisation assessments so that the outcome may be considered as 'reasonable'.

It is accepted that in some cases an exposure assessment is undertaken solely to demonstrate compliance with a defined criterion such as a limit or constraint. In such cases it may be appropriate to use conservative parameters if this approach can easily demonstrate compliance. However, where it is important to determine the actual exposure levels, such as in an optimisation assessment, then it is important to avoid undue conservatism.

3.6. Value for Society – Optimal Use of Societal Resources

The concept of wider 'value for society' in the use of resources, as introduced in the above discussion on ethical values and the risk context, should always be taken into consideration in optimisation judgements. As noted in ICRP1049, based on general principles of good governance, governments have obligations to pursue 'the optimal use of societal resources' and 'not allow such resources to be squandered on unproductive legislation and fruitless regulatory control'. The concept of Value for Society must include the use of financial resources as well as other concepts of societal value.

Previously in ICRP recommendations^{10, 11} there was an emphasis on Cost Benefit Analysis (CBA), with a monetary value placed on the person-Sv as a part of the judgement process. This was aimed at aligning societal Value for Money (VFM) across different options for resource spending. Over more recent times there has been a growing emphasis placed on the equity issue raised by the uneven distribution of benefits

and detriments through society, and on the need to involve all stakeholders in the optimisation process as in the ethical considerations noted previously. These are important developments that are central to this report, but it does seem that the consideration of financial factors in judging a balanced value for society has become much less visible.

Whilst quantitative analysis such as CBA can provide important information, in practice the technique has been limited both in scope and application, and rarely makes a significant contribution to optimisation judgements. There are other quantitative techniques which can assist in the judgement of value for society, such as Multi-Attribute Utility Analysis and related systems, and these can be helpful.

There is evidence in other aspects of life where VFM considerations are quite central to societal decision-making. In the healthcare sector there are several examples where decisions are made on how to prioritise the spending of the national health budget. The use of the QALY concept (Quality Adjusted Life Year), which in many ways has analogies with a CBA approach, has been adopted in several countries and has been proven as a valuable approach¹².

It is recognised that VFM judgements are in practice quite difficult, but it is important that they are recognised as having a rightful place in the overall judgement of value for society. Financial considerations are still an essential factor that stakeholders, regulators and authorities must consider. This would be consistent with a 'graded approach' to optimisation and with the ethical value of beneficence.

The challenge is how to ensure that in practice these considerations are factored into optimisation assessments. Whilst recognising the importance of seeking an overall 'value for society' which encompasses a much wider range of attributes^{2, 3, 4, 5, 6}, IRPA believes that the contribution of the financial component of this deliberation merits a higher recognition than currently experienced.

3.7. De Minimis Approach

Some consideration has previously been given to the concept of a minimum cut-off, below which no further efforts to address optimisation are necessary. Various proposals for such a threshold have covered the range from 10µSv/year¹³ up to doses around 5-10% of the relevant worker or public dose limit¹⁴. Whilst this approach is understandable and has some rationale, it is challenging to apply in practice:

- The simple declaration of a fixed 'de minimis' value perhaps carries an imputation that even just above this value it is necessary to undertake optimisation, which could lead to inappropriate and unnecessary action.
- Exposure situations are so varied that a single numerical minimum does not seem realistic and would be likely to lead to an inappropriate 'lowest common denominator' approach. A system of different de-minimis levels appropriate for different types of situations could be more appropriate.
- Experience has shown that even at low doses there are often simple, realistic and inexpensive actions that can still be taken to improve the exposure situation by resulting in greater overall well-being.

Whilst the above considerations identify challenges in applying the de-minimis concept, it is none the less appropriate to consider how the underpinning conceptual value of this approach could be manifested in a more practical way. IRPA therefore encourages authorities and regulatory bodies to have a very careful regard before setting expectations or requirements for optimisation assessments at low doses, unless there are significant and specific reasons for doing so. This approach should apply where exposures are significantly below relevant limits, constraints, or reference levels – which of course would be a matter of judgement and which could benefit from wider consideration. Such a course would align with the concept of a graded approach and support the effective use of society's resources.

However, as noted above, in some low dose situations below any implied de-minimis level there may be appropriate measures that could reasonably be taken by the respective local interested parties: for example, to implement actions arising from safety culture considerations, or from stakeholder engagement where these improve overall confidence and well-being without imposing a disproportionate burden on society's resources, even if there is no significant benefit in direct safety terms. In such cases it would be helpful overtly to recognise the basis on which the decision is made.

3.8. Alignment with Radiation Safety Culture

There is a strong alignment between the key aspects of an ALARA process and the key attributes of a wider safety culture, of which radiation safety culture is an integral sub-set. A strong safety culture should be an inherent feature of any organisation, covering all contributions to risk, including radiation. The common essential attributes of a safety culture include:

- Engaging with all parties involved in the activity
- Implementing appropriate education and training
- Maintaining an environment supporting a questioning attitude, openness and challenge
- Learning and sharing from experience
- Strong commitment from the leadership
- Integration of the above commitments into a clear management system

therefore provide a platform for ensuring appropriate attention in those lower dose situations where a more formal assessment of optimisation is not appropriate.

There is good evidence for the success of safety culture approaches, especially in the cases of occupational exposure and for both occupational and patient exposures in a healthcare setting. Radiation protection culture-based approaches are also applicable in many situations involving public exposure, especially where longer term stakeholder engagement is necessary. In such situations it is often necessary to give greater attention to the process of engagement, due to the unfamiliarity of many stakeholders with the concepts of radiation protection.

3.9. Audit Trail

In any specific optimisation scenario there are many factors that need to be taken into account, and the outcome is often the result of a complex judgement process. As part of the process, it is helpful to declare and record the key factors which determined the decision, especially in the more complex optimisation scenarios. This will help to decide if the optimisation process should be revisited when circumstances change, and it also makes visible whether it is radiation risk itself, perception issues or other factors that have been key to the outcome in those specific situations. This can help inform other situations and is important in seeking to avoid establishing inappropriate precedents, as well as ensuring that stakeholders are clearly aware of the decision drivers.

4. Conclusions – What is ‘Reasonable’ in Optimisation of Protection?

Optimisation of protection is an essential component of radiation protection, and usually is the dominant factor controlling exposures in any well-developed system of protection. Each exposure situation is individual, and must be addressed as such, with a wide range of factors which need to be taken into account.

This IRPA perspective identifies the principal key factors which provide a common underpinning across all (or most) optimisation situations and scenarios. The relative importance of these factors may vary from situation to situation, especially across the different exposure situations (planned, existing and emergency) and exposure categories (occupational, public and medical). In addition, there will be many other factors that must be taken into account in each specific scenario, some of which may be common across a particular exposure situation or category. Because of the wide range of potential factors and influences, it is not possible for this document to cover all these different detailed situations. However, there is considerable literature and ongoing deliberations that can helpfully provide additional guidance in many specific situations.

IRPA believes that the above perspective represents the key generic issues relevant to the optimisation of protection. Taking these into account in judgements of reasonableness will lead to greater consistency in approach, greater confidence in the outcome and improved transparency.

Because of the central importance of optimisation, it is also recognised there will be ongoing considerations on reasonableness at both international and national levels. As well as providing valuable guidance for

current practice, this IRPA document presents a practitioner's perspective into ongoing further developments

References

1. Coates et al, 2017 J. Radiol. Prot. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/aa9e5c>
2. Lecomte et al, 2019 Radioprotection <https://doi.org/10.1051/radiopro/2019037>
3. Optimisation of Radiation Protection ALARA: A Practical Guidebook. 2019 European ALARA Network www.eu-alara.net
4. NEA Workshop Summary Report: NEA Workshop on Optimisation: Rethinking the Art of Reasonable, Lisbon, Portugal, 13-15 January 2020, OECD Publishing, Paris.
5. ICRP Publication 101: The Optimisation of Radiological Protection – Broadening the Process (2006) https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_36_3.
6. ICRP Publication 138: Ethical Foundations of the System Radiological Protection (2018) https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_47_1
7. ICRP Publication 103: The 2007 Recommendations of ICRP (2007) https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_37_2-4
8. IRPA Guiding Principles for Radiation Protection Professionals on stakeholder Engagement (2008) [http://irpa.net/docs/IRPA%20Stakeholder%20Engagement%20Guiding%20Principles%20\(2008\).pdf](http://irpa.net/docs/IRPA%20Stakeholder%20Engagement%20Guiding%20Principles%20(2008).pdf)
9. ICRP Publication 104: Scope of Radiological Protection Control Measures (2007) https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_37_5
10. ICRP Publication 37: Cost Benefit Analysis in the Optimisation of Radiation Protection (1983) https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_10_2-3
11. ICRP Publication 55: Optimization and Decision-Making in Radiological Protection (1990) https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_20_1
12. How NICE measures value for money in relation to public health interventions: <https://www.nice.org.uk/Media/Default/guidance/LGB10-Briefing-20150126.pdf> [ISBN 978-1-4731-0298-9]
13. NCRP Report 180: Management of Exposure to Ionising Radiation – Radiation Protection Guidance for the United States (2018)
14. Michel et al, Radiation protection today – success, problems, recommendations for the future. Fachverband fur Strahlenschutz (2018) https://www.fse.org/fileadmin/user_upload/09_Themen/Philosophen/Future_of_Radiation_Protection_20180921.pdf

Imagini obținute prin programul *Microsoft Teams* din timpul Conferinței Naționale SRRp – 2021, on-line



Cuvântul de deschidere al Președintelui SRRp - Constantin Milu



Noi abordări ale ICRP - Mirela Angela Saizu



Ce ne dorim să aducem în atenția dumneavoastră?

- Normele de Dozimetrie Individuală și Radon, publicate în decembrie 2020
- Înlocuiesc Normele de Dozimetrie Individuală - NSR 06 publicate în octombrie 2002
- Analiza normelor prin prisma:
 - ✓ utilității
 - ✓ provocărilor
 - ✓ dificultăților

aduse de implementarea noilor concepte

CHALLENGE



Dositraker - același partener serios în abordarea problematicilor de protecție radiologică - Ruxandra Săpoi

Aspecte privind aplicarea principiilor etice în domeniul protecției radiologice, prezentate în Codul de Etică al IRPA și în documentele recente ale ICRP.

Maria Sahagia (msahagia@nipne.ro)
Institutul Național de C&D pentru Fizică și Inginerie Nucleară, IFIN-HH, Str. Reactorului nr. 30 Măgurele, 077125, Jud. Ilfov

People

- NM Nicolae Mihail Mocanu (Guest)
- "Georgian-Viorel Tobosaru (G.
- AA Alexandra Alexoiu (Guest)
- AN Alexandra Nacu (Guest)
- AP Alexandru Pavelescu (IFIN-HH)
- AT Alexandru TOMA (Invitat) (Gue
- A alexia.tuca@yahoo.com (Guest)
- AM Ana Magirescu (Invitat) (Guest)
- AC Anton Corolanu (Guest)
- CA camelia avadanei (Guest)
- CC Catalina Chitu
- C CHIOSILA (Invitat) (Guest)
- CA Cita Alexandru (Guest)
- CM Constantin Milu (Guest)

Codul de etică IRPA adoptat de membrii SRRp de la publicare - Maria Sahagia

ANMCS
unitate afiliată în
PROCES DE ACREDITARE
CICLUL nr. 8-10

MUNICIPIUL ORADEA
SPITALUL CLINIC JUDEȚEAN DE URGENȚĂ ORADEA
Operator date cu caracter personal nr. 9454
Oradea str. Republicii nr. 37
Cod Fiscal 4208496
Tel : 0259434400 / Fax: 0259417166
email: spitaljudetean@oradea.ro

URSP

**CONCEPTE ACTUALE PRIVIND CORELAȚII ÎNTRE DOZELE
DE IRADIERE ȘI MODIFICĂRI PATOLOGICE RADIOINDUSE LA
NIVELUL CRISTALINULUI PENTRU PERSONALUL EXPUS
PROFESIONAL**

•Autori: Ioan Oswald¹, Margareta Cheresates², Dorin Iancu³, Todorut Eva⁴, Sorin Haidu⁵, Coroi Mihaela⁶, Ioana Tecsi⁷,

•^{1,4,5,6} Spitalul Clinic Județean de Urgență Oradea
•³ C.N.C.A.N- București
•² SC RODOS SRL
•⁷ Laboratorul Istoriei Radiatilor din Oradea

08:24:55

Ruxandra Sapor

Un important studiu interdisciplinar

INSP

MINISTERUL SĂNĂTĂȚII
INSTITUTUL NAȚIONAL DE SĂNĂTATE PUBLICĂ
CENTRUL REGIONAL DE SĂNĂTATE PUBLICĂ IAȘI CRSP Iași

**NOI CONCEPTE ȘI LIMITE INTRODUSE DE
RECOMANDĂRILE ICNIRP 2020
PRIVIND EXPUNEREA LA
CÂMPURI ELECTROMAGNETICE DE RADIOFRECVENȚĂ**

Cristian Goiceanu, Răzvan Dănulescu, Eugenia Dănulescu

08:45:17

Conferință Națională a Societății F... online

Radiațiile neionizante - o preocupare mai nouă și la IRPA

Evaluarea nivelurilor de tritru legat organic în probe de mediu din zona Cernavodă, în perioada 2018 – 2020

Simona Zaharov, A. E. Nedelcu, V. Tudorache
 S.N. Nuclearelectrica S.A. – Sucursala CNE Cernavodă,
 Departament Radioprotecție, Securitatea Muncii și PSI,
 Laborator Control Mediu

03:17:29

People

- Share invite
- Currently in this meeting (14)
- NM Nicolae Mihail Mocanu (Guest)
- Georgian-Ionel Tobosanu (G...
- AA Alexandra Alexoiu (Guest)
- AN Alexandra Iacu (Guest)
- AT Alexandru TOMA (Invitat) (Gue
- A alexia.tuca@yahoo.com (Guest)
- AM Ana Maginicu (Invitat) (Guest)
- AC Anton Coroiaru (Guest)
- CA camelia avdanei (Guest)
- CC Catalina Chitu
- CHIOSIA (Invitat) (Guest)
- CA Cita Alexandru (Guest)
- CM Constantin Milu (Guest)
- C comelia sirgoianu

Supravegherea nivelurilor de tritru legat organic în probe de mediu - continuă la CNE Cernavodă

Evaluarea nivelurilor de tritru legat organic în probe de mediu din zona Cernavodă, în perioada 2018 – 2020

Simona Zaharov, A. E. Nedelcu, V. Tudorache
 S.N. Nuclearelectrica S.A. – Sucursala CNE Cernavodă,
 Departament Radioprotecție, Securitatea Muncii și PSI,
 Laborator Control Mediu

03:17:29

People

- Share invite
- Currently in this meeting (14)
- NM Nicolae Mihail Mocanu (Guest)
- Georgian-Ionel Tobosanu (G...
- AA Alexandra Alexoiu (Guest)
- AN Alexandra Iacu (Guest)
- AT Alexandru TOMA (Invitat) (Gue
- A alexia.tuca@yahoo.com (Guest)
- AM Ana Maginicu (Invitat) (Guest)
- AC Anton Coroiaru (Guest)
- CA camelia avdanei (Guest)
- CC Catalina Chitu
- CHIOSIA (Invitat) (Guest)
- CA Cita Alexandru (Guest)
- CM Constantin Milu (Guest)
- C comelia sirgoianu

Supravegherea nivelurilor de tritru legat organic în probe de mediu - continuă la CNE Cernavodă



Lucrările Conferinței urmărite cu interes în Spațiul Virtual de cei aproape 50 participanți simultan



Masa Rotundă privind Comunicarea în Urgența Radiologică a trezit un larg interes



Concluzii



- Abordarea graduală aplicată în controlul reglementat dedicat managementului urgențelor nucleare și radiologice are drept scop final optimizarea utilizării resurselor atât de către autoritățile publice cât și de titularii de autorizație, necesare răspunsului urgențelor radiologice și nucleare, practic urmărind asigurarea controlului în timpul situației de expunere de urgență.
- Aplicând abordarea graduală, nivelul resurselor și aranjamentele necesare sunt cerute a fi planificate și pregătite în avans, ținându-se cont de sistemul de clasificare al instalațiilor și activităților după categorii de pregătire la urgență.
- Nivelul răspunsului la o situație de urgență se realizează gradual implicând resurse optime și implementarea în mod gradual de acțiuni de protecție astfel încât să se realizeze obiectivele principale ale răspunsului la urgență și anume evitarea efectelor deterministice și minimizarea efectelor stochastice.

05.57:34

Conferința Națională Anuală
22 octombrie 2021

Request control

Veronica Andrei (Guest)



**SRRp – partener de încredere
privind comunicarea riscurilor
radiologice, pledoarie în acord
cu preocupările internaționale
actuale în domeniul protecției
radiologice**

**Veronica ANDREI
Ruxandra SĂPOI
Ion CHIOSILĂ**

06:35:00

Request control

Veronica Andrei (Guest)



În concluzie, încă o Conferință Națională Anuală de interes și cu o tematică de actualitate internațională.