

INIS-mf.. 460

**COMITETUL DE STAT PENTRU ENERGIA NUCLEARA
INSTITUTUL DE FIZICA ATOMICA**

Ing. Stoica Popa

S T U D I U

**PENTRU STABILIREA SISTEMULUI OPTIM DE CONTROL AL
MATERIALELOR FISIONABILE IN CADRUL PROGRAMULUI
NATIONAL NUCLEAR AL R.S.ROMANIA**

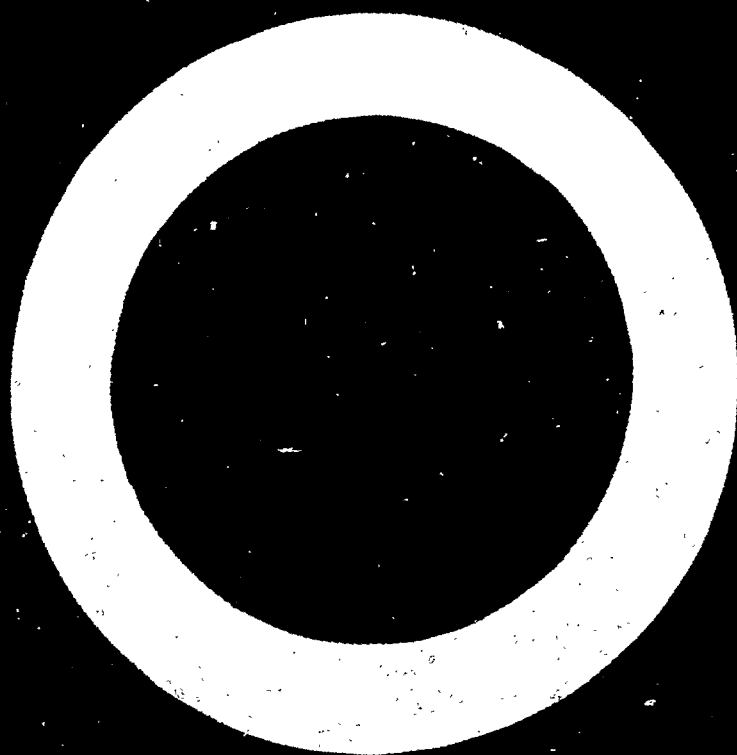
**- Rezumat al tezel pentru obtinerea
titlului de doctor inginer -**

Conducător științific :

Dr.ing. Ionel Purica

București, 1972

We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche.



Doresc ca și pe această cale să adresez
cele mai calde mulțumiri tovarășului prof.dr.doc.
Ioan Ursu, președintele Comitetului de Stat pentru
Energia Nucleară și directorul Institutului de fizică
atomică, care m-a îndrumat și încurajat să finalizez
un asemenea studiu, pentru discuțiile fructuoase și
pentru interesul constant manifestat de domnia sa în
vederea creerii condițiilor prezentării acestei lucrări.

Popa Stoica



CUVINT INAINTE

Lucrarea prezentată pentru obținerea titlului de doctor inginer reprezintă o sinteză a contribuțiilor teoretice sau experimentale ale unor grupuri de experți ai Agenției Internaționale pentru Energia Atomică, experți ai unor organisme internaționale sau guverne, sau ale unor autori individuali, precum și contribuțiile personale la studiul pentru stabilirea unui sistem optim de control al materialelor fisionabile în condițiile Programului național nuclear din Republica Socialistă România

Problemele legate de controlul materialelor nucleare fisionabile au apărut foarte recent în cercurile de specialitate din lumea întreagă, abordarea lor fiind impusă mai ales după intrarea în vigoare a Tratatului de neproliferare a armelor nucleare (martie 1970). Din această cauză lucrările și studiile referitoare la acest subiect sînt încă rare, cu caracter mai mult tehnic, fără a fi depășit nivelul de laborator. În realitate acest domeniu este foarte complex, aspectele tehnice fiind însoțite și de aspecte politice, juridice și economice cel puțin la fel de importante.

Realizarea unui sistem de control optim al materialelor nucleare fisionabile constituie o preocupare urgentă atît la scară internațională, pentru Agenția Internațională pentru Energia Atomică, căreia îi revine sarcina de a efectua acest control, cît și la scară națională, pentru fiecare stat, în funcție de particularitățile dezvoltării sale nucleare.

Datorită dezvoltării nucleare preconizate și în țara noastră, a devenit deosebit de actuală problema realizării sistemului național optim de control al materialelor nucleare fisionabile. Deoarece printre filierele preconizate a se dezvolta în țara noastră se numără și filiera cu apă grea am considerat util

a încerca în studiul nostru, de a stabili condițiile de organizare a unui sistem optim de control pentru această filieră. În primele două capitole ale acestui studiu am prezentat contextul general în care se încadrează în momentul de față studiul nostru, precum și elementele - puține la număr - ce pot fi preluate din literatura de specialitate.

În capitolul 3 am prezentat Planul nuclear național cu acele obiective și caracteristici (filieră, ciclu etc.) care sînt mai importante din punctul de vedere al sistemului de control.

Capitolul central al studiului - care conține și contribuțiile personale ale autorului - este capitolul 4. În acest capitol sînt analizate elementele de bază ale sistemului de control pentru filiera D_2O în vederea optimizării lor prin evaluări și extrapolări ale unor sisteme cunoscute.

Concluziile la acest studiu, incluse în capitolul 5 sînt gîndite în sensul utilizării lor concrete în viitor, pentru completarea sistemului de control actual, cu elementele necesare pentru filiera D_2O cînd va intra și aceasta în funcțiune.

Ultimul capitol cuprinde bibliografia care se referă mai mult la aspectele înrudite cu studiul nostru, deoarece pentru subiectul acestuia nu a apărut încă acea primă lucrare care să constituie punctul de plecare al bibliografiei adecvate.

Profit de ocazie pentru a aduce pe această cale mulțumiri tov.dr.ing. Ionel Purica pentru îndrumarea permanentă și atentă și pentru interesul manifestat pe parcursul elaborării acestei lucrări.

C U P R I N S

CUVINT INAINTE

I. INTRODUCERE

1.1. Sisteme de garanții și control

- internaționale (AIEA)
- regionale (EURATOM, ENEA)
- naționale

2. FILIERE NUCLEARE SI CICLURI ALE COMBUSTIBILILOR NUCLEARI

2.1. Filiere nucleare

2.2. Cicluri ale combustibililor nucleari

- 2.2.1. Etapele ciclului
- 2.2.2. funcțiile de control ale ciclului
- 2.2.3. ponderea etapelor
- 2.2.4. punctele principale de control optime
- 2.2.5. parametrii de optimizare ai controlului pe ciclu

2.3. Analize de sistem

- 2.3.1. Obiectivele tehnice ale controlului

3. PLANUL NUCLEAR NATIONAL (PNN)

3.1. Obiectivele PNN

3.2. Filiere PNN

3.3. Ciclul combustibililor nucleari în PNN

4. SISTEMUL NATIONAL OPTIM DE CONTROL PENTRU FILIERA D₂O

4.1. Evidența materialelor nucleare

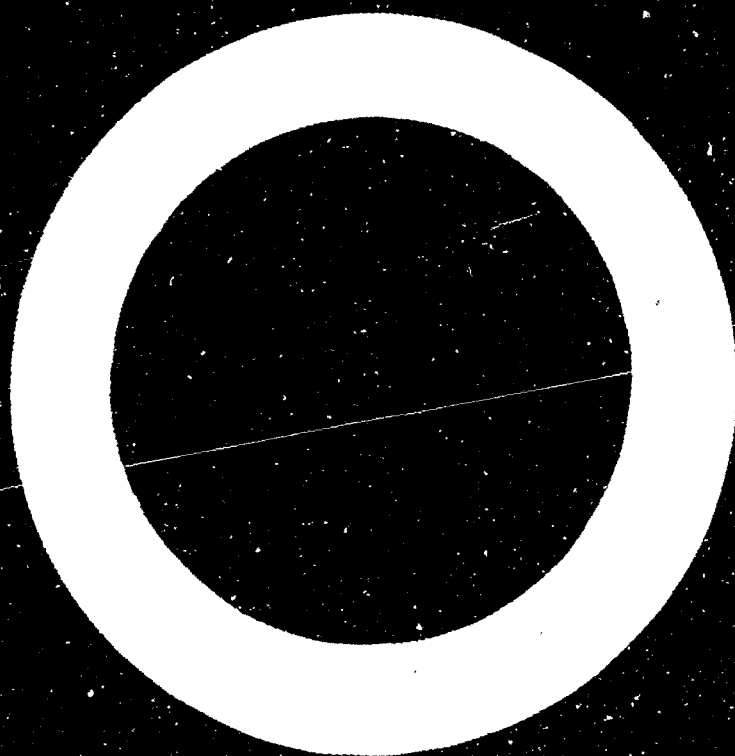
- 4.1.1. Analiza planurilor și stabilirea ZBM și KMP
- 4.1.2. Sisteme de înregistrări
 - metode de măsură pentru control
- 4.1.3. Determinarea arderii combustibilului
 - evaluarea arderii prin metoda benzilor
 - controlul prin variația reactivității
- 4.1.4. Prelucrarea matematică a datelor de garanții (MUF)
- 4.1.5. Sistemul de rapoarte
- 4.1.6. Sistemul de inspecții

4.2. Confinarea materialelor nucleare fisionabile

4.3. Supravegherea materialelor nucleare

5. CONCLUZII

6. BIBLIOGRAFIE



1. INTRODUCERE

Potențialul militar distructiv enorm al materialelor nucleare fisionabile, care stau la baza eliberării controlate a energiei nucleare, a constituit la început o frână serioasă în calea dezvoltării rapide a aplicațiilor pașnice ale acestei energii. S-a ajuns la concluzia logică că această frână nu poate fi înlăturată fără instituirea unui control riguros al cantității și utilizărilor acestor materiale, control cu atât mai necesar cu cât materialele nucleare fisionabile prezintă atât un potențial militar distructiv depășind orice a cunoscut omenirea până acum, cât și un potențial economic enorm, fiind mai scumpe decât majoritatea metalelor prețioase sau speciale și putând furniza - spre deosebire de acestea - alte valori economice prețioase ca energia calorică, electrică, sau radioizotopi, sau chiar alte materiale nucleare fisionabile.

În primii ani de dezvoltare a energiei nucleare, când aceasta era limitată doar la câteva state dezvoltate din punct de vedere nuclear, problema controlului materialelor fisionabile și a utilizărilor lor avea un pronunțat caracter național și un domeniu îngust de definire, controlul efectuându-se izolat numai la unele instalații nucleare. El constituia o problemă pur internă a puținelor state nucleare existente, sau obiectul unor acorduri bilaterale cu prevederi stricte asupra aplicațiilor și controlului în cazul că aceste materiale nucleare fisionabile erau vândute, împrumutate sau donate între două state. Abia după 1961, acest control a devenit o preocupare și a Agenției Internaționale pentru Energia Atomică, ca urmare a prevederilor, în acest sens, incluse în Statutul său (1) și materializate prin apariția primului Sistem de garanții și control al A.I.E.A. (2) și a Documentului pentru Inspectorii A.I.E.A. (3)

O dată cu dezvoltarea energiei nucleare au apărut sau au fost accentuate o serie de aspecte politice și juridice naționale și internaționale legate de preocuparea statelor de a nu permite proliferarea armelor nucleare.

În acest context, pentru a se permite dezvoltarea nesfârșită a energiei nucleare și accesul liber al oricărei țări la aceasta, a apărut Tratatul de neproliferare a armelor nucleare (4) care a fost elaborat și negociat timp de mai mulți ani, până când s-a ajuns la o formă acceptabilă, intrând în vigoare în martie 1970.

Ca o consecință directă a acestui Tratat care a fost semnat și ratificat și de țara noastră (ianuarie 1970) a fost elaborat și Acordul de garanții și control ce urmează a se încheia între fiecare stat și A.I.E.A. în vederea efectuării controlului internațional asupra utilizării materialelor nucleare fisio-nabile (5).

Acordul de garanții și control a fost elaborat de un Comitet de garanții al A.I.E.A. format din reprezentanți ai 50 state membre ale A.I.E.A., printre care și țara noastră, în decursul a 6 sesiuni de lucru, între 12 iunie 1970 și 10 martie 1971.

1.1. Sisteme de garanții și control

Organizarea Sistemului național de control constituie aspectul cel mai important al Acordului de garanții întrucât a izvorât din necesitatea de a se asigura concomitent un control național cât mai riguros și o imixtiune a controlului internațional, cât mai redusă.

Dat pînă astăzi, n-au fost încă elaborate criterii optime de organizare a unui astfel de Sistem național de control și aceasta din mai multe motive :

* A fost aprobată numerotarea tabelelor și figurilor din text
de doctorat.

T A B E L 2

Statistica energiei nucleare (la sfârșitul anului 1971) **Σ**

F I L I E R A	Nr.de centrale nuclearoelectrice	Experiența de func- ționare (ani-reactor)	Energia totală degajată (MWh)e)
BWR - PWR	51	254	125.10 ⁶
BHWR - PHWR	7	33	6.10 ⁶
GGR	36	280	210.10 ⁶
Rapizi	7	39	

a) numai după intrarea în vigoare a Tratatului de neproliferare și a Acordului de garanții, a devenit obligatorie instituirea unui astfel de Sistem.

b) Sistemele naționale de garanții apărute pînă acum aparțin fie unor state posesoare de arme nucleare la care criteriile sînt mult deosebite de cele ale statelor în curs de dezvoltare, fie unor state neposesoare de arme nucleare, dar cu o dezvoltare nucleară apreciabilă, la care de asemenea, se aplică alte criterii (Canada, India, Japonia, R.F.G.).

c) Însăși statele în curs de dezvoltare nucleară, printre care se numără și țara noastră, cunosc o foarte mare diversitate de evoluții, de perspective și de obiective pe care și le propun în cadrul programelor naționale nucleare.

Din acest punct de vedere, orice studiu al unui sistem național de control al materialelor fisionabile adecvat condițiilor de dezvoltare nucleară ale unui stat, reprezintă o problemă de cercetare, utilă atât statului respectiv cît și Agenției, care se obligă prin Acordul de garanții să țină seamă de particularitățile fiecărui sistem național, dacă acesta satisface cerințele Tratatului de neproliferare.

Ținînd seama de această situație de fapt, Agenția a luat inițiativa organizării a numeroase manifestări internaționale (simpozioane, panele, grupuri de lucru, reuniunile experților) în vederea stabilirii unor criterii generale care să ușureze activitatea statelor de organizare a propriilor sisteme de control. Această activitate nu a fost încă finalizată datorită complexității ei și nici concluziile nu au fost publicate decît pentru unele aspecte parțiale ale controlului național.

Această situație face cu atât mai dificilă sarcina noastră de determinare a unui sistem național optim.

In nici o țară dezvoltată din punct de vedere nuclear sau in curs de dezvoltare nu există un sistem național de control care să satisfacă concomitent cerințele interne și cele internaționale, dar eforturi in acest sens se fac, cu atât mai mult cu cât la 1 martie 1972, conform T.N.P, Acordul de garanții, și deci și sistemele naționale de control, trebuie să intre oficial și obligatoriu in vigoare.

In concluzie, bogată și foarte recentă literatură de specialitate in domeniul garanțiilor și controlului nu poate fi utilizată decît pentru problemele tehnico-științifice ale sistemelor de garanții (măsurători etc.) și într-o mult mai mică măsură in vederea studierii și organizării sistemelor optime de control, deoarece criteriile de organizare a acestor sisteme in funcție de condițiile particulare ale fiecărui stat nu au fost încă stabilite. Această problemă este deosebit de complexă fiind vorba de criteriilor economice, politice, tehnico-științifice și juridice și rezolvarea ei depinde in primul rînd, la scara națională, de studiile competente de stabilire a sistemului optim de control in anumite condiții specifice date, iar la scară internațională Agenția Internațională pentru Energia Atomică a programat in cursul primului semestru al anului 1972 un Simpozion cu privire la criteriile ce trebuie să stea la baza organizării sistemelor naționale de control și garanții.

2. FILIERE NUCLEARE SI CICLURI ALE COMBUSTIBILILOR **NUCLEARI**

Afară de materialele nucleare fisionabile supuse controlului și definite in Statutul Agenției (Art.XX) și in Acordul de garanții cît și de instalațiile nucleare ce folosesc astfel de

materiale ^{x)} și prin urmare sînt de asemenea, supuse controlului, amplasarea, caracteristicile și obiectivele unui sistem de control depind în cea mai mare măsură de filiera energetică nucleară adoptată și de ciclul combustibilului nuclear pe care un stat îl preconizează prin Planul său nuclear național. Mai clar, această condiție se referă de exemplu la faptul că o filieră oarecare impune ca în ciclul-acceptat prin Planul nuclear național - etapa de fabricare, înlocuind-o cu import.

2.1. Filiiere nucleare

Prin filieră nucleară se înțelege tipul caracteristic de reactor nuclear care stă la baza unui program de energetică nucleară al unui stat. În practică majoritatea statelor dezvoltate din punct de vedere al energiei nucleare au adoptat o filieră de bază, dar în paralel au și activități de cercetare și dezvoltare pentru alte filiiere care ar putea deveni competitive în viitor în condițiile tehnice, economice sau politice ale statului respectiv.

Deși s-ar putea trage concluzia că, deoarece, în fond, controlul se efectuează doar asupra materialelor nucleare fisibile, deci sistemul de control și garanții nu ar fi afectat de marea varietate de tipuri de filiiere, în realitate un sistem de control optim ține seama de toate elementele ce definesc o filieră în :

- alegerea punctelor principale de control
- alegerea metodelor de măsură

x) Prin instalații nucleare supuse controlului internațional (în cadrul Tratatului de neproliferare), deoarece utilizează materiale nucleare se numără : uzinele de concentrare, uzinele de conversie chimică, uzinele de fabricare, uzinele de retratare, uzinele de îmbogățire, (sau separare izotopică), reactorii nucleari de toate tipurile, ansamblurile critice sau subcritice, bucle de reactori, instalații de depozitare sau prelucrare a deșeurilor de materiale nucleare fisibile, precum și instalațiile de transport al acestor materiale.

- stabilirea tipului optim de confinare și supraveghere.

Din această cauză studiile de sisteme optime de control se referă la filiere concrete sau la combinații ale acestora în cazul adoptării mai multor filiere.

2.2. Cicluri ale combustibililor nucleari

În cursul dezvoltării energeticii nucleare și a industriei conexe s-a observat că diversele etape pe care le parcurg materialele nucleare fisionabile de la extragerea lor din mine, până la consumarea în reactori și retratarea în vederea recuperării materialelor fisionabile rămase sau acumulate, formează un ciclu complex cu o puternică interdependență între etape.

S-a stabilit atât teoretic, prin calcule statistice, cât și practic prin măsurători de rutină, că precizia controlului și credibilitatea sa cresc considerabil când acesta este efectuat pe mai multe etape pe care le parcurge materialul fisionabil.

Controlul pe întregul ciclu al materialelor nucleare fisionabile mai are și avantajul de a fi mai simplu decât controlul izolat al unor instalații nucleare sau al unor etape, deoarece rezultatele finale ale controlului unei etape a ciclului sînt folosite ca date inițiale ale controlului în etapa care urmează în ciclu.

2.2.1. Etapele ciclului combustibililor nucleari

Înainte de a defini și a explica funcțiile de control ale ciclului, este necesară descrierea etapelor ciclului combustibilului nuclear. Deși acestea prezintă diferențe în funcție de tipul de combustibil și de filiera adoptată, se poate considera ca acceptabilă următoarea schemă generală a etapelor ciclului combustibilului nuclear (vezi fig.1).

- e.1. etapa mine - minereuri
- e.2. etapa instalații de concentrare
- e.3. etapa uzine de conversie (transformare chimică)
- e.4. etapa uzine de fabricare a combustibilului nuclear
- e.5. etapa de îmbogățire sau separare izotopică
- e.6. etapa reactorilor nucleari
- e.7. etapa depozite de combustibil proaspăt
- e.8. etapa depozite de combustibil consumat
- e.9. etapa de retratare și separare chimică
- e.10. etapa de cercetare, dezvoltare
- e.11. etapa de transfer
- e.12. etapa de depozite de deșeuri.

Conform Acordului general de garanții și control stabilit prin tratative între statele membre ale Agenției și Agenție, dintre etapele enumerate mai sus, nu sînt supuse controlului internațional, din motive de securitate națională și păstrarea secretului producției naționale, etapele e.1. mine-minereuri, e.2. instalații de concentrare pînă la un anumit procent, precum și etapele de transferuri interne între diverse instalații și uzine.

Din punctul de vedere al sistemului național de control, toate etapele enumerate mai sus sînt luate însă în evidență și control.

2.2.2. Funcțiile de control ale ciclului combustibilului nuclear

Funcțiile de control ale unui ciclu al combustibilului nuclear au deocamdată un caracter calitativ dar se fac eforturi în vederea stabilirii aspectelor lor cantitative care ar putea permite matematizarea și deci computerizarea sistemului de control.

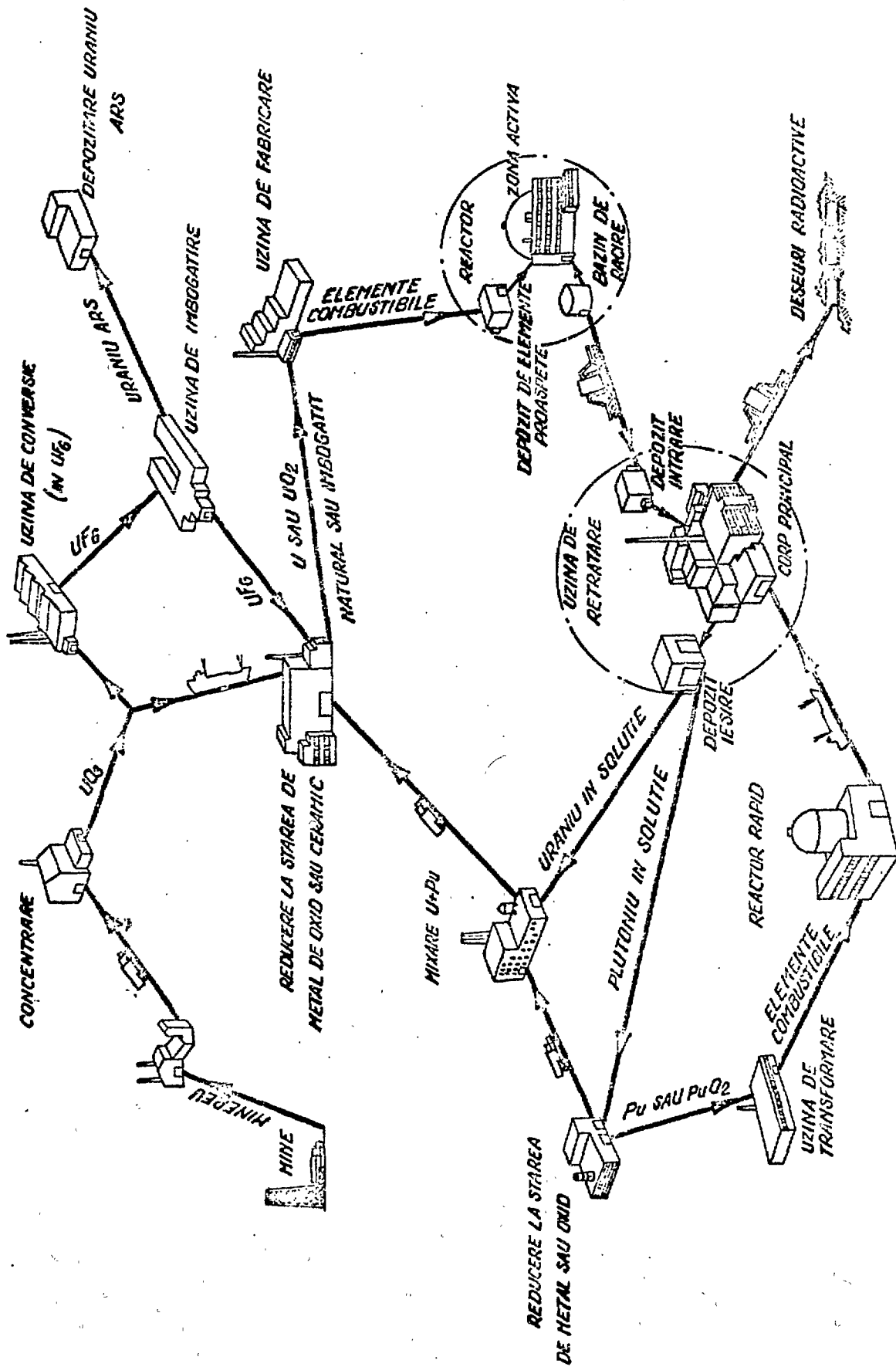


Fig. 1 CICLUL COMBUSTIBILULUI

Aceste funcții de control sînt :

- c.1. accesibilitatea
- c.2. valoarea strategică
- c.3. timpul critic

Pe lîngă aceste funcții, în ultimul timp a mai fost introdusă și funcția "Probabilitatea de deturnare P_D " care permite o mai completă abordare cantitativă a problemei controlului.

Toate aceste funcții de control depind în mare măsură de tipul de combustibil, de filiera adoptată și mai ales de etapele ciclului combustibilului nuclear (vezi fig.1).

În funcție de etapele ciclului combustibilului nuclear prezentate mai sus, funcțiile de control ale ciclului iau diverse valori, importante pentru evaluarea sistemului național de control.

Astfel, accesibilitatea la materialele nucleare este mai mică în diverse etape de prelucrare și fabricare, sau cînd materialele sînt radioactive și mai mare în etapele de transport, cînd prezentarea lor compactă în containere, mărește posibilitățile de deturnare (vezi fig.6).

Valoarea strategică a materialelor nucleare crește continuu de la etapa de minereuri pînă la cea de retratare după utilizarea în reactori. Atît în timpul utilizării în reactor, cînd se acumulează plutoniu, cît și în etapa de separare izotopică (îmbogățire), valoarea strategică a materialelor nucleare crește brusc (vezi fig.6 și tabelul 3).

Timpul critic al materialelor nucleare, adică timpul minim după care un material nuclear ce a fost deturnat poate fi utilizat în scopuri nepașnice are o evoluție invers proporțională cu valoarea strategică, în sensul scăderii acestui timp o dată cu creșterea valorii strategice (vezi fig.6 și tabelul 3).

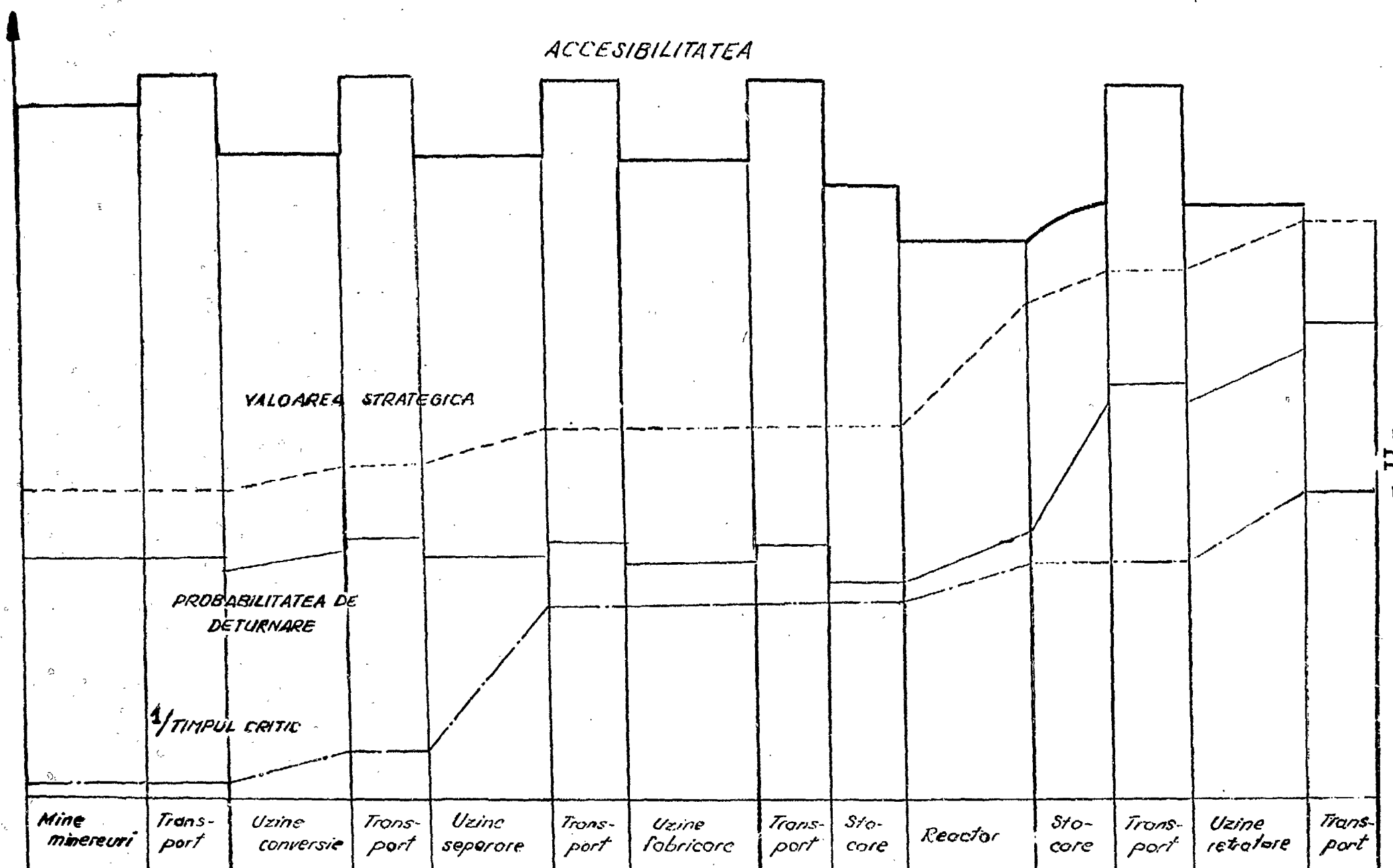


Fig.6: FUNCTIILE DE CONTROL ALE CICLULUI COMBUSTIBILULUI NUCLEAR

VALORI STRATEGICE SI TIMPURI CRITICE PENTRU
MATERIALELE NUCLEARE FISIONABILE SUPUSE CONTROLULUI

Materialul nuclear	Valoarea strategică (kg.ef.)	Timbul critic (zile)
Plutoniu - 239	2	10
Uranu cu îmbogățire mică	5 (U-235)	30
Uranu cu îmbogățire mare	5 (U-235)	10
Uranu - 233	2	10
Uranu natural	> 1 tonă	> 30
Toriu	> 1 tonă	> 30

T A B E L 4

Distributia materialelor nucleare fisionabile in etapele
ciclului combustibilului nuclear (Procente ale kg.ef.din total)

A N U L	1970	1972	1974	1976	1978	1980
Uzine de conversie	10,2	10,9	7,9	7,1	5,5	4,3
Uzine de fabricare	10,2	10,9	7,9	7,1	5,5	4,3
Reactori (si bazine de "racire")	19,1	18	17,6	15,1	14,8	12,5
Uzine de retratare	16,0	16,3	20,1	18,4	17,3	17,7
Plutoniu acumulat	0	20,9	31,8	42,6	49,4	55,5
Instalatii de cerce- tare si dezvoltare	44,4	22,9	14,8	9,7	7,5	5,7

Table 1: 5

NUMARUL SI AMPLASAREA OPTIMA A PUNCTELOR PRINCIPALE DE MASURA
IN ETAPELE CICLULUI COMBUSTIBILULUI NUCLEAR

Etapele ciclului	conversie	îmbogățire	fabricare	reactori	retra- tare	Acumula- re Pu	Acumula- re deșeu
Numer de KMP	5	3	5	2	7	1	1
Numer de IKMP	5	3	5	3	7	1	1
Amplasare KMP	1. Stocare UF ₆ 2. Intrare UF ₆ in proces 3. Ieșire produs 4. Stocare produs 5. Stocare deșeuri	1* 2* 3*	1.Stocare produs 2.Intrare produs 3.Asamblare finală 4.Stocare produs 5.Stocare rebu- turi	1.Stocare comb. proaspăt 2.Stocare comb. consumat	1.Stocare comb. consum. 2.Intrare comb.cons. în proces retratate 3.Măsurăt. analit. 4.Transfer deșeuri 5.Produs final Pu 6.Produs final U 7.Ieșire final deșeuri Idem dar nu- mai cu ocazia reviziei gene- rale a insta- lației	1.Stocare Pu depoz.	Depoz. deșeu
Amplasare IKMP	idem	idem	Idem,dar numai cu ocazia revi- ziei generale a instalației *1.Intrare *2.Ieșire *3.Deșeuri	1-2 idem 3.zona activă			

2.2.4. Punctele principale de control optime în etapele ciclului

O lucrare prezentată la cea de a 4-a Conferință de la Geneva (sept.1971) de experții Agenției în probleme de garanții și control (16) și care este deosebit de utilă pentru studiul nostru, conține concluziile acestor experți referitoare la numărul și amplasarea optimă a punctelor principale de măsură pentru controlul materialelor nucleare în fiecare etapă a ciclului combustibilului nuclear (KMP-Key measurement points; numite și puncte cheie sau puncte strategice de control). Aceste puncte se referă atât la controlul fluxului materialelor nucleare (KMP) cât și la controlul sau verificarea inventarelor (IKMP). În lucrarea citată sînt prezentate și metodele optime de măsură și de verificare a inventarelor la fiecare etapă a ciclului și în fiecare punct.

Vom prezenta în rezumat, sub formă de tabel (vezi tabel 6 concluziile care ne interesează pentru propriul nostru sistem de control). În fig.11 sînt prezentate schematic, amplasamentele acestor KMP în diversele etape ale ciclului, numerotarea lor avînd aceeași semnificație ca și cea indicată la tabelul 5.

2.2.5. Parametrii de optimizare a controlului pe ciclu

În sfîrșit, un ultim capitol în studiul ciclului combustibililor nucleari din punctul de vedere al optimizării controlului îl constituie stabilirea acelor parametri comuni tuturor etapelor ciclului, care permit realizarea optimizării controlului pe ciclu.

Acești parametri studiați în detaliu în lucrarea (17)

sînt :

1. datele de funcționare a instalațiilor nucleare ("biografia materialelor nucleare") ;

2. datele de reorganizare a fluxului de producție

3. corelațiile izotopice

4. corelațiile S/R (furnizor/beneficiar)

Avantajul major al acestor parametri îl constituie faptul că permit o reducere a efortului de control (material și uman) fără o reducere corespunzătoare a preciziei și deci a credibilității sistemului de control.

2.3.1. Obiectivele tehnice ale controlului

Importanța care se acordă aspectelor tehnice ale controlului materialelor fisibile rezultă pe de o parte din importanța excepțională a însăși materialelor respective și a utilizării lor, iar pe de altă parte din faptul că doar aspectele tehnice sînt cele care asigură obținerea unei precizii și a unei credibilități^{x)} corespunzătoare a controlului. De asemenea, tot aspectele tehnice sînt cele care permit optimizarea raportului cost/eficacitate, adică o optimizare tehnico-economică.

În esență, obiectivul tehnic al controlului materialelor nucleare și al instalațiilor nucleare ce le utilizează îl constituie stabilirea și verificarea celor trei mărimi importante care caracterizează materialele nucleare din punctul de vedere al controlului :

- calitatea (compoziția sau identitatea)
- cantitatea (efectivă)
- amplasarea (utilizarea)

Obiectul tehnic al controlului poate fi realizat optim prin aplicarea simultană a trei măsuri tehnice : (fig.8)

- A - evidența materialelor nucleare ;
- B - confinarea materialelor și instalațiilor nucleare ;
- C - supravegherea materialelor și instalațiilor nucleare.

x) Înțelegînd prin neologismul credibilitate, gradul de încredere care se poate acorda oficial unui sistem de control în funcție de anumite criterii

Aceste trei măsuri reprezintă structura macroscopică optimă a unui sistem de control în general, în timp ce structura lor fină (microscopică) permite particularizarea unui sistem de control în funcție de obiectivele sale concrete.

Metoda optimă de realizare a evidenței materialelor nucleare constă din utilizarea a patru sisteme tehnice de control a căror structură macroscopică este următoarea :

- a) analiza planurilor instalațiilor ;
- b) sistem de înregistrări ;
- c) sistem de rapoarte ;
- d) sistem de inspecții.

Ca și în cazul măsurilor de control, care au și o structură fină, ce permite particularizarea și optimizarea controlului, în cazul sistemelor tehnice de control există, de asemenea, o structură fină care, în linii generale, se referă la :

- zonele optime de efectuare a bilanțului material și a inventatorilor ;
- punctele principale de măsură ;
- posibilitățile de confinare și supraveghere.

Confinarea materialelor sau a instalațiilor nucleare se referă la posibilitatea de a îngreui sau îngreui accesul la acestea în vederea asigurării mai ușoare și mai eficiente atât a integrității fizice a materialelor nucleare cât și a controlului lor. Trebuie subliniat că, alături de supraveghere, este metoda cea mai veche de asigurare a unui material.

Supravegherea sau monitorarea permite obținerea de informații asupra situației materialelor nucleare, independent de celelalte două modalități și se bazează pe măsurători aleatoare (prin sondaj) sau continue sau declanșate de anumite tipuri de radiații. Metoda cea mai modernă este cea a televiziunii în circuit închis în care un singur inspector poate supraveghea pe mai

Fig. 8 EFICACITATEA SISTEMULUI DE CONTROL
SI DESTINATIA COMPONENTELOR SALE

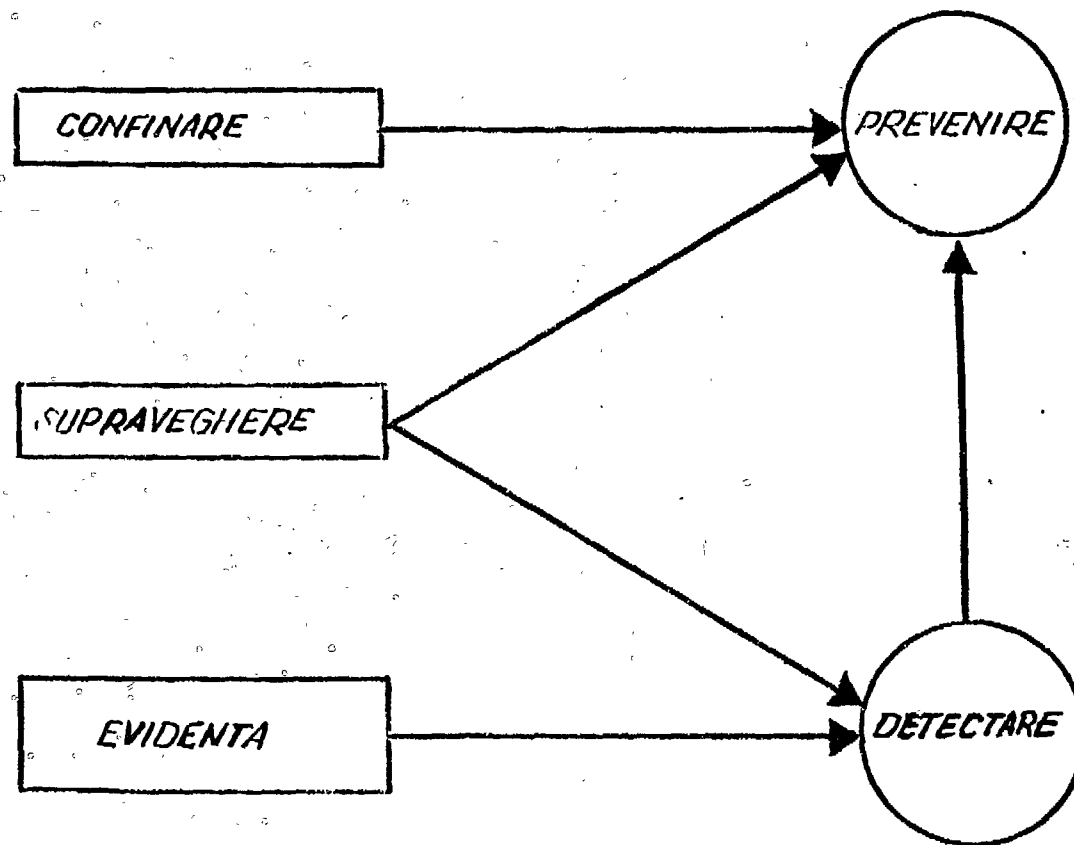
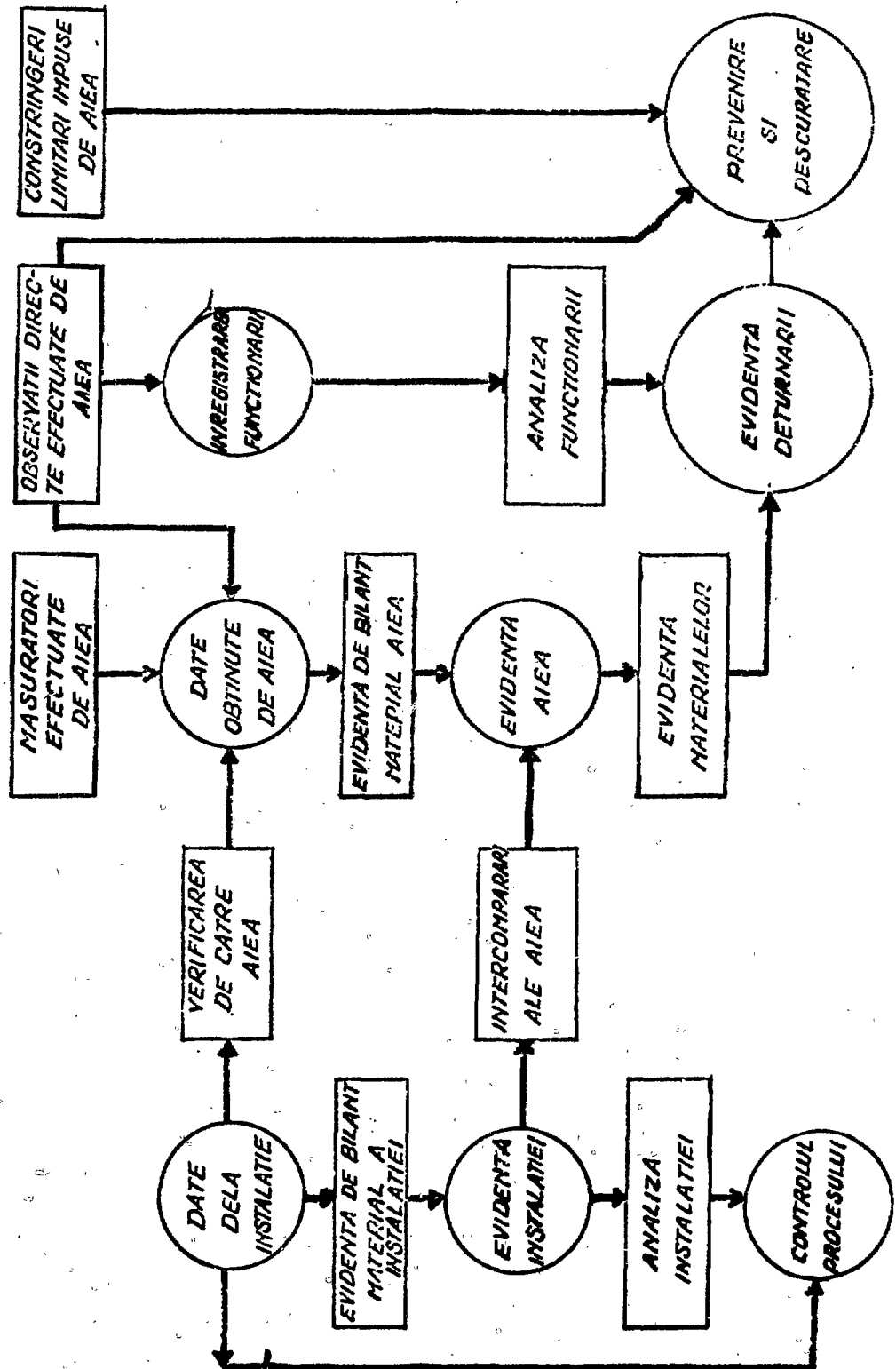


Fig.9 ACTIUNI DE CONTROL SI REZULTATELE LOR



multe ecrane zonele cele mai importante ale instalațiilor ^{x)}. Acest sistem poate fi cuplat cu un sistem de imprimare foto sau pe bandă magnetică, fie cu declanșare la un tip dat de radiații, fie cu funcționare aleatoare, în care caz trebuie completată cu o analiză statistică. El cade de asemenea, în sarcina exclusivă a organelor locale, dar poate fi combinat cu controlul internațional.

3. PLANUL NUCLEAR NATIONAL

Așa cum am mai arătat, principalul instrument în dezvoltarea energetică a unui stat, în alegerea filierei și a ciclului adecvat al combustibililor nucleari și în stabilirea obiectivelor în această direcție, îl constituie Planul nuclear național. Chiar dacă în cazul unor state acest instrument poartă alte denumiri, în esență el are aceleași caracteristici.

3.1. Obiectivele Planului nuclear național (PNN)

Principalele obiective ale P.N.N. sînt :

- industrializarea energiei nucleare prin instalarea pînă în anul 1980 a unei puteri de cca 1000 MWe (cca 1% din puterea totală instalată) în centrale nucleare electrice și crearea, în paralel, a unor industrii conexe ;
- promovarea unor cercetări de bază pentru susținerea Programului și
- introducerea tehnicilor nucleare într-un cît mai mare număr de sectoare economice și științifice.

În prima etapă de realizare a acestor obiective a fost încheiat la 26 mai 1970, acordul de cooperare dintre R.S. România și U.R.S.S. în ceea ce privește construirea în România a unei centrale nucleare electrice de 440 MWe.

x) La uzina de retratare West Valley s-a stabilit că ar fi suficiente 18 televizoare (ecrane) care ar costa 58000 dolari.

Se preconizează ca pînă în anul 2000 ponderea energiei nucleare să tindă spre 50%.

3.2. Filiere P.N.N.

Studiile efectuate de experții români în problemele energiei nucleare arată că (21) pe lîngă filiera cu H_2O , construită cu ajutorul U.R.S.S. și care necesită uraniu ușor îmbogățit, pentru condițiile țării noastre prezintă interese și filiera cu D_2O și uraniu natural deoarece permite utilizarea optimă a uraniului propriu precum și preluarea în condiții avantajoase și cu cotă parte mărită, de către industria proprie, a tehnologiilor de fabricație a echipamentelor, combustibilului și materialelor nucleare speciale ; ea asigură, de asemenea, acumularea de plutoniu (în proporție mai mare decît filiera cu H_2O) necesar pentru programul de perspectivă, legat de trecerea în viitor și la filiera cu reactori rapizi reproducători.

3.3. Ciclurile combustibililor nucleari în P.N.N.

În condițiile existenței a două filiere paralele (H_2O și D_2O) Planul nuclear național prevede existența a două cicluri ale combustibililor nucleari.

- Ciclul filierei cu apă ușoară, în care lipsește etapa de îmbogățire și de fabricare a elementelor îmbogățite ; o uzină de îmbogățire reprezintă o investiție deosebit de mare care ar scumpi în mare măsură prețul de cost al energiei electrice produse, de aceea ea va fi înlocuită prin import de elemente îmbogățite, gata fabricate, care de asemenea, nu reprezintă un optim din punct de vedere economic ;

- Ciclul filierei cu apă grea în care etapa uzinei de îmbogățire nu este necesară iar etapa uzinei de fabricare se poate realiza în țara noastră.

Fiecare din aceste cicluri impun adoptarea de sisteme de control și garanții diferite pentru a putea fi optime separat,

datorită caracteristicilor lor diferite, în timp ce realizarea unui sistem național optim pentru ambele filiere ca și pentru cele în perspectivă constituie o problemă aparte, care va deveni actuală în viitorul mai depărtat.

În ceea ce privește filiera D_2O , studiile asupra sistemului de control sînt, de asemenea, puține și nu se referă la întreg ciclul combustibililor nucleari ci doar la etapa de reactori (7), (23) - (26).

4. SISTEMUL NATIONAL OPTIM DE CONTROL PENTRU FILIERA D_2O

După ce am analizat condițiile istorice, politice, juridice și tehnico-economice ce stau la baza necesității organizării sistemelor naționale de control al materialelor nucleare fisibile vom trece acum la analiza aceluiași condiții pentru realizarea acestui important organism de control în țara noastră în cazul uneia din filierele preconizate în Programul nuclear național : filiera cu apă grea.

Această filieră are o serie de particularități ce se resfrîng și asupra sistemului de control și garanții :

- funcționează cu uraniu natural, deci controlul combustibilului proaspăt ce intră în reactor nu necesită o rigurozitate prea mare ;
- produce plutoniu în cantități mai mari decît alte filiere, deci necesită un control mai riguros al ieșirilor de combustibil ars ;
- în cazul nereciclării plutoniului produs, combustibilul ars este stocat tot la centrală; în cazul reciclării (uzual la filierele cu combustibil îmbogățit) combustibilul ars este trimis imediat la uzinele de retratare, pentru recuperare, fie a uraniului îmbogățit (mai slab decît cel inițial), fie al plutoniului produs ;

- filierele cu încărcare-descărcare continuă a combustibilului necesită un sistem adecvat de sigilii și de înmagazinare a informațiilor asupra încărcării, la care inspectorii au acces periodic ;

- încărcarea continuă permite o ardere mult mai uniformă a combustibilului, iar combustibilul consumat are o îmbogățire mai mică decât cea a uraniului natural, deci o valoare strategică foarte scăzută ;

- pentru controlul funcționării reactorului se folosesc bare booster din uraniu puternic îmbogățit sau din plutoniu, care au o valoare strategică mare pentru sistemul de garanții ;

- distribuția axială a fluxului de neutroni, și în anumite cazuri și cea radială, pot fi considerate suficient de uniforme (aplatizate) pentru a nu mai fi necesar a fi luate în considerare în calcule de ardere a combustibilului. Când este necesară o precizie mai mare, se consideră distribuția axială ca fiind consinusoidală cu lungimea barelor, iar cea radială se măsoară automat cu instalația de încărcare.

În acest scop, vom analiza cele 3 măsuri de garanții și control care asigură, din punctul de vedere al A.I.E.A. realizarea controlului materialelor fisionabile. Aceste 3 măsuri de garanții constituie structura macroscopică a sistemului de control pe care o considerăm optimizată prin studiile Agenției.

O reducere a acestor măsuri nu ar mai permite realizarea în condiții optime a controlului - după cum atestă studiile făcute de experții Agenției, iar o extindere a acestor măsuri ar înădări, fără îndoială, credibilitatea și rigurozitatea controlului dar nu ar mai asigura optima din punct de vedere economic.

Cele 3 măsuri de garanții și control ale sistemului studiat sînt (vezi și 2.3.1.) :

A - Evidența materialelor nucleare fisionabile

B - Confinarea (sau anveloparea)

C - Supravegherea

4.1. Evidența materialelor nucleare fisibile

Această evidență a materialelor supuse controlului de garanții se realizează optim prin 4 sisteme tehnice de control a căror structură fină optimă urmează a fi stabilit în studiul nostru în funcțiune de caracteristicile P.N.N.

Cele 4 sisteme tehnice de control pe care le reamintim în vederea analizei optimizării lor, sînt (vezi și 2.3.1.) :

- a) analiza planurilor instalațiilor ;
- b) sistemul de înregistrări ;
- c) sistemul de rapoarte ;
- d) sistemul de inspecții.

4.1.1. Analiza planurilor instalațiilor

Structura fină a acestui element important în crearea și asigurarea condițiilor optime pentru efectuarea controlului constă în principal din stabilirea :

- zonelor optime de bilanț materiale (ZBM) ;
- punctelor optime de măsură (KMP) ;
- posibilităților de confinare și supraveghere ;
- aparaturii și instalațiilor necesare controlului și a amplasării lor.

Stabilirea zonelor optime de bilanț material are la bază criteriile :

- respectarea unității teritoriale (nu vor fi incluse în aceeași zonă instalațiile depărtate între care au loc numeroase transferuri etc.) ;
- respectarea unității procesului fizic sau chimic prin care trec materialele nucleare.

Punctele optime de măsură și control se determină o dată

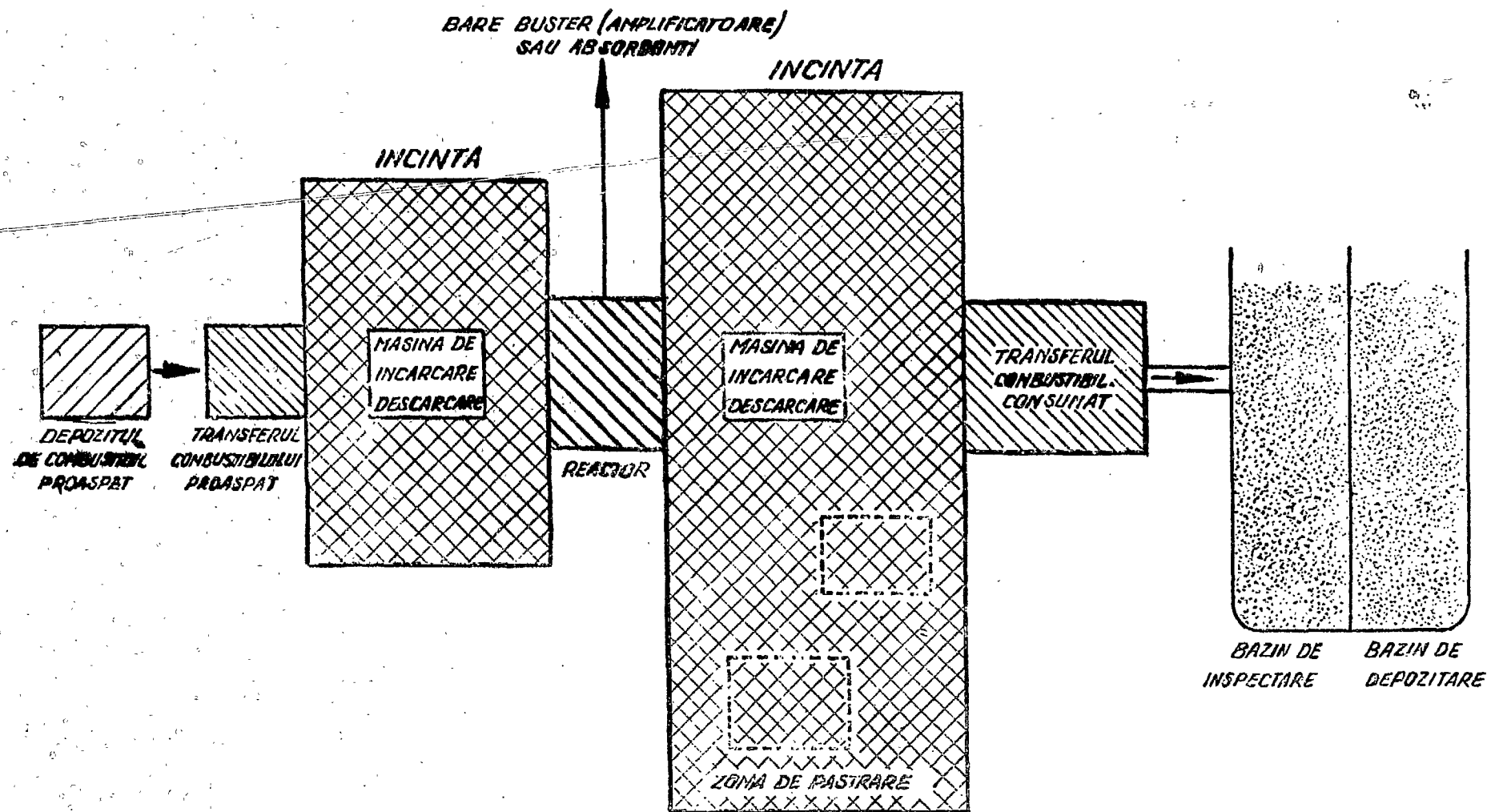


Fig.10 CIRCUITUL COMBUSTIBILULUI INTR-O CENTRALA
NUCLEARO - ELECTRICA DE TIP CANDU

cu proiectarea instalației ce va folosi materiale nucleare pe baza fluxului de producție astfel ca cel puțin punctele de intrare și de ieșire din procesul de producție să fie controlate. Pe parcurs se pot crea n puncte de control, unde n numărul de etape principale ale procesului. Stabilirea punctelor de măsură și control este unul din elemente esențiale ale optimizării unui sistem de control deoarece de ele depinde alegerea materialelor optime de măsură, frecvența măsurărilor, erorile, costul, și în ultimă instanță, eficacitatea tehnico-economică a sistemului.

În timp ce punctele principale de măsură optime în etapele de conversie, fabricare și retratare la filiera D_2O sînt identice cu cele de la alte filiere și în particular cu filiera H_2O , la etapa de reactor, filiera D_2O are avantajul unic de a permite controlul într-un singur punct principal de măsură : la ieșirea din reactor. Punctul de la intrare este identic cu cel de la ieșirea din uzina de fabricație. Acest fapt este valabil și la filiera H_2O , dar în timp ce la această filieră elementele sînt de uraniu îmbogățit care necesită măsurători pentru control atât la ieșirea uzinei de fabricație cît și la intrarea în reactor pentru a fi intercomparate, la filiera D_2O , utilizarea elementelor de uraniu natural nu mai impune intercomparare și deci nici măsurători pentru control la punctul principal de intrare în reactor.

În viitorul apropiat se preconizează chiar ca acest unic punct principal de măsură să fie amplasat la instalația de încărcare/descărcare automată cu combustibil a reactorului, în care caz punctul unic de control va include atât intrarea cît și ieșirea de combustibil, care la alte filiere reprezintă două puncte principale de măsură obligatorii.

În fig.11 sînt prezentate punctele principale de măsură în fiecare etapă a ciclului pentru filiera H_2O (16). Prin linii punctate au fost delimitate zonele de bilanț material.

În fig.12 sînt prezentate aceleași elemente în cazul filierii D_2O studiată în prezenta lucrare. După cum se observă în filiera D_2O nu apar două etape importante : uzina de îmbogățire și uzina de fabricare a elementelor de Pu.

Posibilitățile optime de confinare, prin crearea de bariere fizice, treceri obligate, controale de poartă etc. și de supraveghere, prin includerea în proiectul instalației a aparaturii în acest scop, se stabilesc tot cu ocazia analizei planurilor instalațiilor, înainte de construirea acestora.

4.1.2. Sistemul de înregistrări

În cele ce urmează ne vom referi doar la înregistrările pentru evidență tehnică, bazate pe măsurători A) și pe calcule B) (ale cantității, calității și amplasării materialelor nucleare) și ale căror date reprezintă materia primă pentru înregistrările de evidență contabilă. Amintim totuși tendința de a realiza o evidență contabilă computerizată prin introducerea automată a datelor măsurătorilor în computere proiectați și programați în acest sens. Această tendință conduce și ea la optimizări evidente cînd este vorba de sisteme de control complexe, cu cicluri numeroase și cantități mari de materiale supuse controlului.

Pentru a stabili care sînt metodele optime de măsură pentru controlul diverselor etape ale ciclului combustibililor nucleari pentru filiera D_2O vom prezenta în prealabil, pe scurt toate metodele ce pot fi utilizate pentru măsurători în scopul controlului materialelor nucleare fisibile.

A. Metode de măsură folosite în sistemul de control și garanții

În vederea stabilirii unei evidențe a materialelor nucleare cît mai corecte, atît înregistrările, care țin de sistemul național de control, cît și inspecțiile, care țin de sistemul in-

Fig. - 11 -

STRUCTURA OPTIMA A CICLULUI COMBUSTIBILULUI NUCLEAR
PENTRU FILIERA LWR (PREVAZUTA CU RECICLAREA Pu) (16)

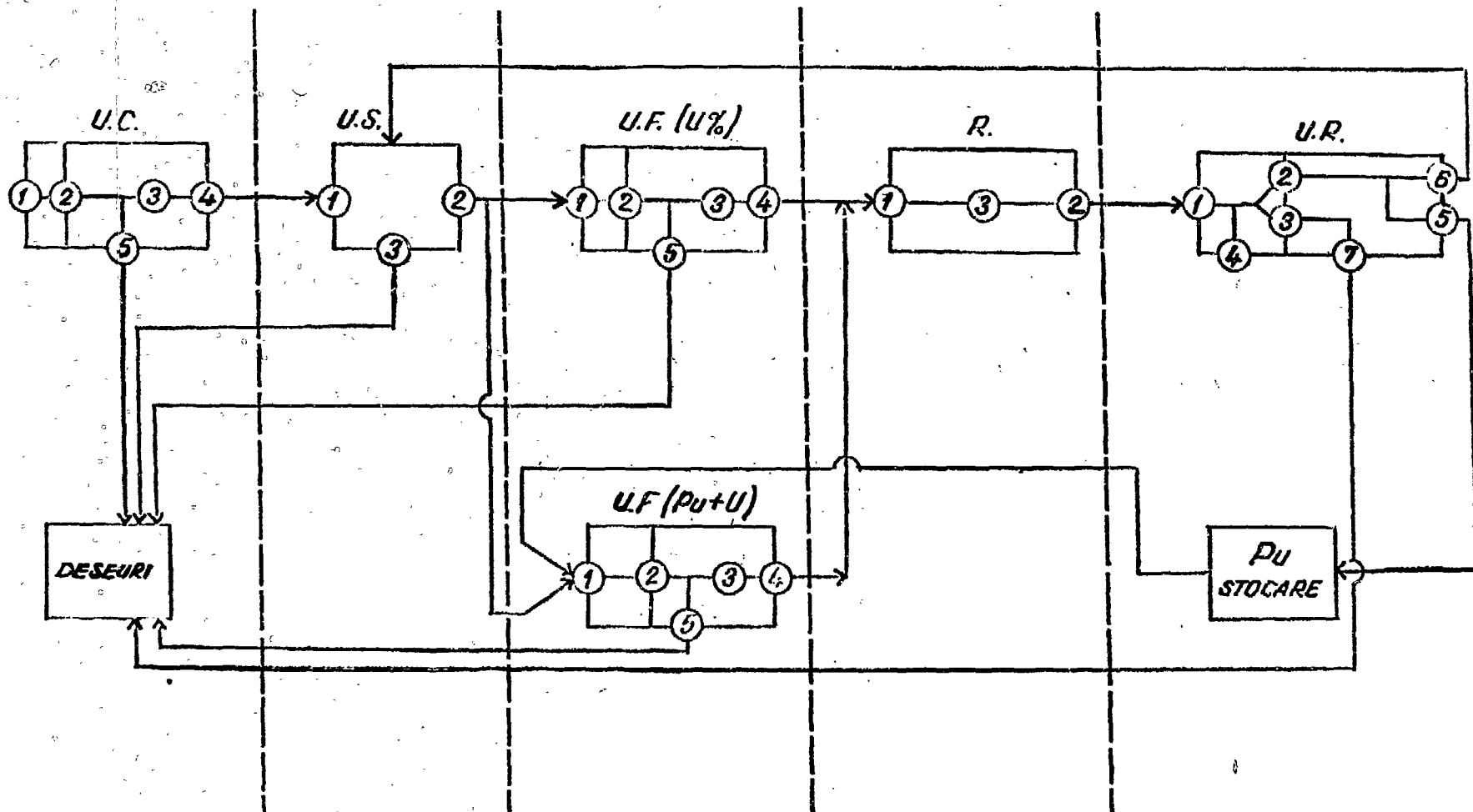
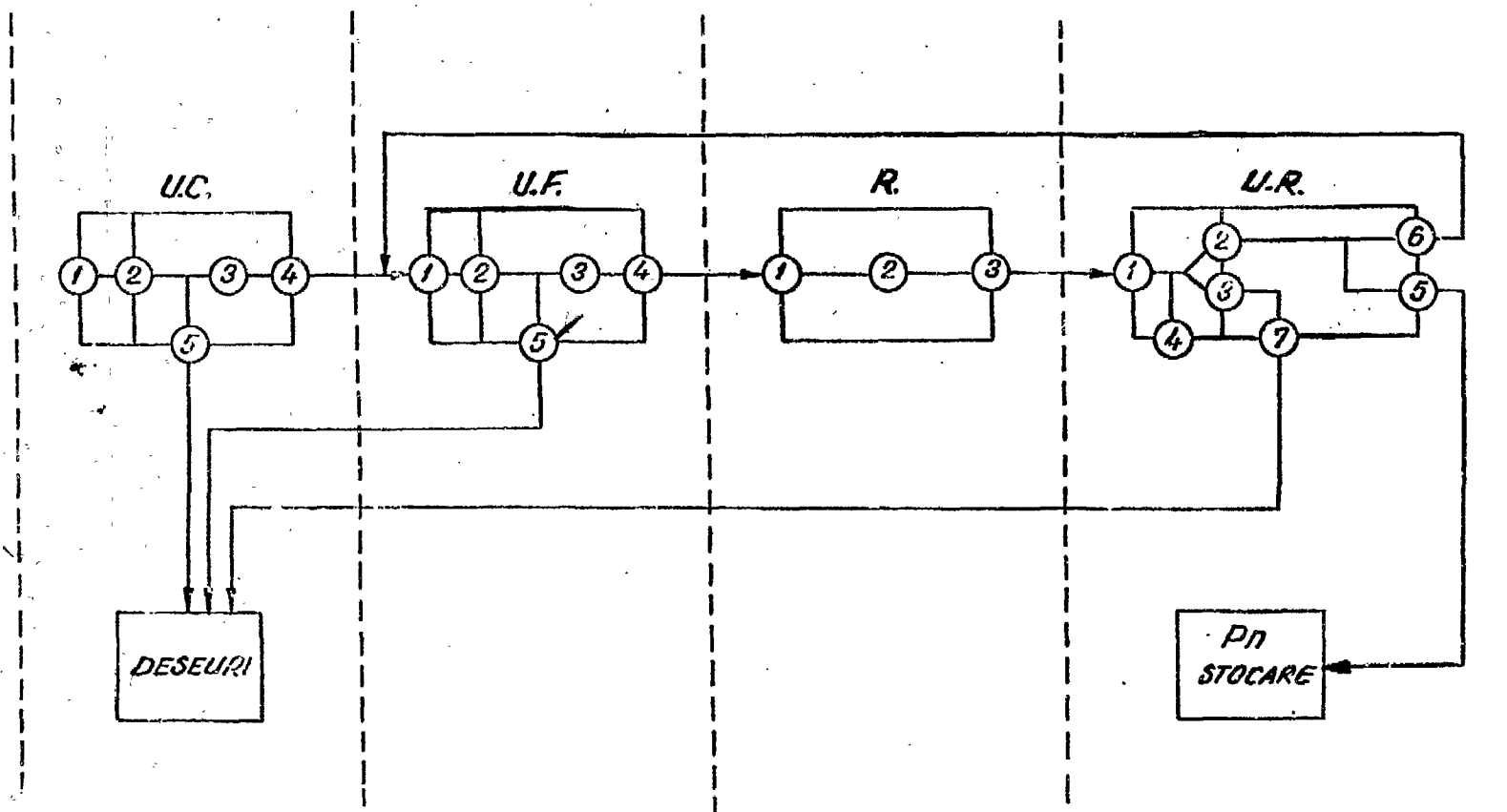


Fig.- 12 -
STRUCTURA OPTIMA A CICLULUI COMBUSTIBILULUI
NUCLEAR PENTRU FILIEREA HWR



.... Z.B.M. (Zone de bilanț material)

ternațional de control fac apel la un sistem de măsurători adecvat și diferențiat după etapele ciclului combustibililor nucleari (27).

Pentru realizarea unui control de garanții cât mai eficace este necesar ca dintre numeroase metode de măsură folosite în fizica și tehnica nucleară, să fie reținute pentru sistemul de garanții numai acelea care îndeplinesc următoarele condiții :

1. să fie nefalsificabile sau rezistente la falsificare;
2. să fie independente de erori sistematice;
3. să permită discriminarea în U, Pu, alte elemente active și inactive ;
4. să poată fi efectuate în timp scurt ;
5. să aibe precizia foarte mare ;
6. să fie independente de aparatura operatorilor și a instalațiilor, adică să nu interfereze cu funcționarea instalațiilor ;
7. să fie simple, ușor de automatizat și să permită realizarea de aparatură portabilă ;
8. Să fie economice ;
9. să nu necesite personal cu înaltă calificare ;
10. să nu perturbe funcționarea instalațiilor nucleare.

Măsurătorile alese pentru realizarea controlului trebuie să permită :

- stabilirea precisă a compoziției izotopice a materialului nuclear și a cantității sale ;
- identificarea materialului nuclear, deosebindu-l de alte substanțe cu proprietăți radioactive asemănătoare.

În funcție de principiul de realizare a acestor măsurători metodele respective se împart în 2 mari grupe (28).

- metode distructive, bazate pe analiza în laborator a unor porțiuni din materialele supuse controlului ;
- metode nedistructive, bazate pe analiza materialelor a căror integritate este respectată.

La rîndul lor, metodele nedistructive se impart în :

- metode pasive, bazate pe analiza radiațiilor emise direct de către materialele supuse controlului, adică analiza radioactivității lor naturale și

- metode active, bazate pe iradierii ale materialelor analizate, cu ajutorul unor surse separate și analiza răspunsului materialelor la aceste iradierii sau cu alte cuvinte, analiza radioactivității induse în aceste materiale prin iradierii adecvate

Dintre metodele distructive, au fost reținute pentru controlul materialelor nucleare fisibile :

- spectrometria de masă (a unor izotopi radioactivi sau chiar a unora stabili) ; (o,5)

- analizele chimice și radiochimice, deoarece acestea se bucură de o mare precizie ($\approx 0,1\%$) în majoritatea cazurilor ;

- analize prin metodele rezonanței nucleare (29), (30).

Ca metode nedistructive au fost reținute :

a. pasive

- măsurarea neutronilor (neutronometrie) (fisiuni spontane) ;

- măsurarea radiațiilor gamma (spectrometrie gamma) ;

- măsurarea radiațiilor X caracteristice ;

- măsurarea radiațiilor alfa (spectrometrie alfa) ;

- măsurarea efectului caloric (calorimetrie) ;

- măsurarea puterii reactorului ;

- autoradiografii.

b. active

- metode neutronice ;

- detecția neutronilor prompti

- detecția neutronilor întârziati (spectrometrie cu timp de încetinire) ;

- transmisia neutronilor ;

- activare cu radiații gamma
- scanningul "gamma"
- reacții (γ , n) și fotofisiuni
- analiza izotopilor stabili (prin spectrometrie de masă) sau prin activare n sau γ);
- analiza cu raze X ;
- cu fluorescență de raze X etc.
- variații de reactivitate.

Toate aceste metode de măsură, care au fost descoperite și puse la punct inițial în alte scopuri ale fizicii nucleare experimentale, trebuiesc acum adaptate la condițiile mai mult restrictive (din punct de vedere al preciziei) impuse de controlul de garanții.

Analizând aceste numeroase metode de măsură în funcție de caracteristicile filierei D₂O tragem următoarele concluzii importante :

- Metodele distructive de analiză se pot aplica în mod natural la etapele de conversie, fabricare și retratare, permițând obținerea unor precizii mari ($\sim 0,1\%$); ele pot fi în principiu automatizate, deși până acum nu s-au obținut rezultatele finale concludente în această direcție datorită unor dificultăți interne ; principalul lor dezavantaj îl constituie costul mai ridicat (decît la unele metode nedistructive) și mai ales duratele mari necesare acestor analize. Aceste dezavantaje pot fi înlăturate prin combinarea analizelor pentru control cu analizele inerente procesului de producție (controlul calității etc.).
- Metodele nedistructive se pot automatiza fără mari dificultăți, la un cost nu prea ridicat, dar precizia lor este cu un ordin de mărime mai mică decît la metodele distructive (1-5%). O mențiune specială, din punctul de vedere al optimizării, trebuie acordată laboratoarelor ce efectuează aceste măsurători.

Dacă se organizează un singur laborator central de analize pentru garanții pe toate etapele ciclului investițiilor vor fi mai mici; dotarea cu aparatură de mare precizie și cu personal cu înaltă calificare nu ridică probleme. În schimb apar probleme dificile legate de transportul materialelor nucleare (din care majoritatea puternic radioactive) de la fiecare instalație la laboratorul central (situate de obicei la sute de km). Varianta opusă, de a înzestra fiecare instalație nucleară cu laboratoare de analize este mult mai costisitoare și ridică problema găsirii și imobilizării numai pentru această activitate a unui numeros personal cu cea mai înaltă calificare. În schimb dispar cheltuielile și dificultățile legate de transport și de aparate de mărimi identice pentru laboratoare. Realizarea unui laborator mobil, al organului de inspecție, rezolvă optim multe din aceste dificultăți contradictorii, dar are dezavantajul de a nu permite obținerea unor precizii la fel de ridicate ca în laboratoarele fixe.

În tabelul 9 sînt grupate metodele distructive optime care pot fi utilizate în ciclul de combustibil al filierei D_2O cu erorile medii de care pot fi afectate, în timp ce în tabelul 11 sînt prezentate metodele nedistructive optime pentru aceeași filieră, alese dintre metodele generale rezumate în tabelul 10.

Aceste metode sînt optime din punct de vedere tehnic, dar pentru a stabili și optimul din punct de vedere economic, ne sînt necesare fie date din literatura de specialitate referitoare la costul analizelor și măsurărilor prin metodele amintite, fie date obținute prin experiențe proprii. Deoarece nici una din variante nu este realizată, singura soluție de a face o evaluare în acest sens o constituie extrapolarea altor date analoge. În acest sens, în tabelul 12 sînt prezentate caracteristicile tehnice și economice ale unui sistem de control pentru filiera H_2O

T A B E L U L 9

Analizile ce se pot obtine in măsurătorile distructive optime de
garantii pe diverse etape ale ciclului combustibililor nucleari

Etapa (Mărimii)	Conversie	Separare izotopică	Fabricare	Retratăre
Intrări (eroare rel.)	Analiza radiochimică 0,7 %	Mass-spectrometrie 0,2 %	Analiza radiochimică 0,2 %	Mass-spectrometrie 0,8 %
Ieșiri (eroare rel.)	Mass-spectrometrie 0,1 %	Mass-spectrometrie 0,1 %	Metode fizice 2 %	UO_2 - analiza radiochimică PuO_2 - mass-spectrometrie UO_2 - 0,2 % PuO_2 - 0,9 %
Deșeuri (eroare rel.)	Analiza radiochimică 0 %	Mass-spectrometrie 0,1 %	Analiza radiochimică 4 %	U - analiză radiochimică Pu - " U - 2 % Pu - 4 %

T A B E L 10

Principalele caracteristici ale metodelor nedistructive
de analiză a materialelor nucleare (29)

Metoda	Tehnica	Materia lui	Eroare
I. PASIVE			
Gamma spectrometrie	cu NaI (Tl) ^{x/} cu Ge (Li)	solutii, pastile, oxizi, plăci, bare	$\frac{2 - 3 \%}{1 - 2 \%}$
Neutronometrie	cu contori neutronici cu contori în coincidentă	solutii, pastile, oxizi plăci, bare, deseuri	$\frac{8 - 10 \%}{2 - 3 \%}$
Spectrometrie de rad. X	cu filtre X		2 %
	cu detectori semiconductori	- " -	2 %
	cu spectrometre cu cristal		2 - 5 %
Alfa spectrometrie	cu semiconductori cu camere de ioni- zare	solutii, probe fără teci	2 - 5 %
Calorimetrie	cu compoziție izotopică cunos- cută	solutii, pastile, plăci bare, oxizi etc.	1 %
	cu compoziție izotopică necu- noscută	- " -	3 - 5 %
II. ACTIVE			
Gamma spectrometrie	cu NaI (Tl)	solutii, pastile, plăci	2 - 5 %
	cu Ge (Li)	bare, oxizi, deseuri	1 - 2 %
Neutronometrie	neutroni prompti	- " -	2 - 3 %
	neutroni întârzia- ti		1 %
Analiza prin activare	Cu Na I (Tl)	- " -	3 - 5 %
	cu Ge (Li)		2 - 3 %
Variații de reacți- vitate	-	bare, plăci	2 - 3 %

x/ Rezoluția detectorilor cu NaI (Tl) este 10 KeV în timp ce
rezoluția detectorilor cu Ge (Li) este de 1 KeV.

T A B E L 11

Metode optime de măsură în diverse etape ale ciclului combustibilului
nuclear în filiera D_2O

Etapa	Conversie	Fabricare	Reactori	Retratăre	Deșeuri
Intrări	Neutronometrie	Neutronometrie	Neutronometrie	Neutronometrie Gammaspectrometrie Calorimetrie	Neutronometrie cu neutroni întârziți
Ieșiri	Gammaspectrometrie	Gammaspectrometrie	Neutronometrie	Gammaspectrometrie	Neutronometrie

(cu reciclare a Pu și fără uzină de îmbogățire) (3o) cu o putere instalată de 1000 MWe.

Intrucât încărcătura inițială a reactorilor din filiera H_2O este aproape dublă față de cea a reactorilor cu D_2O , rezultă că pentru etapele de conversie, fabricare și reactori ale acestei filiere, efortul financiar va fi în aceeași proporție mai mic cu

- 4% pentru conversie ;

-12% pentru fabricare ;

- 0,5% pentru reactori.

Afirmația este cu atât mai valabilă cu cât în filiera D_2O , combustibilul folosit este uraniul natural a cărui valoare strategică este mai mică și timpul critic mai mare (vezi tabelul 3) ceea ce conduce la o scădere și mai mare a efortului tehnic și economic al controlului (măsurători mai rare, metode mai simple).

În schimb, producția de plutoniu în filiera D_2O este aproape dublă (1,5 - 2 ori) față de cea a filierei H_2O , astfel că ținând seama de încărcătura inițială mai mică (tot de 1,5 - 2 ori) se ajunge la concluzia că efortul tehnic și economic în etapa de retratare, este identic cu cel din filiera H_2O (tabel 12).

Ținând seama de toate aceste considerente ajungem la concluzia că costul controlului pentru filiera D_2O va reprezenta cel mult 79% din cel al filierei H_2O (79% din 400000 DM pe an).

Aceasta reprezintă o valoare destul de ridicată care nu va putea fi redusă decât prin : introducerea automatizării în efectuarea măsurătorilor de control și în prelucrarea și centralizarea datelor precum și prin mărirea pondorii unor metode sigure de confinare și supraveghere.

T A B E L 12

Caracteristicile unui sistem național de control pentru filiera LWR cu o putere instalată de 1.000 MWe (cu reciclare Pu și fără uzină de îmbogățire)*

	Conversie	Fabricare	Reactori	Retratăre	Fabricarea Pu (reciclare)	Obs
Intrări (kg.ef.) lunar	14	12	11,5	U 1,3 Pu 25	25	-
Ieșiri (kg.ef.) lunar	13,9	11,9	U 1,3	U 1,3 Pu 25	Pu 25	-
Deșeurile (kg.ef.) lunar	0,04	0,01	-	U 0,01 Pu 0,2	Pu 0,01	-
Cost (DM) anual al controlului	30.000	100.000	4.000	250.000	10.000	Total anual pe ci- clu 400.000
% cost al etapei față de întregul ciclu	8	25	1	63	3	-

*/- Datele din acest tabel reprezintă o extrapolare a datelor din lucrarea (30) referitoare la un sistem național de control pentru 6.000 MWe, dar din care am exclus etapa de îmbogățire (separare izotopică).

B. Calculul arderii combustibilului

În cazul unui ciclu al combustibilului nuclear care include și etapa retratării, determinarea arderii acestui combustibil și deci și determinarea acumulării plutoniului se pot efectua cu o mare precizie prin metode distructive (radiochimice de obicei), la etapa de retratare unde elementele de combustibil sînt dizolvate și prelucrate radiochimic.

În cazul în care această etapă lipsește (de exemplu, cînd combustibilul este trimis la retratare în altă țară etc.), determinarea arderii combustibilului nuclear trebuie efectuată prin metode nedistructive completate prin calcule.

Intrucît la reactorii cu apă grea cu încărcare-descărcare continuă, arderea combustibilului este mai uniformă, se poate considera în calcule, ca o bună aproximație, că la un nivel constant al puterii reactorului, spectrul de radiații gamma al combustibilului ars, care reprezintă o măsură a gradului de ardere, este funcție doar de 3 variabile :

1. puterea reactorului (P) (la care a funcționat)
2. timpul de iradiere (T)
3. timpul de răcire (t_c)

În aceste condiții, determinarea arderii în scopurile controlului de garanții, se efectuează prin așa numita metodă de calcul a benzilor de energii gamma.

Această metodă se bazează pe presupunerea, foarte apropiată de realitate, că anumite benzi de energii ale radiațiilor gamma emise de produsele de fisiune acumulate în cursul arderii combustibilului, prezintă timpuri de răcire (t_c) și durate diferite de acumulare în funcție de timpul de funcționare sau iradiere (T).

4.1.3. Evaluarea arderii prin metoda benzilor de energii gamma.

Domeniul energiilor radiațiilor gamma emise de produsele de fisiune acumulate în combustibilul ars, este împărțit în n benzi.

Analizând fiecare din aceste benzi se observă că în unele predomină nuclizi cu timp de înjumătățire mare (nuclizi de viață lungă), a căror acumulare este sensibilă la timpul de funcționare (și aproape de loc la cel de răcire pentru valori medii ale acestuia), iar în altele predomină nuclizii cu timp de înjumătățire mic (nuclizi de viață scurtă) a căror acumulare este puțin sensibilă la timpul de funcționare, dar foarte sensibilă la timpul de răcire.

Matematic, aceste benzi de energie se pot exprima prin relații de forma :

$$\gamma_1 = k_1 P f_1(T) f_2(tc)$$

$$\gamma_2 = k_2 P f_3(T) f_4(tc)$$

Pentru benzile în care predomină nuclizii de viață lungă (cu dependență de T) aceste relații se reduc la

$$\gamma_x = k_x P \cdot f_x(T)$$

iar pentru benzile în care predomină nuclizii de viață scurtă (cu dependență de tc) avem :

$$\gamma_y = k_y P \cdot f_y(tc)$$

Raportând aceste benzi de energii la întreg domeniul de energii gamma x) se obțin expresii din care dispăre variabila P, ceea ce ușurează calculele

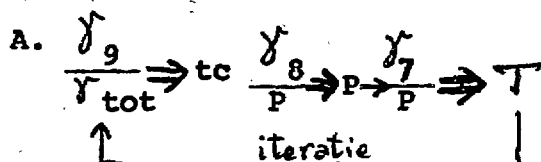
$$\frac{\gamma_x}{\gamma_{tot}} = \frac{k_x P \cdot f_x(T)}{k \cdot P \cdot f(T) f(tc)} = F_x(tc)$$

$$\frac{\gamma_y}{\gamma_{tot}} = F_y(T)$$

x) S-a observat că γ_{tot} depinde de T aproximativ la fel ca orice γ_x de T; dependența de tc este însă diferită.

În felul acesta este suficient să se determine prin măsurători cele două rapoarte ale activităților gamma din care se pot deduce cele două mărimi importante tc și T .

Schematic, calculul este condus după următoarea schemă și se bazează pe rezultatul a două măsurători de rapoarte de activități gamma



Metoda descrisă permite utilizarea iterațiilor (aproximări succesive) pentru mărirea preciziei.

Metoda este foarte bună în scopurile controlului arderii combustibilului nuclear, deoarece are o reproductibilitate de $\sim 1\%$.

4.1.4. Prelucrarea matematică a datelor de garanții (MUF)

Folosind metodele de măsură și aparatura adecvată pentru fiecare etapă a ciclului combustibilului nuclear descrise în paragraful precedent, se efectuează în mod periodic (iar determinarea perioadei face parte din operația de optimizare a sistemului) măsurători în punctele cheie (principale sau strategice) de măsură ale instalației nucleare respective. Pe baza rezultatelor acestor măsurători se stabilește, cu precizia respectivă, cantitatea sau stocul fizic al materialelor nucleare fisibile în instalația nucleară asupra controlului. Pe baza documentelor de import-export, transfer, fabricație sau consum, se determină și stocul contabil.

Diferența între cele două mărimi - între stocul fizic și stocul contabil - reprezintă mărimea matematică cea mai importantă pe care sistemul de control - fie național, fie internațional - caută să o determine cu cât mai mare precizie și credibilitate și să o analizeze pentru a putea trage concluziile necesare. Această mărime poartă denumirea de MUF după inițialele din limba engleză (Material Unaccounted For = material necontabilizat).

MUF = BI + R - S - EI - NOL

BI = stoc inițial (beginning inventory)

R = intrări (receipts)

S = ieșiri (shipments)

EI = stoc final (ending inventory)

NOL = pierderi în proces (normal operation losses).

Valoarea exactă a mărimii MUF este afectată de erori sistematice și de erori accidentale de măsurători, (ME) pentru a căror evaluare sînt necesare metode statistice de prelucrare. De asemenea, această valoare mai este afectată și de pierderi nemăsurate (UL) precum și de eventuale deturnări (D). Pierderile nemăsurate pot fi identificabile sau neidentificabile.

Se poate deci rescrie expresia MUF-ului în funcție de erorile de care este afectată evaluarea lui :

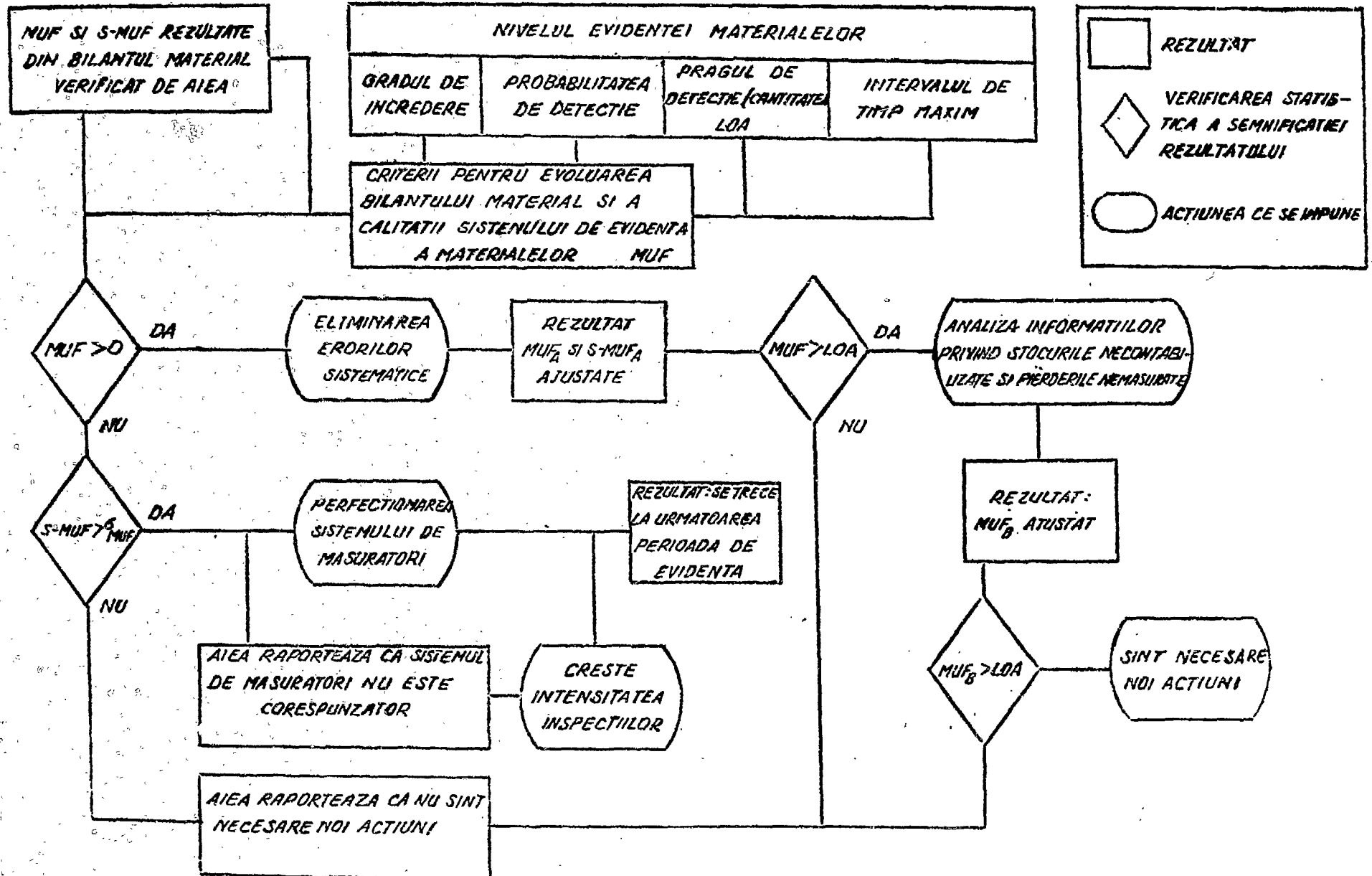
$$MUF_{tot} = MUF_{ME} + MUF_{ul} + MUF_D$$

Pentru ca un sistem de control de garanții să fie optim și din acest punct de vedere trebuie ca precizia determinării valorii MUF-ului să fie mai mare decît o anumită valoare limită dată și în același timp, durata în care se realizează această determinare să fie mai mică decît timpul critic pentru materialele nucleare fisionabile respective (fig.18). În timp ce pentru timpul critic s-au stabilit valorile limită pentru fiecare tip de material nuclear fisionabil (vezi tabelul 3) pentru valoarea limită a preciziei MUF-ului s-a considerat că aceasta poate fi $LE(MUF)$ adică limita erorii MUF-ului la un nivel α de confidență (încredere). Aceasta este definită ca "limita domeniului de valori MUF în care valoarea reală a MUF-ului se găsește cu o probabilitate de $X\%$."

Prin urmare dacă

$$|MUF| \leq LE_{\alpha}(MUF)$$

SCHEMA DE EVALUARE A MUF-ului. Fig. 18



se poate considera că precizia evaluării MUF-ului este suficientă pentru a trage concluzia că MUF provine doar din erori de măsură și pierderi în proces.

Cauzele apariției MUF-ului sînt multiple și ele au fost rezumate în tabelul 13.

Determinarea erorilor aleatoare se efectuează în majoritatea cazurilor prin repetarea măsurătorilor, în timp ce pentru determinarea erorilor sistematice se folosesc surse de referință.

În realitate, prin efectuarea mai multor măsurători, MUF-ul variază, luînd valori pozitive (surplusuri) și negative (minusuri), între anumite limite (vezi fig.19). Media acestor valori, reprezintă mai corect valoarea reală a MUF-ului căutat, iar reprezentarea grafică a acestor variații dă o imagine mai clară și mai rapidă a faptului dacă MUF-ul depășește sau nu LE (MUF).

4.1.5. Sistemul de rapoarte

Din motive de comoditate sistemul național poate utiliza sistemul de rapoarte preconizat de Agenție (în relațiile cu acesta este chiar obligat a-l folosi) dar în activitatea internă orice sistem național poate folosi rapoartele pe care le consideră cele mai utile.

Acest sistem nu are influență apreciabilă asupra optimizării sistemului de control.

4.1.6. Sistemul de inspecții

Atît Agenția cît și organul național de inspecție au interesul de a efectua cît mai multe inspecții pentru a mări eficacitatea controlului. Inspectorul rezident (care stă tot timpul în instalație) reprezintă cazul limită, cînd se presupune că eficacitatea controlului este de 100%. Economicitatea acestui sistem este însă minimă atît prin utilizarea necorespunzătoare a unui personal cu înaltă calificare (cum trebuie să fie un inspector), cît și

T A B E L 13

Cauze ale apariției MUF-ului

Denumirea zonei	MUF	S/R	Stoc scriptic	
Tipul zonei	Producție	Depozitare	Depozitare	Reactor
Măsurători :				
Datele furnizorului	-	x	-	x
Intrări	x	x	x	-
Esiri	x	-	-	-
Stoc	x	-	-	-
Calcul (ardere și acumulare)	-	-	-	x
Cauze :				
Corecturi : procedurale, de redactare, de tabelare	x	x	x	x
Erori de măsură : aleatoare și sistematice	x	x	x	x
Stoc "ascuns" (nemăsurat)	x	-	-	-
Pierderi nemăsurate : (identificate, neidentificate)	x	-	-	-
Pierderi accidentale	x	x	x	x
Furt	x	x	x	x
Deturnare	x	x	x	x

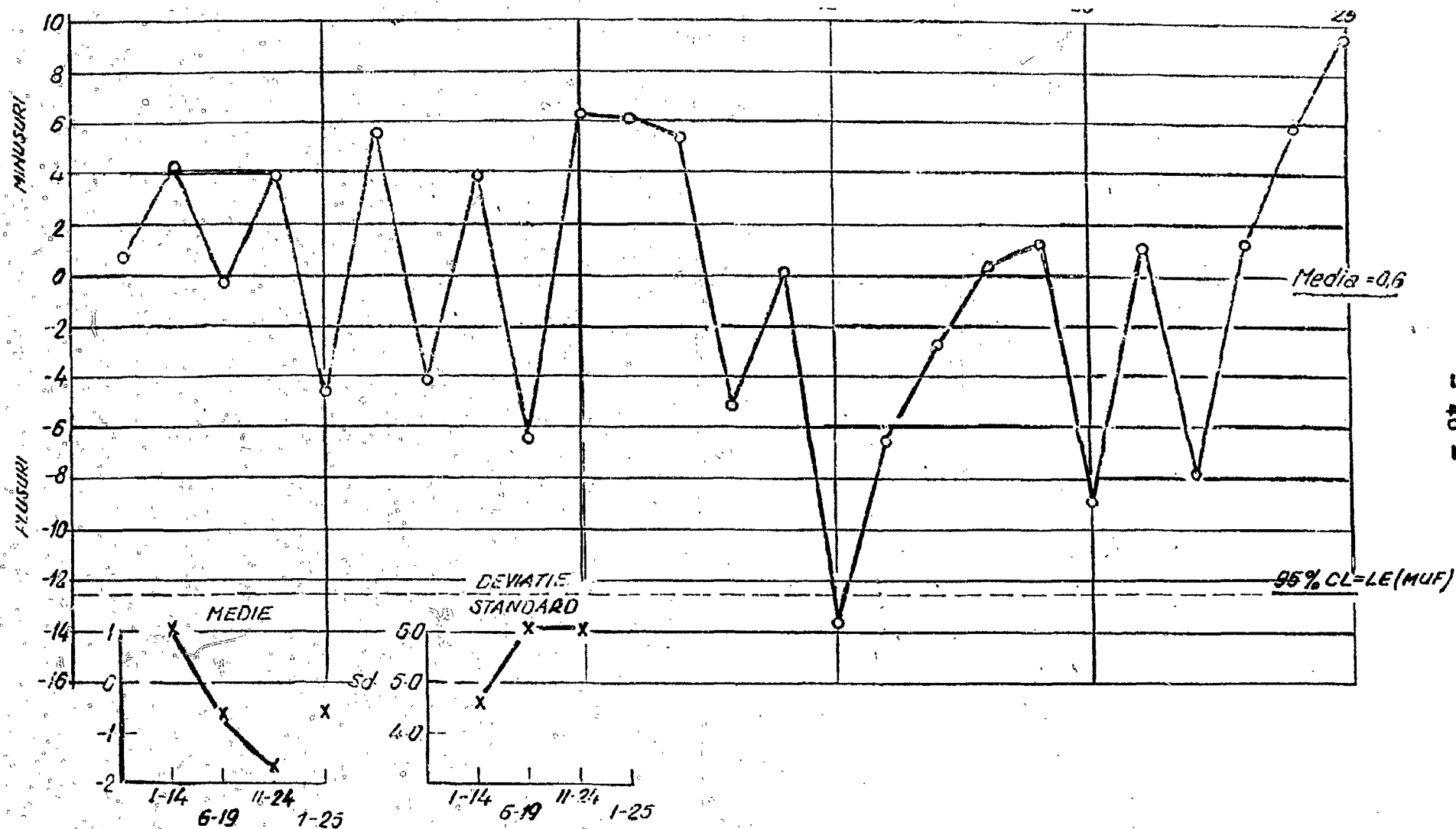


Fig. 19 VARIATIA MUF-ului CU TIMPUL (cu nr. de măsurători)

prin imixtiunea prea pronunțată în exploatarea instalației și în procesul de producție. Aici intervin și aspectele politice de suveranitate, cele de securitate și apărarea secretului etc. Din această cauză sistemul de inspecții preconizat de Agenție este mult mai redus în special pentru filierele cu uraniu natural, cum este filiera D_2O . Inspecțiile organului național trebuie, de asemenea, să fie reduse ca număr. (nu și ca intensitate) și pe cât posibil să coincidă cu perioadele de revizii generale ale instalațiilor pentru a le perturba cât mai puțin activitatea (tabel 15).

O încercare de a reduce numărul inspecțiilor la minimul necesar, în funcție de caracteristicile etapelor principale ale ciclului se poate efectua numai ținându-se seama de ponderea fiecărei etape din ciclul și de valoarea strategică a materialelor finalizate în fiecare din aceste etape. Aceste două caracteristici se combină în mod natural într-o singură caracteristică - timpul critic - care permite cea mai corectă optimizare a intensității inspecțiilor (fig.21).

Această frecvență a inspecțiilor mai poate fi micșorată și în funcție de cantitatea de material fisibil utilizată în instalația respectivă. Astfel, dacă se consideră drept cantitate critică, 5 Ekg (kg echivalente de U-235 sau Pu), iar instalația folosește doar câte 1 Ekg pe o perioadă de timp critic, frecvența inspecțiilor mai poate fi micșorată de 5 ori, adică, în exemplul de mai sus 1 inspecție la 5 luni. Astfel de considerente permit o optimizare a sistemului de control, reducând substanțial efortul de inspecție și implicit costul controlului, fără a micșora eficacitatea acestui control.

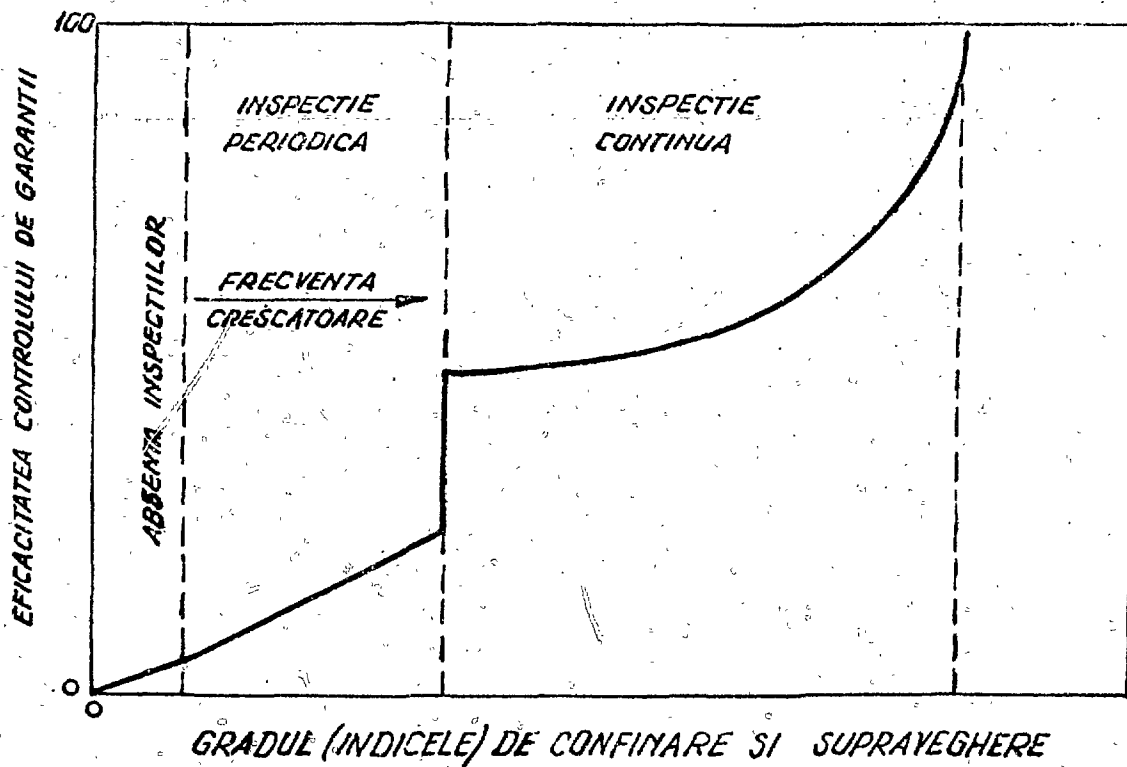
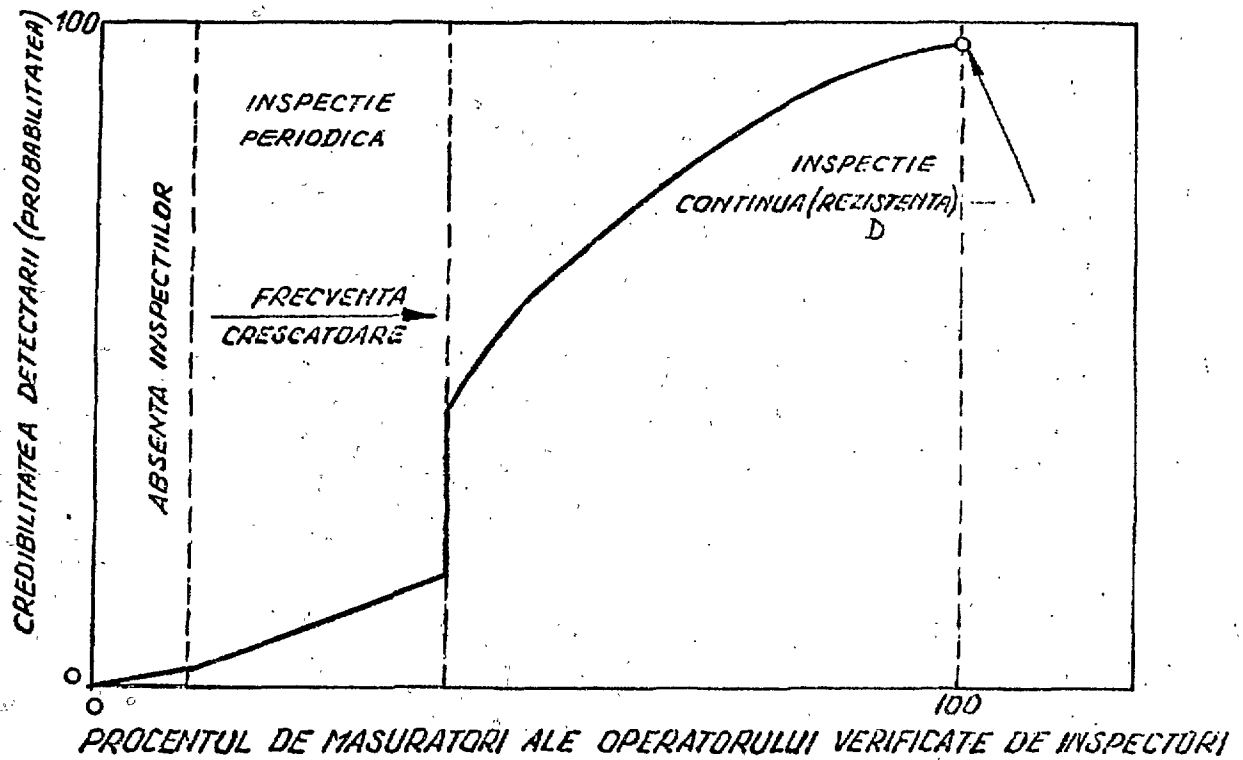
4.2. Confinarea materialelor nucleare fisibile

Se consideră, în general, că, întrucât reactorii cu D_2O nu funcționează cu un singur vas de presiune (ca reactorii cu H_2O) ci cu o multitudine de tuburi de presiune, confinare pentru garan-

T A B E L 15

Frecvența propusă pentru inspecții, funcție de timpul critic

Instalația	Componente	Frecvența inspecțiilor
Reactor	- Depozit de elemente proaspete de combustibil natural sau îmbogățit.	la 50-150 zile
	- Plutoniu sau combustibil cu îmbogățire mare.	la 10 zile;
	- Reactorul propriu-zis.	la încărcare/descărcare
	- Depozitul de bare arse.	la 120 zile
Uzine de retratare	- Ciclul Pu-U	la 10 zile sau continuu
Uzine de conversie și fabricare	- Pu și U cu îmbogățire mare	la 10 zile sau continuu
	- U natural sau cu îmbogățire mică	la 50-150 zile



EFICACITATEA SISTEMULUI DE INSPECTIE

Fig. 21

ții ar trebui și ea să fie multiplă pentru a putea fi eficace. În realitate, prezența instalației automate de încărcare/descărcare și posibilitățile de confinare a acesteia reduc problema la aceleași dimensiuni ca în cazul reactorilor cu vas unic de presiune.

4.3. Supravegherea materialelor și instalațiilor nucleare supuse controlului

Pe lângă metoda modernă de supraveghere prin televiziune în circuit închis (vezi 2.3.1.pct.C) care este eficientă în cazul inspectorului rezident, (ea poate fi utilizată și fără inspecori rezidenți prin funcționare aleatoare și prin stocarea informațiilor într-un sistem sigilat) dar este cea mai costisitoare și deci neeconomică, au fost propuse în ultimul timp, în special pentru filiera D_2O , câteva metode mult mai economice și suficient de eficiente pentru controlul de garanții ca :

- folosirea unei camere fotografice sigilate pentru supravegherea automată a instalației de încărcare/descărcare ;
- metoda cunoscută sub denumirea generală de "black box" ("cutie neagră", în sensul că modul ei intern de funcționare, de acumulare și prelucrare a datelor de control este cunoscut doar de inspectorii agenției (sau de inspectorii naționali în cazul că aceștia folosesc metoda).

În principiu, metoda utilizează 3 elemente tehnice :

- sistemul de detecție
- sistemul de transmisie
- sistemul de stocare a informațiilor ("cutie neagră").

Sistemul de detecție este format dintr-un detector, fie de radiații gamma, fie de neutroni, introdus într-o incintă de sticlă sudată, care rezidă la doze mari de radiații și la falsificarea prin aceea că sticla are o anumită structură optică ce nu mai poate fi reprodusă dacă se umblă la detector. Pentru o și mai mare siguranță, protecția de sticlă este prevăzută și cu un sis-

tem electronic care generează un semnal ce este introdus automat în sistemul de stocare, dacă se încearcă să se violeze sistemul de detecție.

Datele culese de sistemul de detecție sînt transmise, fie aleator, fie programat, la sistemul de stocare, prin intermediul unei linii de transmisie speciale, care formează sistemul de transmisie. Acesta este format dintr-un cablu special (construit de firma Sandia Corp) prin care semnalele electrice sînt transmise digital și cifrat pentru a nu se putea realiza o falsificare a lor.

+

+

+

Din analiza rezultatelor studiului prezentat, referitor la obținerea unui sistem național optim de control al ciclului de combustibil nuclear din filiera D_2O se desprind cîteva idei mai importante :

- costul acestui control reprezintă cel mult 70-80% din cel al filierei H_2O la aceeași putere totală instalată ;
- nu apar dificultățile legate de controlul etapei de îmbogățire a combustibilului ;
- sistemul de puncte principale de control este mai simplu decît la alte filiere (fig.3 și 4) ;
- metodele de măsură pentru uraniul natural sînt mai simple decît cele pentru uraniu îmbogățit ;
- utilizarea datelor de control pe întreg ciclul combustibilului nuclear și intercompararea acestor date la diverse etape ale ciclului permite o îmbunătățire tehnico-economică a controlului (scade costul și crește eficacitatea și credibilitatea (tabel 6) ;

- valoarea strategică mult mai mică a uraniului natural folosit în această filieră impune un control mai puțin strict, iar combustibilul ars, avînd un conținut sub cel natural, nu mai este supus controlului, decît cînd se găsește în cantități foarte mari;

- producția de plutoniu fiind mai mare decît la alte filiere, etapa de retratare capătă o pondere deosebit de mare în control.

5. CONCLUZII

O dată cu semnarea Acordului de control și garanții, conform prevederilor Tratatului de neproliferare a armelor nucleare, între R.S.România și Agenția Internațională pentru Energia Atomică, care a avut loc la 8 martie 1972, intrarea în funcțiune a sistemului național de control și garanții, pentru materialele nucleare fisionabile și fertile precum și a instalațiilor ce le conțin, a devenit oficială și obligatorie.

Acest studiu, primul elaborat în țara noastră în domeniu, răspunde unor necesități stringente ale activităților de control, el putînd fi folosit ca un ghid la perfecționarea și completarea sistemului național de control al activităților nucleare din țara noastră.

Studiul folosește elementele de vîrf din activitatea Agenției și a unor state cu experiență bogată în problemele de control și garanții, cuprinse într-un număr important de lucrări cu circulație restrînsă, neintrate încă în circuitul literaturii de specialitate publicate. El prezintă totodată și sinteze ale unor grupe de lucru la care au participat specialiști cu cea mai mare experiență din diferite țări cu o bogată activitate în domeniul nuclear și în special cel de control.

De asemenea, studiul ia în considerare și mnele lucrări ale specialiștilor români, lucrări ce au izvorât dintr-o activitate laborioasă din domeniul nuclear, cu rezultate deosebite, ce au fost elaborate în alte scopuri, dar care pot fi folosite cu succes și la dezvoltarea metodicilor de control.

Autorul acestui studiu a încercat să prezinte și o analiză a activității proprii ce o desfășoară încă din anul 1961, dată de la care s-au întreprins primele studii în domeniu în țara noastră. Aceste studii au avut caracterul de uz intern și au servit fie ca materiale de specialitate ale delegațiilor române la negocierile T.N.P., fie la stabilirea poziției delegației țării noastre la lucrările organizate de Agenție etc.

Încă din anul 1969, când în țara noastră se efectuau studii privitoare la elaborarea primului Program nuclear național, autorul a susținut ideea organizării unui sistem național de control bine pus la punct, care să se bazeze pe cele mai eficace metodici de control realizate în domeniul nuclear, ideile ce a fost exprimată de delegația țării noastre la lucrările Comitetului de garanții, însărcinat cu elaborarea Acordului de garanții în cadrul T.N.P. (iunie 1970 - martie 1971). Susținută în deosebi de Japonia ca țară mai dezvoltată din punct de vedere industrial și de majoritatea țărilor în curs de dezvoltare, propunerea a fost adoptată și inclusă în materialele elaborate de acest Comitet.

Încă de pe atunci s-a remarcat că cu cât un sistem național de control este mai bine organizat, cu atât imixtiunile controlului internațional sînt mai limitate. Această organizare trebuie să se sprijine pe experiența cea mai bogată realizată în acest domeniu.

Acest studiu prezintă astăzi o bună parte din această experiență exprimată printr-o seamă de reguli, proceduri, metodici etc.

Deși studiul tratează, în principal, ciclul combustibilului pentru reactorii energetici din filiera D_2O , totuși, așa cum rezultă chiar din acest studiu, foarte multe elemente ce le cuprinde, pot fi folosite și în cazul adoptării altor filiere.

Tema acestui studiu a fost stabilită în anul 1969, când din studiile elaborate a rezultat că cea mai indicată filieră pentru țara noastră, este filiera D_2O . Nici astăzi, argumentele care au pledat pentru alegerea acestei filiere nu și-au pierdut actualitatea, dar ele trebuiesc introduse acum într-un context mai larg legate de elementele conjuncturale politice și financiare, în lumina unei perspective de mai lungă durată (până în anul 2000).

Metodele ce pot fi folosite la controlul materialelor nucleare sînt foarte numeroase, făcînd apel atît la cele dezvoltate de fizica și tehnica nucleară, cît și la cele folosite în alte domenii.

Există o multitudine de astfel de metodici și se fac cercetări laborioase în numeroase institute pentru a se alege cele mai eficace, mai rapide, mai ușor de manipulat, cu costurile cele mai mici, și care utilizează aparatele cele mai sigure și robuste etc.

Studiile elaborate pînă în prezent au evidențiat unele dintre ele ca fiind posibile de folosit cu bune rezultate. Rămîn încă serioase dificultăți de rezolvat, ceea ce face atît A.I.E.A. cît și multe state să întreprindă minuțioase cercetări pentru rezolvarea lor optimă. Acestor probleme Agenția le alocă cea mai mare parte din fondurile de cercetare ce-i sînt puse la dispoziție, încheind numeroase contracte cu cele mai dezvoltate centre de cercetări din lume.

Studiul de față încearcă să prezinte cele mai importante metodici cunoscute și folosite în activitatea de control, analizînd

posibilitățile fiecăruia. Alegerea acestora precum și folosirea performanțelor lor în limitele cele mai adecvate scopului propus reprezintă o încercare originală a acestui studiu.

El ia în considerare, de asemenea, elementele ce fac obiectul primului nostru Program nuclear național și așa cum sînt cuprinse în acest program, elementele ce nu cuprind întregul ciclu al combustibilului, deoarece prevederile sale se referă numai pînă la anul 1980.

În prezent, conform hotărîrii conducerii superioare de partid și de stat, sub conducerea unei comisii, la cel mai înalt nivel, se elaborează studii de dezvoltare a economiei țării noastre pe o perioadă mai îndelungată (pînă în anul 2000). În aceste studii se vor stabili desigur și elemente determinante ale dezvoltării energeticii nucleare precum și a celorlalte activități nucleare ce vor fi chemate să contribuie la dezvoltarea economiei țării noastre.

Problema de cea mai mare importanță tratată în acest studiu este cea legată de obținerea unor erori minime în controlul ciclului combustibilului nuclear.

Plecînd de la faptul că fiecare metodă are limitările sale determinate și că fiecare măsurătoare este afectată de erori, se încearcă în acest studiu, într-un mod original, de a se stabili erorile minime realizabile în condiții optime date. Întrucît se admite că poate fi minimizată eroarea admisibilă, fiecărei metodici și fiecărei etape, se poate determina o limită inferioară a erorii întregului ciclu al combustibilului care trebuie să poată fi detectată în minimum de timp (sub timpul denumit critic).

Studiul încearcă să prezinte și aspectele teoretice, dînd și un exemplu de calcul asupra rezolvării problemei ca atare, dar nu dezvoltă toate elementele de calcul matematice legate de

aceste erori, care ar fi necesitat un număr de date suplimentare asupra întregului ciclu al combustibilului din țara noastră, date care nu au fost încă stabilite prin Programul nuclear național.

Existența acestor date ar fi creat posibilitatea elaborării unui model matematic. Am încercat să suplinim această lacună, făcând unele extrapolări admisibile, fără a crea o prea mare incertitudine asupra rezultatelor obținute.

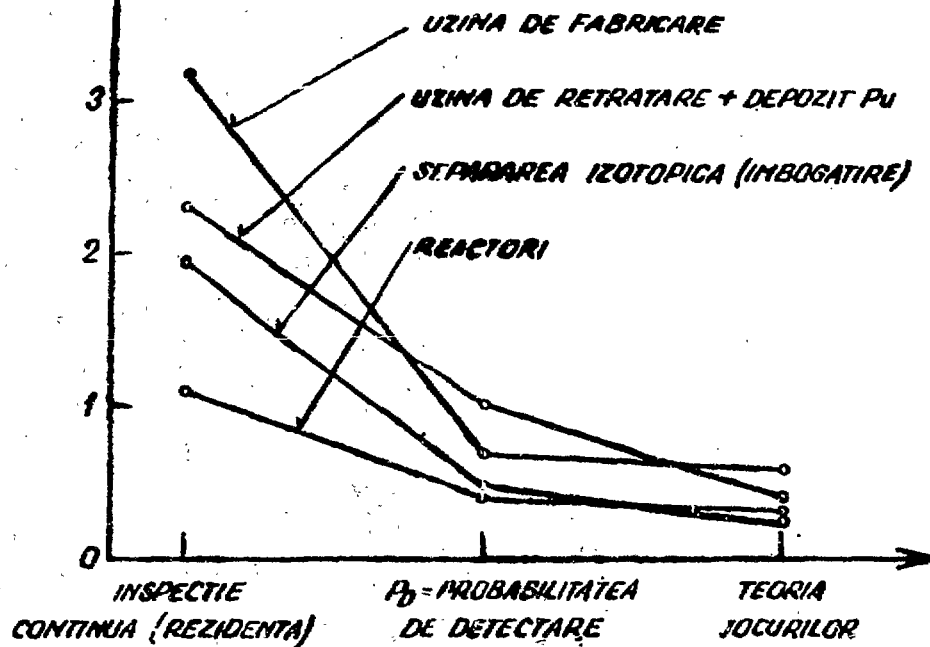
Tot din aceste motive nu am considerat necesar a fi abordate și teoria deciziilor și teoria jocurilor, alegându-se tot calea extrapolărilor unor rezultate obținute prin aceste metode pentru cazuri ipotetice (fig.24).

Intrucât teoria jocurilor presupune existența a doi parteneri de joc cu strategii antagoniste (inspectorul și cel inspectat, sau sistemul internațional și sistemul național de control) problema noastră de control introduce o complicație suplimentară, deoarece în realitate, între cei doi "parteneri" de joc sau sisteme de control, trebuie să existe în principal, relații de colaborare; acestea sînt incluse de altfel în materialele elaborate de Comitetul de garanții și sînt exprimate sintetic prin gradul de credibilitate ale sistemului național.

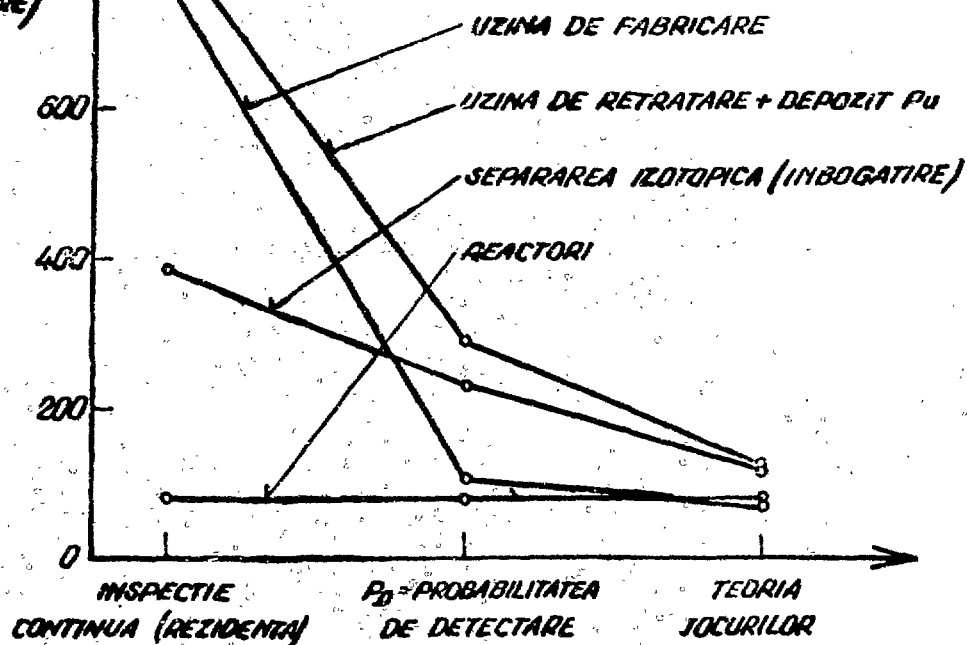
Elementele atât de complexe care determină gradul de credibilitate au condus la necesitatea efectuării de cercetări laborioase care să permită teoriei jocurilor de a aborda cu mai mult succes și mai aproape de realitate, problemele de control. Prin furnizarea datelor suplimentare ce lipsesc astăzi pentru determinarea ciclului de combustibil, ținînd cont de programul de dezvoltare a domeniului nuclear din țara noastră, va fi posibil în viitor, efectuarea unor studii de prognoză și optimizări care să satisfacă în cele mai bune condiții necesitățile acestui program.

NR. DE PERECHI
DE INSPECTORI 4

- 57 -



COSTUL
CONTROLULUI
(UNITATI
ARBITRARE)



DISTRIBUTIA EFORTURILOR DE CONTROL IN
DIVERSE ETAPE ALE CICLULUI COMBUSTIBILULUI
NUCLEAR (TIPURI DE INSTALATII) FUNCTIE DE
INTENSITATEA INSPECTIEI

Studiul prezent răspunde unor necesități atât pentru prezent cât și pentru viitor și pune la îndemna specialiștilor, cele mai noi metode de analiză cunoscute astăzi în abordarea problemelor de control al materialelor nucleare și ai instalațiilor ce le conțin. El reprezintă prima lucrare de acest gen din țara noastră, care încearcă a realiza un sistem optim de control, cu scopul principal de a limita cât mai mult rolul controlului internațional, înlocuindu-l, în măsura posibilului, printr-un sistem național cât mai eficient.

În încheierea acestui studiu, doresc să aduc mulțumirile mele, tuturor celor de la Comitetul de Stat pentru Energia Nucleară sau de la Institutul de fizică atomică, care mi-au oferit un ajutor prețios și competent, permițându-mi astfel elaborarea acestui studiu pe care îl doresc util și de bun augur pentru activitățile de control ce se inițiază acum în țara noastră.

B I B L I O G R A F I E

1. Statutul Agenției Internaționale pentru Energia Atomică
2. INFCIRC/26 : Sistemul de garanții AIEA (ref. la reactorii de cercetare), 1961
INFCIRC/26/
Add.1 : idem (extins la centrale nucleare), 1964
INFCIRC/66/
Rev.1 : idem (extins la uzine de retratare), 1966
INFCIRC/66/
Rev.2 : idem (extins la uzine de fabricare), 1968
3. GC(V)/INF/39
(1961) : Documentul Inspectorilor AIEA
4. INFCIRC/141
Tratatul de neproliferare a armelor nucleare
- text adoptat de Adunarea Generală ONU la 10 iunie 1968
- ratificat de R.S. România la 30 ianuarie 1970
- intrat în vigoare la 5 martie 1970
5. INFCIRC/133
Acordul general (cadru) de garanții și control, aprobat de Consiliul Guvernatorilor în aprilie 1971
6. G. Delcoigne,
S. Rubinstein : Non prolifération des armes nucléaires et systèmes de control, Ed. Univ. Libre de Bruxelles, 1970
7. A. Rose
W. D. Smythe : A safeguards system analysis of the Canadian nuclear complex, IAEA, PL-353, 1969
8. P. Frederiksen : Danish safeguards research and development, IAEA-SM 133/7, Karlsruhe, 1970
9. O. Lendvai : Initial steps in the establishment of a national material accountability system, IAEA-SM-133/9, Karlsruhe, 1970
10. S. A. Skvortov
O. A. Miller : O tehniceskoi vozmojnosti primeneniia garančii AIEA na AES s reaktorami tipa VVER, IAEA-SM-133/99, Karlsruhe, 1970
11. I. Imai
K. Takaya : The computerized materials accounting system at Tokai Power Station, IAEA-SM-133/11, Karlsruhe, 1970
12. G. Billy
F. Lecomte : Expér. du fonctionnement d'un système de contrôle des matières nucléaires, IAEA-SM-133/28, Karlsruhe, 1970

13. J. Beranek
O. Zoch Experience with national system of accounting for and control of nuclear materials in Czechoslovak Socialist Republic, Conferința de la Geneva, P/558, sept. 1971
14. S. Popa Ciclurile combustibililor pentru reactorii nucleari și implicațiile lor asupra sistemului de garanții. Referat doctorat, 1971
15. V. Shmelev Fuel cycle study for safeguards system analysis, IAEA-SM-133/95, Karlsruhe, 1970
16. W. Gmelin,
G. Hough
V. Shmelev
R. Skyceldebrand A technical basis for international safeguards. Conferința de la Geneva, P/773, sept. 1971
17. R. Avenhaus
D. Gupta et al An optimised material accounting system for safeguards in a nuclear fuel cycle, Conferința de la Geneva, P/415, sept. 1971
18. F. Morgan The usefulness of system analysis. IAEA-SM-133/106, Karlsruhe, 1970
19. D. Gupta Different aspects of system analysis, IAEA-SM-133/107, Karlsruhe, 1970
20. W. Häfele System analysis in safeguards of nuclear materials, Conferința de la Geneva, P/971, sept. 1971
21. Comitetul de
Stat pentru
Energia Nucleară Energia nucleară în Republica Socialistă România, București, 1971
22. IAEA Contract
cu Institutul
I. V. Kurciatov
din Moscova Development of Safeguards technical practices for pressurized water power reactors
23. Häfele W
Grupta D IAEA - Contract nr. 711 : Development of safeguards procedures for heavy water moderated, cooled and reflected pressurized water reactors
24. Mc. Manus J. G. Development of an integrated safeguards system for Candu type D₂O reactors (Canada), IAEA Panel, Vienna, 16-20 sept. 1968
25. Drahny M. Development of safeguards procedures for D₂O moderated gas cooled reactor of PWR type with continuous refuelling (R. S. Cehoslovacia) IAEA Panel, Vienna, 16-20 sept. 1968
26. Hummel F. G. Development of safeguards procedures for D₂O reactors with continuous refuelling, IAEA Contract nr. 519/1967-68)
27. S. Popa Aspecte tehnice ale controlului materialelor nucleare fisionabile. Referat doctorat, 1971

28. N.C.Sasmussen A review and evaluation of the OSMM program
of nondestructive assay methods OSMM, april.
1971
29. I.Ursu La résonance paramagnétique electronique,
Ed.Dunod; Paris, 1968
30. I.Ursu Rezonanța electronică de spin, Ed.Academiei,
București,1965
31. T.Dragnev Survey of non destructive safeguards methods
IAEA - Internaț.paper,1969
32. I.Purica Etude d'un ensemble sous-critique par la
méthode de la caractéristique de fréquence
IAEA Symposium, Amsterdam,1963
33. R.Avenhaus Effective application of safeguards manpower
D.Gupta and other techniques in nuclear fuel cycles,
IAEA-SM-133/80, Karlsruhe,1971
34. R.Avenhaus Application of theory of games to safeguards
problems.
Symp.on Implementing of Nucl.safeguards,
Kansas State Univ, 25-27 oct.1971
35. R.Beinhauer Games theoretical models for inspection
D.Bierlein procedures, IAEA-SM-133/81 Symposium
Karlsruhe,iulie 1970
36. R.Beinhauer A game theoretical model for safeguarding a
facility with different areas Operation
Research Verfahren I.N.51, 1971
37. E.Höpfinger A game theoretical analysis of an inspection
problem, Operation Research Verfahren I.N.53
1971
38. E.Höpfinger Criteria for action levels for inspection based
on a game theoretical model KFK-909, 1969