

# Ciclul combustibilului nuclear: rolul educației în viitorul energiei nucleare

## (The Nuclear Fuel Cycle: The Role of the Education in the Future of the Nuclear Energy)

KARIN POPA

Due to the need of energy, numerous countries (including Romania) consider the nuclear power in their durable development plans. The interest for nuclear energy in emerging economies increased the demand for highly educated nuclear engineers and scientists in industry, research and governmental organisations. In order to be competitive for long term, highly skilled and well informed workforce are essential all along the nuclear fuel cycle (maintaining the current civil nuclear reactor fleet safely and secure, involving in design of new reactor types, decommissioning obsolete plants, dealing with the legacy and future radioactive wastes, and correctly informing the public). The Fukushima accident (2011) conducted to several recent political decisions which will move slowly the production of nuclear energy to east into the European Union. Romania should take advantage from this contextual situation; however it has to reconsider most of its national politics in the nuclear field.

### 1. Energetica nucleară în contextul dezvoltării durabile

După descoperirea fenomenului de radioactivitate (1896), aplicațiile practice ale acestuia s-au dezvoltat rapid. Astfel, de mare notorietate este utilizarea fisiunii nucleare în reactori nucleari energetici, respectiv bombe atomice. Alături de aceste aplicații industriale sau militare, studiul radioactivității naturale sau induse și-a găsit aplicații practice în arheologie, biologie, chimie, cosmologie, dozimetrie, ecologie, geologie, istorie, fizică, medicină, diferite ramuri industriale etc. Din păcate, testele și accidentele nucleare au indus publicului larg frica de radioactivitate, atât în absența cunoștințelor solide de radioprotecție, cât și din cauza dificultății de a stăpâni total complexitatea fenomenologică și tehnologică asociată fisiunii și fuziunii nucleare.

În prezent, în majoritatea statelor lumii există un control strict asupra producerii, deținerii și utilizării substanțelor radioactive (surse de radiații) și a generatorilor de radiații. România este parte a convențiilor internaționale referitoare la utilizarea pașnică a surselor de radiații, neproliferarea armamentului nuclear, monitorizarea dozimetrică a personalului expus profesional, eliberarea surselor de radiații în mediul înconjurător etc.

Într-un articol anterior, autorul aducea în discuție necesitatea considerării și menținerii radiochimiei ca parte integrantă a curriculei educaționale în chimie

[1]. Problemele existente la nivel global, dar mai ales cele locale (nerealizarea unei mase critice de cercetători și educatori în domeniu, lipsa circulației personalului la nivel național, comunicarea redusă între cerere și ofertă, suprareglementarea și supracontrolul din partea organismelor abilitate, costurile crescute de desfășurare a activităților în domeniul nuclear) au adus educația radiochimică din România într-un stadiu de decădere accentuat.

Cu toate acestea, trebuie plecat de la starea de fapt actuală, anume că România este una dintre cele 30 de țări ce produc energie nucleară (în baza celor doi reactori de fisiune, în condițiile în care, la nivel global, funcționează 436 de astfel de reactori, cu o putere instalată totală de 370,5 GWe [2]).

Industria nuclearo-electrică este relativ nouă în România: la sfârșitul anilor 1970 s-a luat decizia de a se construi o centrală nucleară cu cinci reactori de fisiune (de tip CANDU-6) la Cernavodă. Construcția primei unități a început în 1980, iar a celorlalte patru în 1982. În 1991, construcția reactorilor 2÷5 a fost stopată, în scopul alocării tuturor fondurilor unității 1. Aceasta a devenit operațională la 02.12.1996, având o putere instalată de 706 MWe, cu o capacitate netă de 651 MWe, și cu o producție de aproximativ 5 TWh. Unitatea 2 (putere instalată de 706 MWe, cu o capacitate netă de 655 MWe) a fost pusă în funcțiune la 07.08.2007. Astfel, cele două unități produc aproximativ 1,3 Gwe, reprezentând circa 19 % din necesarul de energie electrică al României. Alte două

unități au fost programate a deveni operaționale în 2019, dar acest termen depinde de interesul investitorilor privați. Cea mai recentă informație este aceea că *China Guangdong Group* ar putea asigura aproape 40% din investiția pentru construirea reactoarelor nucleare 3 și 4 de la Cernavodă.

Practic, România dispune de o relativă independență de-a lungul ciclului combustibilului nuclear [3]. Uraniul este minerit la Crucea, prelucrat până la pulbere de dioxid de uraniu nuclear pură la Feldioara, sinterizat și introdus în bare/ elemente de ardere la Mioveni. Apa grea utilizată ca moderator în reactorii nucleari de fisiune de tip CANDU este produsă de către ROMAG PROD la Drobeta Turnu Severin. După ardere în cei doi reactori funcționali de la Cernavodă, combustibilul nuclear uzat este stocat pe termen scurt și mediu într-un depozit din cadrul aceleiași centrale.

În prezent, la nivel mondial, sunt cunoscute rezerve exploatabile de uraniu ce însumează circa 4,75 milioane tone, la un cost de producție sub 130 USD/ kg. De asemenea, se estimează că există încă 10 milioane de tone de uraniu în resurse încă nedescoperite. Aceste resurse ar fi suficiente pentru a face ca reactoarele nucleare actuale să funcționeze la capacitate nominală pentru încă aproximativ 270 de ani. Producția mondială de uraniu rezultată din minerit în anul 2010, a fost estimată de către World Nuclear Association (W.N.A.) la 53663 t, țara noastră fiind un producător marginal [4]. Cu toate acestea, România este una din cele două țări membre ale Comunității Europene (alături de Republica Cehă) care are producție de uraniu din resurse interne.

Pentru reactorii nucleari de fisiune de generația a IV-a sunt considerate și alte surse/ tipuri de combustibil nuclear: recuperarea cantitativă a uraniului nefisionat din combustibilul nuclear ars și reprocessarea acestuia, utilizarea de izotopi fertili precum  $^{238}\text{U}$  și  $^{232}\text{Th}$  (care produc, prin activare în flux de neutroni rapizi  $^{239}\text{U}$ , respectiv  $^{233}\text{Th}$ ), utilizarea de izotopi fisili ai plutoniului și actinidelor minore ( $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ , etc.) etc. În acest fel, pe lângă maximizarea utilizării resurselor, se urmărește și închiderea ciclului combustibilului nuclear.

În "Strategia Națională de Securitate Nucleară pe anii 2009-2012" s-a stipulat: "ținând cont că energia nucleară românească este în plină dezvoltare, o strategie națională în domeniul securității nucleare trebuie să prezinte obiective clare, modalități de atingere a acestor obiective, necesarul de resurse și să anticipeze măsuri pentru atingerea și menținerea unui nivel ridicat de securitate nucleară" [5].

Având în vedere cele menționate anterior, se poate observa că avem de-a face cu două tendințe diferite:

(1) există o necesitate crescută de experți în domeniu, în condițiile dezvoltării energetice nucleare la nivel național;

(2) numărul și capacitatea personalului ce lucrează în domeniul nuclear descrește rapid, în absența unor politici educaționale coerente.

În cele ce urmează, vor fi dezvoltate câteva aspecte pe care autorul le consideră de interes pentru viitorul energiei nucleare (inclusiv în România), având în vedere aici și partea educativă în domeniile asociate.

## 2. Siguranța reactorilor nucleari de fisiune

În decursul anilor, s-a vorbit de mai multe ori despre "declinul" și "renașterea" energiei nucleare [6]. Testele nucleare și incidentele/ accidentele ce au avut loc în cadrul unor reactori nucleari de fisiune, au dezvoltat un grad ridicat de scepticism din partea populației, mai ales în țările dezvoltate [7].

În ciuda presiunii media (de multe ori, neinformată și interesată în a face bani din știri senzaționale), nevoia de energie electrică, în contextul expansiunii demografice, a făcut ca politicile naționale din unele state să profite de slaba informare a publicului sau chiar să ignore uneori voința maselor. Se pare că Franța a găsit calea de mijloc, prețul (mai) scăzut al energiei electrice fiind un factor decisiv în convingerea populației asupra utilității segmentului nuclear printre sursele de energie. Din decembrie 2009, numele agenției guvernamentale franceze *le Commissariat à l'énergie atomique* a fost cosmetizat, acesta fiind intitulat în prezent *le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives*.

Reactorii nucleari de fisiune de generația a IV-a studiați în prezent pentru a înlocui (începând din 2030) actualele tehnologii, sunt: *gas-cooled fast reactor* (G.F.R.), *lead-cooled fast reactor* (L.F.R.), *supercritical water-cooled reactor* (S.C.W.R.), *very high temperature reactor* (V.H.T.R.), *sodium-cooled fast reactor* (S.F.R.) și *molten salts reactor* (M.S.R.). Este de așteptat ca acești reactori nucleari de fisiune să prezinte înaltă eficiență economică, siguranță sporită în exploatare, scăderea costurilor de producție și operare, utilizarea redusă de resurse naturale, minimizarea cantității de deșeurile produse, scăderea riscului de proliferare nucleară.

Ca urmare a accidentului care a avut loc la Fukushima/ Japonia în 2011, au avut loc schimbări

de strategie în politicile naționale, după cum urmează:

(1) guvernele Germaniei, Belgiei, Japoniei și Elveției au decis închiderea tuturor reactorilor nucleari de fisiune până în 2020, 2025, 2030, respectiv 2034;

(2) Franța dorește reducerea ponderii energetice de origine nucleară de la circa 78 % la maximum 50 %;

(3) țări precum Bulgaria, China, Republica Cehă, Finlanda, Lituania, Rusia, Slovacia, Turcia etc., au anunțat construirea de noi reactori nucleari de fisiune.

Se observă, astfel, că în următorii ani, numărul reactorilor nucleari de fisiune va scădea în vestul Europei și va crește în fostul bloc comunist. Paradoxal, deci, accidentul de la Fukushima poate constitui o oportunitate pentru România, care trebuie să profite de experiența pe care o are și de poziția geografică pentru a deveni exportator de energie de origine nucleară. Pentru aceasta, însă, politica în domeniu trebuie regândită, în condițiile în care România este singura țară europeană ce utilizează tehnologie canadiană (nu se încadrează în abordarea de grup). Comunitatea Europeană are propriile sale strategii, deci niciun interes în a investi în tehnologii de tip CANDU. Un număr important de tineri chimiști români au obținut titlul de doctor în chimie, lucrând în domeniul menționat, în cadrul Institutului pentru Elemente Transuraniene al Comunității Europene (de exemplu, Cătălin Alecu, Maria Debu, Petronela Gotcu, Octavian Vălu). În cazul de față, deci, problema nu este lipsa specialiștilor, ci modul în care aceștia pot contribui la implementarea cunoștințelor și politicilor în domeniu, în România.

### 3. Managementul deșeurilor radioactive

O problemă majoră, derivată din exploatarea reactorilor nucleari de fisiune, este producerea de deșeurii nucleare ce conțin radioizotopi de viață lungă sau foarte lungă (comparabilă cu vârsta Pământului). Sunt considerate deșeurii nucleare “acele materiale rezultate din activități nucleare pentru care nu s-a prevăzut nici o întrebuițare și care conțin sau sunt contaminate cu radionuclizi” [8].

Practic, se poate vorbi de deșeurii radioactive rezultate din trei tipuri de activități: din minerit și prelucrare minereu, din operarea reactorilor nucleari de fisiune și din activități instituționale.

Principiile fundamentale ale gospodăririi deșeurilor radioactive sunt: protecția sănătății populației, protecția mediului, protecția dincolo de granițele

naționale, protecția generațiilor viitoare, povara asupra generațiilor viitoare, cadrul legislativ național și controlul generării deșeurilor radioactive [9]. În consecință, problema deșeurilor nucleare trebuie rezolvată acum și nu transferată generațiilor viitoare.

Din punctul de vedere al managementului deșeurilor nucleare, există două opțiuni în ceea ce privește combustibilul nuclear epuizat [10,11]: reprocessarea acestuia (în vederea extracției materialului fisil nereacționat) sau tratarea sa ca simplu deșeu radioactiv (condiționarea).

Problemele ridicate de deșeurile nucleare sunt departe de a fi rezolvate. În prezent, pentru imobilizarea acestora, se utilizează sticle de tip borosilicat (rareori fosfat), care prezintă avantaje precum:

(1) vitrifierea reprezintă un proces care a fost utilizat cu succes în ultimii 60 de ani;

(2) sticlele pot imobiliza aproape orice radioizotop rezultat din tehnologii nucleare;

(3) sticlele sunt relativ stabile, în condiții geo-hidrologice obișnuite.

Cu toate acestea, sticlele nu sunt stabile din punct de vedere termodinamic, în prezent, luându-se în considerare imobilizarea deșeurilor nucleare în roci sintetice mono- sau polifazice de tipul oxizilor, silicaților sau fosfaților. Se are, astfel, în vedere încorporarea la scară atomică a radionuclizilor specifici în situri cristalografice specifice unei faze date.

Printre atribuțiile și responsabilitățile asumate de către Agenția Nucleară și pentru Deșeurii Radioactive (A.N.D.R.) se numără [12]:

(1) promovarea și susținerea participării unităților de cercetare, dezvoltare și inovare, a centrelor de excelență și a operatorilor economici la activitățile desfășurate în cadrul P.N.N., precum și la activitățile desfășurate în cadrul parteneriatelor internaționale din domeniul nuclear;

(2) elaborarea strategiei naționale de resurse umane în domeniul nuclear;

(3) coordonarea procesului de gestionare a cunoștințelor nucleare.

Autorul, însă, nu are cunoștință de implicarea acestei agenții guvernamentale în activitatea didactică și de cercetare din universități, din postura de membru al unui laborator de cercetare în domeniul nuclear.

Se observă, și în acest caz, necesitatea atragerii și educării unor specialiști care să rezolve probleme precum găsirea unor compuși care să încorporeze pe termen lung și foarte lung deșeurile radioactive rezultate în urma exploatarea reactorilor nucleari de fisiune, precum și dezvoltarea tehnologiilor specifice.

#### 4. Neproliferarea nucleară

Dintr-o tonă de material combustibil nuclear epuizat, aflat în elementele de ardere scoase dintr-un reactor energetic de 1,0 GWe moderat cu apă ușoară, în urma reprocessării rezultă circa 9 kg plutoniu și 1 kg de actinide minore, elemente ce conțin radioizotopi fisili, ce pot fi utilizați - în absența unui control riguros - în proliferarea armamentului nuclear. În consecință, statele dezvoltate sisteme de protecție fizică în vederea creșterii rezistenței la proliferare [13]. În vederea împiedicării atacurilor teroriste, este nevoie de specialiști capabili să judece - în absența oricărei constrângeri - modul potențial de acțiune al unei grupări sau chiar a unui stat ce are la dispoziție arme nucleare.

Ceea ce oamenii de știință pot face, în vederea reducerii riscului proliferării, este minimizarea la sursă. Astfel, radioizotopii fisili din deșeurile nucleare pot fi supuși partiționării și transmutației. Partiționarea are drept scop separarea radionuclizilor de viață lungă din combustibilul nuclear epuizat. Obiectivul transmutației este acela de a transforma nuclizi fisili (precum  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ , etc.) în produși care să nu prezinte un risc atât de crescut. Este demonstrat faptul că transmutația unui radionuclid în altă specie nucleară se poate realiza prin bombardare cu neutroni în reactorul nuclear sau în acceleratori de particule. În viitorul apropiat, eficiența transmutației laser va fi testată în cadrul *Extreme Light Infrastructure - Nuclear Physics* (E.L.I.-N.P.), institut ce urmează a fi construit pe platforma de la Măgurele [14,15].

Începând cu anul universitar 2012-2013, studenții secției de Master “Criminalistică”, Facultatea de Drept, Universitatea “Alexandru Ioan Cuza” din Iași vor urma cursurile disciplinei “Metode radiometrice și radiochimice aplicate în criminalistică”. Obiectivele declarate ale disciplinei sunt [16]:

(1) însușirea noțiunilor de bază despre radioactivitate, interacțiunea radiațiilor cu substanța, detecția radiațiilor, radiometrie, radiochimie și a metodelor analitice de determinare a radionuclizilor;

(2) capacitatea de a identifica situațiile din practică, în care se pot aplica tehnici de radiometrie și radiochimie în concordanță cu noțiunile teoretice asimilate;

(3) capacitatea de a instrumenta probe prin metode radiometrice și radiochimice.

În ciuda unui plan de învățământ corect definit, este chestionabilă îndeplinirea obiectivelor asumate, în absența unei infrastructuri decente.

#### 5. Fuziunea nucleară

În contrast cu fisiunea nucleară, fuziunea reprezintă procesul de unire a nucleelor ușoare și formarea unui nucleu mai greu, de dimensiuni mai mari. Reacțiile prin care se produce acest fenomen se numesc reacții de fuziune sau termonucleare. Elementele combustibile necesare producerii reacțiilor termonucleare (în special, deuteriul) se găsesc în cantități practic inepuizabile pe Pământ, în apa care ocupă circa 80 % din suprafața planetei.

Din considerente, care nu vor fi detaliate aici, construcția reactorilor nucleari de fuziune este extrem de dificilă și costisitoare. Cu toate acestea, pe lângă abundența materiei prime, există o serie de alți factori ce fac reactorii nucleari de fuziune de un interes extraordinar: nu există riscul producerii accidentelor catastrofale, producerea de cantități mici de deșeuri nucleare, ce conțin radioizotopi de viață (în general) scurtă, absența riscului de proliferare nucleară.

Chiar și așa însă, există organizații ecologiste ce susțin că banii alocați cercetării în domeniu ar trebui direcționați către implementarea surselor alternative de energie [17].

În 2007, un consorțiu format din Uniunea Europeană, S.U.A., Japonia, Rusia, China, Coreea de Sud și India, a demarat la Cadarache (Franța) construcția unui reactor nuclear de fuziune (*International Termonuclear Experimental Reactor - I.T.E.R.*). Acest proiect va costa aproximativ 13.000.000.000 dolari americani și ar trebui finalizat în 2015. Odată finalizat, reactorul experimental de fuziune urmează a funcționa pentru 20 de ani, în vederea determinării utilității comerciale a reactorilor nucleari de fuziune.

#### 6. Comunicarea și acceptarea de către public

Un aspect, deseori neglijat, este reprezentat de comunicarea dintre specialiști și public, indiferent dacă este vorba de factori de decizie sau locuitorii din preajma unor facilități nucleare. Trebuie avut în vedere faptul că politicienii, respectiv agricultorii din zonele menționate nu posedă, în mod obișnuit, cunoștințe de fizică/ chimie nucleară, motiv pentru care trebuie căutat un limbaj comun.

În “Strategia Națională de Securitate Nucleară pe anii 2009-2012” este subliniat faptul că “opinia publică și percepția energiei nucleare de către populație sunt cruciale pentru viitorul politicii nucleare. Este esențial ca publicul să aibă acces la informații fiabile și să poată participa la un proces decizional transparent” [5].

A fost menționată anterior goana după senzațional a lucrătorilor din media. La aceasta se adaugă în doctrinarea publicului cu puncte de vedere unilaterale, indusă de către diverse organizații non-guvernamentale, cu privire la siguranța și securitatea nucleară. Corectă sau nu, o astfel de informare trebuie să stimuleze discuțiile, atât de importante într-o societate deschisă. Faptul că masele sunt sceptice cu privire la energetica nucleară își are originea în absența discuțiilor publice cu privire la costurile, riscurile și beneficiile tuturor surselor de energie cunoscute [18].

În România, atât ca urmare a perioadei comuniste, cât și a excesului de zel în ceea ce privește protecția fizică, informațiile în domeniu sunt aproape în totalitate clasificate. Nu e de mirare, deci, că publicul nu este informat. În consecință, orice prezentare a unor evenimente venite din partea unor O.N.G.-uri sau din media este acceptată ca atare de către receptorul avid de informație. Drepturile la replică emise ulterior de către factorii decizionali sunt - de cele mai multe ori - ignorate, în baza reacției emotive exagerate induse de către comunicatul original. Întrucât este mai ușor să previi decât să reparați, este absolut necesară informarea publicului larg, referitoare la toate aspectele legate de radioactivitate (de la fenomenologie până la decizii politice legate de energetica nucleară).

De exemplu, Agenția Nucleară și pentru Deșeurile Radioactive are o serie de obiective specifice în ceea ce privește acceptanța publică (promovare/dezvoltare în domeniul nuclear și depozitarea în siguranță a deșeurilor radioactive), printre care [19]:

(1) o mai bună informare a opiniei publice în legătură cu sfera de aplicații a energiei nucleare și cu beneficiile acesteia;

(2) diminuarea temerilor nejustificate ale publicului general, prin furnizarea de informații exacte, clare, într-un limbaj adecvat și la timp;

(3) o bună informare a publicului în legătură cu instituțiile din domeniul nuclear românesc și cu responsabilitățile specifice fiecăreia dintre acestea;

(4) informarea cetățenilor cu privire la standardele de securitate în vigoare și la felul în care sunt acestea aplicate;

(5) informarea publicului cu privire la liniile majore de dezvoltare nucleară, așa cum sunt ele trasate în Strategia Nucleară de Dezvoltare în Domeniul Nuclear și în Programul Nuclear Național;

(6) informarea promptă a publicului în legătură cu procesele care se înregistrează în plan internațional și a modului în care România se raportează la acestea;

(7) o corectă informare a publicului general și local în legătură cu problema deșeurilor radioactive în România și cum este ea soluționată în străinătate;

(8) evidențierea delimitării dintre activitățile și atribuțiile A.N.D.R. și ale altor instituții din domeniu (C.N.C.A.N., producători de deșeurile);

(9) promovarea faptului că A.N.D.R. nu este producător de deșeurile radioactive, ci face un serviciu public de a găsi și implementa soluțiile optime de gestionare, în siguranță, a deșeurilor radioactive, în condiții de protecție a lucrătorilor, a publicului și a mediului înconjurător;

(10) obținerea acceptanței publice în legătură cu amplasarea, construcția, operarea și închiderea depozitelor finale de deșeurile radioactive.

Un observator independent poate constata un grad de implementare a obiectivelor enumerate mai curând modest, luând în considerație timpul scurs de la definirea acestora și sumele de bani alocate.

La amplasamentul C.N.E. Cernavodă al Societății Naționale "Nuclearelectrica" se prevede existența unui responsabil pentru relații publice în situații de urgență, cu următoarele responsabilități: furnizarea de informații corecte și pe înțelesul publicului, urmărirea articolelor de presă în vederea prevenirii dezinformării, furnizarea răspunsurilor la întrebările publicului și mass-media, combaterea zvonurilor și dezinformării [20].

În România, informarea publicului este parțial realizată de către diverse organizații profesionale precum Asociația Română "Energia Nucleară", Societatea Română de Radioprotecție sau Asociația "Women in Nuclear" (prin publicare și distribuire de buletine informative, pliante și broșuri). Astfel, aceste organizații își propun să realizeze un dialog deschis cu publicul și să promoveze schimbul de idei. Un exemplu de astfel de demers este organizarea Conferinței Naționale "Informarea și educarea publicului pentru situații de urgență radiologică" (25 octombrie 2012).

Educarea maselor (indiferent de vârstă) cu privire la aspecte referitoare la principiile dezintegrărilor radioactive, interacția radiațiilor cu materia, influența radiațiilor asupra organismelor vii, diferența dintre un grup critic și restul populației, responsabilitatea gestionării deșeurilor radioactive, contribuția personalităților din România la dezvoltarea cunoașterii în domeniu etc., poate fi realizată în mod atractiv prin deschiderea unor centre cu acces liber în zona imediat învecinată facilităților nucleare.

Astfel de centre de informare funcționează cu succes la limita zonelor controlate/ supravegheate de la siturile nucleare din Germania (Dresda, Jülich, Karlsruhe) sau Franța (Cadarache, Marcoule). Aceste

potențiale centre ar putea contribui la creșterea nivelului de înțelegere a fenomenelor, prin educație nonformală a persoanelor cu nivele de studii și formație extrem de diferite. De asemenea, acțiuni de tip “ziua porților deschise”, la diverse amplasamente nucleare, pot conduce la rezultate similare.

## 7. Oportunitatea educației în radiochimie în Universitatea Românească

Universitățile de top din România (în principal, Universitatea București, Universitatea “Babeș-Bolyai” din Cluj-Napoca și Universitatea “Alexandru Ioan Cuza” din Iași), care au contribuit la formarea de specialiști de-a lungul timpului pentru industria nucleară românească, vorbesc de asigurarea locurilor de muncă pentru absolvenți, dar uită de implicațiile strategice ale educației. Universitățile au obligația să atragă studenți de top, fapt ce nu poate fi realizat cu profesori sau infrastructură de mâna a doua. Angajatorii ar trebui să facă publice competențele necesare viitorilor lucrători în industria nucleară, să ofere locuri de muncă specialiștilor astfel formați, să păstreze competențele și cunoștințele în domeniu și chiar să finanțeze programe de formare profesională atunci când sunt direct interesați.

Autorul propunea două direcții posibil de urmat, în vederea revigorării învățământului radiochimic în România [1]:

(1) implementarea unei structuri de tip “surse de radiații” în oricare din universitățile mari din România, care ar concentra toate resursele umane și materiale în domeniu. O astfel de structură ar limita costurile de utilizare și funcționare și ar putea deservi, prin resursa umană și acces la infrastructură, domenii precum fizica, chimia, biologia, geografia, istoria, protecția mediului, știința materialelor, etc.

(2) dezvoltarea unei secții de radiochimie, începând de la nivelul de licență, în una din universitățile mici din România (în speță, Universitatea Pitești), unde competențele studenților ar spori exponențial prin acordarea accesului acestora pentru efectuarea practicii (specializare pe subdomeniu).

Această a doua direcție se regăsește - la stadiul declarativ - și în Strategia națională de dezvoltare a domeniului nuclear în România și în Planul de acțiune pentru implementarea acestei strategii, conform HG 1259/07.11.2002 [21].

La nivel european, s-a vorbit în nenumărate rânduri de punerea în comun a competențelor naționale, în vederea menținerii competitivității Uniunii Europene în domeniul nuclear [22,23]. Întrebarea este însă cu ce va mai putea contribui România într-un viitor nu prea îndepărtat. Încă din

2003, în cadrul celei de-a VI-a Conferințe *Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry*, se concluziona cu privire la nevoia de personal înalt calificat și de educație în științele nucleare la nivel mondial: “*Regretfully, Nuclear and Radiochemistry are now becoming neglected disciplines. With many factors contributing to this decline, such as the perceived maturity of the field, the public misconceptions, as well as shortsighted economics, students are choosing other topics. Funds to support scientific institutions working in these disciplines are being drastically cut. It is documented in governmental and industrial manpower studies conducted around the globe that within a few years the need for experts will possibly double. If the current trend is not reversed within one generation or less, the knowledge and expertise accumulated so far in an entire scientific sector through immense effort and dedication will be lost. Considering the time lines for education, its restoration in the future will be a very expensive endeavor and will be possibly too late to meet the demands of international security and global human and ecological health*” [24]. Iată că jumătate din acest termen deja s-a scurs, iar eforturile depuse la nivel global încă nu au condus la efectul așteptat [25].

Înainte de a fi prea târziu, și în România se impune organizarea unei mese rotunde, unde să se contureze clar modul de acțiune necesar redemarării unui program național de educație radiochimică. La o astfel de întâlnire ar trebui să participe specialiști și factori decizionali din universitățile românești și la care să fie invitați reprezentanți ai ministerelor/ agențiilor interesate (Ministerul Educației, Ministerul Economiei, Comerțului și Mediului de Afaceri, Comisia Națională pentru Controlul Activităților Nucleare, Agenția Nucleară și pentru Deșeurile Radioactive, Regia Autonomă pentru Activități Nucleare, etc.).

## 8. Concluzii

Majoritatea țărilor cu dezvoltare economică și demografică rapidă consideră energia nucleară ca o sursă la îndemână și (încă) viabilă de energie. James Lovelock declara: “*I am in favour of nuclear energy for small, densely populated nations such as the UK, Germany, France, others in Europe, and Japan. Such nations need an abundant supply of electricity to continue civilised life, and there is no alternative to nuclear energy*” [26].

Problemele majore ridicate de către reactorii nucleari de fisiune din generațiile primare (siguranța și siguranța acestora, deșeurile nucleare și proliferarea nucleară) pot fi minimizate prin introducerea

în exploatare a reactorilor de fisiune de generația a IV-a sau complet eliminate prin controlarea fenomenului de fuziune nucleară. În vederea implementării acestor noi tehnologii, este însă nevoie de acceptarea de către public, care nu se poate obține în absența comunicării. Pentru toate acestea, este nevoie de formarea de specialiști în domeniu, fapt la care - se pare - România a renunțat, cel puțin momentan. Acest aspect este cu atât mai greu de înțeles, cu cât situația conjuncturală plasează România în centrul unei regiuni ce va exporta energie de origine nucleară către țările din vestul Europei.

### Referințe bibliografice

- [1] K. Popa, *Radiochimia în România: prezent, trecut și doar atât?*, Rev. Polit. Științei, Scient. **1**, 124 (2012).
- [2] pris.iaea.org/public, date obținute de pe site-ul web la 02.04.2012.
- [3] *Environmental performance review of Romania*, Cap. 10: "Mineral resources", Economic Commission for Europe, Committee of Environmental Policy (2001).
- [4] *World distribution of uranium deposits (UDEPO) with uranium distribution classification*, I.A.E.A., Vienna, Austria (2009).
- [5] [http://www.sgg.ro/nlegislativ/docs/2010/11/7qfd19vw843j\\_2sxngkb.pdf](http://www.sgg.ro/nlegislativ/docs/2010/11/7qfd19vw843j_2sxngkb.pdf)
- [6] S. Landsberger, D. J. O'Kelly, S. Biegalski, S.O. O'Kelly, K. Foltz Biegalski, L. Welch, L. Katz, *Development of a graduate curriculum in nuclear and radiochemistry and the research interactions with U.S. Department of Energy national laboratories*, J. Radioanal. Nucl. Chem. **270**, 253 (2006).
- [7] R. W. Grimes, R. J. M. Konings, L. Edwards, *Greater tolerance for nuclear materials*, Nature Materials **7**, 683 (2008).
- [8] *Normele fundamentale de securitate radiologică (NSR-01)*, Monitorul Oficial al României nr. 404 bis/ 29.08.2002.
- [9] *Normele fundamentale pentru gospădărirea în siguranță a deșeurilor radioactive (NDR-01)*, Monitorul Oficial al României nr. 393/ 04.05.2004.
- [10] C.H. Oh, *Hazardous and radioactive waste treatment technologies handbook*, C.R.C. Press, Boca Raton, U.S.A. (2001).
- [11] M. Eisenbud, *The status of radioactive waste management: needs for reassessment*, Health Phys. **40**, 429 (1981).
- [12] [http://www.agentianucleara.ro/?page\\_id=12](http://www.agentianucleara.ro/?page_id=12)
- [13] *Proliferation Resistance Fundamentals for Future Nuclear Energy Systems*, I.A.E.A. Department of Safeguards, Vienna, Austria (2002).
- [14] <http://www.eli-np.ro/documents/ELI-NP-WhiteBook.pdf>
- [15] N.V. Zamfir, *Infrastructura lumină extremă - fizică nucleară*, Rev. Polit. Științei, Scient. **1**, 171 (2012).
- [16] [http://laws.uaic.ro/programe\\_analitice.html](http://laws.uaic.ro/programe_analitice.html)
- [17] [http://en.wikipedia.org/wiki/Fusion\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/Fusion_power)
- [18] P. Bossew, *The Fukushima disaster: political reactions & consequences in Europe*, 3<sup>rd</sup> Terrestrial Radioisotopes in Environment International Conference, 16-18 May 2012, Veszprem, Hungary.
- [19] [http://www.agentianucleara.ro/?page\\_id=173](http://www.agentianucleara.ro/?page_id=173)
- [20] L. Stancu, *Managementul comunicării în situații de urgență radiologică pe amplasamentul C.N.E. Cernavodă*, Conferința Națională Informarea și educarea publicului pentru situații de urgență radiologică, 25 octombrie 2012, București, România.
- [21] *Strategia națională de dezvoltare a domeniului nuclear în România și a Planului de acțiune pentru implementarea acestei strategii*, Monitorul Oficial al României nr. 851/ 26.11.2002.
- [22] [ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp5-euratom/docs/h\\_cce\\_fission\\_maintain\\_competence.pdf](ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp5-euratom/docs/h_cce_fission_maintain_competence.pdf)
- [23] G. Van Goethem, *Nuclear energy research and training programme nuclear fission 2002-2006*, 16th October 2002, Brussels, Belgium.
- [24] R. Zeiser, S.B. Clark, S.J. Parry, *Manpower requirements and education in nuclear science: an international perspective*, J. Radioanal. Nucl. Chem. **263**, 103 (2005).
- [25] <http://www.world-nuclear.org/education/nfc.htm>
- [26] <http://www.independent.co.uk/news/people/profiles/james-lovelock-you-ask-the-questions-1640175.html>