

Albert Einstein: “Fenomenul radioactivității este forța cea mai revoluționară a progresului tehnic, de la descoperirea focului de către omul preistoric și până astăzi”.

5

POLUAREA RADIOACTIVĂ. MĂSURI ȘI TEHNOLOGII DE REDUCERE A POLUĂRII RADIOACTIVE

OBIECTIVE:

- Înțelegerea problematicii ce intervine în poluarea provocată de radiațiile ionizante
- Măsurare și reducerea riscului iradierii

Termeni cheie:

- *radiații și radiații absorbite*
- *radioactivitate*
- *echivalentul de doză*
- *timpul de înjumătățire*
- *reziduuri radioactive, evacuare de efluenți radioactivi, căderi radioactive, iradiere,*
- *factor de calitate (în protecția contra radiațiilor),*
- *doză genetic semnificativă, doză totală pentru o populație,*
- *depozit geologic*
- *limite admisibile*

5.1. POLUAREA RADIOACTIVĂ

Poluarea radioactivă apare datorită emisiei și propagării în spațiu a unor radiații, capabile de a produce efecte fizice, chimice și biologice nedorite asupra organismelor vii.

Substanțele radioactive - *radionuclizii, radioizotopii, izotopii radioactivi* - sunt unele din cele mai periculoase substanțe toxice [1-4]. Din 1700 de nuclizi cunoscuți cca 280 sunt stabili. În general, toate substanțele radioactive sunt obținute pe cale artificială din minereu de uraniu. Uraniu, sub formă de oxizi, se găsește în peste 150 minereuri, dintre care cele mai răspândite sunt pechblenda (uraninit), miclele uranifere, carnotit, nasturan etc. Sunt numai câteva substanțe radioactive rezultate pe cale naturală, una dintre ele fiind *radonul*, gaz foarte toxic, de care se va vorbi mai în detaliu. Substanțele radioactive se găsesc în stare lichidă, gazoasă și solidă.

Izotopii radioactivi, din cauza instabilității nucleului, caută să treacă în atom stabil prin eliminarea particulelor nucleare. Trecerea unui element radioactiv în stare de element stabil se face prin emisie de radiații alfa, beta, gama, foarte bogate în energie. Acestea se deosebesc, printre altele și prin puterea de penetrare până la absorbție completă. Astfel:

Radiațiile alfa constau din particule cu număr de ordine 2 și număr de masă 4, încărcate pozitiv (nuclee de heliu). Ele pătrund în aer 6,5 cm, în apă 0,01 cm, iar în foi de aluminiu 0,005 cm. În drumul lor ionizează aerul sau gazele străbătute.

Radiațiile beta sunt formate din particule elementare de electricitate negativă – electroni; aceștia iau naștere în momentul emisiei radioactive a unui neutron din nucleu. Parcursul în aer a radiațiilor beta este de 20 cm; în apă 2,6 cm; în foi de aluminiu de 1 mm și au putere de ionizare mică.

Radiațiile gama sunt de natură electromagnetică și însoțesc dezintegrările beta și alfa; sunt radiații ondulatorii electromagnetice de aceeași natură cu lumina și razele X, dar cu lungime de undă mult mai mică decât a acestora. Au putere de pătrundere mai mare ca razele alfa și beta, străbătând plăci de plumb de câțiva cm grosime și strate de aluminiu groase de 120 cm.

Radiațiile electromagnetice pot fi unde radio, termice, infraroșii, vizibile, ultraviolete, X, γ , în funcție de lungimea de undă (tabelul 5.1.).

Legea dezintegrării radioactive este dată de relația [5]:

$$N=N_0 e^{-\lambda t}, \quad (5.1)$$

în care: N_0 este numărul de atomi prezenți la un moment dat; N = numărul de atomi ce rămân nedezintegrați după un timp t ; λ = constanta de dezintegrare.

Fiecare izotop radioactiv este caracterizat, în principal, de două mărimi: *energia*, exprimată în electronvolți, și felul radiațiilor emise, și *perioada de emitere a radiațiilor* respective, exprimată prin timpul de înjumătățire (perioada de timp în care radioactivitatea unui element scade la jumătate în raport cu valoarea inițială). Pentru $N=N_0/2$ rezultă:

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda. \quad (5.2.)$$

- radiațiile ionizante sunt radiațiile alfa, beta și gamma ce au proprietatea de a ioniza gazele prin care trec, făcându-le conductoare de electricitate.

Se remarcă izotopi radioactivi cu viață lungă (10^2 - 10^{12} ani) și cu viață scurtă, de ordinul secundelor până la al lunilor (ex.: ^{222}Rn (natural) 3,8 zile, ^{238}U (natural) $4,5 \times 10^9$ ani etc.).

Radiațiile constau în emisia și transmiterea în spațiu a energiei sub formă de unde electromagnetice sau asociată particulelor (radiație corpusculară).

Tabelul 5.1. Radiațiile electromagnetice și utilizările lor

| Nr. Crt. | Radiații | Lungimea de undă | Utilizări |
|----------|--|---------------------|--|
| 1. | Hertziene de frecvențe: - industriale | $10^2 - 10^4$ km | - instalații de putere, încălzire prin inducție, telecomandă, oscilatori de frecvențe sonice - telecomunicații, radio |

| | | | |
|----|-----------------|---------------------------------------|---|
| | - joase | 1-10 ² km | -idem, oscilatori |
| | - medii | 10 ² m -1 km | - ultrasunete |
| | - înalte | 1-10 ² m | - televiziune, radioastronomie |
| | - foarte înalte | 1mm-1m | - spectroscopie hertziană, radar, radioastronomie |
| 2. | Infraroșii | 1 μ-1 mm | - spectroscopie optică, uscarea materialelor |
| 3. | Vizibile | 10 ³ Å - 1mm | - luminat, spectroscopie |
| 4. | Ultraviolete | 10-10 ³ Å | - spectroscopie, bactericide |
| 5. | X | 10 ⁻¹ 10 ³ Å | - spectroscopie X, radiologie |
| 6. | γ | <10 ⁻⁴ -10 ⁻¹ Å | - spectroscopie γ, reacții nucleare, efecte fotoelectrice, Compton, formare e ⁺ , e ⁻ |

5.1.1. Mărimi caracteristice și unități de măsură ale radiațiilor ionizante

Aprecierea acțiunii radiațiilor penetrante se face utilizând următoarele mărimi caracteristice:

Activitatea unei surse care reprezintă numărul de dezintegrări în unitatea de timp; se măsoară în *Curie (Ci)*. 1 Ci = 3,7*10¹⁰ dezintegrări /secundă și reprezintă activitatea unui gram de raniu pe secundă. Această mărime poate da indicații relative asupra concentrației de izotopi radioactivi dintr-un corp. În practică se utilizează submultiplii ei, în dezintegrări/s și anume milicurie (mCi)=3,7 *10⁷, microcurie (3,7 *10⁴), picocurie (3,7 *10²). O unitate de măsură a radioactivității folosită mai recent este Becquerel-ul, Bq, definită printr-o dezintegrare/s. Relația dintre Becquerel și picocurie este: 0,037Bq= 1pCi sau 1 Bq= 37 pCi.

Doza absorbită caracterizează cantitatea de energie absorbită pe unitatea de masă organică (țesut), deoarece radiațiile emise de o sursă de dezintegrare (α, β sau γ) nu sunt la fel de puternice, depinzând de natura elementului. *Unitatea de măsură este rad (radiations absorbed dose)*, echivalentul cu o absorbție de energie de 100 erg/g (1*10⁻² J/Kg) pentru orice tip de radiații. Deci: 1 rad=10⁻² J/Kg=1*10⁻² Gy (gray).

Echivalentul de doză (doza biologică efectivă) exprimă interacțiunea diferită a radiațiilor de energie egală, dar de natură diferită, cu organismele vii. *Gradul de vătămare biologică* se urmărește prin calcularea unui factor de calitate *Q* (care exprimă efectul fiecărui tip particular de radiație asupra țesutului viu). Echivalentul de doză sau *doza biologică efectivă* se măsoară în *rem (Roentgen equivalent man)* sau *μrem* și reprezintă doza de radiație absorbită înmulțită cu factorul de calitate *Q*. Rem-ul corespunde energiei de 0,01 J absorbite de 1 kg de țesut viu. În timp ce *rad*-ul se utilizează pentru doza de radiație absorbită de orice corp, *rem*-ul este utilizat doar pentru doza de radiație absorbită de

corpurile vii. Unitatea de măsură în SI se numește *Sievert (Sv)* și relația dintre rem și sievert este: $1 \text{ rem} = 1/100 \text{ Sv}$. Altfel: *1 Sv este cantitatea de energie egală cu 1Gy cu factorul de calitate 1, absorbită de 1 kg țesut viu.*

$$H = D \times Q \quad (5.3.)$$

unde

H = doza biologică efectivă

D = doza de radiație absorbită

Q = factorul de calitate.

Factorul de calitate, Q depinde de natura radiației, iar doza fondului de radiații este cuprinsă între 10–100 $\mu\text{rem/h}$ (limita este minimă la nivelul mării, iar cea maximă la altitudini ridicate).

Doza maximă admisă variază cu “obișnuința” și vârsta:

1,3 $\mu\text{rem/an}$ - sub 45 ani

2,5 $\mu\text{rem/an}$ - peste 45 ani

0,3 rem/săptămână pentru un individ care lucrează într-un laborator cu radiații.

De asemenea, rezistența organismelor la o doză unică de radiații X sau γ este

| | | |
|------------|----------|-------------------|
| diferită : | mamifere | 100 – 1000 rad |
| | insecte | 5000-100000 rad |
| | bacterii | 20000-1000000 rad |

Valorile minime reprezintă doza la care apar efecte severe asupra sistemului reproducător la speciile sensibile din categoria respectivă, iar valorile maxime reprezintă doza la care dispare minim 50% din populația celor mai rezistente specii din grup.

Sintetizând măsurarea radioactivității are următoarele unități de măsură:

1 Bq = 1 dezintegrare/s

1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ dez/s = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq

1 rad = 1 J/kg (pentru energia absorbită de 1 kg)

1 rad = 10^{-2} Gy (gray).

1 rem (Roentgen equivalent man) = 10^{-2} Sv

Scopurile supravegherii radioactivității sunt:

- cunoașterea factorului fizic – *radioactivitatea* – existent pe Pământ și, într-o bună măsură, determinant al evoluției vieții;
- evaluarea expunerii omului la radiații și, după caz, luarea de măsuri de radioprotecție;
- stabilirea acțiunii umane.

Efectele radiațiilor au la bază interacțiunea lor cu materia, fenomen bazat pe cedarea energiei radiațiilor incidente către substanța străbătută.

Iradierea țesuturilor și organelor se produce fie datorită unei surse de radiații din afara organismului (iradiere externă), fie datorită radionuclizilor ajunși în organism, ceea ce constituie contaminarea internă prin care se realizează o iradiere internă a organismului.

5.1.2. Surse naturale și artificiale de radiații

Sursele de radiații pot fi: *naturale*, din scoarța terestră, energia solară și cea cosmică sau *antropice (artificiale)*, din activitățile umane.

1. Sursele naturale terestre și cosmice. Radioactivitatea naturală, componenta de bază a mediului înconjurător, este determinată de prezența în sol, aer, apă, vegetație, organisme animale, precum și în om a substanțelor radioactive de origine terestră, existente în mod natural din cele mai vechi timpuri, la care se adaugă radiația cosmică extraterestră.

Astfel, omul trăiește într-un mediu complex, fiind continuu sub acțiunea mai multor agenți fizici cum sunt: lumina, sunetul, radiația ionizantă.

Pe lângă sursele naturale de radiații, este important de semnalat, încă de la început, că omul modifică prin activitatea economică și socială sursele naturale de radiații, în sensul că el poate produce acumularea acestora în anumite locuri sau chiar zone întinse. Omul creează, astfel, o radioactivitate naturală suplimentară, iar mulțimea surselor naturale de radiații include, prin definiție, și sursele naturale de radiații suplimentare.

Radioactivitatea naturală prezintă, în ultimele 4-5 decenii, modificări semnificative datorită activităților omului. Pe de o parte, aducerea la suprafață a minereurilor radioactive, extracția și utilizarea cărbunelui și a apelor geotermale, precum și a unor minereuri neradioactive, dar cu conținut radioactiv natural care nu poate fi neglijat și, pe de altă parte, folosirea pentru construcție a unor materiale neconvenționale a pus omenirea în fața reconsiderării conceptului de radioactivitate naturală prin controlul și supravegherea acesteia. Radiația de origine naturală este prezentă în întreg mediul înconjurător. Radiația poate ajunge la pământ din spațiul cosmic. Însăși pământul este radioactiv, iar radioactivitatea naturală este prezentă în alimente și în aer. Astfel fiecare om poate fi expus la radiația naturală într-o măsură mai mare sau mai mică.

Radioactivitatea naturală a fost definitiv stabilită la toate elementele care au $Z > 83$. Acestea aparțin unei serii de elemente radioactive care formează o familie radioactivă.

Una dintre aceste serii este aceea a uraniului în care capul seriei este ^{238}U .

O altă serie radioactivă naturală este aceea a toriului, care are capul seriei ^{238}Th ($1.39 \cdot 10^{10}$ ani) și este cunoscută ca satisfăcând o relație de tip $4n$. Produsul final stabil este ^{208}Pb .

A-3-a serie are ca element inițial părinte ^{238}U ($7.1 \cdot 10^8$ ani) și, după o serie de transmutații successive ca în cazurile precedente, se determină cu izotopul stabil al plumbului ^{207}Pb . Aceasta serie satisface relația $4n+3$.

În cadrul celor trei serii radioactive există asemănări interesante. Fiecare are câte un descendent, gazul radioactiv (emanația): radon, thoron, actinon. Descendenții gazoși radioactivi au permis stabilirea celorlalți membri ai seriei. O dată cu perfecționarea mijloacelor de detecție a radiațiilor, s-au găsit și alte radioactivități naturale, fără să mai apară însă ultimele serii ca în cazurile anterioare. În ultima alternativă, elementele

radioactive naturale formează o singură transmutație prin care izotopul radioactiv se dezactivează la un nucleu instabil.

Sursele naturale terestre de radiații sunt alcătuite din rocile radioactive ca: minereurile de uraniu, de thoriu, izotopi radioactivi de potasiu, carbon etc. În ultimii ani se costată prezența în locuințe închise, apa potabilă, aer, din unele zone geografice, a radonului ^{222}Rn , rezultat din dezintegrarea ^{226}Ra existent în roci și sol. ^{222}Rn se ridică la suprafața solului sub formă de gaz, prin crăpăturile și fisurile rocilor, pătrunzând de multe ori în interiorul locuințelor prin crăpăturile și fisurile pereților (după cutremure).

Radiația cosmică este de natură corpusculară și electromagnetică, provenind direct din spațiul cosmic (radiația primară=protoni, nuclee fără înveliș electronic, alte particule și cuante gamma, din procese interstelare, în care particulele primesc energii uriașe de cca 10^{19} megaelectronvolți) sau din interacțiunile acestora cu particulele din atmosferă (radiația secundară = particule stabile cum sunt electronii, pozitronii sau instabile- mezonii, hiperoniș.a.)

Doze totale. Echivalentul dozei efectiv total (sau doză totală) datorat radiației de origine naturală, este în medie, în jurul a 1870 Sv pe an. Diferențele în dozele medii de la o localitate la alta pot depăși 5000 Sv pe an, și diferențele în dozele individuale pot ajunge până la 100.000 Sv pe an, datorită existenței unor clădiri care au doze ridicate în special din partea radonului și a produselor lui de dezintegrare. Echivalentul dozei efectiv colectivă este în jur de 100.000 Sv-om pe an. Deoarece doza colectivă variază cu mărimea populației, chiar dacă nu există o modificare a nivelelor de radiație, este convenabil să se indice media dozelor pe întreaga populație. Aceste mărimi sunt bune pentru comparații, dar este necesar să fie suplimentate cu date adiționale, acolo unde există largi variații față de medie. Există diferite scheme privind transferul radionuclizilor în diferite componente ale ecosistemelor terestre.

2. Sursele antropice (artificiale) de poluare radioactivă. Aceste surse de radiații pot fi:

- zonele de extracție și preparare de minereuri de uraniu, sau de thorium;
- depozitarea necorespunzătoare a materialelor rezultate radioactive;
- accidente sau avarii la instalațiile nucleare-electrice, nucleare, la vapoare, submarine, avioane cu încarcătură nucleară;
- experiențe militare nucleare;
- instalațiile de producere și accelerare de particule, necesare studiului structurii materiei și pentru producerea de izotopi artificiali;
- instalațiile de control defectoscopic (cu raze X sau izotopi radioactivi) din industria constructoare de mașini, construcții civile etc.
- deșeurile radioactive tratate sau depozitate incorect, din centralele nucleare-electrice.

Există numeroase surse de poluare, de importanță secundară, cu activități mici care însă cumulate pot deveni deosebit de periculoase. Dintre acestea, la nivel mondial, trebuie menționate 3321 unități nucleare în economie și viața socială (industrie, spitale, șantiere, cercetare, învățământ etc.) care utilizează cca 6000 de aparate generatoare de raze X; cca

510 instalații cu surse gamma de iridium sau cobalt pentru controlul nedistructiv industrial (activitatea totală 20 000 curie); cca 300 000 surse radioactive diferite (cu activitate mică între 2 microcurie și câteva sute de milicurie) utilizate în diferite procese industriale (măsurat grosimi sau nivele în rezervoare, controlul proceselor tehnologice etc.).

3. Impactul asupra mediului. Când gazele, pulberile sau particulele radioactive sunt inhalate, acestea degajă radiații ionizante care afectează țesuturile plămânilor, conducând, în final, la cancerul pulmonar. EPA estimează că radonul poate fi responsabil de cancerul pulmonar la un număr de 5000-20 000 persoane/an în SUA. De asemenea, se estimează că riscul îmbolnăvirilor cu radon este de 10 ori mai mare la fumători, în comparație cu nefumătorii.

Substanțele radioactive, depășind anumite limite, ajunse pe sol pot constitui surse importante de poluare. Trebuie amintit că în sol, în general, se găsesc următoarele substanțe radioactive: Kaliu, Toriu, Uraniu, Cesium 134/137, Stronțiu 90, cu perioada de fisiune practic lungă (25-50 ani). Supravegherea radioactivității, ca și pentru apă și aer, se face prin măsurători *beta-globale* și *gama spectrometrice*. Acestea indică nivelul radioactivității în raport de limitele de avertizare și alarmare. Pentru sol nu sunt stabilite limitele de avertizare și alarmare. În România cele 24 stații ale “Rețelei naționale de supraveghere a radioactivității mediului înconjurător” rezultă că solul și vegetația spontană nu sunt poluate radioactiv [3].

La nivel național problemele legate de protecția contra radiațiilor nucleare (ionizante) sunt reglementate de *Comisia Națională pentru Controlul Activităților Nucleare (CNCAN)*. [H.G.nr.750/14-05-2004 HOTĂRÂRE privind modificarea Regulamentului de organizare și funcționare a Comisiei Naționale pentru Controlul Activităților Nucleare, aprobat prin Hotărârea Guvernului nr. 1.627/2003]. Conform acestei comisii, pentru populație se consideră ca nefiind nocivă o doză maximă de 1 mSv (0,1 rem) pe an, mergând în mod excepțional până la 5 mSv/an cu condiția ca valoarea medie pe 5 ani consecutivi să nu depășească 1 mSv.

Accidentul de la Cernobîl, a produs în România, creșterea nivelului de radiații în aer, depuneri de izotopi radioactivi pe vegetație, apariția acestora în produse de origine animală. Specialiștii consideră că la o iradiere naturală de 2 Sv/an, în 1986, populația României a primit o doză suplimentară de cca. 1,3-1,95 Sv.

Pe lângă poluarea datorată accidentelor, trebuie subliniat că centralele atomoelectrice sunt surse de contaminare radioactivă locală. Mediul fizic și viețuitoarele care trăiesc în împrejurimile lor sunt contaminate de emisiile de radiații din centrală. Vectorul poluant îl reprezintă, fără îndoială, apele de scurgere din reactoarele nucleare, care conțin cantități mari de radionuclizi, ce sunt preluați de lanțurile trofice sau “rostogoliți” prin intermediul fluviilor până în mare. Astfel, s-a măsurat că Ronul varsă anual în Marea Mediterană 61 t de uraniu [6]. La gurile Dunării ajung mari cantități de radionuclizi ce se concentrează în fondul de pești, acesta fiind în general mult mai radioactivizat decât apa.

Datorită creșterii amplitudinii poluării radioactive pe plan mondial, a apărut o nouă ramură a ecologiei, respectiv *Radioecologia*, care studiază efectul radiației ionizante asupra nivelurilor supraindividuale ale lumii vii [7].

4. Tratamente medicale. *Instalațiile de radiații X (Röntgen)*, folosite în spitale și în clinici, sunt, probabil, cele mai cunoscute surse de radiație artificială. Ele sunt folosite, într-o largă varietate de procedee de diagnosticare, de la simple radiografiile ale toracelui la studii dinamice complicate ale inimii. O radiografie a toracelui va transfera plămânului un echivalent al dozei de 20 Sv. Pacienților li se pot administra și radionuclizi cu scopuri de investigație, unul dintre cei mai utilizați fiind tehneciul-99, care are un timp de înjumătățire scurt și se folosește la o gamă largă de examinări cum ar fi tomografiile ale creierului sau ale oaselor.

Radiațiile se mai utilizează și în scopuri terapeutice. Una din principalele metode de tratare a cancerului este, în mod paradoxal, aceea de a iradia puternic țesuturile maligne, împiedicând astfel funcționarea celulelor tumorii. În terapia externă sunt utilizate în mod frecvent radiații X de mare energie sau radiații gamma date de sursele de cobalt-60. Sunt necesare doze absorbite foarte puternice și pot fi prescrise câteva zeci de gray. Se mai folosesc fascicule de neutroni sau alte radiații ionizante. În scopuri terapeutice, radionuclizii se pot administra, așa cum este cazul iodului-131, pentru tratamentul cancerului tiroidian.

Deși folosirea în medicină a radiațiilor oferă pacienților beneficii directe enorme, ea contribuie, prin intermediul lor, la doza pe care o primește populația ca întreg. Se estimează că echivalentul dozei efectiv mediu datorat procedurilor medicale este de 250 Sv pe an.

Procedurile medicale pot produce, indirect, vătămări descendenților actualilor pacienți. Astfel, un interes deosebit este centrat pe mărimea numită *doză semnificativă genetic*, în mod special în legătură cu folosirea diagnosticelor cu radiații. Această mărime ar fi doza pe care, dacă ar fi dată fiecărui membru al populației, ar putea produce aceleași efecte ereditare ca și dozele primite în mod egal de către persoanele individuale. În cazul radiologiei de diagnostic, doza semnificativă genetic se determină în funcție de dozele primite de gonadele pacienților, precum și de numărul de copii care vor fi procreați ulterior; ea reprezintă astfel un indicator al grijii cu care sunt protejate organele de reproducere în timpul procedurilor medicale, precum și al cantității de radiografii efectuate în țară asupra femeilor gravide și a copiilor.

5. Depuneri radioactive de la experiențele cu arme nucleare. Radioactivitatea artificială este răspândită în toată lumea ca rezultat al experiențelor în atmosferă cu arme nucleare. De exemplu, pe pământ s-au depus aproape 3 tone de plutoniu-239. În urma experiențelor apare o mare varietate de radionuclizi; de aceea, de interes principal, din punct de vedere al dozei, sunt carbonul-14, stronțiul-90 și cesiul-137.

O bună parte din radioactivitate este inițial injectată în păturile superioare ale atmosferei, de unde este transferată încet în păturile inferioare și, de aici, mult mai rapid spre pământ.

Atât procesul, cât și materialul se numesc depunere radioactivă. De la tratatul din anul 1963 de interdicere a experiențelor nucleare în atmosferă, activitatea radioactivă din atmosfera superioară a descrescut notabil, deși scăderea este oprită din când în când de experiențele efectuate de țările ne semnatare ale tratatului.

Radionuclizii care intervin în depunerile radioactive sunt inhalați direct sau incluși în hrană, și ambele procese au ca efect o expunere internă a corpului. Radionuclizii care emit radiații gamma, atunci când sunt depozitați pe sol, produc iradiere externă.

Expunerea externă este iradierea organismului uman datorită unei surse de radiații externe. *Expunerea internă* este iradierea organismului datorită unei surse de radiații care a pătruns în organism. Expunerea naturală datorită fondului natural de radiații se ridică la aprox. 2 mSv pe an și include expunerea externă.

6. Deversări în mediu. Industria energetică nucleară deversează substanțe radioactive în mediul înconjurător; în cantități mai mici, un aport îl au și unitățile de cercetare și spitalele.

Uraniul necesar reactorilor nucleari este preparat mai întâi sub formă de combustibil, pe urmă, folosit în reactori, și apoi este reprocesat. În fiecare din cele trei stadii se deversează în mod controlat radioactivitate în aer și în apele de suprafață. Deversările sunt supuse unor restricții legale. Doza primită de populație depinde de natura și de activitatea radionuclizilor eliberați, precum și de modul în care sunt dispersați în mediu și de reședința, modul de viață și obiceiurile alimentare ale persoanelor în cauză.

Aceste deversări sunt controlate și se reduc în continuare. Totuși, reducerea lor ar necesita cheltuieli în plus și reprezintă una din îndatoririle factorilor de decizie să stabilească dacă se impun reduceri mai mari.

Mai există deversări controlate de natura minoră, în aer și în apele de suprafață, provocate de diferite instituții de cercetare, de apărare, industriale și medicale. Chiar dacă dozele colective sau individuale provocate de ele sunt neglijabile, ele sunt supuse aceluiași constrângeri legale ca și deversările provenite din programul energetic nuclear.

Anumite deșeuri cu activitate mică, provenind de la toate instituțiile, sunt îngropate în amplasamente anume alese; în trecut erau înecate în mare. Dozele individuale și colective care ar apărea de aici sunt neglijabile.

7. Expunerea profesională. Radiația de origine artificială este larg folosită în întreaga industrie, în primul rând pentru controlul proceselor și al calității produselor, în scopuri diagnostice în stomatologie și în medicina veterinară și, în sfârșit, ca mijloc important de studiu în colegii, universități și altele. În consecință, există un număr considerabil de muncitori expuși la radiație ionizantă în procesul muncii lor, în plus față de cele din medicină sau din industria energetică nucleară.

Echivalentul dozei efectiv pe care îl poate primi o persoană care lucrează cu radiații este limitat prin lege: practic, nu poate depăși 50 μ Sv. Puține persoane primesc doze apropiate de această limită, iar majoritatea primesc o mică fracțiune din ea. De exemplu, doza medie a personalului medical este de circa 0,7 μ Sv pe an, a personalului din industria nucleară este de 2,5 μ Sv pe an, iar a radiologilor din industrie de circa 1,7 μ Sv pe an. Tendința generală a acestor doze medii a fost de scădere. Media generală a dozei primite de personalul din mediu radioactiv este de circa 1,4 μ Sv pe an.

În afară de acest personal din industria nucleară, mai există persoane, în special mineri și personal navigant aerian, care sunt expuse la nivele ridicate de radiație naturală. Cei mai expuși dintre aceștia sunt minerii din minele necarbonifere, care primesc în medie anual doze de circa 26 μSv .

Doza colectivă provenind din toată expunerea profesională la radiații ionizante este de circa 450Sv-om pe an, la care industria nucleară contribuie cu 20%.

5.1.3. Efectele biologice ale radiațiilor

Interacțiunea radiațiilor cu o materie, în faza inițială, nu diferă dacă materia este vie sau fără viață, și constă în transfer de energie. Deosebirea fundamentală apare datorită comportării diferite a produșilor rezultați din interacția primară, care depinde de tipul și energia radiației și de compoziția chimică a materiei. Datorită mării diversității în structura materiei vii, interacția radiațiilor cu aceasta va produce o multitudine de efecte, uneori greu de explicat [1].

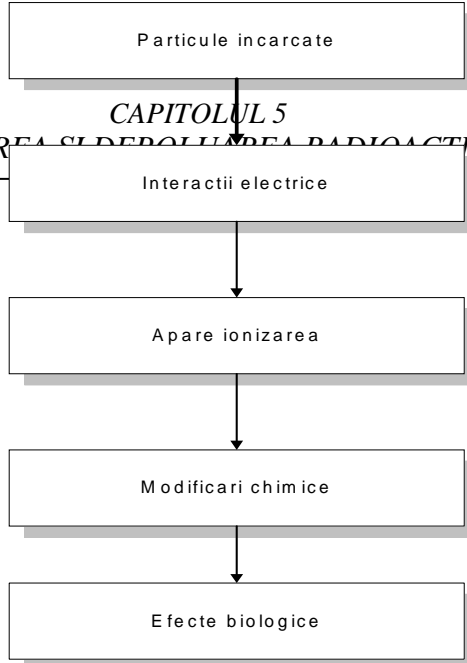
Astfel, un flux de radiații X sau gamma va interacționa în alt mod decât un flux de neutroni, iar radiațiile gamma acționează diferit asupra țesutului adipos față de țesutul osos. Efectul radiațiilor asupra materiei se manifestă mai întâi prin ionizarea materiei vii (mai ales a apei din structura sa, numită și radioliza apei). Radicalii liberi și ionii rezultați prezintă o mare reactivitate chimică care poate duce la modificarea diversilor constituenți celulari, la formarea de peroxizi și a altor compuși citotoxici.

Radiațiile ionizante pot produce și importante distrugerii celulare, mai ales când sunt emise din interiorul organismului (contaminarea internă cu radionuclizi care emit radiații alfa și beta). În iradierea cu neutroni, în afara ionizaărilor și distrugerilor subcelulare poate apărea și radioactivitatea indusă (nuclizii C, Na, K etc.) din corp devin radioactivi).

Efectele biologice ale radiațiilor ionizante pot fi grupate astfel:

- *efecte somatice*, apărute la nivelul celulelor somatice și acționează asupra fiziologiei individului expus, provocând distrugerii rapide care pot conduce fie la moartea rapidă, fie la reducerea semnificativă a speranței medii de viață. Leziunile somatice apar în timpul vieții individului radiat, imediat sau mai târziu. O iradiere locală (internă sau externă) se poate manifesta numai prin efecte la nivelul țesutului respective, în timp numai prin efecte la nivelul țesutului respective, în timp ce o iradiere a întregului corp poate duce la apariția unor efecte generalizate. Probabilitatea producerii unui efect este proporțională cu doza de iradiere. Corelația între doza de iradiere și efectele induse se poate stabili numai în cazul unei populații numeroase de indivizi iradiați.

- *Efecte genetice (ereditare)* apar în celulele germinale (sexuale) din gonade (ovar și testicule). Cercetările au arătat că aceste celule în perioada înmulțirii sunt foarte sensibile la radiațiile ionizante, ceea ce explică acțiunea mutagenă. Apariția unor mutații letale sau subletale la descendenți se datorează unor efecte imediate ale radiațiilor ca alterarea cromozomilor, fie prin acțiunea radicalilor liberi asupra bazelor azotate ale acizilor nucleici, fie prin ruperea lanțului acelorasi acizi, datorită dezintegrării H^3 sau C^{14} în He și respectiv, în azot. Efectele genetice sunt responsabile de vulnerabilitatea celulelor sexuale și de acțiunea sterilizantă rezultată în urma expunerii la radiații ionizante.



Etapele parcurse până la efectul biologic al radiațiilor ar putea fi sintetizat în figura 5.1.

Figura 5.1. Etape pînă la efectul biologic al radiațiilor

5.1.4. Elemente de măsurare. Dozimetrie

Dozimetria – reprezintă totalitatea metodelor de determinare cantitativă a dozelor de radiații în regiunile în care există sau se presupune că există un câmp de radiații, cu scopul de a lua măsuri adecvate pentru protecția personalului ce își desfășoară activitatea în acea zonă.

Spre deosebire de lumină și sunet, radiațiile nu pot fi percepute de către simțurile omului. Radiațiile pot fi detectate și măsurate cu aparate speciale a căror componentă de bază este detectorul pentru radiații. Asemenea aparate se numesc, generic, *dozimetre*, iar disciplina fizicii care le studiază principiile în vederea îmbunătățirii lor este dozimetria. Măsurarea contaminării radioactive, atât a factorilor de mediu, alimentelor cât și a produselor biologice și/sau a omului, se face cu aparate special în acest scop (*contaminometru, analizoare audio și multicanal etc.*).

a). Sursa radioactivă – se găsește montată într-o cameră cu pereții de plumb care are un orificiu prin care radiațiile emise părăsesc camera. Când sursa nu este folosită, orificiul este acoperit cu un șurub tot de plumb.

b). Detectorul de radiații – este un contor cu scintilații. Părțile componente ale acestui contor sunt:

- Scintilatorul: este un cristal care atunci când radiația γ cade pe el, emite un foton din spectrul vizibil;

- Fotomultiplicatorul – conține un fotocatod și un ansamblu de electrozi pozitivi, numiți dinode. Semnalul emis de cristalul scintilant cade pe fotocatod, care emite electroni. Acești electroni, accelerați de dinode, produc descărcări secundare în fotomultiplicator, care dau naștere în circuit la un curent proporțional cu intensitatea radiației incidente.

c). Numărătorul – este un aparat electronic complex prevăzut cu un ecran pe care se afișează numărul de impulsuri. Acest aparat preia de la fotomultiplicator semnalele care apar la acțiunea radiațiilor, le amplifică și le numără, afișând rezultatul numărării pe ecran.

După ce a trecut timpul de numărare ales se oprește pentru câteva clipe. Numărul de impulsuri înregistrat, împărțit la timpul de numărare ales, reprezintă viteza de numărare. Schema instalației folosite este prezentată în fig. 3.

Scopul măsurării dozimetrice este determinarea iradierii sau expunerii organismului, adică a cedării energiei radiațiilor incidente țesutului aceluia organism. Printr-o măsurare dozimetrică se determină doza absorbită adică energia cedată de radiația ionizantă incidentă unității de masă a controla biologic și variază cu cantitatea de grăsime.

Există mici posibilități de modificare a expunerii interne date de acești radionuclizi inhalați și ingerați, cu excepția evitării oricăror alimente sau a apei cu un ridicat conținut de radioactivitate.

Doza letală. Dozele mari de radiații provoacă moartea indivizilor expuși. Pentru evaluarea acestui efect se utilizează termenul de DL 50. Aceasta reprezintă doza teoretică de radiații ionizante care poate produce moartea într-un timp determinat a 50% din indivizii expuși. S-a constatat o mare variabilitate a sensibilității ființelor vii, respective DL 50. Organismele cele mai rezistente la radiațiile ionizante sunt bacteriile, iar cele mai sensibile sunt organismele cu sânge cald (mamifere și păsări). DL 50 este de ordinul a câteva mii de Gy pentru microorganisme, sute de mii de Gy pentru plante, sute de Gy pentru insecte (antropode) și doar câțiva Gy pentru mamifere. Radiosensibilitatea sau sensibilitatea organismelor la radiațiile ionizante este cu atât mai mare cu cât gradul de evoluție și complexitatea organismului sunt mai mari. În tabelul 5.2. se prezintă efectele iradierii totale asupra omului.

În România limita de avertizare pentru poluarea cu radionuclizi este de 1,85 Bq/l iar limita de alarmare, 3,7 Bq/l.; pentru apele de suprafață (râuri, fluvii, lacuri) valorile înregistrate la punctele de control sunt mult mai mici ca aceste limite.

Tabelul 5.2. Efectele iradierii totale asupra omului

| Doza totală corporală în Gy | Efecte după expunere |
|-----------------------------|---|
| 1000 | Moarte la câteva minute |
| 100 | Moarte la câteva ore |
| 10 | Moarte la câteva zile |
| 7 | 90% mortalitate în săptămânile următoare |
| 2 | 10% mortalitate în lunile următoare |
| 1 | Fără mortalitate, dar creșterea semnificativă a cazurilor de cancer; sterilitate permanentă la femei, 2 la 3 ani la bărbați |

Dozele subletale. Expunerea organismului uman la doze subletale produce următoarele efecte:

- reducerea activității fiziologice normale, caracterizată prin încetinirea creșterii, atenuarea rezistenței la toxine, scăderea capacității de apărare imunitară;
- diminuarea longevității;
- reducerea natalității datorită sterilității;
- alterarea genomului prin introducerea de mutații defavorabile subletale care se manifestă la generațiile următoare.

Doze de iradiere acceptate. Populația umană a fost și continuă să fie inevitabil expusă la doze mici de radiații ionizante provenind din surse naturale. Statisticile arată că în anumite zone geografice (China, Japonia, Brazilia ș.a.) grupuri mari de oameni primesc doze de radiație naturală de 3-4 ori mai mari față de doza medie pe glob, fără o incidență crescută a cancerului la aceste populații.

Comisia Internațională pentru Protecție Radiologică (CIPR) consideră că se poate “accepta pentru umanitate o valoare limită de expunere la radiații ionizante corespunzând dublului dozei medii la care omul este expus în condiții naturale”, ceea ce presupune că specia umană este adaptată la iradierea prezentă în mediul său de viață.

Radioprotectie

Radioprotecția = totalitatea metodelor și mijloacelor de reducere a efectelor nocive ale radiațiilor. Sursele de iradiere pot fi: surse externe – aflate în afara organismului și surse interne – aflate în interiorul organismului.

Protecția împotriva efectelor nocive ale radiațiilor, produse de sursele externe, poate fi:

- protecție fizică – realizată prin mijloace de reducere a dozei de expunere, ca: distanța, ecranarea, timpul de expunere;
- protecție chimică – prin folosirea unor substanțe chimice (cistamina, gamafos, etc.), care se administrează înainte sau după iradierea persoanei; (protecție biochimică – realizată prin folosirea unor preparate sau macromolecule biologice (sânge, plasmă, etc.) care administrate imediat după iradiere, ajută la refacerea celulară;
- protecție biologică – se realizează prin transplantul de celule viabile în măduvă (hematoformatoare).

Reducerea gradului de contaminare radioactivă se poate realiza prin:

- decontaminare – îndepărtarea izotopilor radioactivi din tubul digestiv (cu alginat de sodiu, fosfat de aluminiu, etc.) și din arborele traheobronșic (prin spălări cu ser fiziologic);
- decorporare – eliminarea izotopilor radioactivi fixați în diferite organe (cu sare de Zn sau Ca a acidului dietilen – triamino – pentaacetic);
- diluție izotopică – administrarea iodurii de potasiu împotriva Iodului – 131, consumarea unor cantități mari de apă pentru reducerea fixării tritiului în organism etc.

Măsurile de radioprotecție, pot fi grupate în:

- măsuri preventive;
- măsuri de supraveghere; (măsuri de limitare și lichidare.

Efectul nociv al radiațiilor asupra materiei vii este datorat proprietății de a ioniza mediul prin care trec, ionizarea fiind modul dominant de pierdere a energiei de către radiații când traversează mediul material. Materia vie este caracterizată prin existența unor molecule deosebit de mari ale căror proprietăți și funcționalitate biochimică pot fi ireversibil perturbate. Astfel, un act de ionizare, de trecere a unui electron pe un alt nivel în acest ansamblu, sau de smulgere a lui, provoacă mari schimbări în caracteristicile moleculei respective, schimbări care acumulate la nivelul celulei se pot traduce prin grave dereglări ale metabolismului, culminând cu moartea celulei sau cu erori de structură și funcționare a aparatului genetic celular, de tip cancerigen sau mutagen. Mărimi și unități legate de efectul biologic al radiațiilor.

Doza de iradiere – este cantitatea de energie cedată unității de masă $D = dW/dm$; (D (SI = 1Grey = 1Gy = 1J/kg; (D (tot = 1rad (rad-ul) = 10⁻²J/kg; (rad = Radiation Absorbed Doze = doză de radiații absorbită) ; 1 rad = 10⁻²Gy. Expunerea (dQ/dm) – sarcina electrică totală a ionilor de un semn produsă în urma iradierii în unitatea de masă. Unitatea de măsură este röntgen-ul REchivalentul de doză $H = Q.D$, unde Q este factorul de calitate al radiației (H (SI 1Sv (Sievert); (H (tot = 1Rem; (rem = Röntgen Equivalent Man = röntgen echivalent pentru om); 1 rem = 10⁻²SvMărimile dozimetrice menționate se referă la un timp de expunere oarecare. Dacă se raportează efectul la unitatea de timp se definesc: Debitul dozei ($= dS/dt$; ($($ (SI = J/kg.sDebitul echivalentului de doză $h = dH/dt$ (h (SI = 1Sv/s).

Doza permisă pentru o persoană în funcție de vârstă, se calculează cu formula:

$$D_{max} = 5 (N - 18) \text{ rem,}$$

unde N este numărul de ani ai persoanei.

Metodele de protecție contra radiațiilor se împart în:

© Metode active – când sursa radioactivă este înconjurată cu ecrane absorbante, care reduc mult intensitatea radiațiilor emergente, deci asigură securitatea celor ce se află la limita exterioară a ecranelor.

© Metode pasive – când se iau măsuri de genul: (persoanelor li se fixează durate limitate de lucru în spațiul respectiv(li se dau alimente, medicamente antidot, mijloace de protecție individuală, etc.Din cercetări medicale rezultă ca:(doza minimă de iradiere globală a întregului organism este sub 20 Rem(între 75 – 150 Rem apare boala actinică, cu riscul cazurilor mortale la doză superioară peste 700rem au efect letal. Datorită efectului cumulativ al iradierii, normele prevăd că o persoană care la o singură iradiere a acumulat toată doza permisă, să zicem într-un an, nu mai are voie să suporte altă iradiere în acel an. Iradierea accidentală cumulată maximă admisă este de 25Rem. Datorită efectelor genetice, pentru femeile gravide, dozele admise sunt mai mici față d cele arătate mai sus. Deoarece nu toate părțile organismului sunt la fel de rezistente la iradiere, s-au stabilit doze maxime pentru diferite organe și părți ale organismului, precum și cazul în care radiația nu atinge întregul organism, ci doar porțiuni din el. Pentru organe izolate, exceptând cristalinel și

gonadele, doza este de 15Rem/an. Pentru oase, tiroidă, pielea întregului organism, cu excepția extremităților, doza este de 30Rem/an; pentru mâini, antebrațe, picioare și glezne doza este de 75Rem/an.

Sunt cazuri când unele elemente radioactive pot ajunge să fie integrate de oameni prin apa de băut sau alimente, sau inhalate odată cu aerul. Elementul radioactiv poate intra în circuitul metabolic și în aceste cazuri însăși sursa radioactivă se află în organism și singura protecție posibilă este folosirea de substanțe care elimină și insolubilizează elementul respectiv. Poate apărea situația ca un element radioactiv, cu toate că este cantitativ sub limita admisă pentru întregul organism, concentrația sa într-un anumit organ să fie suficient de ridicată pentru ca doza de radiație permisă pentru organul respectiv să fie depășită. Astfel de organe care concentrează preferențial un anumit element se numesc organe critice, ca de exemplu: glanda tiroidă pentru iod, sau sistemul osos pentru stronțiu, care este omolog clinic pentru calciu. Pentru a exclude astfel de cazuri, normele de protecție admit concentrația limită ale acestor substanțe în apă și aer.

Ex. Monitorizare

Pentru îndeplinirea activităților legate de implementarea cerințelor naționale și europene de supraveghere radiologică în condiții normale și de urgență, o stație Stației RA participă la implementarea unui sistem adecvat de monitorizare și raportare a radioactivității mediului. Există stația automată de monitorizare a dozei gamma în timp real, care permite măsurarea continuă a debitului de echivalent de doză. Actualmente, suntem în faza de testare a funcționării stației. Datele, prelucrate prin softul adecvat, se transmit automat din toate județele Țării către LRM București și vor intra mai departe în circuitul internațional.

*

* *

La nivelul anului 2007 v. Bruxelles, 10.1.2007, COM(2006) 844 final, COMUNICAREA COMISIEI CĂTRE CONSILIU ȘI PARLAMENTUL EUROPEAN situația era următoarea:

| Zona/nivel | Mondial | Europa | Franța | UK | Germ. |
|--|-----------------------------|---|---|--|------------------------------------|
| Nr reactoare nucleare electrice | 443(31 țari) | 152 de reactoare nucleare electrice (15 țari) | 59, care furnizează aproape 80% din energia electrică | 23 de centrale nucleare au o vârstă medie de aproape 30 de ani | 17 centrale vârstă medie 25 de ani |
| Putere instalată | 368 Gwe= 15% din eg. El. lă | | | | |
| Nr reactoare cercetare | 284 (56 țari) | | | | |
| Nr reactoare propulsare nave(miltare in special) | 220 | | | | |
| | | 40 000 m ³ de deșeuri | | | |

| | | | | | |
|--|--|---|--|--|--|
| Deșeuri generate anual | | radioactive din care 500 m ³ de deșeuri radioactive de înaltă radioact. (comb iradiat sau deșeuri vitrificate) | | | |
| Deșeuri de joasă activitate și cu durată de viață scurtă | | Cca 2 milioane m ³ de astfel de deșeuri au fost depozitate până acum în UE, majoritatea în instalații de suprafață sau aproape de suprafață. | | | |

- În România există o singură mină de uraniu în exploatare. Aceasta este mina Crucea-Botusana din cadrul CNU – Sucursala Suceava. În cursul anului 2008 mina Crucea-Botusana a avut o producție de 46 000 tone de minereu de uraniu.
- Riscurile economice ale unei centrale nucleare electrice se referă la investiția inițială majoră, care necesită o exploatare aproape impecabilă în primii 15-20 de ani din cei 40-60 de ani de viață utilă pentru recuperarea investiției inițiale. În plus, dezafectarea reactorului și gestionarea deșeurilor înseamnă că trebuie să existe active financiare disponibile pentru 50-100 de ani după închiderea reactorului.
- Costul și riscul de investiție sunt aspecte importante care trebuie luate în considerare la construcția noilor reactoare nucleare. În prezent, construcția unei noi centrale nucleare electrice înseamnă o investiție de 2-3,5 miliarde de euro (pentru o putere de la 1000 MWe la 1600 MWe).
- Eurobarometrul din 2005 a arătat că publicul din UE nu este bine informat cu privire la problemele nucleare, inclusiv la eventualele beneficii referitoare la diminuarea schimbărilor climatice sau la riscurile asociate cu diversele categorii de deșeuri radioactive. Eurobarometrul a indicat, de asemenea, că dintr-o majoritate a populației care are întrebări legate de energia nucleară, 40% dintre cei care se opun utilizării acestui tip de energie și-ar schimba părerea dacă s-ar găsi soluții privind deșeurile nucleare. În consecință, pentru ca energia nucleară să fie considerată acceptabilă, trebuie soluționate aceste probleme.

5. 1.5. Aspecte privind iradierea suplimentară în centrale termonucleare

Energia nucleară prezintă numeroase avantaje.

- Este economică: o tonă de U-235 produce mai multă energie decât 12 milioane de barili de petrol.

Avantajele energiei nucleare sunt semnificative, fapt rezultat și din datele următoare:

| | | |
|---------------------|--------------------|----------------------------|
| 500 g de cărbune | 500 g de petrol | 500 g de uraniu natural |
| generează 1,5 KWh | generează 2 KWh | generează 82 KWh |

- 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 cel produs în 1986 la centrala nucleară de la Cernobal, în Ucraina, poate polua zone întinse și poate produce îmbolnăvirea sau chiar moartea a sute de persoane.

Cercetările se îndreapă către descoperirea de noi surse inepuizabile de energie. Unele dintre ele sunt deja utilizate.

Energia eoliană (a vântului) a fost folosită de sute de ani la propulsia corabiilor și la acționarea morilor de vânt. Turbinele eoliene moderne au fost construite să poată genera electricitate. Doar în California se găsesc 15 000 de asemenea turbine. Oamenii de știință din SUA au calculat că întreaga cantitate de energie ar putea fi generată de vânt.

Energia solară este dată de căldura soarelui. Captatoarele solare sub forma unor panouri pot acoperi necesarul energetic al unei case. Celulele de combustie, realizate din siliciu, sunt utilizate pentru producerea energiei în spațiul cosmic.

Din punct de vedere al evaluării iradierii suplimentare, un deosebit pericol îl prezintă influența pe care o pot avea centralele termonucleare. Cunoscutele accidente de la aceste centrale termonucleare (Three Miles Island – USA martie 1979 sau Cernobîl – fosta URSS/aprilie 1986), pe de o parte, actualul interes al României pentru această formă de producere a energiei, pe de altă parte, sunt elemente care impun aprofundarea acestui aspect.

Se vor detalia în cele ce urmează elemente specifice centralelor nucleare având *montarea de tip CANDU (centrala atomo-nucleară cu deuteriu și uraniu)*.

Centrala nuclearo-electrică este un ansamblu de instalații și construcții reunite în scopul producerii de energie electrică, pe baza energiei eliberate în reacția nucleară de fisiune. Căldura produsă în reactor prin fisiunea nucleelor de uraniu este preluată de apa grea (agent de răcire) și transferată apei ușoare care se transformă în abur în generatorii de abur. Aburul antrenează un turbogenerator, care debitează energia electrică produsă, în Sistemul

Energetic Național. Combustibilul utilizat este uraniul natural, moderarea și răcirea efectuându-se cu apă grea (D_2O).

Pastilele de combustibil nuclear (având un diametru de circa 10 mm) sunt obținute din pulbere de bioxid de uraniu prin sintetizare la temperaturi între $1500^{\circ}C$ și $1700^{\circ}C$. 30 de astfel de pastile se introduc într-un tub de zircaloy sudat la capete și formează un creion de combustibil. 37 de creioane alcătuiesc ANSAMBLUL FASCICULULUI DE COMBUSTIBIL. Câte 12 astfel de fascicule sunt introduse în fiecare din cele 380 de tuburi de presiune (canale de combustibil) ale vasului CALANDRIA – *fig. 5.2*.

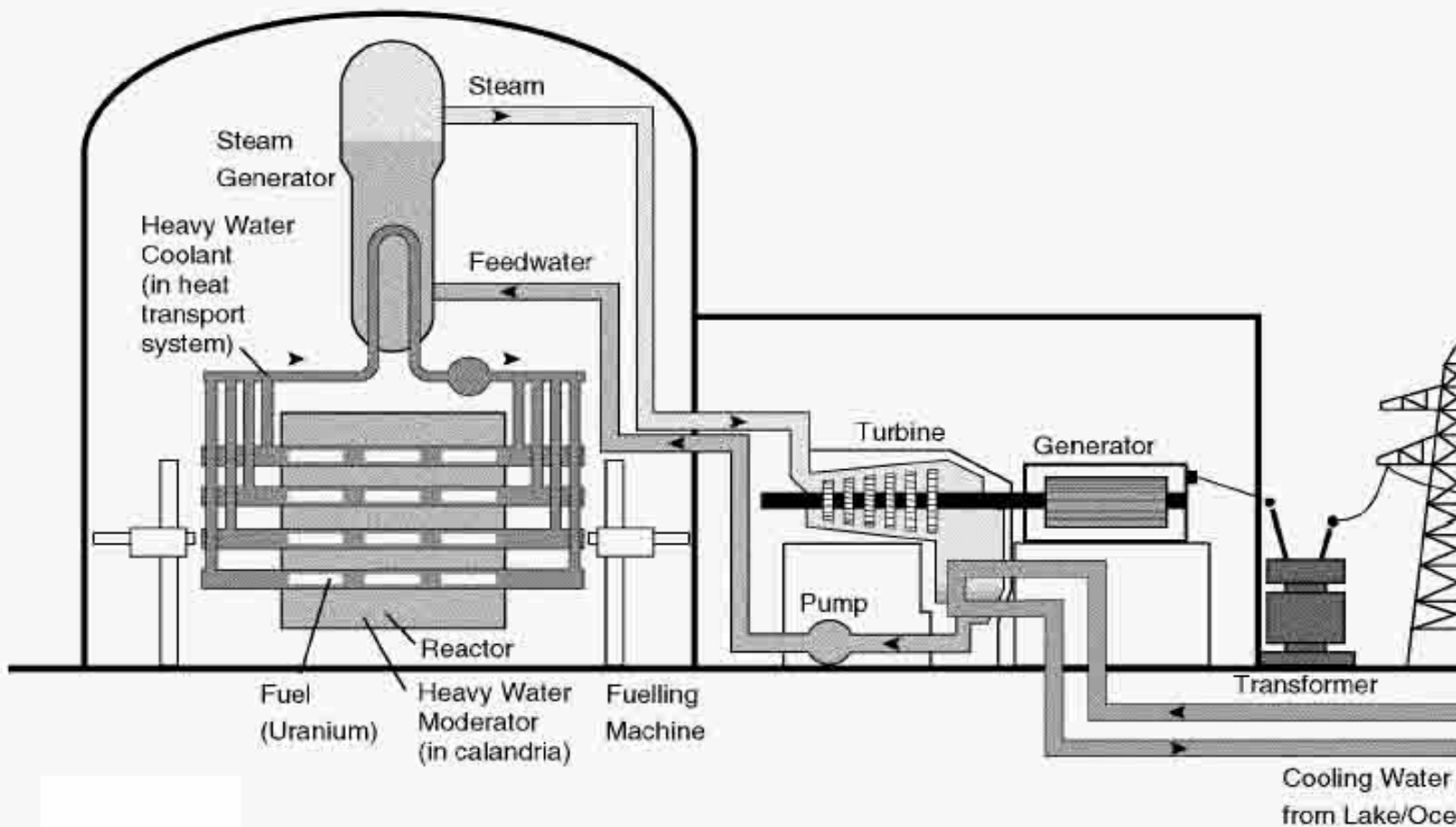
Schema unei centrale atomoelectrice CANDU cuprinde următoarele părți componente:

- | | | |
|--|---------------------------------|--------------------------|
| 1. Conducte de abur | 7. Combustibil | 14. Pompe apă de |
| 2. Presurizor | 8. Pompe circuit | alimentare |
| 3. Generator abur | moderator | 15. Preîncălzitor |
| 4. Pompe circuit primar | 9. Schimbător de | 16. Transformator |
| 5. MID (mașină încărcat – descărcat combustibil) | 10. Turbină | 17. Anvelopa reactorului |
| 6. Calandria | 11. Generator electric | |
| | 12. Pompe răcire condensator | |
| | 13. Condensator | |

Din schema unei centrale nucleare sunt de remarcat sistemul de transport al căldurii și sistemul moderatorului. Sistemul primar de transport al căldurii realizează circulația sub presiune a apei grele (agentul de răcire) prin canalele de combustibil, în scopul evacuării căldurii rezultate prin fisiunea atomilor de uraniu. Căldura transportată de agentul de răcire este transferată apei ușoare (agentul secundar) în generatorii de abur.

Figura 5.2. Schema unui reactor nuclear tip CANDU

Sistemul moderatorului este proiectat ca parte separată de sistemul primar de transport al căldurii, fiind un circuit închis de apă grea cu presiune scăzută (sub 1 Mpa) și temperatura scăzută (sub $95^{\circ}C$). Acest sistem constă în 2 pompe, 2 schimbătoare de căldură, 1 rezervor de expansiune, conductele și armăturile aferente. Pompele aspiră din partea inferioară a vasului calandria și refulează moderatorul (apa grea) prin două schimbătoare de căldură. Pentru uniformizarea temperaturii apei grele (moderator) în vasul calandria, returul de la



fiecare schimbător de căldură se gace prin 4 conducte amplasate în planul median orizontal al vasului calandria.

Reactorul nuclear

Reactorul este constituit dintr-un vas cilindric orizontal (vasul calandria) prevăzut cu 380 de canale de combustibil orizontale, dispuse într-o rețea pătratică și din unitățile de control al reactivității. Vasul reactorului este umplut cu apă grea cu rolul de agent moderator și de reflector al neutronilor rezultați în urma reacției de fisiune nucleară.

Cu excepția tuburilor de presiune din ansamblul canalelor de combustibil, toate componentele ansamblului reactor, inclusiv mecanismele de reactivitate, funcționează în condiții de presiune și temperatură scăzute.

Canalele de combustibil constau din tuburi de presiune amplasate concentric cu tuburile calandria care sunt mandrinate în plăcile tubulare interioare ale vasului reactorului. Între tuburile de presiune și tuburile calandria este menținută o bună separare prin folosirea unor inele distanțiere. Spațiul dintre un tub de presiune și un tub calandria se numește spațiu inelar de gaz și este umplut cu bioxid de carbon care are rolul de izolare termică și permite detecția fisurilor tuburilor de presiune. În tuburile de presiune se introduce combustibilul nuclear (manipulat cu mașinile de încărcat-descărcat combustibil).

Calandria este proiectată să reziste presiunii rezultate în urma rupei simultane a tubului de presiune și a tubului calandria. Limitarea efectului acestei presiuni se realizează prin intermediul a 4 conducte de descărcare a presiunii, amplasate la partea superioară a calandriei și prevăzute cu discuri de rupere.

Vasul reactorului este prevăzut cu protecții de capăt (protecții biologice) care reduc nivelul de radiații pentru a se permite accesul personalului în zona tuburilor de presiune (camerele de întreținere a mașinilor de încărcare-descărcare combustibil), după oprirea

reactorului. Protecțiile de capăt sunt parte integrantă a vasului reactorului. Protecțiile de capăt au și rolul de susținere a tuburilor calandria care trec prin ele.

Vasul reactorului este amplasat într-o incintă de beton placată cu oțel, plină cu apă ușoară (chesonul calandria).

Apa ușoară asigură o ecranare suplimentară și asigură totodată o răcire corespunzătoare a exteriorului vasului calandria.

Ansamblul calandria este calificat seismic la DBE (Design Basis Earthquake).

Reactivitatea zonei active este controlată prin intermediul unor absorbanți solizi și lichizi de neutroni. În timpul funcționării normale a reactorului, reactivitatea este controlată de sistemul de reglare a reactorului, RRS (Reactor Regulating System), alcătuit din:

- a) sistemul de control cu bare absorbante, acționate mecanic, MCA (*Mechanical Control Absorber*);
- b) sistemul de control cu bare ajustoare, A (Adjuster Rod), AA (*Adjuster Assembly*);
- c) sistemul de control zonal cu lichid, LZC (*Liquid Zone Control*);
- d) sistemul de injecție de otravă în moderator, care permite introducerea de absorbanți puternici de neutroni, bor și gadolinu;
- e) sistemul de purificare a moderatorului, care permite extragerea de absorbanți din moderator;
- f) dispozitive pentru măsurarea fluxului de neutroni, detectori de flux și camere de ionizare.

Detectorii de flux cu platină și vanadiu sunt amplasați în zona activă a reactorului nuclear și asigură măsurarea fluxului de neutroni. Acești detectori sunt suplimentați de camerele de ionizare montate pe partea exterioară a învelișului vasului reactorului.

Măsurătorile de flux neutronic ale detectorilor de flux cu platină și vanadiu sunt utilizate pentru corecția distribuției locale și globale de putere. Valorile locale sunt ajustate de compartimentele sistemului zonal cu lichid prin modificarea nivelului apei ușoare. Variația nivelului apei ușoare în aceste ansambluri de control zonal cu lichid modifică absorbția locală de neutroni în 14 subzone ale reactorului, asigurându-se astfel controlul nivelului fluxului local de neutroni.

În cazul în care sistemul ansamblurilor de control zonal cu lichid nu poate asigura controlul adecvat al nivelului fluxului de neutroni și rata reactivității, reactorul este prevăzut cu 4 bare de control cu absorbant solid care sunt acționate vertical în zona activă a reactorului și care au rolul de a controla nivelul fluxului de neutroni și rata reactivității. În mod normal aceste bare sunt menținute în afara zonei active a reactorului nuclear.

Variația globală pe termen lung sau variația lentă a reactivității reactorului nuclear este controlată prin adăugarea în agentul moderator a unor substanțe chimice absorbante de neutroni, "otravă" (soluții de bor sau de gadolinu). Controlul reactivității este obținut prin variația concentrației acestei "otrăvi" în agentul moderator.

Pentru asigurarea formei optime și aplatizarea fluxului de neutroni sunt prevăzute 21 bare ajustoare (tuburi din oțel inox). Aceste bare sunt, în mod normal, introduse în zona activă.

Reactorul nuclear este prevăzut cu două sisteme de oprire rapidă și sigură a reacției de fisiune nucleară, fiecare din aceste sisteme putând opri independent reacția nucleară în lanț, pentru orice accident postulat, ca răspuns la semnalele neutronice și de proces sau la

solicitarea operatorului, menținând reactorul subcritic pentru o perioadă de timp nedefinită. Cele două sisteme de oprire rapidă sunt independente fizic și funcțional, atât unul față de celălalt, cât și față de sistemul de reglare a reactorului.

Sistemul de oprire rapidă nr. 1 (SDS 1, *Shutdown System 1*) este alcătuit din 28 de bare de oprire amplasate vertical (tuburi de cadmiu îmbrăcate în oțel inox). SDS 1 este prevăzut să asigure oprirea reacției de fisiune nucleară, prin inserția gravitațională în zona activă a sistemului de bare de oprire.

Sistemul de oprire rapidă nr. 2 (SDS 2, *Shutdown System 2*) este prevăzut cu 6 rezervoare umplute cu "otravă" (soluție de gadoliniu în apă grea), care este injectată în agentul moderator sub presiune cu ajutorul heliului, prin tubulaturi orizontale, în vederea opririi rapide a reacției nucleare în lanț.

Sisteme de proces ale reactorului

Principalele sisteme de proces ale reactorului sunt: sistemul primar de transport al căldurii și sistemul moderator.

Sistemul primar de transport al căldurii

Sistemul primar de transport al căldurii (PHTS, *Primary Heat Transport System* – vezi fig. 5-3) este proiectat să asigure circulația apei grele sub presiune prin canalele de combustibil ale reactorului nuclear în vederea preluării căldurii produse de combustibilul nuclear în urma reacțiilor nucleare. Căldura transportată de agentul de răcire este transferată apei ușoare în generatorii de abur. Prin vaporizare se produce aburul saturat necesar funcționării ansamblului turbină-generator.

Principalul obiectiv de proiectare cu asigurarea securității nucleare a sistemului de transport al căldurii constă în realizarea unei răcirii corespunzătoare a combustibilului, pentru orice condiții de funcționare, pe parcursul întregii vieți a centralei și necesitând o întreținere minimă. Astfel, căldura este transferată la condensator sau în atmosferă, prin intermediul generatorilor de abur, sau către sistemul intermediar de apă de răcire, prin sistemul de răcire la oprire. Pentru cazul când incinta sub presiune a sistemului de transport al căldurii este intactă, sistemul este capabil să îndepărteze căldura reziduală pentru a preveni defectarea combustibilului. Dacă se pierde integritatea incintei sub presiune a sistemului de transport al căldurii, sistemul este proiectat astfel încât, împreună cu intervenția sistemelor de protecție, cum ar fi sistemul de răcire la avarie a zonei active, să limiteze defectarea combustibilului. Sistemul de transport al căldurii este un sistem cu funcție de securitate nucleară.

Sistemul primar de transport al căldurii este alcătuit în principal din: patru pompe de circulație, patru colectori de intrare, patru colectori de ieșire, cele 380 canale de combustibil, fiderii de legătură a colectoarelor cu canalele de combustibil și 4 generatori de abur (primarul acestora).

Sistemul primar de transport al căldurii este împărțit în două bucle separate. În cazul unor accidente de pierdere de agent de răcire (LOCA, Loss of Coolant Accident) bucla

neafectată este izolată automat față de bucla defectă și de sistemele auxiliare, reducându-se atât pierderea de agent primar de răcire cât și rata de defectare a combustibilului nuclear.

Cerințele de proiectare și execuție sunt cuprinse în CSA-N285.1-81 - Requirements for Class 1, 2 and 3 Pressure-Retaining Systems and Components in CANDU Nuclear Power Plants, iar codul de proiectare și execuție este ASME - Boiler and Pressure Vessel Code – Secțiunea III, Divisia 1, subsecțiunile NB și NF.

Sistemul de control presiune și inventar agent primar are rolul de a regla presiunea circuitului primar la o valoare adecvată regimului de funcționare și de a adăuga/extrage agent de răcire atunci când apare un deficit/exces în circuitul primar. Când reactorul este la putere, presiunea este controlată de un presurizor, iar inventarul agentului primar este ajustat de circuitul de adaos/golire. La putere scăzută, presurizorul este izolat de circuitul primar, iar presiunea este controlată de sistemul de adaos/golire.

Sistemul de purificare agent primar controlează regimul chimic al apei grele din circuitul primar și previne formarea câmpurilor de radiații din jurul echipamentelor, prin minimizarea prezenței produșilor de coroziune activați și a produșilor de fisiune în agentul primar.

Foarte importantă este minimizarea scurgerilor de apă grea din sistemul primar de transport a căldurii și colectarea pierderilor de apă grea lichidă (sistem colectare apă grea) sau în stare de vapori (sistem recuperare vapori).

Sistemul de răcire la oprire (SDCS, Shutdown Cooling System) asigură răcirea combustibilului nuclear în perioadele de oprire a reactorului nuclear sau în unele secvențe de accident.

Sistemul moderator

Neutronii rapizi produși prin fisiune nucleară sunt “moderați” în apa grea din vasul calandria. Apa grea din sistemul moderator este circulată de pompele sistemului și este răcită de schimbătoare de căldură. Sistemul funcționează la valori suficient de joase de temperatură și presiune. Schimbătoarele de căldură îndepărtează căldura produsă prin încetinirea neutronilor în moderator precum și căldura transferată radiativ moderatorului de la canalele de combustibil. Ca gaz de acoperire pentru apa grea se folosește heliu, controlat într-un circuit închis. Circuitul de purificare moderator menține controlul chimiei apei moderatorului în limite optime.

Sistemul moderator este capabil să îndepărteze căldura reziduală din combustibil imediat după oprire, după pierderea alimentării cu energie electrică de la rețeaua națională sau după un accident de pierdere a agentului de răcire, LOCA, inclusiv în cazul unui LOCA simultan cu pierderea răcirii la avarie a zonei active și pierderea alimentării electrice de la rețea. Pentru aceste evenimente este nevoie de o răcire suplimentară suficientă a moderatorului (“crashcooling”) și de o înălțime de aspirație corespunzătoare funcționării normale a pompelor.

Vasul calandria care conține moderatorul este calificat seismic la DBE, iar sistemul de recirculare este proiectat la DBE, categoria A. În plus, porțiunea din sistem care penetrează

peretele anvelopei este calificată seismic pentru cutremurul de bază de proiect (DBE, Design Basis Earthquake).

Sistemul moderator este calificat la mediu astfel încât să îndeplinească funcția de securitate nucleară (evacuarea căldurii reziduale) în condiții de mediu dur (“harsh”) cauzat de accidentul de pierdere a agentului de răcire (LOCA). Nu este necesară calificarea la mediu a sistemului pentru condițiile care apar după ruperea conductei principale de abur (MSLB) deoarece nu există cerința de a îndepărta căldura reziduală prin intermediul moderatorului în cazul unui astfel de accident. Depresurizarea sistemului primar de transport a căldurii folosind generatorii de abur și vanele de protecție la suprapresiune asigură răcirea acestuia și va preveni fierberea moderatorului în acest caz.

Sistemul moderator este proiectat ca sistem al grupului 1 deoarece, pe lângă realizarea unei funcții de securitate nucleară în condiții de accident, îndeplinește funcțiile de încetinire a neutronilor rapizi și de îndepărtare a căldurii în timpul funcționării normale a centralei.

Proiectarea sistemului este în acord cu CAN-Standard N285.01- M81. Sistemul moderator, cu excepția extensiilor anvelopei (clasă 2), este clasificat ca sistem de clasă 3.

Sisteme auxiliare

Există câteva sisteme auxiliare asociate sistemului de transport al căldurii, sistemului moderator și sistemului de control al reactorului, care îndeplinesc atât funcții de proces cât și de securitate nucleară. Cele mai importante dintre aceste sisteme auxiliare sunt următoarele :

- Sistemul de răcire protecției biologice;
- Sistemul de răcire și purificare al bazinului de combustibil uzat;
- Sistemul de control zonal cu lichid;
- Sistemul inelar de gaz;
- Sistemul de adiție otravă în moderator;
- Sistemul de răcire la oprire;
- Sistemul de manipulare rășini;
- Sistemele de purificare agent primar și moderator;
- Sistemul de reglare presiune și inventar agent primar;
- Sistemele de deuterare și de dedeuterare moderator și agent primar;
- Sistemul de colectare D₂O agent primar și moderator;
- Sistemul de gospodărire apă grea;
- Sistemul de prelevare probe D₂O agent primar și moderator.

Combustibilul

Combustibilul folosit de reactorul nuclear al CNE Cernavodă U3 & 4 este uraniu natural prelucrat sub forma de pastile ceramice de bioxid de uraniu care, asamblate în teci de Zircalloy 4, formează elementele de combustibil.

Un fascicul de combustibil este format din 37 de elemente combustibile. Fiecare dintre cele 380 de canale conține 12 astfel de fascicule, conducând la un total de 4560 de fascicule de combustibil în zona activă a reactorului.

Matricea combustibilului nuclear împreună cu teaca corespunzătoare, constituie primele două bariere de protecție în calea eliberărilor de produse radioactive spre mediu. Combustibilul este proiectat să facă față tranzițiilor și evenimentelor anticipate din timpul operării. Se consideră că teaca rămâne intactă dacă sunt satisfăcute următoarele criterii:

- în combustibil nu apar centri de topire;
- nu apar deformări excesive (mai puțin de 5% deformare uniformă pentru temperaturi ale teicii mai mici de 1000°C);
- nu există fisuri semnificative în stratul de oxid de pe suprafața teicii;
- nu apare fragilizarea datorată oxigenului.

Manipularea combustibilului

Pentru manipularea și stocarea combustibilului proaspăt, încărcarea și descărcarea reactorului, precum și pentru manipularea și stocarea combustibilului uzat se utilizează echipamente speciale.

Reactorul este realimentat, în timpul funcționării, cu combustibil prin intermediul a două mașini de încărcare-descărcare, câte una la fiecare capăt al acestuia. Mașinile de combustibil funcționează la capetele opuse ale aceluiași canal de combustibil, una introducând combustibilul proaspăt și cealaltă extrăgând combustibilul uzat.

În timpul funcționării normale a centralei, sistemul de realimentare cu combustibil îndepărtează căldura de dezintegrare din combustibilul aflat în capul MID pe tot parcursul perioadei de timp în care mașina de încărcat este atașată reactorului, apoi pe durata transferării combustibilului la poarta de transfer combustibil către bazinul de combustibil ars.

Combustibilul ars este descărcat de mașinile de încărcare-descărcare prin porțile de descărcare a combustibilului uzat, în bazinul de recepție a acestuia, de unde este transferat pe sub apă, la bazinul de combustibil uzat, amplasat în clădirea serviciilor auxiliare nucleare. Bazinul de combustibil uzat are o capacitatea de stocare suficientă pentru "calmarea" combustibilului acumulat timp de cel puțin 6 ani și cu o rezervă până la transferul către alte modalități de stocare. Bazinul de combustibil uzat este prevăzut cu echipamente de ridicare și transport pe sub apă a combustibilului uzat și cu un sistem de răcire și purificare a apei capabil să evacueze căldura eliberată de combustibilul uzat în apa bazinului și să mențină regimul chimic și radioactivitatea apei la nivele acceptabile.

Sistemul de producere a energiei electrice

Sistemul de producere a energiei electrice este în principiu format din agregatul turbină-generator. Agregatul turbogenerator are două componente de bază și anume *turbina și generatorul electric*.

Turbina

Turbina utilizată de CNE Cernavodă U3 & 4 este de condensaj, pentru abur saturat, cu acțiune/reacțiune și este garantată se producă o putere activă la arbore corespunzătoare unei puteri electrice de 720 MWe, la o rotație sincronă de 1500 rot/min, în condițiile unei temperaturi a apei de răcire la condensator de 15°C.

Ca tip constructiv, turbina este compusă dintr-un corp de înaltă presiune și trei corpuri de joasă presiune. Turbina este prevăzută cu 5 prize nereglabile de prelevare a aburului, în diferite trepte de destindere, în scopul preîncălzirii regenerative a apei de alimentare a generatorilor de abur.

Condensatorul turbinei este format din trei corpuri independente, câte unul pentru fiecare corp de joasă presiune al turbinei. Condensatul din condensatorul turbinei este vehiculat de 3 pompe de condensat principal (3x60%) printr-un circuit regenerativ care este format din trei trepte de preîncălzire de joasă presiune și care trimit condensatul în degazor. Prin intermediul a trei pompe de apă de alimentare (3 x 60%), apa este preluată din degazor și preîncălzită în 2 preîncălzitori de înaltă presiune dispuși în paralel și apoi transportată prin patru conducte la câte o stație de armături de reglare a alimentării generatorilor de abur.

Atât sistemul de condensat principal cât și sistemul de apă de alimentare sunt prevăzute cu pompe auxiliare și anume: o pompă auxiliară de condensat principal și o pompă auxiliară de apă de alimentare.

Generatorul electric

Energia mecanică a turbinei este transformată în energie electrică cu ajutorul generatorului electric, cuplat direct cu turbina.

Generatorul este de tip sincron, având conexiunea statorului în stea. Puterea aparentă a acestuia este de 800 MVA, la 1500 rot/minut, frecvența de 50 Hz, tensiunea de 24 kV și $\cos\phi=0,9$. Generatorul este dotat cu un sistem de excitație static, de tip EX2000 și cu sisteme auxiliare de răcire - cu apă pentru înfășurările statorice și cu hidrogen pentru rotor. Etanșarea la arbore este cu ulei.

Partea electrică a centralei

Puterea electrică produsă de generatorul electric este evacuată prin printr-un transformator de 800 MVA, la stația de 400 kV conectată cu sistemul energetic național prin 5 linii de interconexiune separate, amplasate pe trasee diferite. Alimentarea serviciilor interne electrice se asigură din două surse independente de alimentare, una internă și a doua din sistemul energetic național și se realizează prin 4 transformatoare de câte 60 MVA, două în derivație de la bornele generatorului electric și două din rețeaua de 110 kV din zonă.

Sistemul de automatizare

Pentru sistemele din partea clasică ale Unității 3 respectiv Unitatea 4 a fost prevăzut un sistem de control distribuit (DCS, Distributed Control System) care va include toate funcțiile de control analogice sau numerice utilizate pentru controlul sistemelor de proces.

Sistemul de control distribuit este un sistem integrat care efectuează achiziția de date și funcțiile de control pe baza utilizării controlerelor numerice programabile, legate prin magistrale de date. Instrumentația sistemelor de proces și dispozitivele de control vor fi conectate la stațiile locale intrare-ieșire ale DCS.

Sisteme speciale de securitate nucleară

Sistemele speciale de securitate nucleară sunt sistemele proiectate să oprească rapid reactorul, să îndepărteze căldura de dezintegrare și să limiteze eliberările radioactive ce apar în cazul defectării unui sistem de proces cu funcție de securitate nucleară în condițiile funcționării normale a centralei. Îndeplinirea acestor funcții poate fi monitorată și controlată atât din Camera de Comandă Principală cât și din Camera de Comandă Secundară.

Sistemele speciale de securitate sunt formate din:

- 2 zone de oprire rapidă Sistemul de oprire rapidă nr. 1 (SDS 1, Shutdown System 1), Sistemul de oprire rapidă nr. 2 (SDS2, Shutdown System 2)
- Sistemul de răcire la avarie a zonei active (ECCS, Emergency Core Cooling System) și
- Sistemul anvelopei (Containment System). Sistemul anvelopei reprezintă o barieră fizică de protecție a mediului ambiant împotriva eliberărilor de substanțe radioactive.

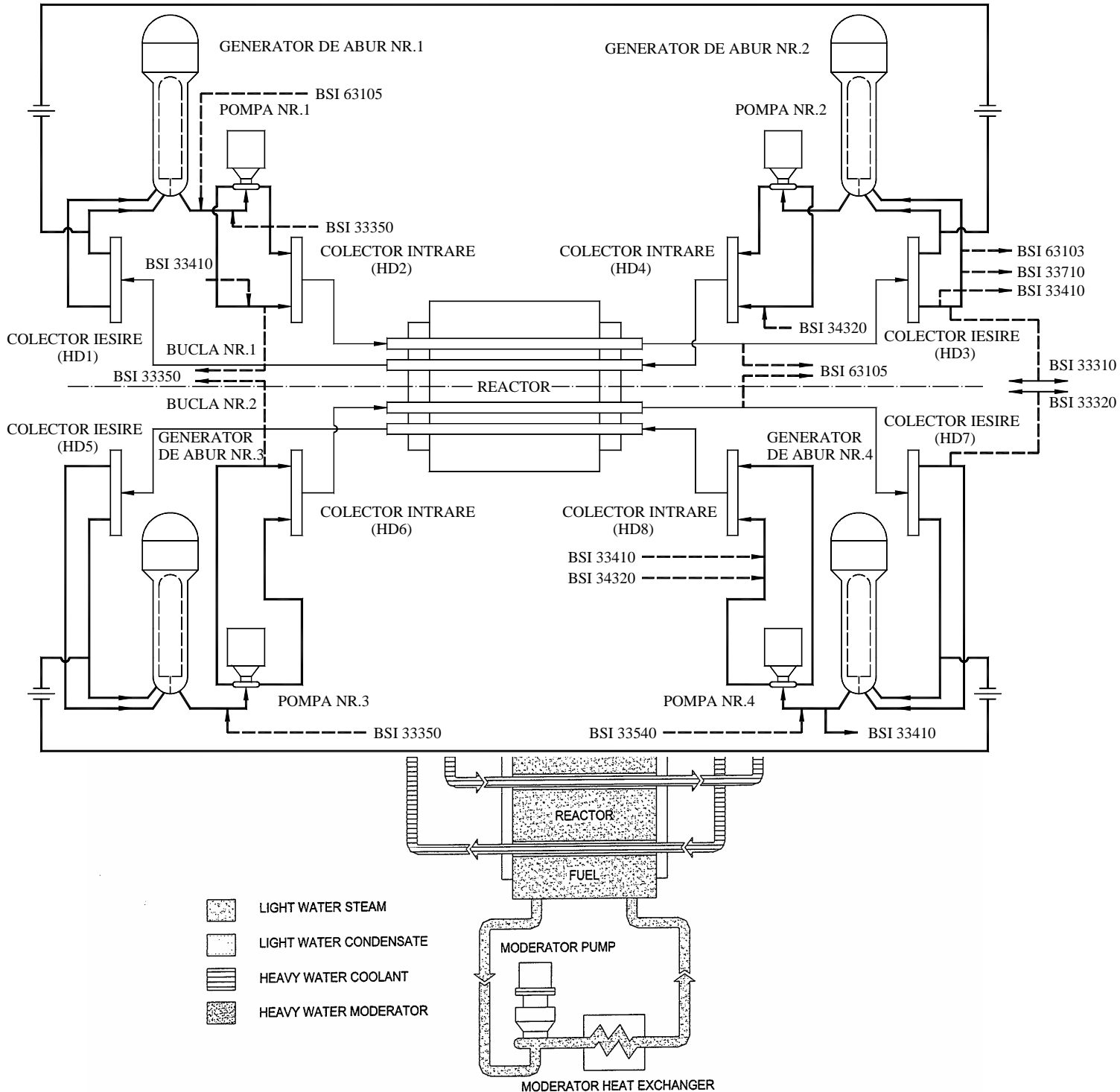


Figura 5.3. Schema simplificată circuitului apei și moderatului în CNE Cernavodă (tip CANDU 6)

Sigur că realizarea unor astfel de centrale trebuie să fie coroborată cu o corectă aplicare a prevederilor securității nucleare.

Prin *securitate nucleară* se înțelege ansamblul de măsuri tehnice și organizatorice destinate să asigure funcționarea instalațiilor nucleare în condiții de siguranță, să prevină și să limiteze deteriorarea echipamentelor și să ofere protecție personalului ocupat profesiona, populației, mediului înconjurător și bunurilor materiale împotriva iradierii sau contaminării radioactive (vezi cap.3 - Legislație).

Proiectul CANDU are la bază strategia de “apărare în adâncime” care constă din conceperea unui sistem de bariere fizice necesare în calea eliberării radioactive, pentru fiecare dintre acestea existând mai multe nivele de apărare împotriva acelor evenimente care ar putea afecta integritatea fiecărei bariere fizice. Proiectul CANDU are prevăzute 5 *bariere fizice*, și anume:

- 1 – pastilă de bioxid de uraniu care reține cea mai mare parte a produșilor de fisiune solizi chiar la temperaturi înalte (factorul de reținere este 99%);
- 2 – teaca elementului combustibil care reține produșii de fisiune volatili, gaze nobile și izotopii iodului ce difuzează din pastilele de combustibil;
- 3 – sistemul primar de transport al căldurii care reține produșii de fisiune care ar putea scăpa ca urmare a defectării tecii;
- 4 – anvelopa care reține produșii radioactivi în cazul avariei tecii și sistemului primar;
- 5 – “zonă de excludere”, zonă cu rază de circa 1 km, în jurul reactorului unde nu sunt permise activități umane permanente, nelegate de exploatarea CNE și care asigură o diluție atmosferică a oricăror eliberări de radioactivitate, evitându-se astfel expuneri nepermise ale populației.

Aceste măsuri de securitate vor conduce la (în cazul concret al centralei Cernavodă):

- doza de radiație pentru personalul din exploatare să fie în medie de 7 μ SV pe an;
- doza de radiație pentru personalul administrativ să fie sub 0,2 μ SV pe an;
- doza de radiație pentru o persoană ce locuiește în limita zonei de excludere să fie sub 0,05 μ SV pe an.

Centrala de la Cernavodă

România și-a dezvoltat sectorul energetic nuclear, ca pe o alternativă viabilă la celelalte tehnologii. Centrala Nuclearo-Electrică a fost concepută initial să cuprindă 5 unități nucleare CANDU de 700 MW fiecare. Alegerea tehnologiei CANDU a avut în vedere posibilitățile industriei românești, pentru asimilarea producerii combustibilului nuclear, a D₂O și a echipamentelor necesare. Reactorul CANDU este caracterizat printr-un înalt grad de securitate nucleară, așa cum s-a dovedit de-a lungul anilor, asigurând un nivel de producție corespunzător, în deplină concordanță cu standardele internaționale.

Unitatea 1(U1)

Funcționarea comercială a Unității 1 a început în luna octombrie 1996. Puterea de proiect nominală instalată a acestei unități este de 706,5 MW, iar puterea netă este de 655

MW. Din momentul începerii funcționării comerciale, Unitatea 1 a produs aproximativ 37 TWh de electricitate, atingând un factor de capacitate mediu de peste 87%.

Unitatea 2

Punerea în funcțiune a Unității 2 de la CNE Cernavodă, reprezentând o prioritate națională, s-a făcut în septembrie 2007. Finalizarea lucrărilor și punerea în funcțiune au avut la bază un contract de management de 4 ani încheiat de S.N Nuclearoelectrica S.A cu companiile AECL-Canada și Ansaldo - Italia, intrat în vigoare în martie 2003.

Cu darea în exploatare comercială a Unității 2, cele două unități de la CNE Cernavodă vor putea furniza împreună circa 18% din necesarul de energie electrică actual al României.

*

*

*

Pentru realizarea strategiei de reactualizare a structurii energiei electrice, este foarte important să se țină cont de mai multe capitole. Unul dintre acestea ar fi respectarea calendarului privind punerea în funcțiune a Reactorului 2 de la Cernavoda. Având o capacitate de producție de până la 700 de megawati ora, se estimează ca Reactorul 2 ar putea acoperi circa 9% din consumul național. Cumulând energia produsă de cele două reactoare de la Cernavoda este posibil ca 17%-18% din energia consumată în România să provină doar de la aceste reactoare – estimare pozitivă atât din perspectiva costurilor de producție mai scăzute cât și din perspectiva protecției mediului, poluarea fiind mai redusă decât în cazul energiei rezultate din arderea carbunelui.

Realizarea Unităților 3 și 4 de la CNE Cernavodă

Proiectul CNE Cernavoda Unitatea 3 a fost înscris în Foaia de parcurs în domeniul energetic din România, aprobată prin Hotărârea Guvernului nr. 890/2003.

Evoluțiile contradictorii de pe piața energiei, înregistrate la sfârșitul anului 2005, au determinat Guvernul României să recomande Ministerului Economiei și Comerțului creșterea ponderii energiei nucleare în mixul energetic prin promovarea concomitentă a Unităților 3 și 4 de la CNE Cernavodă.

În prezent sub conducerea Ministerului Economiei și Comerțului se desfășoară negocieri cu potențialii investitori în vederea structurării unei companii de proiect care să finalizeze și să opereze Unitățile 3 și 4 de la CNE Cernavodă. Începerea lucrărilor este prevăzută pentru anul 2008. Exploatarea comercială a Unității 3 este preconizată pentru jumătatea anului 2013 iar a Unității 4 în prima jumătate a anului 2014.

Principalele avantaje ale României, obținute din folosirea energiei nucleare sunt următoarele:

- Prin caracteristicile sale, sunt oferite soluții optime pentru o dezvoltare susținută, pe termen mediu și lung, în special prin creșterea siguranței alimentării cu energie și independența, aproape totală, conferită prin stabilitatea costurilor de producere;

- Energia electrică, produsă fără emisii gazoase nocive, contribuie la păstrarea unui mediu curat, și la respectarea cerințelor Protocolului de la Kyoto la care România a aderat;
- Această energie electrică permite utilizarea instalațiilor românești din domeniul fabricării combustibilului nuclear și a apei grele;

Prețul combustibilului nuclear de pe piața internațională a rămas constant în ultimii 20 de ani și se preconizează să rămână constant în continuare. Dacă prețul combustibilului crește chiar cu 50%, efectul asupra prețului energiei electrice de origine nucleară este sub 5%.

România a ales tehnologia CANDU, punând accent pe producerea în țară a combustibilului nuclear, D₂O și a unor echipamente și materiale. Astfel, industria nucleară ofera un mare număr de locuri de muncă și utilizează capacitățile locale, deja implicate în programul nuclear. Domeniile cu experiență în aplicarea tehnologiei CANDU din România sunt următoarele:

- (a) **Producerea combustibilului**
SNN filiala FCN Pitești a fost autorizată de ZPI din Canada cu care ocazie și-a îmbunătățit tehnologia de fabricare a combustibilului de tip CANDU din uraniu natural. În mod obișnuit, aceasta furnizează combustibil Unității 1, care se află în funcțiune și își va spori producția pentru a face față cerințelor celorlalte unități. Adăugarea unui număr mai mare de unități CANDU va spori eficiența acestei fabrici, conducând la costuri de combustibil mai scăzute.
- (b) **Producerea apei grele**
Fabrica de apă grea de la Drobeta Turnu Severin poate produce anual aproximativ 170 tone de apă grea, oferind cantitatea de apă grea necesară unei unități de tip CANDU 6, la fiecare doi ani și jumătate. Alte unități CANDU vor mări eficiența tehnico-economică a acestei unități.
- (c) **Industria românească de execuție a componentelor nucleare**
Prin implicarea în Unitățile 1 și 2 fabricanții români și personalul de execuție au dobândit experiența, care să le permită fabricarea de componente pentru proiectul CANDU 6. Acest program va permite companiilor să-și mobilizeze resursele pentru continuarea și dezvoltarea execuției componentelor nucleare în România.
- (d) **Unitatile de proiectare**
Institutele românești, cum ar fi CITON, ICIM și ISPE, au dobândit o experiență importantă în proiectarea și evaluarea diferitelor aspecte ale centralelor de tip CANDU, jucând un rol important în aceste activități. Proiectul de detaliu pentru Unitatea 2 (C2) a fost realizat pe baza unui raport complet de mediu pentru C2, care a fost folosit pentru demonstrarea satisfacerii cerințelor internaționale referitoare la acest proiect. Capacitatea sporită a acestor institute, precum și lucrările lor pentru

C2 le va permite să dețină un rol important pentru execuția Unităților 3 și 4 de tip CANDU din România.

(e) Operarea și întreținerea

Datorită experienței obținute în timpul execuției și punerii în funcțiune a Unităților 1 și 2, personalul român, cu înaltă calificare în domeniul tehnic de conducere a proiectului, va putea executa aceleași lucrări la Unitățile 3 și 4.

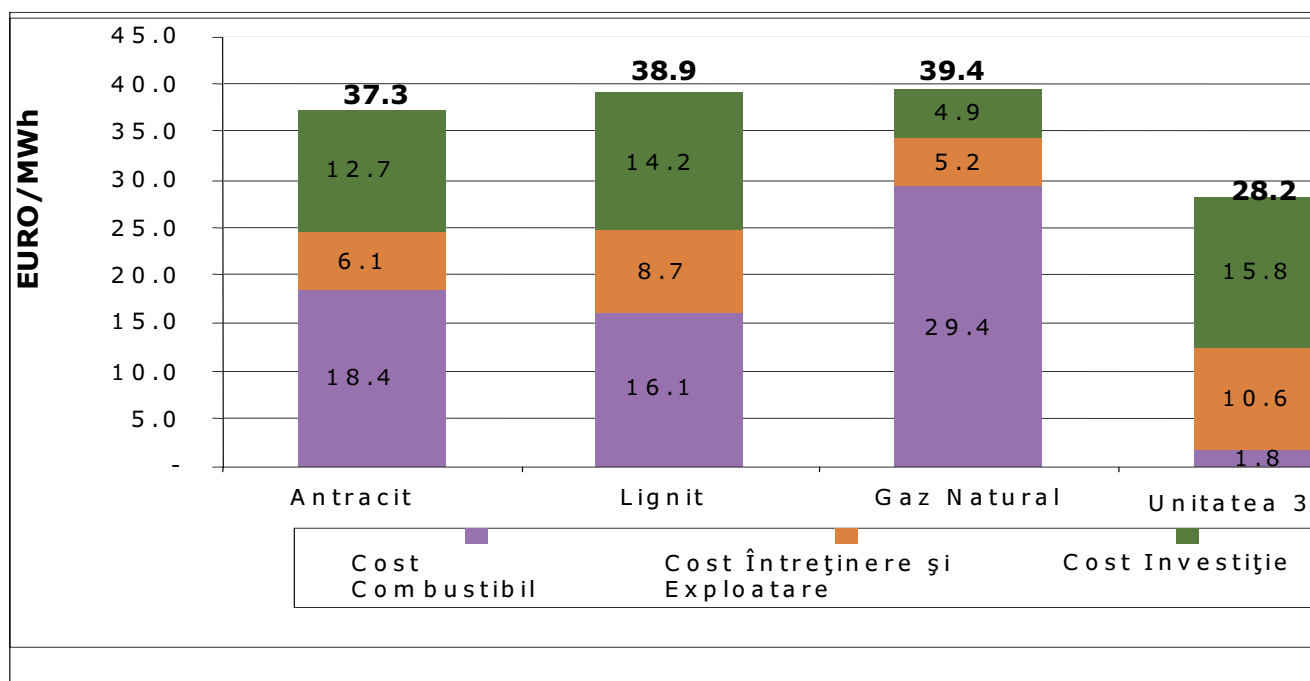
Finalizarea Unității 2 de la Cernavodă poate oferi avantaje importante pentru reluarea și finalizarea lucrărilor la Unitățile 3 și 4 în cazul în care personalul de la unitățile de construcții-montaj ar putea fi transferat de la Unitatea 2 la Unitățile 3 și 4 prin reducerea costurilor cu demobilizarea-mobilizarea și limitând pierderile de personal calificat.

Graficul Unității 2 arată că duratele activităților legate de lucrările la partea mecanică și la cea electrică pot fi reduse la 15 luni și respectiv la 24 de la data efectivă a încheierii contractului. Dacă graficul Unităților 3 și 4 și procurarea reperelor cu durată mare de fabricație sunt coroborate astfel încât lucrările de execuție la Unitățile 3 și 4 să poată începe la aceleași termene, ar fi posibilă mutarea personalului Subcontractorului de la U2 la U3 și U4 reducând astfel, costurile cu demobilizarea/mobilizarea, limitând pierderile de personal calificat și cu experiență deja în șantierul Cernavodă.

(h) Evaluarea alternativelor

A fost efectuată o analiză în condițiile specifice din România pentru o centrală ipotetică de cca. 706 MW putere instalată considerând diferite scenarii privind tehnologia utilizată de producere a energiei electrice ca alternative la soluția nucleară.

Figura 5.4. prezintă costurile actualizate cu o rată de scont de 5%.



* Aceste costuri nu includ costurile externe (cum ar fi costurile de mediu) pentru toate opțiunile cu excepția opțiunii nucleare care include costurile de management a deșeurilor și de defaectare precum și costurile de depozitare ca și costuri interne.

Figura 5.4. Costurile de producție actualizate cu o rată de scont de 5%*

Aceste rezultate arată că aceste costuri de producere a energiei electrice într-o centrală utilizând gaz natural pot fi mai mari decât costurile de producere a energiei electrice în centrale utilizând lignit sau antracit.

Explicația acestui fapt o constituie evoluția prețului gazului natural din ultima perioadă care are un impact mare în structura prețului de cost de producere (83% din costul de producere într-o centrală utilizând gaz natural este reprezentat de costul combustibilului; comparativ, pentru o centrală utilizând antracit costul combustibilului reprezintă cca. 58% din costul de producere).

Costul actualizat al unității de energie electrică într-o centrală utilizând gaz natural este similar cu cel dintr-o centrală utilizând antracit. Explicația rezidă în investiția mai mică într-o centrală utilizând gaz natural în comparație cu investiția într-o centrală utilizând antracit. Costul actualizat al unității de energie electrică pentru *Proiect de producere a energiei nucleare* este mai scăzut decât cel al altor forme de producere a energiei electrice ilustrând faptul că tehnologia nucleară ar putea avea avantaj din punctul de vedere al costului (în aceleași condiții ale pieței) comparativ cu celelalte tehnologii.

5.2. TEHNICI ȘI METODE DE REDUCERE A POLUĂRII RADIOACTIVE

5.2.1. Măsurile de protecție pentru reducerea poluării radioactive

Protecția împotriva poluării radioactive cuprinde o serie de măsuri complexe și combinate, cum sunt:

- conștientizarea riscului de radieră;
- respectarea condițiilor de exploatare și întreținere a instalațiilor;
- purtarea dozimetrelor individuale pentru înregistrarea permanentă a nivelului de iradiere;
- adoptarea măsurilor pentru prevenirea accidentelor generatoare de poluare cu radiații;
- interzicerea, prin tratate internaționale, a experiențelor cu arme nucleare, cu excepția celor subterane.

Se pornește de la măsurile de protecție chiar în faza în care radiațiile se produc, astfel încât să nu existe scăpări de elemente radioactive și de radiații care să schimbe sensibil **imediat** (cazul Hiroshima) sau **în timp** (efect cumulativ) nivelul fondului de radiații pe pământ.

În ceea ce privește *centralele nucleare-electrice*, problemele sunt mai complexe și se împart în:

- probleme apărute în timpul funcționării normale a reactorului
- evitarea riscului unui accident major

O caz aparte îl constituie *reziduurile nucleare* rezultate din operarea normală a reactorului. Ciclul normal al combustibilului nuclear are etapele următoare [17]:

- Extracția minereului de uraniu natural;
- Prepararea;
- Exploatarea în reactor;
- Reprocesarea combustibilului;
- Separarea plutoniului și uraniului din combustibilul uzat.

Din faza de exploatare rezultă deșeu de trei categorii: cu radioactivitate mică, medie și mare (fig. 5.5.). Ele provin din diverse faze de lucru, iar cele mai periculoase sunt, firește, cele cu radioactivitate mare, care constau în principal, din materialele rămase după separarea uraniului și plutoniului din combustibilul uzat.

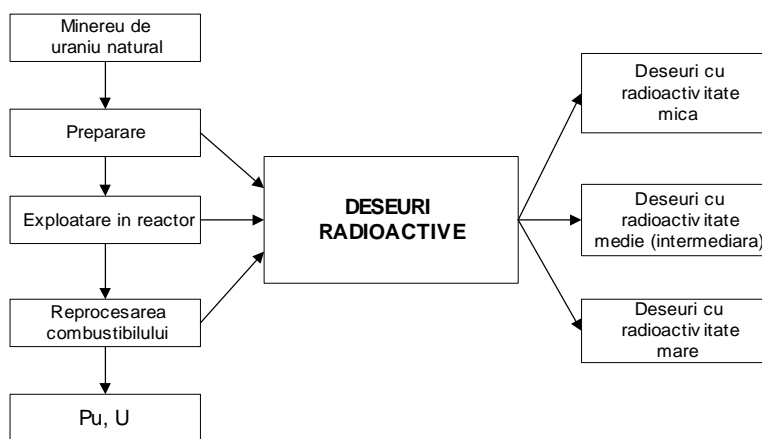


Fig. 5.5. Ciclul combustibilului și deșeurilor nucleare

În cadrul unei centrale nucleare, reducerea riscurilor de accident major implică:

- *proiectarea* foarte atentă a întregului sistem;
- *dublarea și triplarea sistemelor de control și conducere computerizată*, cu prevederea posibilității de oprire forțată a procesului în cazuri extreme (ex. în cazul unui seism);
- *proiectarea și construirea utilajelor* ce intră în componența centralei, astfel încât să se obțină o *fiabilitate de cel puțin 50-100 ani*, pentru toată perioada de funcționare a centralei;
- *pregătirea corespunzătoare a personalului* care deservește centrala;
- *amplasarea centralei* într-o zonă cât mai sigură sub aspect seismic și geologic;
- *limitarea deșeurilor radioactive*, ținând seama că unele zăcăminte de gaz sunt asociate cu izotopi radioactivi (radon, în special).

5.2.2. Metode de gestionare și control a deșeurilor radioactive

Conform schemei alăturate, din activitatea centralelor nucleare, rezultă deșeurii radioactive. Deșeurile nucleare pot fi rezultatul fiecărei trepte a ciclului de prelucrare a combustibilului nuclear, împărțindu-se în trei mari categorii: deșeurii cu nivel redus de radioactivitate, cu nivel mediu și de nivel înalt. La nivel mondial, în anul 1990 deșeurile de radioactivitate înaltă reprezentau cca 21 000 m³, cele cu nivel mediu 27 000 m³, iar cele cu nivel redus de radioactivitate, specifice mineritului erau de 370 000 m³.

Depunerea directă pe sol a deșeurilor nucleare cu nivel redus de radioactivitate este cea mai uzuală metodă, dar este riscantă deoarece se pot infesta radioactiv apele freatice. Se mai practică și depozitarea în incinte subterane care trebuie să fie controlate o perioadă de 300 ani.

În România există stații de tratare a reziduurilor radioactive unde acestea ar trebui prelucrate: IFIN, București-Măgurele, ICN, Pitești Colibași și Cimitirul național de reziduuri radioactive de la Băița –Bihor.

Categorii de deșeurii. Deșeurile radioactive se pot împărți în trei mari categorii, în funcție de activitatea lor: deșeurii cu activitate scăzută, deșeurii cu activitate medie și deșeurii cu activitate ridicată (fig 5.6).

Deșeurile cu activitate scăzută constau din obiecte ca hârtia, îmbrăcămintea și echipamentul de laborator folosite în zonele în care se manipulează materiale radioactive ca și pământ contaminat și moloz de construcții. Deșeurile cu activitate intermediară includ materialele schimbătoare de ioni folosite la tratarea gazelor și a lichidelor înainte de deversarea lor în mediu, măturile care se acumulează în bazinele unde se stochează combustibilul nuclear uzat înainte de reprocesare și materiale contaminate cu plutoniu.

Termenul de deșeurii cu activitate ridicată se referă la lichidul produs când se reprocesează combustibilul uzat. În țările care nu s-au angajat în reprocesare, combustibilul însuși este considerat ca deșeu cu activitate mare.

Administrarea deșeurilor. Obiectivele administrării (gospodăririi deșeurilor) deșeurilor radioactive constau în prelucrarea acestora în așa fel încât să fie pregătite pentru stocare temporară sau permanentă (perpetuă), iar ultima să se facă în așa fel încât să nu existe riscuri inacceptabile atât pentru generațiile prezente, cât și pentru cele viitoare. Stocarea perpetuă implică absența oricărei intenții de a mai folosi deșeurile.

Deșeurile cu activitate mică. În general, deșeurile cu activitate mică nu au nevoie de tratare; ele pot fi încapsulate și stocate perpetuu în mod direct, fie prin îngropare la adâncimi mici în diferite locuri, fie prin imersie controlată în mare. Cele mai multe deșeurii cu activitate intermediară nu apar sub o formă convenabilă pentru o stocare directă; ele trebuie încorporate într-un material inert ca betonul, bitumul sau rășinile. O parte dintre aceste deșeurii poate fi stocată perpetuu prin scufundare în mare, dar cele mai multe deșeurii sunt stocate temporar în diferite locuri, așteptând o decizie privind metoda cea mai bună de stocare definitivă, în prezent, toate deșeurile cu activitate ridicată sunt stocate temporar. Deșeurile cu activitate ridicată, rezultate din activitatea de reprocesare a combustibilului, sunt ținute în tancuri răcite, special construite. În unele țări se intenționează realizarea unei uzine de solidificare a acestor deșeurii prin încorporarea lor într-un material sticlos. Blocurile de sticlă vor fi apoi stocate pentru câteva decenii pentru a permite răcirea lor înaintea stocării permanente finale.

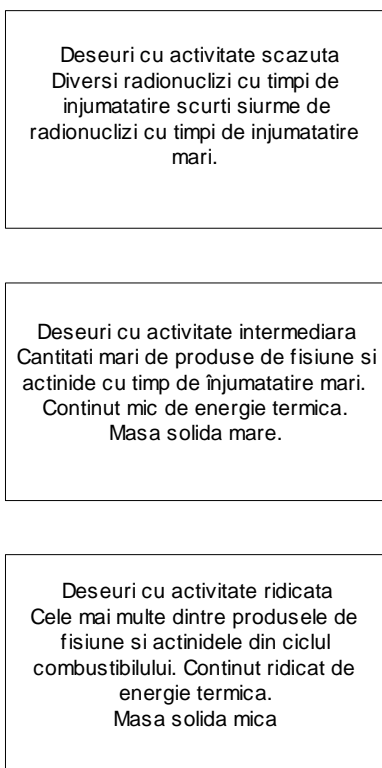


Fig.5.6. Tipuri de deșeurii radioactive

Deșuri cu activitate mică și intermediară. Deoarece nici deșeurile cu activitate mică, nici cele cu activitate intermediară nu generează cantități importante de căldură, nu rezultă nici un avantaj tehnic din stocarea lor temporară pe perioade lungi de timp. Stocarea temporară prelungită înseamnă doze de radiație pentru personal și cheltuieli de exploatare care, amândouă, pot fi evitate printr-o stocare perpetuă timpurie. Întrucât aceste deșuri urmează să fie stocate cândva definitiv, făcând acest lucru mai devreme decât mai târziu, probabilitatea de apariție a unui risc suplimentar pentru populație este mică. În prezent, anumite deșuri cu activitate scăzută sunt lichidate (stocate permanent) prin ardere în subteran la adâncime mică.

S-a stabilit că sunt necesare două tipuri diferențiate de terenuri pentru stocare permanentă (sau lichidare): unul de adâncime mică pentru a primi deșeurile cu activități scăzute, și altul de adâncime mare pentru deșeurile cu activitate intermediară. Îngropările de adâncime mică vor fi probabil localizate în formații argiloase, deoarece argila are o capacitate mare de absorbție a radionuclizilor, iar vitezele de penetrare a apelor subterane prin argilă sunt foarte mici. În principiu, îngroparea deșeurilor la adâncime se poate face sau într-o mină părăsită, sau într-o cavitate subterană special construită. Pentru a asigura o comparație corectă între diferitele locații, trebuie să se execute investigații geologice în diferite locații posibile pentru fiecare tip de stocare. Înainte de a se hotărî un nou de lichidare a deșeurilor, vor avea loc discuții publice. Se studiază și posibilitatea stocării permanente a deșeurilor cu activitate intermediară sub platforma continentală, fie printr-un tunel cu intrarea de pe pământ, fie în găuri forate de o platformă de foraj marin.

Deșuri cu activitate ridicată. Deșeurile cu activitate ridicată produse la reprocesarea combustibilului uzat conțin peste 95% din activitatea întregului ciclu al combustibilului nuclear. Odată solidificate, deșeurile trebuie depozitate timp de secole cu răcire corespunzătoare, supraveghere și renovare periodică a clădirilor de depozitare. Totuși, timpi atât de lungi de depozitare vor impune o povară asupra generațiilor viitoare și va exista chiar și un risc, deși foarte mic, al unor scurgeri accidentale. Din aceste motive, în toate țările care au un program nuclear se desfășoară în mod activ cercetări asupra metodelor posibile de lichidare a deșeurilor cu activitate foarte mare. Deși la început au fost luate în considerare un număr mare de opțiuni privind stocarea permanentă, acum numai două se mai bucură de o atenție specială. Acestea sunt:

- depozitarea în formații geologice de mare adâncime la nivelul uscatului (stocarea geologică);
- stocarea sub fundul mării (stocarea submarină).

Stocarea geologică. Tipurile de formații geologice studiate pe plan internațional în scopul stocării deșeurilor cu activitate mare includ depozite de sare, granit și argilă. Sarea este apreciată deoarece este uscată; granitul și argila sunt umede, dar se pot găsi formații unde vitezele de curgere a apelor subterane sunt foarte mici, iar argila și granitul au capacitatea de a absorbi radionuclizii. Cele mai multe proiecte de depozite au în vedere tunele din care se forează în jos găuri, unde ar fi plasate containerele cu deșuri. Adâncimile de stocare avute în vedere sunt, în general, peste 500 m, iar spațiile dintre găuri

sunt determinate de necesitatea de a limita încălzirea rocii. Odată ce s-a umplut depozitul, găurile, tunelurile și rampele de acces vor fi umplute la loc și sigilate (betonate).

Stocarea submarină are în vedere îngroparea containerelor în sedimentele de pe fundul Atlanticului, unde adâncimea medie a apei este de circa 5000 m. Se poate realiza îngroparea mai la suprafață, sub zeci de metri de sediment, plasând containerele în dispozitive de forma unor torpile ce sunt lăsate să cadă liber spre fundul oceanului. Îngroparea la adâncime mai mare, sub mai mult de 100 m de sediment necesită forarea unor găuri și reumplerea lor, fiind o operație mult mai costisitoare și mai dificilă. În interiorul sedimentelor, vitezele de curgere a apelor sunt extrem de mici, iar mineralele argiloase prezente în sedimente vor absorbi cei mai mulți dintre radionuclizii care, în cele din urmă, vor scăpa din deșuri când containerele se vor fi corodat.

Evaluările de risc, privitoare atât la stocarea geologică, cât și la stocarea submarină, ne arată că nici una dintre metode nu ar trebui eliminată din motive de protecție radiologică. Este, totuși, necesară o cercetare specifică a locurilor de depozitare, pentru a reduce incertitudinile pe care le mai prezintă modelele și datele folosite la evaluarea riscului și astfel să se ajungă în stadiul în care rezultatele să fie folosite la recomandarea unor opțiuni.

*

* *

- Dezafectarea instalațiilor nucleare. Dezafectarea este faza finală din ciclul de viață utilă al unei instalații nucleare. Aceasta face parte dintr-o strategie generală de restaurare a mediului la finalul activităților industriale. În prezent, peste 110 instalații nucleare din Uniune se află în diverse faze de dezafectare. Se preconizează că cel puțin o treime din cele 152 de centrale nucleare electrice aflate în funcțiune în Uniunea Europeană extinsă vor fi dezafectate până în 2025 (fără a se lua în calcul eventualele prelungiri ale duratei de viață utilă a acestora). Dezafectarea este o operațiune tehnică complexă, care necesită cca 10-15% din costul investiției inițiale pentru dezafectarea fiecărui reactor.
- În cadrul programelor de cercetare se dezvoltă noi tehnici de tratare a deșeurilor, având drept scop principal reducerea volumului acestora sau a componentei de viață lungă. Aceste tehnici sunt numite în mod colectiv „separare și transmutare”. Deși acestea oferă posibilitatea de a reduce toxicitatea pe termen lung a acestor deșuri, ele nu pot elimina total necesitatea de a le izola de mediul înconjurător (de exemplu prin depozitare într-un strat geologic de adâncime). Această abordare prin „concentrare și izolare” permite minimalizarea impactului asupra mediului.
- În mai multe state membre ale Uniunii Europene, partea corespunzând costurilor estimative de gestionare a deșeurilor și de dezafectare a instalațiilor se adaugă la prețul electricității și se depozitează în fonduri speciale.

- **Surse de deșeuri radioactive**

Deseurile radioactive rezulta, de obicei, din:

- producerea de energie electrica pe cale nucleara, inclusiv activitatile conexe ciclului combustibilului nuclear si celor de dezafectare;
- functionarea reactorilor de cercetare;
- folosirea radiatiilor si a materialelor radioactive in medicina, agricultura, industrie si cercatare;
- prelucrarea materialelor ce contin radioactivi naturali.

In Romania, cele mai importante cantitati de deseuri nucleare sunt constituite din :

- Combustibilul nuclear uzat de la CNE – Cernavoda ;
- Deseurile operationale de la CNE – Cernavoda ;
- Deseurile provenind din dezafectarea CNE – Cernavoda ;
- Combustibilul uzat de la reactorul TRIGA – MTR ;
- Deseurile operationale de la reactorul TRIGA – MTR ;
- Deseurile provenind de la dezafectarea reactorului TRIGA – MTR ;
- Fragmente de combustibil uzat de la LEPI (laboratorul de expertiza post - iradiere) de la SCN Pitesti ;
- Combustibil nuclear uzat de la reactorul de cercetare WRS – Magurele ;
- Deseuri provenind din dezafectarea reactorului de cercetare WRS – Magurele;
- Deseuri radioactive institutionale;
- Surse radioactive inchise uzate;
- Deseuri provenite din procesul de minerit si prelucrare a minereurilor de uraniu.

CICLUL COMBUSTIBILILOR NUCLEARI în România

Două mari depozite:

- cel de la centrala de la Cernavodă
- în munții Apuseni într-o fostă mină de uraniu. În prezent, deșeurile radioactive de la Cernavoda sunt stocate într-un depozit intermediar, în butoaie din otel-inox.
- Primul depozit modern de deșeuri nucleare din România va fi amenajat până în 2014 lângă localitatea Saligny. *Depozitul va prelua deșeurile mediu și slab radioactive* provenite de la centrala nuclearelectrică de la Cernavodă.
- Combustibilul nuclear uzat descărcat din reactoare, deșeuri de înaltă radioactivitate, vor fi îngropate într-un depozit geologic săpat la 800 de metri în rocă. Acesta va fi însă abia în 2050 funcțional. Nu s-a ajuns încă la un consens privind cea mai buna metodă pentru depozitarea deșeurilor radioactive. Inițial, elementele de combustibil folosite sunt depozitate deasupra pământului, adesea în apa rece, pentru câțiva ani sau chiar decenii, până când nivelul radioactivității s-a redus. În acest stagi, ele pot fi transferate la depozitare uscată, de exemplu, în cutii de metal. Chiar dacă este sau nu este îndepărtat plutoniul, multe planuri au ca obiectiv încapsularea și imobilizarea reziduurilor, apoi îngroparea acestora adânc sub suprafața terestră.

- Containerul pentru această încapsulare ar fi mai bine să fie realizat dintr-un metal puternic, rezistent la coroziune, cum ar fi titanul, sau cuprul. Cutiile sunt făcute pentru a dura câteva sute de ani cel puțin, înainte de a apărea scurgerile. În Suedia, cutiile sunt proiectate să dureze 100.000 ani, după această perioadă nivelul reziduurilor nefiind mai mare decât cel al minereului natural de uraniu. Cutiile vor fi îngropate la 500-1000 m sub scoarță. Caracteristicile geologice ale părților îngropate trebuie să includă stabilitate mare, pentru a nu fi distruse de cutremure sau erupții vulcanice și permeabilitate scăzută pentru revenirea interacțiunii cu apa.

Legea nr. 426 din 18 iulie 2001 pentru aprobarea Ordonanței de urgență a Guvernului nr. 78/2000 privind regimul deșeurilor

Hotărârea privind depozitarea deșeurilor în conformitate cu normele europene și rezultatul negocierilor Capitolului 22 - Mediu. – din 22 Aprilie 2005

Urmare a ratificării de către România prin Legea nr.105/1999 a „Convenției comune asupra gospodării în siguranța a combustibilului nuclear uzat și asupra gospodării în siguranța a deșeurilor radioactive” (act normativ inițiat și administrat de Agenția Internațională pentru Energia Atomică), a fost înființată, în baza OG nr.11/2003, Agenția Națională pentru Deșeurii Radioactive (ANDRAD) ca autoritate națională competentă în domeniul gospodării combustibilului nuclear uzat și a deșeurilor radioactive.

Pornind de la principiul „poluatorul plătește”, Hotărârea de Guvern, inițiată de ANDRAD, stabilește pentru producătorii de deșeurii radioactive o contribuție de 1,40 Euro/MWh la fondul de gospodărire a deșeurilor radioactive și 0,60 Euro/MWh la fondul de dezafectare a instalațiilor nucleare.

Principalii producători de deșeurii radioactive avuți în vedere la plata celor două contribuții sunt Unitățile 1 și 2 ale Centralei Nucleare-Electrice Cernavoda.

Criterii pentru luarea deciziilor. În ultimii câțiva ani au existat discuții internaționale considerabile privind criteriile ce trebuie folosite în judecarea acceptabilității metodelor de stocare a deșeurilor din punct de vedere al protecției radiologice privind chestiunea mai largă de a obține o acceptare din partea societății a metodelor de stocare propuse. Consensul care a reieșit din aceste discuții este că protecția radiologică impune două criterii.

Primul criteriu este că nici o metodă de stocare să nu conducă la un risc individual, acum și în viitor, care să fie mai mare de un anumit nivel. Pentru stocarea în sol a deșeurilor cu activitate scăzută și intermediară, departamentele care dau autorizații au stabilit ca obiectiv un risc anual maxim de deces de 1 la 100.000, cu limitarea de 1 la 1.000.000 pentru un singur depozit. Punerea în aplicare a acestui obiectiv face ca riscul individual pentru generațiile actuale și viitoare, provenind de la stocarea deșeurilor, să fie extrem de mic.

Al doilea criteriu constă în aplicarea principiului ca întreaga expunere la radiații să fie ținută la nivelul cel mai scăzut, ce se poate obține în mod rezonabil, luând în considerație factorii economici și sociali. Acest principiu trebuie aplicat deciziilor ce privesc întreaga procedură de administrare a anumitor deșeurii (adică tratarea, imobilizarea, împachetarea și stocarea). Aceasta înseamnă că diferite opțiuni privind administrarea deșeurilor trebuie

comparate între ele pe baza riscurilor, costurilor și a altor factori mai puțin cuantificabili, dar nu mai puțin importanți. O parte a acestei comparații este de domeniul protecției radiologice, dar se recunoaște că alți factori ar putea să domine decizia finală.

O altă problemă importantă o reprezintă *demontarea și dezmembrarea instalațiilor nucleare*. Din punct de vedere tehnic demontarea unui reactor nuclear este fezabilă. Dificultatea constă însă în faptul că probleme variate de natură tehnică, economică, organizațională, de siguranță nu se pot rezolva simultan.

La nivelul anilor 1990, *Agenția Internațională pentru Energia Nucleară* avea în evidență 143 reactoare nucleare, din care 116 de cercetare, 16 centrale nucleare etc. din 17 țări de pe glob care au depășit durata de funcționare. În anul 2000, 64 de reactoare nucleare și 254 reactoare de cercetare au fost propuse spre dezafectare.

Costul dezafectării instalațiilor nucleare este mare, fiind estimat la aproape 480 mil \$/1000MWe și chiar mai mult.

Bibliografie

1. Chiosilă, I., Oncescu, M., ș.a., *Radioactivitatea naturală în România*, București, 1994.
2. Oncescu, M., Chiosilă, I., *Radioactivitatea artificială în România*, București, 1995.
3. Negulescu, M., Ianculescu, S., Vaicum, L., Bonciu, G., Pătru, C., Pătru, O., *Protecția mediului înconjurător*, Editura Tehnică, București, 1995.
4. Sanielevici, Al., *Radioactivitatea. Fenomene și legi generale*, vol. I, Editura Academiei R.S.R., 1956.
5. Tobologea, V., Crețu, V., *Elemente de protecție a mediului; protecția apelor de suprafață, a solului și combaterea poluării nucleare*, Editura Universității Gh. Asachi, 2000.
6. Ionescu, C., Băloiu, L., *Introducere în problematica mediului înconjurător*, Editura ILEX, 2002.
7. Marcu, Gh., Marcu, Teodora, *Elemente radioactive. Poluarea mediului și riscul iradierii*, Editura Tehnică, București, 1996.
8. Onuțu, I., Stănică – Ezeanu D., *Protecția mediului*, Editura UPG 2003.
9. *** Hotărârea Guvernului nr. 264/1991 Controlul activității nucleare.
10. ***"Radiation Protection Home Page." 1996. <http://www.umich.edu/~bbusby/>.