

URANIUL, RADIOACTIVITATEA SI MEDIUL INCONJURATOR

Valentin MURARESCU, Madalina SCARLAT, Daniela GHIOACA, Oana DRAGHICEANU, Lucian IONESCU, Raluca SAMSON, Liliana PROTOPOPESCU¹

Summary: This approach tries to present some problems of the nuclear energy and it's consequences on the environment. The radiations and the natural radioactivity have always made part of the environment, but because of the absence of their impact on human's senses, they have relatively late took the attention of scientists. From the radiations and the radioactive materials, by now, several applications concerning the radionuclides properties were introduced and also new technologies were created, the result of all these being the radioactive products wanted or not. In consequence any person on the Earth is permanently submitted to the radiations activity which proceed from both natural and artificial sources. In these terms any protection system against radiations must have a well defined domain. The estimation of doses received from every source is a permanent preoccupation of some international and national organizations.

The most important percentage in the total dose of one person's irradiation comes to natural radioactivity, but this is not at all a reason that justifies the ignoration of the artificial radiations sources, even if they have small contributions, which are easily controlled. Before the second world war, the environment radioactivity was a natural phenomena. The subsequent development of the energetic nuclear reactors and the experiments with nuclear bombs in '60-'70 led to environment contamination with radionuclides. The most representative example is the accident of the RMBK reactor from Chernobil. All this led to the concentration of the efforts in studying the behaviour of radionuclides in environment physics and ecology.

INTRODUCERE:

Unica sursă de energie care a alimentat civilizația noastră până în acest secol a fost energia solară, înmagazinată sub formă de energie chimică, prin procesul de fotosinteză, în surse regenerative (lemnul, apele, vântul) sau în combustibili fosili (cărbune, petrol, gaze) a căror

¹ Studenți - Universitatea din Pitești

constanță de formare este de ordinul milioane de ani.

Una dintre problemele principale, de a cărei soluționare depinde dezvoltarea civilizației noastre, problemă care a revenit pe primul plan al preocupărilor din ultimii ani, este asigurarea cu energia necesară dezvoltării activităților de bază care condiționează evoluția progresivă a nivelului de trai al populației. Cantitatea de energie consumată de omenire a crescut, din epoca primitivă până acum, de 2,5 milioane de ori. Este evident că o astfel de creștere, nu poate să nu conducă la o problemă a energiei necesare pentru dezvoltare.

Primul pas este al fizicianului Becquerel pe 26 feb. 1898, când acesta a lăsat câteva plăci fotografice ferite de lumină în apropierea unui minereu de uraniu. Developându-le le descoperă înnegrite, ca și când ar fi fost expuse la lumină. De aici el a tras concluzia că minereul de uraniu emite radiații necunoscute.

La începutul secolului trecut Rutherford și elevii lui, Chadwick, Cockcroft și Walton au investigat proprietățile nucleelor cu ajutorul unor particule accelerate artificial la energii cinetice mai mari decât cele ale radiațiilor emise de substanțe radioactive. Obținerea energiei nucleare este condiționată de prezența radiațiilor radioactive. Fisiunea stă la baza obținerii energiei nucleare.

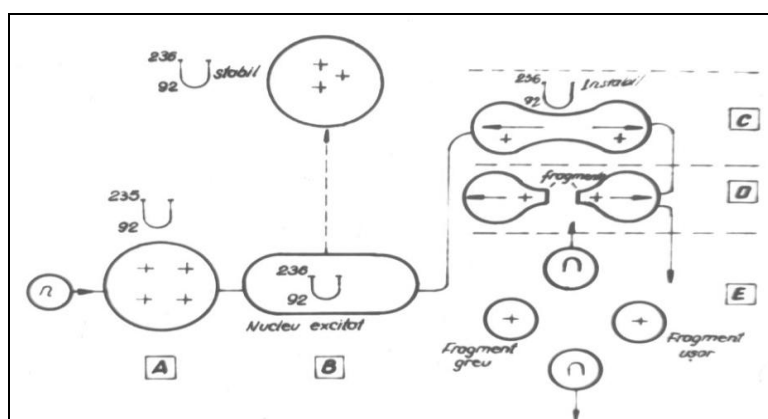


Fig. 1 - Procesul de fisiune

În starea **A**, nucleul are formă sferică, datorită energiei de legătură, analog cu tensiunea superficială a picăturii. Când nucleul absoarbe un neutron se formează un nucleu excitat **B**, energia lui fiind egală cu energia de legătură a nucleului, plus energia cinetică a neutronului și pot apărea cazurile:

- dacă excesul de energie este insuficient pentru a apărea deformarea, din starea **C** nucleul revine la forma sferică devenind stabil, excesul de energie se emite ca radiații „ γ ” (în 16% din cazuri);

- dacă excesul de energie depășește o anumită valoare, denumită „energie critică”, are loc ruperea nucleului în două fragmente (starea **D** de fisiune), ce pot emite un număr de neutroni (starea **E**).

Produsele fisiunii nucleare (fragmentele) din starea **D** au foarte rar nuclee cu mase egale, randamentul în acest caz este sub 0,1% (fisiune simetrică). În cele mai multe cazuri, fisiunea nucleară este „nesimetrică” rezultând nuclee de mase diferite ca în cazul schemei de fisionare nesimetrică a nucleului U_{92}^{235} (figura 2).

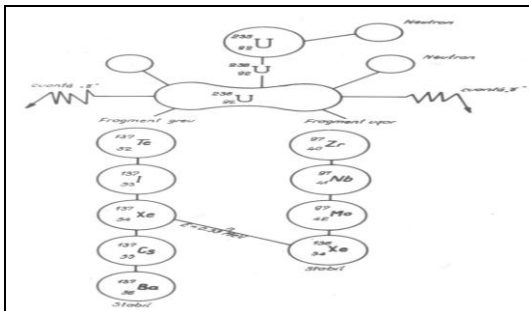


Figura 2

În urma reacției de fisiune nucleară se eliberează o energie ascunsă în profunzimile nucleului. La un act de fisiune nucleară s-a calculat câtă energie se eliberează pentru Uraniu-235:

produsele de fisiune:	166 MeV (82,5%)
radiație γ de fisiune:	6 MeV (2,95%)
radiație β :	7 MeV (3,4%)
neutrini:	11 MeV (5,4%)
radiație γ întârziată:	6 MeV (2,95%)
neutroni:	5 MeV (2,8%)

Astfel, 1 kg Uraniu-235 conține un număr de $6,0 \cdot 10^{23} / 0,235$ nuclee și, degajată prin fisionare $5 \cdot 10^{26}$ MeV $\approx 10^{16}$ J, energia de 10^{16} J echivalează cu căldura eliberată prin arderea a circa 300.000 tone cărbune. Folosirea uraniului în energetica nucleară reprezintă, incontestabil, principala utilizare a acestui element.

Uraniul, în latină *uranium*, este un element chimic, un metal din seria actinidelor al sistemului periodic al elementelor, care are simbolul chimic U și numărul de ordine 92. Uraniul are cea mai mare masă atomică dintre toate elementele naturale. Uraniul este aproximativ cu 70 % mai dens decât plumbul și este ușor radioactiv. Distribuția sa naturală este de circa câteva părți per milion în sol, roci și apă.

Uraniul există în scoarța Pământului până la adâncimea de 16 km, cu o abundență medie de $2 \cdot 10^{-5}\%$, depășind astfel abundența unor metale ca mercurul, argintul, bismutul sau cadmiul. În apa mărilor și oceanelor se găsește uraniu sub forma de săruri solubile, cu concentrații cuprinse între $0.4 \cdot 10^{-7}$ și $23 \cdot 10^{-7}$ g/l. Se disting trei categorii de roci care pot conține uraniu. Primele două conțin minerale primare și, respectiv, secundare de uraniu; a treia categorie conține uraniu ca impuritate inclusă în rețele cristaline de bază.[5,13]

Conținutul uraniului dispers unor roci este dat în **tabelul 1** de mai jos:

Rocă	Conținut	
	SiO ₂ (% greutate)	U (g/t)
Granit	70	9,0
Grandiorit	66	7,7
Diorit	60	4,0
Bazalt	50	3,0
Gabro	50	2,4
Peridotit	43	1,5
Dunit	10	1,4

Tabelul 2 de mai jos prezintă unele proprietăți fizice ale uraniului:

densitate	19 130 kg/m ³
Punct de topire	1 133 -1°C
Punct de fierbere	3 900°C
Rezistivitate electrică	(25°C)(2-4)·10 ⁻⁷ Ωm
Conductibilitate termică	
La 350 K	25,95 W/m·k
La 670 K	32,65 W/m·k
Coeficient de dilatare termică între 25 și 125°C	
În direcția [100]	21,17·10 ⁻⁶ [°C] ⁻¹
În direcția [010]	-1,5·10 ⁻⁶ [°C] ⁻¹
În direcția [001]	23,2·10 ⁻⁶ [°C] ⁻¹
Coeficient de dilatare volumică	45,8·10 ⁻⁸ [°C] ⁻¹
Transformări alotropice	
α→β	663°C
β→γ	764°C
Structura cristalină	

α -U-ortorombic $a=2,852 \text{ \AA}; b=5,865 \text{ \AA}; c=4,945 \text{ \AA}$
β -U-tetragonal $a=10,52 \text{ \AA}; c=5,57 \text{ \AA}$
γ -U-c.v.v. $a=3,474 \text{ \AA}$

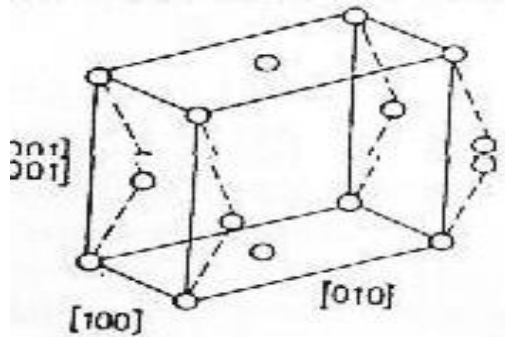


Figura 3 Celula elementară ortorombică a uraniului α .

Exploatarea și prelucrarea minereurilor de uraniu

În cele mai multe cazuri minereul de uraniu este exploatat la suprafață sau în mine subterane. În esență, mina de uraniu nu diferă semnificativ față de alte mine pentru minereuri metalifere. În timpul mineritului subteran sau la îndepărtarea stratului superficial în cazul exploatărilor la suprafață se produc cantități mari de steril. Haldele de steril conțin adesea radionuclizi din seria uraniului în concentrații relativ mari în comparație cu rocile obișnuite. În unele cazuri halda de steril constă în minereu cu concentrație prea mică de uraniu pentru a putea fi prelucrat în condiții economice avantajoase.

O haldă de steril neprotejată reprezintă o sursă importantă de radon. De asemenea, precipitațiile care spală halda reprezintă o sursă de contaminare a apelor de suprafață și a pânzei freatice cu radioizotopi și alte substanțe toxice (arsen și metale grele). Astfel, haldele de steril situate în vecinătatea zonelor locuite reprezintă un risc pentru populație.

Din cauza nevoii continue de a deseca și a depresuriza tunelurile subterane sau exploatărilor la suprafață rezultă o mare cantitate de apă contaminată. Această apă este deversată în sistemele de ape de suprafață după un tratament corespunzător. Tratamentul nu poate elimina complet radionuclizii din apă și se ajunge la contaminarea maselor de apă (care pot fi folosite ca sursă de apă potabilă) cu radionuclizi sau alți poluanți.

Sistemele de ventilație ale minelor subterane, plasate în vecinătatea zonelor locuite, reprezintă o sursă de radon și descendenții radioactivi ai acestuia. De aici apare o iradiere suplimentară a populației.

Minereul extras este mărunțit și spălat în instalații speciale. Aceste instalații sunt amplasate de obicei în apropierea minelor pentru a se evita transportul la distanțe mari. Pentru extragerea uraniului din minereu se folosesc soluții acide (acid sulfuric de obicei) sau alcaline. Acestea din urmă sunt mai puțin dăunătoare mediului înconjurător, deșeurile rezultate fiind mai ușor de neutralizat. Deșeurile rezultate sunt depozitate sub formă de șlam în bazine sau halde speciale, izolate de restul mediului (în special de apa freatică) prin bariere naturale sau artificiale. Cu excepția uraniului extras, toți ceilalți constituenți ai minereului se regăsesc în deșeurile rezultate. Aproximativ 85% din radioactivitatea inițială este prezentă în deșeuri ca uraniu sau descendenți din seria uraniului. În plus, șlamul conține toate metalele grele (molibden, plumb, cadmiu, vanadiu etc.) și alți poluanți cum ar fi arsenul și agenții chimici utilizați în procesul de prelucrare a minereului.

În urma procesului de măcinare, minereul este transformat în pulbere fină, ceea ce face mai ușoară dispersia și migrarea substanțelor periculoase în mediul înconjurător, crescând suprafața liberă a materialului crește și rata de eliberare a radonului. Mai mult, constituenții din interiorul haldei de deșeuri nu mai sunt în echilibru geochimic, așa cum erau în minereu, de unde rezultă o serie de reacții chimice care înlesnesc migrarea contaminanților în mediu.

Fabricarea combustibilului

Costul relativ ridicat al uraniului și cerințele stricte de gestionare a acestuia fac ca deversările de substanțe radioactive în mediu să fie relativ mici în cazul fabricilor de combustibil. Există însă posibilitatea deversărilor accidentale, care trebuie să fie luate în considerare [9]. De exemplu, în caz de incendiu sau explozii, pot fi eliberate în mediu cantități mari de substanțe radioactive. În cazul operațiilor de manipulare, depozitare și fabricare a combustibilului din uraniu îmbogățit, pot fi eliberate în mediu cantități semnificative de substanțe radioactive ca rezultat al accidentelor de criticitate.

În România, Fabrica de combustibil nuclear de la Pitești funcționează din anul 1992 ca entitate separată, pe același amplasament cu Institutul de Cercetări Nucleare.



Fig.4 - Sucursala Cercetări Nucleare din Pitești – localizare geografică

Laboratorul de Radioprotecție și Protecția Mediului din cadrul acestui institut efectuează monitorizarea mediului înconjurător pe acest amplasament, inclusiv controlul radioactivității efluenților.

PRO ȘI CONTRA ENERGIEI NUCLEARE

Energia nucleară prezintă numeroase avantaje. Este economică: o tonă de U-235 produce mai multă energie decât 12 milioane de barili de petrol. Este curată în timpul folosirii și nu poluează atmosfera. Din păcate există și câteva dezavantaje. Centralele nucleare sunt foarte scumpe. Produc deșeuri radioactive care trebuie să fie depozitate sute de ani înainte de a deveni inofensive. Un accident nuclear, ca acel produs în 1986 la centrala nucleară de la Cernobîl, în Ucraina, poate polua zone întinse și poate produce îmbolnăvirea sau chiar moartea a sute de persoane.

Reactori și centrale nucleare

Contaminarea mediului datorită exploatării reactorilor nu aduce decât o contribuție relativ mică la doza colectivă angajată, în cadrul ciclului combustibilului nuclear. În România există în exploatare reactorul de încercări materiale TRIGA la Institutul de Cercetări Nucleare Pitești și reactorul CANDU-6 de la CNE-PROD Cernavodă.

Reactorul TRIGA a fost pus în funcțiune în anul 1979, iar reactorul 1 al CNE-PROD Cernavodă a atins prima criticitate la data de 16 aprilie 1996 și a fost declarat comercial la data de 2 decembrie 1996. În ambele cazuri, rezultatele de până acum ale programelor de monitorizare demonstrează faptul că dozele pentru persoane din populație datorate emisiilor în

atmosfera sau ape de suprafață au valori ne semnificative în raport cu doza internă datorată fondului natural de radiații.

Depozitarea deșeurilor radioactive

Obiectivele managementului deșeurilor radioactive este de a izola substanțele radioactive pe o perioadă suficientă de timp, astfel încât impactul asupra omului și mediului înconjurător să fie minim și acceptabil. Soluțiile alese pentru depozitarea la suprafață a deșeurilor slab și medii active cu radionuclizi cu timp de înjumătățire relativ scurt nu pun probleme deosebite în acest sens. Activitățile în acest domeniu trebuie să se concerteze asupra dezvoltării metodologiilor de evaluare a riscului pentru fiecare tip de depozitare luat în considerare, care să includă și deșeurile cu activitate foarte scăzută, deșeurile provenite din minerit și deșeurile produse în situații accidentale [6].

Trebuie dezvoltate modele aplicabile tipurilor de depozite privind studiul migrării și reținerii radionuclizilor de-a lungul întregului drum dintre containerul cu deșeuri și biosferă, pornind de la matricea de depozitare, prin barierele proiectate și mediul geologic.

Radioactivitatea datorată testelor nucleare

Utilizarea armelor nucleare duce la contaminarea radioactivă la scară planetară și la consecințe radiologice pe măsură. Energia nucleară poate fi eliberată dintr-o bombă ca urmare a proceselor de fisiune sau fuziune. Aproximativ 50% din energia unei explozii nucleare este eliberată sub formă de undă de șoc, 35% ca radiație termică și 15% sub formă de radiații ionizante. Din totalul radiațiilor ionizante, o treime este reprezentată de radiațiile prompte produse imediat după detonare și două treimi, adică 10% din energia totală a exploziei, constă în radiații ionizante întârziate produse prin dezintegrarea produșilor de fisiune și a radionuclizilor induși. Radiațiile ionizante prompte constau în radiații γ și neutroni care se eliberează în momentul detonării, iar efectul acestora se manifestă în aceeași arie în care se simt unda de șoc și efectul termic.

Transferul radionuclizilor între compartimentele mediului și legătura între producerea radionuclizilor și doza la organismul uman sunt prezentate în figura 5. Transferul între compartimentele succesive prin căile de migrare este definit prin coeficienții de transfer (P_{ij}) care fac legătura între integralele pe un timp infinit ale concentrațiilor, dozelor sau ale altor mărimi caracteristice. De exemplu, coeficientul de transfer între alimente și țesuturi este dat de raportul între concentrația integrată în țesut și concentrația integrată în alimente.

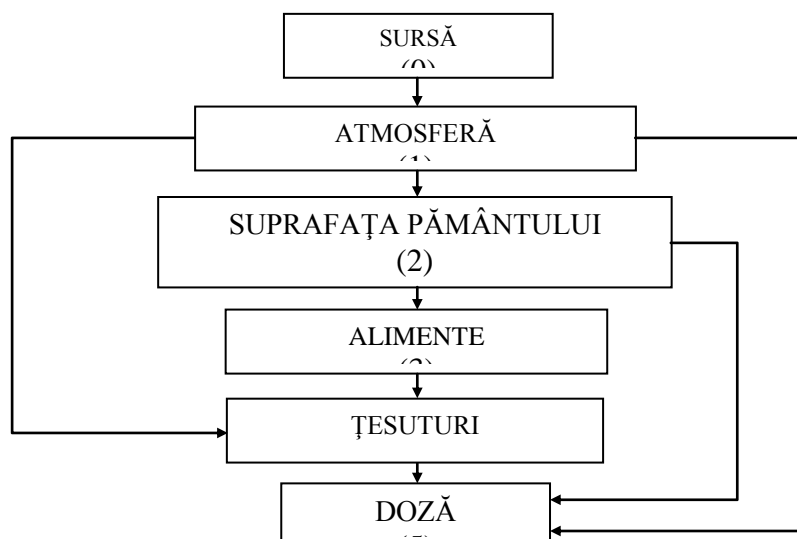


Fig. 5 - Transferul radionuclizilor între compartimentele mediului și legătura între producerea radionuclizilor și doza la organismul uman.

Testele nucleare

Testele nucleare s-au efectuat în atmosferă începând cu anul 1945. Programele de testare a armelor nucleare cu puteri mari de detonare s-au desfășurat în perioadele 1954-1958 și 1961-1962. Din lipsa datelor despre experimentele care au avut loc, evaluările cantităților de materiale radioactive eliberate în mediu se bazează pe măsurarea depunerilor produșilor de fisiune importanți (^{90}Sr , ^{137}Cs). Prezența altor radionuclizi poate fi estimată pornind de la rapoartele observate și ținând cont de diferențele între timpii de înjumătățire. În funcție de tipul testului, locul și randamentul exploziei, particulele radioactive se împrăștie între suprafața terestră sau oceanică și păturile troposferei și atmosferei.

Depunerile locale, pe o rază de circa 100 km, pot reprezenta în jur de 50% din inventarul eliberat. În evaluările de consecințe la scară planetară nu se iau în considerare aceste depuneri deoarece, în general, au loc în zone nepopulate. Dimensiunea particulelor depinde în foarte mare măsură de tipul exploziei. Exploziile în apropierea solului produc mari cantități de particule vitrificate foarte puternic radioactive, ca și particulele mici cu un spectru de distribuție a dimensiunilor log-normală. Radioactivitatea particulelor produse într-o explozie nucleară se diminuează cu un factor de 20 la sfârșitul primei zile față de prima oră. Indivizii din localitățile în care au loc depuneri radioactive în cursul primei zile de la explozie pot fi expuși la doze letale. Se cunoaște faptul că în zonele adiacente exploziei unde există riscul unei expuneri acute, particulele radioactive pot fi atât de mari, încât pot fi observate cu ochiul liber. Pescarii japonezi de pe vasul Lucky Dragon care au trecut printr-o zonă cu depuneri radioactive datorate unui experiment cu o bombă termonucleară de mare amploare în martie 1954 au povestit că depunerile radioactive aveau aspectul unui praf alb asemănător fulgilor de zăpadă, puntea vasului fiind astfel acoperită, încât se cunoșteau urmele pașilor. Fizicienii japonezi care au investigat acest accident au evaluat depunerile la 38 – 85 grame de praf pe un metru pătrat pe puntea vasului. Particulele au avut dimensiuni cuprinse între 0,1 și 3 μm , aglomerate în granule de aproximativ 300 μm .

Când bombele nucleare sunt detonate în apropierea solului, fluxul mare de neutroni reacționează cu constituenții solului, ducând la formarea de radionuclizi, majoritatea cu timpii de înjumătățire mici, de ordinul orelor și zilelor. Pornind de la cunoașterea spectrului de neutroni al celor două bombe folosite la Hiroshima și Nagasaki și ținând cont de rezultatele analizelor radiochimice asupra solului și materialelor de construcție din cele două orașe, a fost estimat [12] un angajament de doză, la indivizii care au fost în epicentrul exploziei la o zi după lansarea bombelor, de 0,8 Gy în Hiroshima și 0,3 Gy în Nagasaki. **Norul-ciupercă** provocat de **explozia** aruncării celei de-a doua **bombe atomice**, [The] **Fat Man**, deasupra orașului **Nagasaki** s-a ridicat la 18 km (sau 11 **mi** = 60,000 **ft**) în **atmosferă** deasupra **hipocentrului**.

Depunerile din troposferă constau în aerosoli formați din particule mai mici care nu sunt antrenate deasupra tropopauzei imediat după explozie și care se depun după un timp care poate să ajungă la 30 de zile. În acest timp particulele se dispersează de o parte și de alta a latitudinii locului exploziei, urmărind traiectorii care depind de regimul vânturilor dominante. Aceste traiectorii ajung să acopere aproape întreaga circumferință terestră. De exemplu, norul radioactiv având ca sursă un experiment nuclear în Asia Centrală din 16 octombrie 1980 a atins, deplasându-se către est, Europa Centrală în data de 27 octombrie. Traiectoria a fost stabilită ținând cont de datele meteorologice și a fost în general confirmată de măsurători de radioactivitate a aerului la nivelul solului. Din punct de vedere al expunerii omului la radiații, aceste depuneri din troposferă sunt importante prin prezența radionuclizilor ^{131}I , ^{140}Ba sau ^{89}Sr , al căror timp de înjumătățire variază de la câteva zile până la două luni.

Suspensiile din stratosferă reprezintă grosul substanțelor radioactive eliberate în urma unei explozii nucleare și se depun după un anumit timp pe întreaga suprafață a planetei, majoritatea în emisfera în care a avut loc producerea lor.

Principalii radionuclizi produși ca urmare a testelor nucleare care contribuie la expunerea prin contaminare internă a organismului uman sunt: ^3H , ^{14}C , ^{54}Mn , ^{55}Fe , ^{85}Kr , ^{90}Sr , ^{89}Sr , ^{106}Ru , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{136}Cs , ^{140}Ba , ^{144}Cm , plutoniul și elementele transplutonice.

Analizând toate căile de migrare și ținând cont de rezultatele măsurătorilor raportate, s-a evaluat angajamentul de doză individual datorat inhalării produșilor rezultați în urma testelor.

Scopul principal al radioprotecției este asigurarea unor standarde de protecție împotriva efectelor nedorite ale radiațiilor, fără a împiedica activitățile cu urmări benefice pentru societate și pentru dezvoltarea durabilă a acesteia [2]. Acest obiectiv nu poate fi realizat fără o bază științifică solidă care, având în vedere importanța și implicațiile utilizării pe scară largă a tehnologiilor nucleare, nu ar fi fost asigurată în absența unei autorități științifice recunoscute pe plan internațional. Cu o istorie de peste 70 de ani, Comisia Internațională de Radioprotecție (CIRP) a dezvoltat un sistem consistent de expertiză în domeniul studierii efectelor radiațiilor, iar recomandările sale sunt folosite ca suport științific atât de către autoritățile naționale, pentru elaborarea normelor din domeniu, cât și de specialiștii în radioprotecție [4].

Opinia științifică, acceptată în prezent, conform căreia orice doză poate produce un efect negativ se bazează în primul rând pe dificultățile pe care le întâmpină orice tentativă de a demonstra efectele dozelor mici de radiații. Astfel, se consideră că orice expunere la radiații produce anumite leziuni la nivel celular sau subcelular care nu pot fi puse în evidență, fie din cauza capacității de regenerare a organismelor vii, fie din cauza limitelor mijloacelor de investigare.

Standardele impuse în prezent în domeniul radioactivității mediului au drept scop declarat protecția omului împotriva efectelor radiațiilor, dar se consideră că ele asigură, implicit,

și protecția celorlalte specii de viețuitoare. Se acceptă faptul că nu există motive pentru a pune la îndoială supraviețuirea speciilor, chiar dacă, ocazional, indivizi din aceste specii pot fi afectați în urma acțiunii radiațiilor respective și nici nu sunt create condiții care ar putea duce la distrugerea echilibrului ecologic dintre specii. În situații normale se consideră că printr-un control eficient al surselor de radiații se poate asigura, simultan, și controlul expunerii populației [2].

CIRP este preocupată de mediul înconjurător doar din punctul de vedere al mecanismelor de transfer al radionuclizilor către om, acesta fiind singurul mod în care mediul constituie o problemă, din punctul de vedere al principiilor radioprotecției [2].

Omul poate fi expus iradierii din diverse tipuri de surse de radiații. Recunoașterea acestor surse de radiații este punctul de plecare al radioprotecției populației. Tabelul 1 [1] prezintă evaluarea contribuțiilor diferitelor surse de radiații la expunerea unei persoane.

Dozele pe care le primește un individ din surse artificiale sunt, de regulă, comparate cu dozele pe care le primește din surse naturale. O doză suplimentară mică în comparație cu fondul natural nu este considerată semnificativă. Unele surse naturale și majoritatea surselor artificiale sunt controlabile, ceea ce face posibilă reducerea contribuției lor la expunerea totală. Pentru a realiza aceasta este necesar să se cunoască nivelul expunerii fiecărei surse și să se determine gradul ei de controlabilitate.

Producerea de energie electrică cu ajutorul reactorilor nucleari presupune existența unui ciclu al combustibilului alcătuit din mai multe etape: extracția și prelucrarea minereului de uraniu, îmbogățirea în uraniu-235 (acolo unde este cazul), fabricarea de elemente combustibile, exploatarea reactorilor nucleari, retratarea combustibilului iradiat, transportul materialelor nucleare între diversele instalații, tratarea și depozitarea deșeurilor radioactive.

TABELUL 3 . Estimările dozei efective din diverse surse de radiații

Sursă sau activitate	Doza individuală anuală (mSv)		Angajament de doză colectivă	
	Per capita (populația globului)	Tipic (indivizi expuși)	Milioane om · Sv	Echivalent în ani de fond
ANUAL				
Fondul natural	2.4	1 - 5	11	1
Expunerea medicală	0.4 - 1	0.1 - 10	2 - 5	0.2 - 0.5
Expunerea profesională	0.002	0.5 - 5	0.01	0.001
Producere de energie nucleară	0.0002	0.001 - 0.1	0.001	0.0001
EVENIMENT UNIC				
Explozii nucleare	0.01	0.01	5(26)*	0.5(2.4)*
Accidente nucleare			0.6	-

* - Angajamentul de doză colectivă suplimentar pe termen lung, datorat radonului și carbonului 14 din producerea de energie nucleară și exploziile nucleare este dat în paranteze.

Aproape toate materialele radioactive din industria nucleară rămân pe amplasamentul reactorilor sau al instalațiilor de depozitare special amenajate, dar, aproape în toate etapele ciclului combustibilului, mici cantități de substanțe radioactive pot fi deversate în mediul înconjurător. Cea mai mare parte a radio-izotopilor eliberați nu afectează decât imediata vecinătate din cauza dezintegrării rapide. O parte dintre aceștia, cei al căror timp de înjumătățire este mai mare sau a căror dispersie se face mai rapid, se răspândesc și contribuie la expunerea populației.

Contaminarea mediului datorită exploatării reactorilor nu aduce decât o contribuție relativ mică la doza colectivă angajată, în cadrul ciclului combustibilului nuclear. În schimb, extracția și prelucrarea minereurilor de uraniu aduce o contribuție importantă datorită eliberării radonului și a descendenților acestuia în timpul acestor activități [1]. Din punct de vedere radiologic, reprocessarea combustibilului nuclear este de departe sursa majoră pentru expunerea populației prin ingestie din întreg ciclul combustibilului nuclear. Cea mai mare parte a acestei doze provine din eliberările controlate ale radionuclizilor în mediu [3].

Pentru o estimare corectă a impactului funcționării centralei de la Cernavodă asupra mediului, în perioada 1984 – 1994 a fost derulat programul de monitorizare preoperațională a mediului, în cadrul căruia au fost detectate modificările de radioactivitate a mediului produse ca urmare a accidentului de la Cernobîl din 1986. Programul de monitorizare de rutină a mediului este proiectat pentru evaluarea nivelului de radioactivitate în lanțurile trofice specifice zonei. Rezultatele programului de monitorizare folosesc la evaluarea dozelor pentru grupul critic, evaluarea eficacității controlului surselor și al monitorizării efluenților precum și la o estimare a dozelor datorate unei evacuări majore.

Rezultatele de până acum ale programului de monitorizare la CNE-PROD Cernavodă demonstrează faptul că dozele pentru persoane din populație datorate emisiilor de tritium (singurul radionuclid eliberat odată cu efluenții gazoși) au valori nesemnificative ($< 0,4 \mu\text{Sv/an}$) în raport cu doza internă datorată fondului natural de radiații ($1,55 \text{ mSv/an}$).

În concluzie, mediul înconjurător poate fi privit ca o cale pentru transferul riscului radiologic către om, cu excepția persoanelor care lucrează în domeniul nuclear. De asemenea, este un mediu fragil, care trebuie conservat [6]. Pentru a răspunde preocupărilor autorităților și societății pentru soarta mediului înconjurător, trebuie să se stabilească responsabilități pentru instituții abilitate să studieze interacțiunile dintre mediu și activitățile umane care duc la eliberări de substanțe radioactive, să asigure societatea că riscul asociat producerii de energie nucleară este menținut la o valoare minimum posibilă. Aceste instituții trebuie să studieze originea și comportarea radionuclizilor care sunt deversați sau care există deja în mediu, să

evalueze impactul radiologic al instalațiilor nucleare în operare normală sau în caz de accident nuclear. În acest din urmă caz, obiectivul principal trebuie să fie acela de a asigura o pregătire corespunzătoare, punând la dispoziția factorilor de decizie informațiile și instrumentele necesare în managementul situațiilor de criză.

Protecția populației și a mediului. Principii de bază de radioprotecție

Radioprotecția trebuie să asigure protecția omului în cazul activităților justificate cu surse de radiații. Principalele sale obiective constau în prevenirea efectelor dăunătoare asupra sănătății omului și în limitarea probabilității de apariție a cancerului sau efectelor ereditare, la nivele considerate acceptabile. Un sistem de radioprotecție nu trebuie să ia în considerare omul numai ca individ, ci să asigure, în același timp, protecția și altor categorii, cum ar fi populația.

CIRP[2] a stabilit principiile sistemului de limitare a dozelor acceptate în prezent în radioprotecție:

Nici o activitate nu trebuie acceptată dacă nu produce un beneficiu net (principiul justificării).

Toate expunerile trebuie menținute la un nivel cât se poate de mic accesibil, în mod rezonabil din punct de vedere economic și social (optimizarea radioprotecției).

Echivalentul de doză individual nu trebuie să depășească limitele recomandate de CIRP pentru cazurile respective (limitarea dozelor individuale).

Materialele radioactive eliminate în mediul înconjurător constituie surse de expunere a omului la radiații. Cerințele de limitare a emisiilor sunt consecințe directe ale principiilor de bază ale radioprotecției, enunțate mai sus. Având în vedere principiul optimizării, dozele rezultate trebuie menținute la un nivel cât se poate de scăzut, astfel încât eforturile economice și sociale necesare să fie rezonabile. Criteriul ”cât se poate de scăzut, în mod rezonabil” poate fi satisfăcut, pornind de la limita de doză primară.

Deoarece limitele primare sunt stabilite pentru indivizi [2], indiferent de sursă, trebuie să se țină seama și de prezența altor surse, de efectele acestor surse în viitor, precum și de eventualitatea apariției unor noi surse. Din aceste motive, autoritatea competentă trebuie să fixeze o limită pentru fiecare sursă, mai mică decât doza limită individuală, numită limită superioară pentru sursa respectivă.

Efectele dăunătoare ale surselor de radiații sunt clasificate în stocastice și nestocastice. Efectele stocastice sunt caracterizate prin probabilitatea de apariție, care este o funcție de doză, pe un interval larg de doze, severitatea lor fiind independentă de mărimea dozei (efectele cancerigene și ereditare). În cazul efectelor nestocastice severitatea lor depinde de mărimea

dozei și există un prag sub care acestea nu se manifestă (de exemplu, distrugerea țesuturilor). Datorită existenței pragului, prevenirea efectelor nestocastice este realizabilă, în principiu, prin menținerea dozelor la niveluri inferioare pragurilor respective. Situația este complet diferită în cazul efectelor stocastice. Proportionalitatea doză - probabilitate de apariție face ca dozele să fie aditive, în acest sens, creșterea dozei ducând la creșterea probabilității de apariție, indiferent de doza încasată anterior. Probabilitatea ca un individ să suporte efecte stocastice dăunătoare ca urmare a acțiunii radiațiilor sau riscul, cum este adeseori denumită, este proporțională cu echivalentul de doză efectiv.

CIRP a introdus noțiunea de doză angajată definită ca suma dozelor încasate de un individ pe o perioadă de 50 de ani, după încorporarea unei substanțe radioactive. Aceasta noțiune a fost introdusă în urma modificării conceptelor de bază ale radioprotecției potrivit cărora trebuie limitat riscul fatal pe durata vieții individului și nu doza primită într-un an; doza angajată este o măsură conservativă a riscului în măsura în care o serie de efecte sunt întârziate în raport cu momentul iradierii. În acest sens, limitarea dozelor datorate incorporării de material radioactiv se bazează pe noțiunea de doză angajată; termenul de doză anuală cuprinde doza externă primită în anul respectiv și doza angajată în urma incorporărilor (ingestie și inhalare) de material radioactiv din anul respectiv.

În cazul unor activități care se întind pe perioade lungi de timp, radionuclizii de viață lungă eliminați în mediu pot duce la expuneri care să crească în timp, astfel că doza anuală maximă trebuie limitată în raport cu limita superioară pentru sursa respectivă. Acest fapt se poate realiza prin limitarea angajamentului de doză pentru grupul critic și un an de funcționare.

Grupul critic este format dintr-o mulțime omogenă de indivizi în raport cu expunerea de la o singură sursă. Persoanele din grup sunt cele mai expuse de la sursa respectivă. CIRP [2] a efectuat analiza asupra limitării expunerii populației, recomandând o valoare de 1mSv/an. Valori mai mari pot fi acceptate doar dacă media anuală pe 5 ani nu depășește 1mSv/an. Valoarea respectivă se referă doar la expunerile continue rezultate în urma unei practici deliberate, a cărei aplicare este o problemă de opțiune. Aceasta nu înseamnă că doze mai mari, datorate altor surse, precum radonul din încăperi, ar fi inacceptabile. Existența acestor surse poate fi nedorită, dar nu constituie obiectul unei opțiuni, dozele fiind controlabile doar printr-o intervenție, care, la rândul său, poate avea efecte negative greu de evaluat.

Programe de monitorizare pentru radionuclizi cu arie mare de răspândire

Aceste programe sunt necesare pentru evaluarea modificărilor nivelurilor radiațiilor sau radionuclizilor naturali sau artificiali în urma activităților umane.

Programele de acest tip au ca obiectiv trecerea sub control a tuturor surselor de expunere, la nivel național. Sursele de răspândire largă nu permit definirea unui grup critic. Programele de

monitorizare se vor extinde deci pe arii geografice largi, însă pentru anumiți radionuclizi precum radonul este necesar să se ia în considerare variațiile locale.

Radioactivitatea naturală

Sursele naturale cosmice sau terestre de radiații gama, radonul, toronul și descendenții lor, radionuclizii din alimente contribuie la iradierea populației.

Expunerea externă este datorată aproape în întregime radiațiilor gama telurice sau cosmice. Componenta cosmică variază cu altitudinea și latitudinea, cea terestră depinde de tipul de sol sau rocă.

Măsurătorile efectuate în exterior nu sunt de regulă semnificative deoarece majoritatea oamenilor își petrec timpul în interior, unde dozele sunt influențate de materialele de construcție ale clădirilor. Pentru obținerea unor valori rezonabile trebuie monitorizate un număr extrem de mare de locuințe.

Radonul-222 are în general o contribuție mai mare la doză decât Rn-220, concentrația Ra-226 precursorul său variază mult în funcție de tipul de sol sau rocă, de asemenea în materialele de construcție. Concentrația radonului în interiorul clădirilor depinde atât de materialul de construcție, cât și de rata de ventilație a încăperilor. Dozele datorate radonului și descendenților săi pot fi reduse prin ventilație, eficacitatea acestora fiind evaluată prin programe de monitorizare adecvate.

Depuneri datorate exploziilor și accidentelor nucleare

Nivelurile actuale ale depunerilor atmosferice nu justifică un program special de monitorizare. Contribuția majoră la expunerea internă o au izotopii precum C-14, Sr-90, și Cs-137 prezenți în alimente. Dacă este necesară o evaluare a dozelor, atunci aceste căi de expunere trebuie avute în vedere.

Radionuclizi de viață lungă cu dispersie globală

Radionuclizii precum H-3, C-14, I-129, Kr-85, și Cs-137 pot fi măsurați oriunde în mediul înconjurător, fondul fiind datorat fie surselor naturale, fie depunerilor datorate exploziilor nucleare sau accidentelor majore.

Contribuția ciclului combustibilului nuclear poate fi estimată din termenul sursă și pe baza unor modele adecvate. În acest fel este posibilă evaluarea dozelor pentru toate sursele.

BIBLIOGRAFIE:

- [1] UNSCEAR, 1988, *Sources and Effects of Ionizing Radiation*, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR 1988 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York, 1988
- [2] ICRP, 60, 1990, 1990, *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, Pergamon Press, Oxford, New York, Frankfurt, Seoul, Sydney, Tokyo, 1990
- [3] *Radioactive Pollutants, Impact on the Environment*, Editors François Bréchinac and Brenda J. Howard, EDP Sciences, Institut de Protection et de Surete Nucleaire, 2001
- [4] Ion I. Popescu, *Contribuții la studiul radioactivității mediului înconjurător pe baza datelor obținute din programele de monitorizare a unor obiective nucleare din România*, Teză de doctorat, Institutul de Fizică Atomică București, 2001.
- [5] I. Ursu, *Fizica si Tehnologia Materialelor Nucleare*
- [6] IPSN Activity Report 2000, *Institut de Protection et de Surete Nucleaire*, 2001
- [7] *International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*, IAEA Safety Standards No. 115, 1996.
- [8] *Norme Fundamentale de Securitate Radiologică*, aprobate prin Ordinul CNCAN nr. 14/2000, publicate în Monitorul Oficial al României nr. 404 bis, august 2000.
- [9] Merril Eisenbud, *Environmental Radioactivity*, Second edition, Academic Press, Mew York, 1973.
- [10] Laszlo Toro, *Site restoration and remediation*, International Union of Radioecology Summer School "An Introduction to Radioecology", Neptun, Romania, 13-23 September 1997
- [11] IAEA *Strategic Approach to Education and Training in Radiation and Waste Safety*, Final Report of Advisory Group Meeting on Education and Training in Radiation and waste Safety, 23-27 April 2001 Vienna, Austria
- [12] UNSCEAR, 1985, *Rayonnements ionisants: sources et effets biologiques*, Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants, Rapport à l'Assemblée générale, avec annexes, 1985
- [13] Note de Cours R. Traicu, *Materiale Nucleare Speciale*