

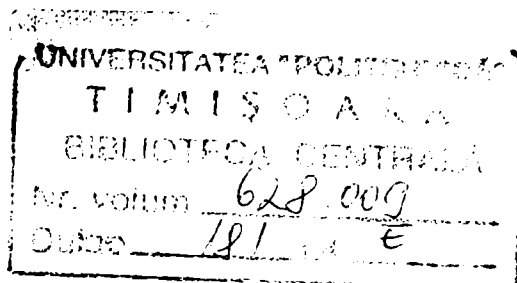


# TEMA

## CONTRIBUȚII LA ÎMBUNĂȚĂȚIREA SIGURANȚEI ȘI FIABILITĂȚII CONSTRUCȚIILOR METALICE DE LA CENTRALELE NUCLEARO- ELECTRICE

### CUPRINS:

Capitolul I:	PREZENTARE GENERALĂ	3
1.0.	PREAMBUL	3
1.1.	SCOP	13
1.2.	DEFINIREA DOMENIULUI	14
1.3.	DEFINIȚII ȘI PRESCURTĂRI UTILIZATE ÎN LUCRARE	18
	1.3.1. Prescurtări și simboluri	18
	1.3.1.1. Prescurtări și simboluri utilizate în cap. 1	18
	1.3.1.2. Prescurtări și simboluri utilizate în cap. 2	18
	1.3.1.3. Prescurtări și simboluri utilizate în cap. 3	19
	1.3.1.4. Prescurtări și simboluri utilizate în cap. 4	19
	1.3.1.5. Prescurtări și simboluri utilizate în cap. 5	20
	1.3.1.6. Prescurtări și simboluri utilizate în cap. 6	21
	1.3.2. Definiții	21
	1.3.2.1. Definiții utilizate în cap. 1	21
	1.3.2.2. Definiții utilizate în cap. 2	22
	1.3.2.3. Definiții utilizate în cap. 3	22
	1.3.2.4. Definiții utilizate în cap. 4	23
	1.3.2.5. Definiții utilizate în cap. 5	23
	1.3.2.6. Definiții utilizate în cap. 6	23
Capitolul II.	PROBLEME SPECIFICE ALE FIABILITĂȚII CNE	24
2.1.	FIABILITATEA GENERALĂ A CNE	24
	2.1.1. Criteriul fiabilității	25
	2.1.2. Structura analizei de fiabilitate	25
	2.1.3. Structura sistemelor tehnice	27
	2.1.4. Indicator de siguranță	28
	2.1.5. Legi de distribuție	29
	2.1.5.1. Distribuția exponențială	30
2.2.	SECURITATEA CNE	35
	2.2.1. Criteriul securității generale	35
	2.2.2. fiabilitatea sistemelor de anvelopare al reactorului	36
2.3.	CĂILE DE ÎMBUNĂȚĂȚIRE A FIABILITĂȚII	36
2.4.	ANALIZA SECURITĂȚII NUCLEARE	37
Capitolul III:	PROBLEME SPECIFICE DE ASIGURARE A CALITĂȚII STRUCTURILOR METALICE LA CNE	41
3.1.	GENERALITĂȚI	41
	3.1.1. Conceptul de calitate și asigurarea calității	41
	3.1.2. Managementul calității	45
	3.1.3. Criterii de clasificare în asigurarea calității	45
3.2.	ASIGURAREA CALITĂȚII LA EXECUȚIE	49
	3.2.1. Cerințele sistemului	49
	3.2.2. Funcțiile sistemului	49
	3.2.3. Implementarea sistemului	50
3.3.	ASIGURAREA CALITĂȚII LA MONTAJ	60
	3.3.1. Cerințele sistemului	60
	3.3.2. Funcțiile sistemului	62
	3.3.3. Implementarea sistemului	64
	3.3.4. Concluzii	65



CON 1

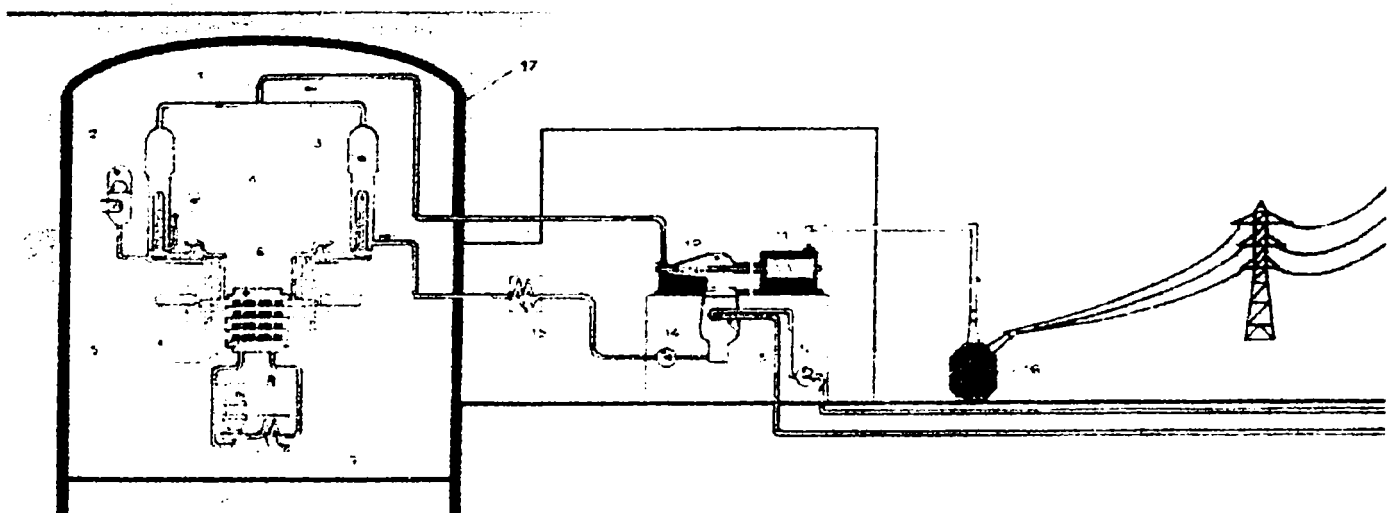
Capitolul IV: ÎMBUNĂTĂȚIREA FIABILITĂȚII GENERALE A CNE PRIN MĂRIREA FIABILITĂȚII COMPONENTELOR STRUCTURILOR METALICE	67
4.1. GENERALITĂȚI	67
4.2. PROBLEME DE STRUCTURĂ ALE CONSTRUCȚIILOR METALICE CNE	68
4.2.1. Probleme de formă și alcătuire	68
4.2.2. Probleme de prinderi și rezemări	76
4.2.3. Probleme de execuție și montaj	91
4.3. PROBLEMA MATERIALELOR DE STRUCTURĂ ȘI PROTECȚIE CONTRA RADIAȚIILOR	96
4.3.1. Criterii pentru alegerea materialelor de structură și protecție a radiațiilor	96
4.3.2. Comportarea la iradiere	97
4.3.3. Rolul și proprietățile materialelor de protecție contra radiațiilor	97
4.4. PROBLEME DE PROTECȚIE A CONSTRUCȚIILOR METALICE LA CNE	103
4.4.1. Protecția la temperaturi ridicate	103
4.4.2. Protecția la agenți corozivi	105
4.4.3. Protecția la radiații	106
4.5. PARTICULARITĂȚI ALE CALCULULUI DE FIABILITATE	107
4.6. SCURTE APLICAȚII NUMERICE	122
Capitolul V: ÎMBUNĂTĂȚIREA FIABILITĂȚII GENERALE A CNE PRIN ADOPTAREA UNOR SOLUȚII CONSTRUCTIVE ÎMBUNĂTĂȚITE ÎN VARIANTA STRUCTURILOR METALICE	126
5.1.1. GENERALITĂȚI	126
5.1.2. CRITERII STRUCTURALE ALE ANVELOPEI CNE TIP CANDU-PHWR	127
5.1.2.1. Criterii de fundare	127
5.1.2.2. Criterii de analiză și proiectare pentru structura anvelopei	129
5.1.2.3. Criterii de analiză și proiectare pentru structura internă a clădirii din b. a. a reactorului de tip CANDU-PHWR	131
5.1.2.4. Deplasări și deformații ale clădirii reactorului de tip CANDU-PHWR	137
5.2. SOLUȚIA I: SISTEME DE ANVELOPARE CU DUBLĂ ETANȘARE DIN BETON ȘI OȚEL	143
5.2.1. Alcătuire	143
5.2.2. Particularități ale calculelor de rezistență	148
5.2.3. Particularități ale calculelor de fiabilitate	149
5.3. SOLUȚIA II: SISTEME DE ANVELOPARE CU DUBLĂ ETANȘARE DIN BETON ȘI ALUMINIU	150
5.3.1. Alcătuire	150
5.3.2. Particularități ale calculului de rezistență	152
5.4. SCURTE APLICAȚII NUMERICE	153
Capitolul VI: ÎMBUNĂTĂȚIREA FIABILITĂȚII GENERALE A CNE PRIN ADOPTAREA UNOR SOLUȚII NOI DE ANVELOPARE ÎN STRUCTURA METALICĂ	154
6.1. PREZENTARE GENERALĂ	154
6.2. FORMĂ ȘI ALCĂTUIRE	157
6.3. PARTICULARITĂȚI ALE CALCULULUI DE REZISTENȚĂ	159
6.3.1. Calculul anvelopei și al gerinzii inelare	159
6.3.2. Calculul platformelor	162
6.4. PARTICULARITĂȚI ALE CALCULULUI DE FIABILITATE	164
6.5. APLICAȚII NUMERICE	169
Capitolul VII: CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE	181
7.1. CONCLUZII GENERALE	181
7.2. CONTRIBUȚII ORIGINALE	185
Capitolul VIII: DOCUMENTAȚIA DE REFERINȚĂ	188
8.1. DOCUMENTE NORMATIVE	188
8.2. BIBLIOGRAFIE	190

# Capitolul 1

# PREZENTARE GENERALA

## 1.0. PREAMBUL

O centrală nucleară electrică este un ansamblu de instalații complexe și construcții, reunite în scopul producerii energiei electrice din energia termică obținută prin inițierea și întreținerea unei reacții nucleare de fisiune controlată în lanț, proces realizat de reactorul nuclear (ex. v. fig. 1.0.0. la C.N.E. tip CANDU - PHWR și fig. 1.0.1. a, b).



### LEGENDA:

- 1. Conduce de abur
- 2. Presurizor
- 3. Generator abur
- 4. Pompe circuit primar

- 5. MID (mașina încărcat-descărcat combustibil)
- 6. Calandria
- 7. Combustibil
- 8. Pompe circuit moderator
- 9. Schimbător de căldură
- 10. Turbina

- 11. Generator electric
- 12. Pompe răcire condensator
- 13. Condensator
- 14. Pompe apă de alimentare
- 15. Preîncăzitor
- 16. Transformator
- 17. Anvelopa reactorului

**Fig. 1.0.0. Funcționarea și alcătuirea unui reactor de tip CANDU (PHWR)**

Într-o centrală nucleară, reactorul îndeplinește aceeași funcție ca un arzător într-o centrală pe cărbune, gaz natural sau păcura.

Căldura, indiferent dacă provine de la un reactor nuclear sau de la un arzător cu combustibil clasic, este necesară pentru a transforma apa dintr-un cazan, în abur.

Aburul, astfel obținut, rotește paletele unei turbine ce pune în mișcare generatorul producător de electricitate (v. fig. 1.0.2. a și b)

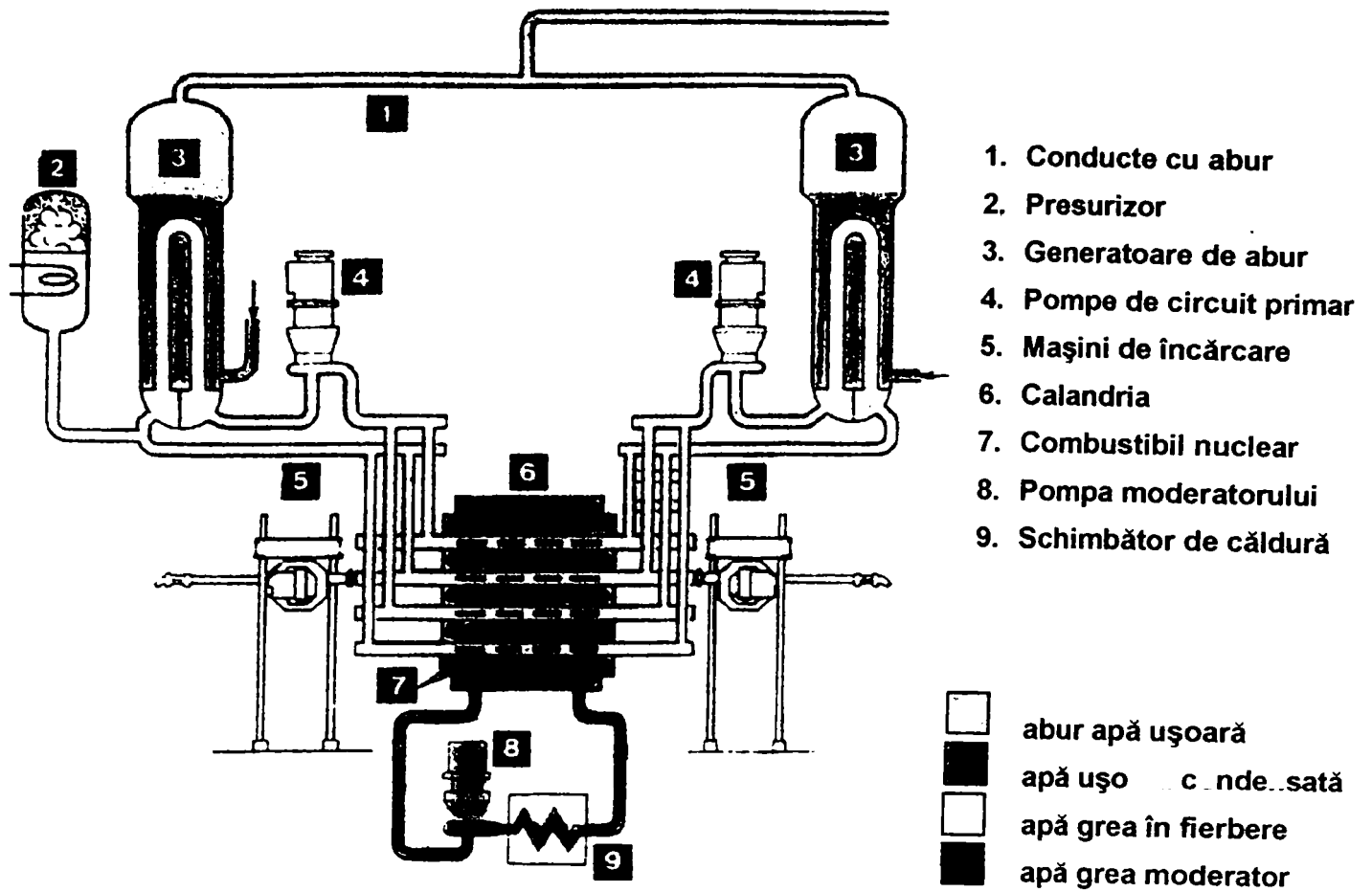


Fig. 1.0.1. a) Schema sistemelor unui reactor CANDU (PHWR)

1. Calandria
2. Barele de control-oprire
3. Sistemul de injecție
4. Vasul de presiune
5. Tuburile de presiune
6. Țevile fiderilor

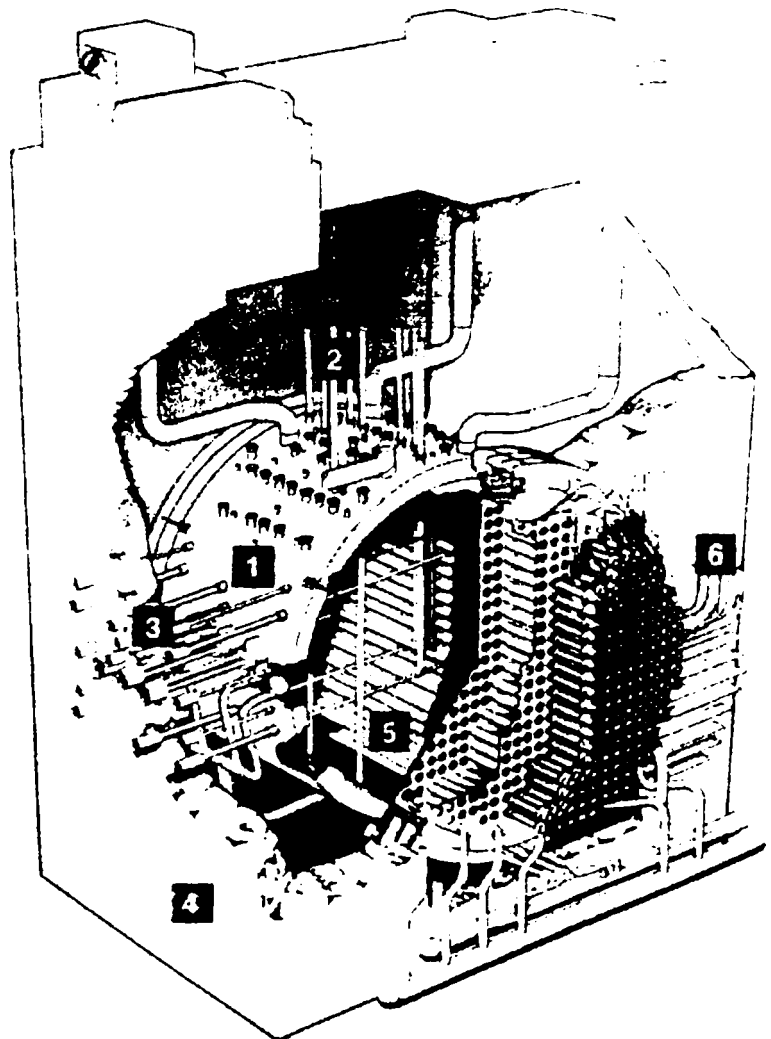
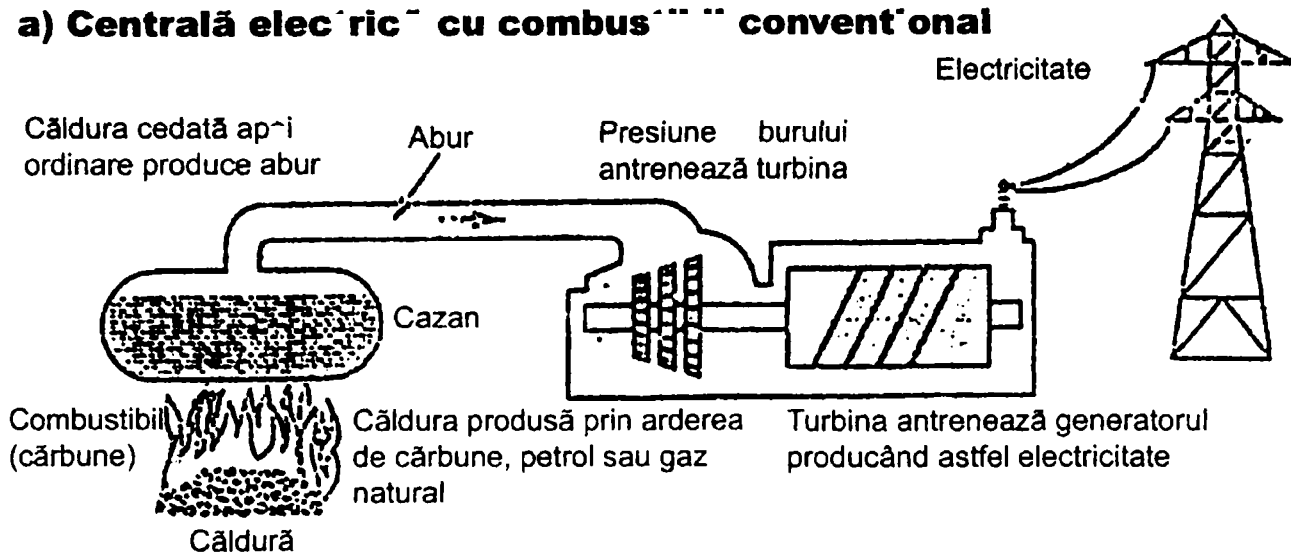


Fig. 1.0.1. b) Ansamblul Calandria

### a) Centrală electrică cu combustibil convențional



### b) Centrala electrică nucleară (ANDU-PHWR)

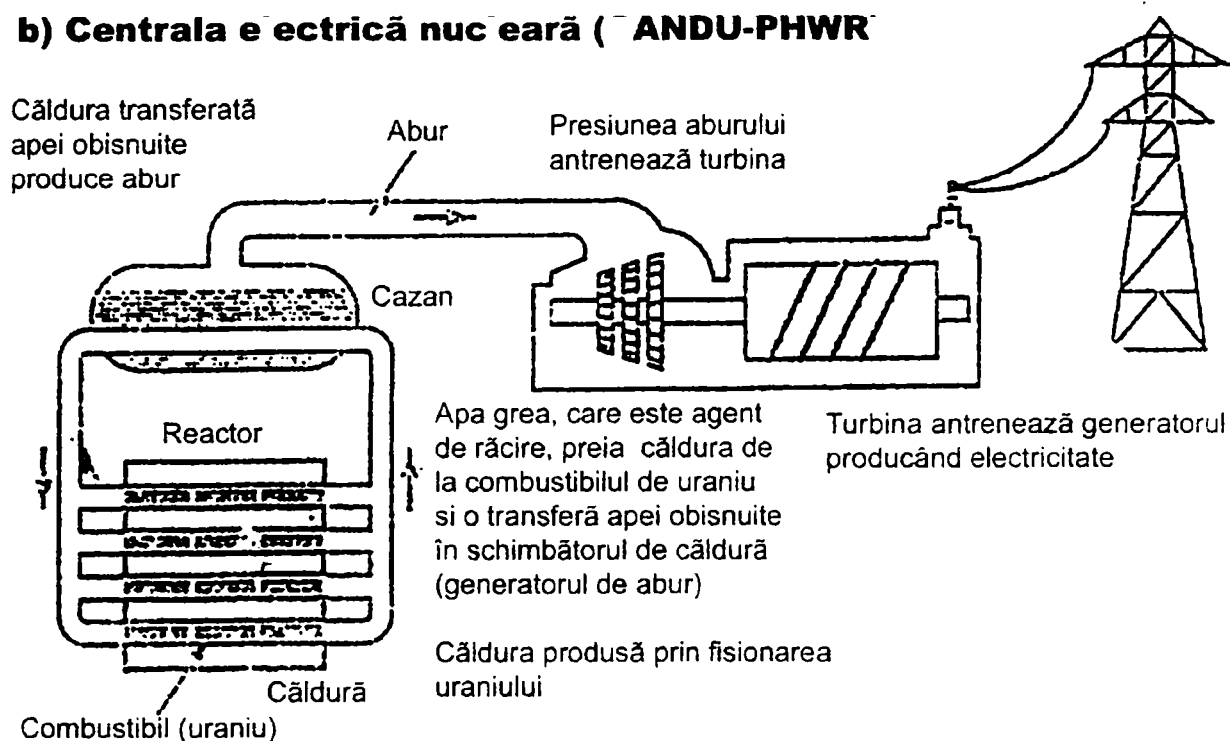


Fig 1.0.2. Schemele simplificale ale centralelor energetice: a) CTE; b) CNE

În cazul unui reactor nuclear, combustibilul folosit conține uraniu. Căldura este produsă în reactor prin scindarea atomilor de uraniu în urma bombardării nucleului de uraniu  $U^{235}$  cu un neutron, după schema din fig. 1.0.3.

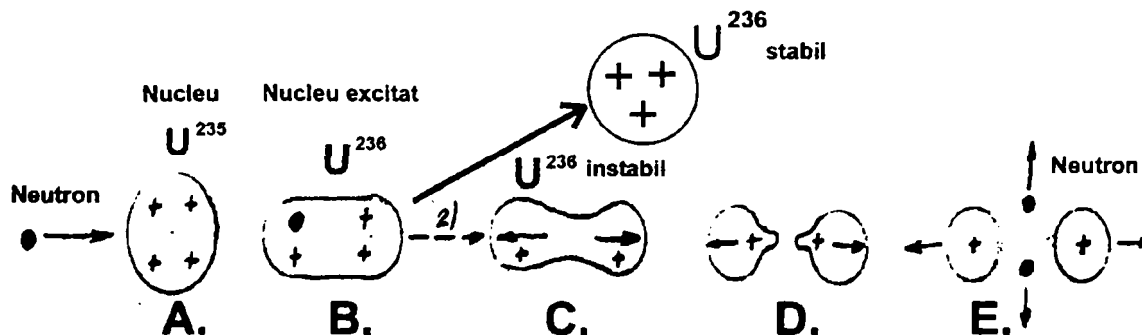


Fig. 1.0.3. Modelul pentru explicarea procesului de fisiune: Starea A: nucleu sferic, datorită energiei de legătură; Starea B: nucleu excitat prin absorbția neutronului, cu energie de legătură + energia cinetică a neutronului; Starea C: cu cele două variante: 1) nucleu stabil, când energia în exces este insuficientă pentru a provoca deformarea (16% din cazuri) și aceasta se emite ca radiații  $\gamma$ ; 2) nucleu instabil, când excesul de energie depășește o anumită valoare - energia critică (84% din cazuri); Starea D: ruperea nucleului în două fragmente de fisiune; Starea E: emisia de neutroni.

Atunci când un atom este scindat în urma ciocnirii cu un alt neutron aflat în mișcare, are loc o eliberare semnificativă de energie și a altor doi - trei neutroni noi. Aceasta este reacția nucleară, denumită reacție de fisiune nucleară, la care rezultă: fragmente de fisiune ( izotopi instabili ), neutroni, energie și radiații alfa, beta și gama.

Dacă neutronii eliberați în urma fisiunii nucleului de uraniu U235 sunt încetiniți (moderați), posibilitatea unei ciocniri atomice producătoare de căldură crește, având de a face în felul acesta cu o reacție de fisiune în lanț, care multiplică energia ce se eliberează și creează suficientă căldură, care transformă apa de răcire în abur ce poate antrena paletele unei turbine.

În principiu, un reactor nuclear se compune dintr-o zonă centrală, denumită și "zonă activă", aflată într-un rezervor cilindric orizontal, denumit vas "calandria", în care are loc reacția de fisiune în lanț, un mediu de răcire care transportă căldura degajată în zona activă, la generatorii de aburi, și moderatorul care permite întreținerea reacției în lanț prin reducerea vitezei neutronilor (v. fig. 1. 0. 1. a și b).

În lume există diverse tipuri de reactori nucleari, toți funcționând pe baza aceluiași principiu; producerea căldurii prin fisiunea atomilor de uraniu. Ceea ce diferențiază aceste tipuri de reactori nucleari - așa zisele filiere nucleare - este modul de combinare a celor trei componente de bază, după cum rezultă din fig. 1. 0. 4. și 1. 0. 5. și anume: combustibilul, moderatorul și agentul de răcire.

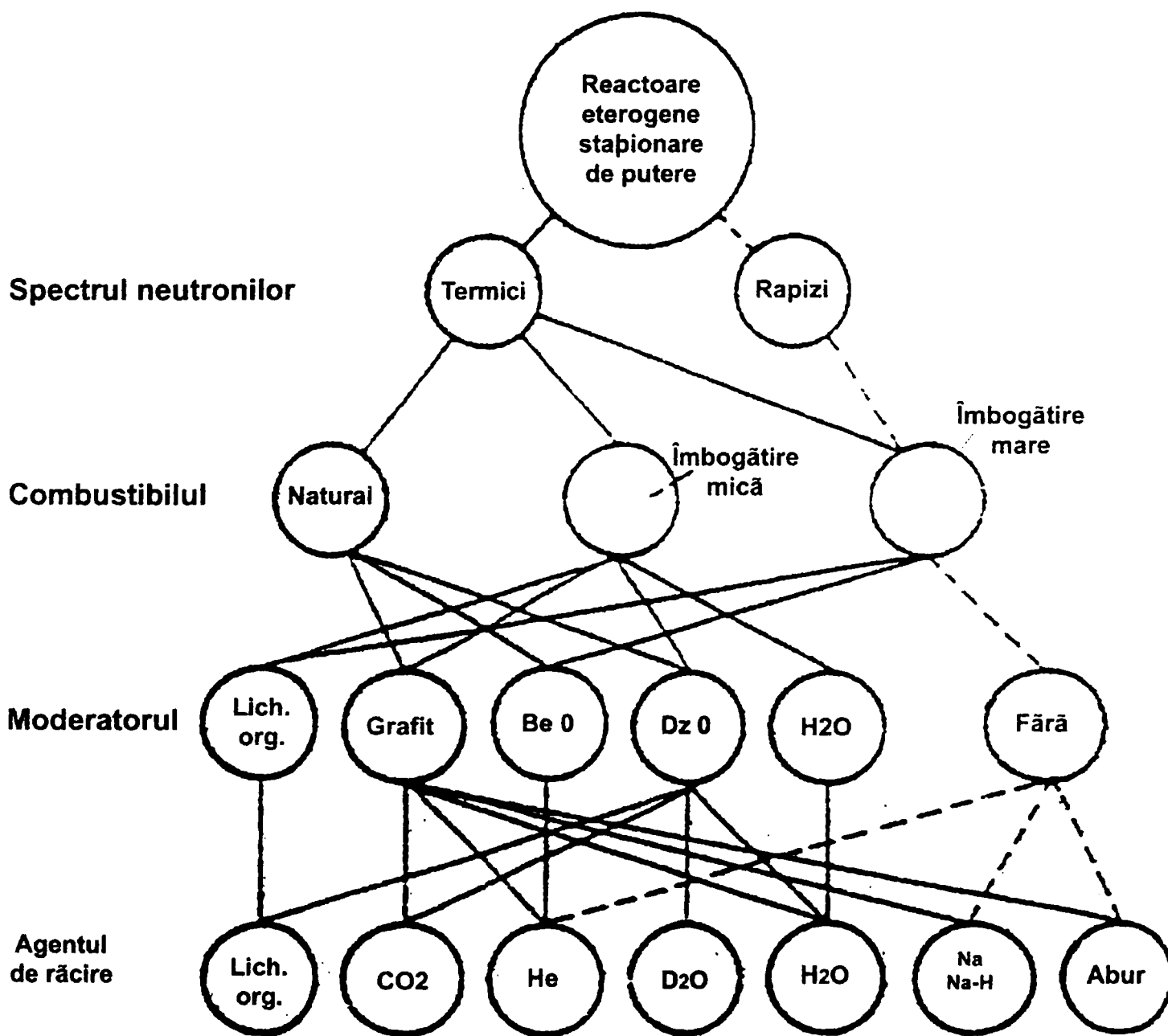


Fig. 1.0.4. Clasificarea reactoarelor eterogene de putere, după materialele zonei active.

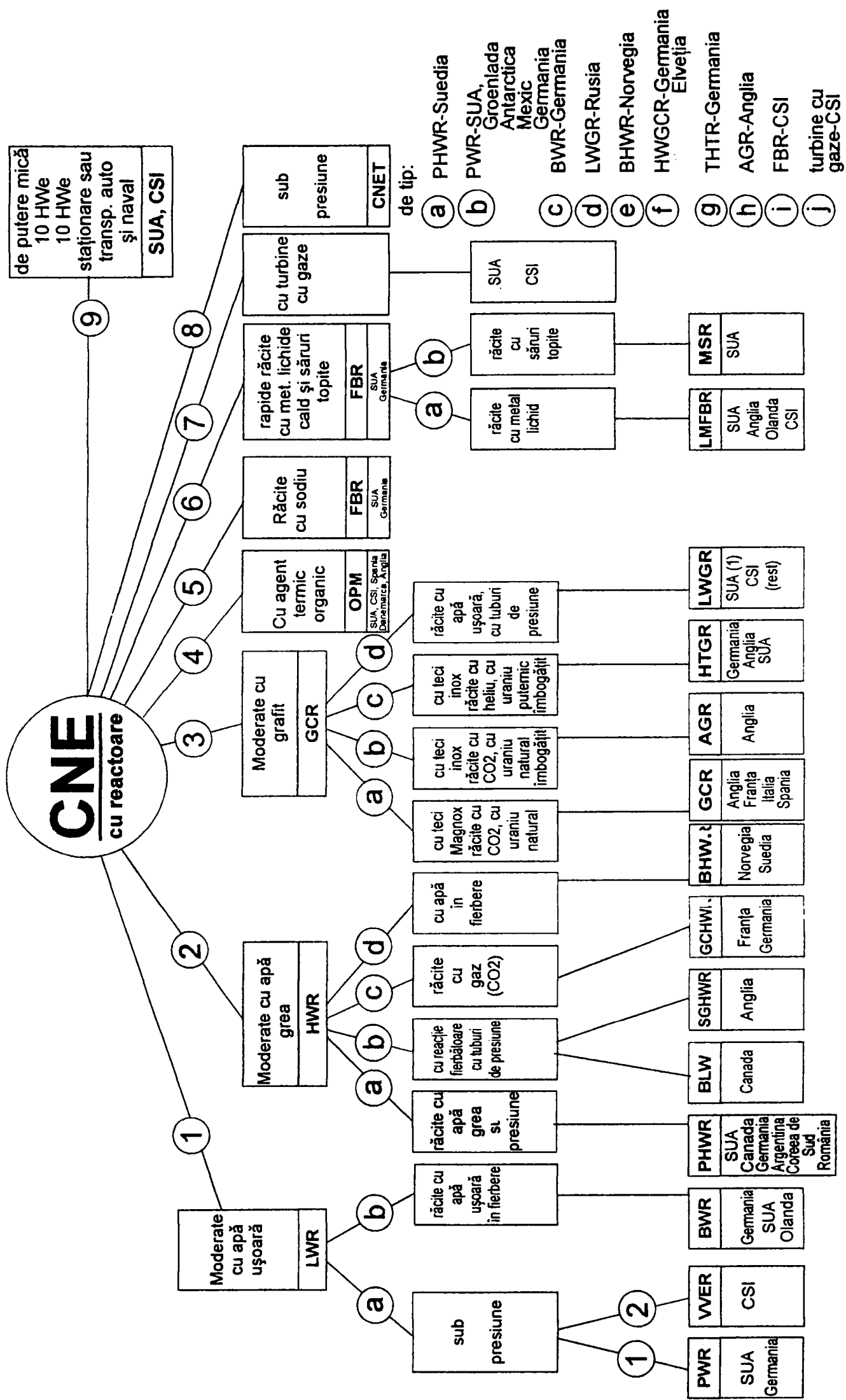


Fig 1.0.5. Clasificarea CNE de diferite tipuri



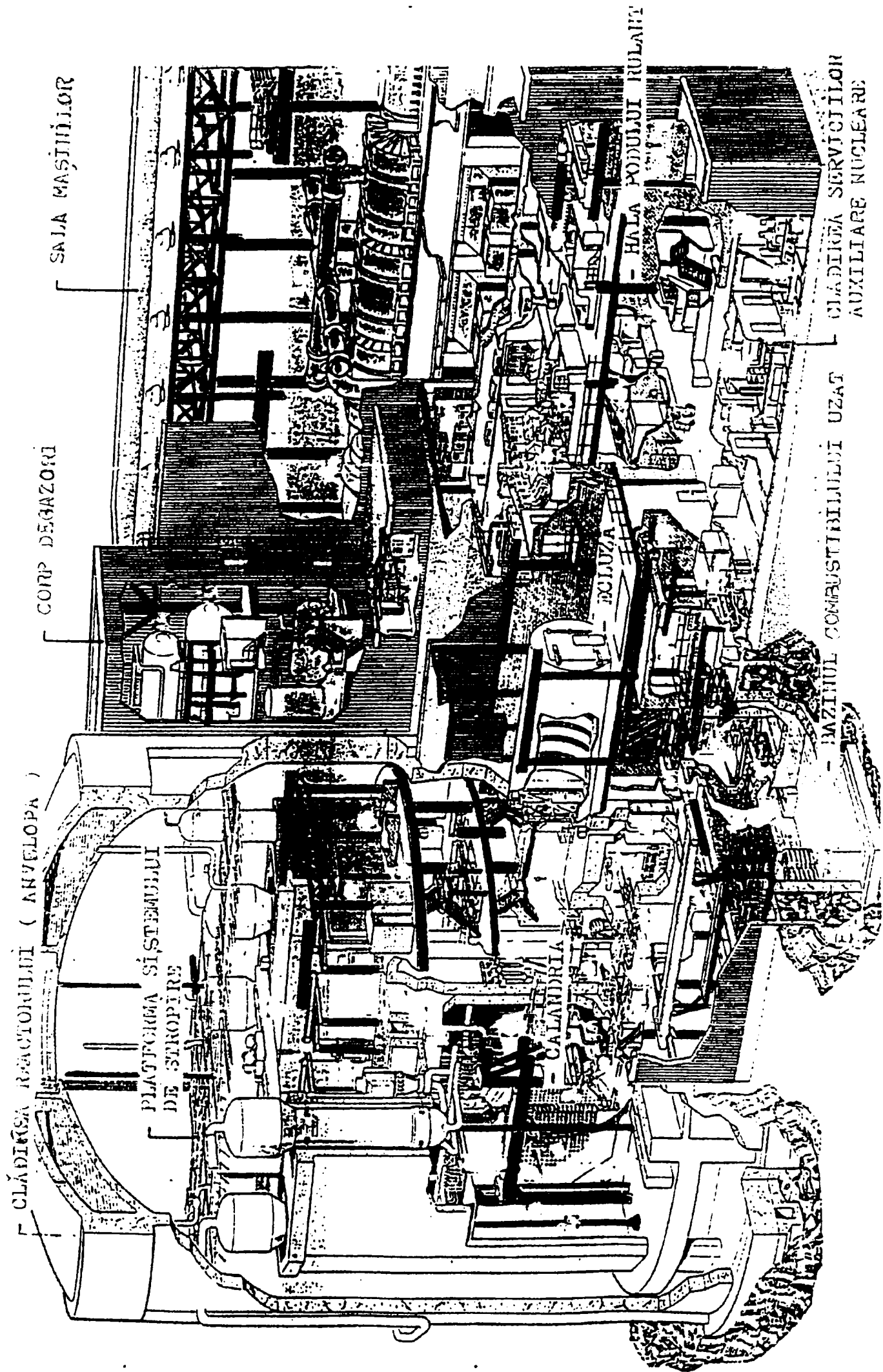
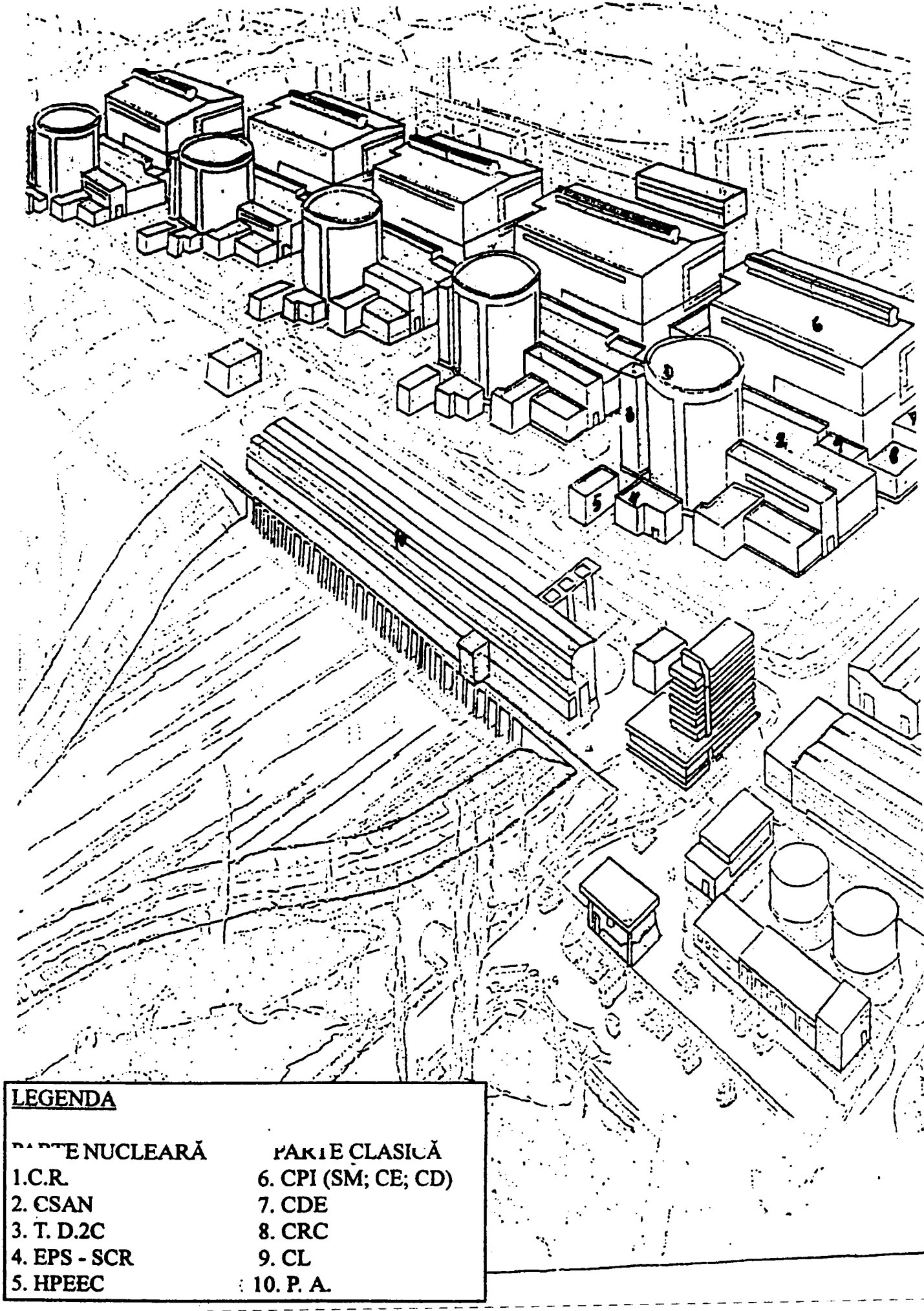


FIG. 1.0.6. SECȚIUNE PRIN CLĂDIRILE CNE TIP CANDU (PHWR).



**LEGENDA**

**PARTI NUCLEARĂ**

- 1. C.R.
- 2. CSAN
- 3. T. D.2C
- 4. EPS - SCR
- 5. HPEEC

**PARTI CLASICĂ**

- 6. CPI (SM; CE; CD)
- 7. CDE
- 8. CRC
- 9. CL
- 10. P. A.

**Fig. 1.0.7. COMPLEX CNE DIN CINCI UNITĂȚI NUCLEARE**

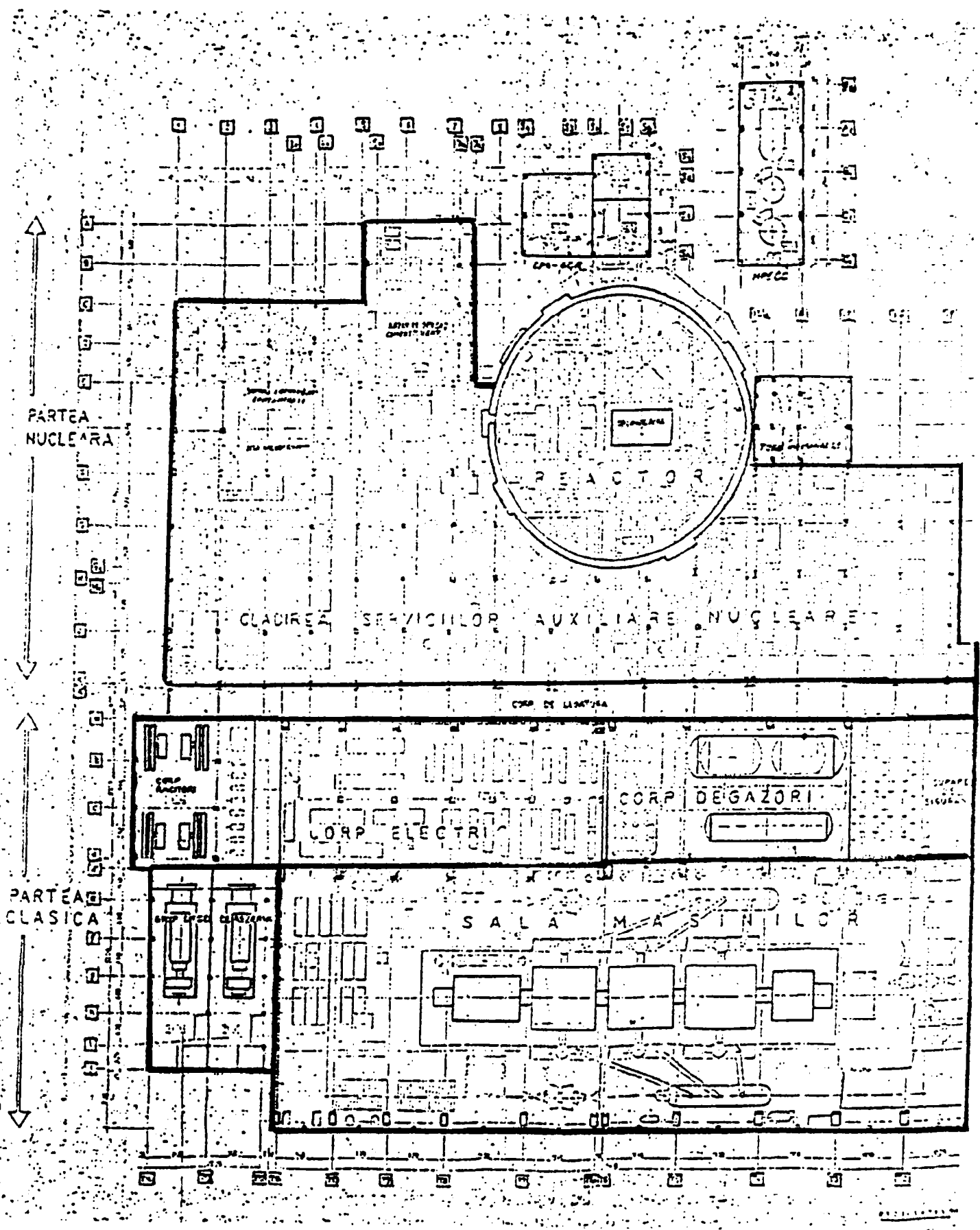


Fig. 1.0.8. PLANUL CLĂDIRII PRINCIPALE ȘI AUXILIARE ALE UNEI UNITĂȚI CNE

Tipul de reactor prezentat în fig. 1. 0. 1. preluat și de țara noastră, se numește CANDU, nume ce rezumă trei dintre caracteristicile principale ale reactorului: sistemul este CANadian, el folosește apa grea (Deuteriu  $2\text{O}$ ) ca moderator și combustibilul utilizat este Uraniu natural, acest reactor fiind de tip PHWR (vezi filiera 2 a din fig. 1. 0. 5.).

O centrală nuclearo-electrică de tip CANDU (PHWR), ca de altfel majoritatea CNE existente la ora actuală în lume, este alcătuită de regulă din două părți importante (vezi fig. 1. 0. 6.).

- partea nucleară, compusă din sisteme tehnice legate efectiv de producerea, transportul și siguranța agentului termic ca rezultat al fisiunii nucleare.

- partea clasică, compusă din sisteme clasice de producere a electricității, cum sunt: turbina, generatorul electric, stația de transformare etc.

Fiecăreia din părți îi sunt aferente un complex de clădiri principale sau auxiliare, după rolul și importanța pe care-l au în funcționarea unei unități nucleare. Din motive de siguranță, aceste clădiri sunt independente în cadrul CNE, formate din mai multe unități nucleare, fiind aferente câte una pentru fiecare unitate în parte (v. fig. 1. 0. 7. ).

Partea nucleară a unei CNE are ca clădire principală, clădirea reactorului (anvelopa), iar ca clădiri auxiliare: clădirea serviciilor, turnul pentru reconcentrarea  $D\ 2\ O$ , clădirea sistemului pentru alimentare cu energie la avarie și camera de comandă secundară, clădirea sistemului de alimentare cu apă la avarie și clădirea treptei de înaltă presiune pentru răcire la avarie. La rândul ei, clădirea serviciilor este formată din mai multe corpuri, printre care clădirea serviciilor propriu-zise, auxiliare nucleare, hala podului rulant, clădirea zonei de decontaminare, zona bazinului de depozitare combustibil uzat (v. fig. 1. 0. 8. ).

Partea clasică a CNE are ca clădire principală, clădirea principală integrată formată dintr-un ansamblu de trei corpuri de clădiri și anume: sala mașinilor, corpul degazurilor și corpul electric, iar ca clădiri auxiliare: centrala Diesel electrică de rezervă la avarie, corpul răcitorilor și corpul de legătură între sala mașinilor și clădirea serviciilor auxiliare nucleare (v. fig. 1. 0. 8. ).

Cu excepția anvelopei care la CNE de tip CANDU (PHWR), este din beton armat precomprimat, restul clădirilor la aceasta centrală, ca de altfel și la majoritatea celorlalte tipuri de CNE, sunt construcții metalice cu diferite configurații: tip hală, la sala mașinilor, corpul electric, corpul degazării și hala podului rulant din clădirea serviciilor; tip clădire multi-etajată la clădirea serviciilor auxiliare nucleare sau tip turn, ca la turnul de reconcentrarea  $D\ 2\ O$ .

Cu toate că anvelopa la reactoarele CANDU este de beton armat, în interiorul acesteia, structura de susținere a diferitelor sisteme și instalații, este metalică, formată din stâlpi, grinzi, contravânturi și platforme, amplasate la diferite cote în interiorul clădirii reactorului. Unele tipuri de reactoare existente la ora actuală în lume folosesc pentru sistemul de anvelopare fie învelișuri din beton armat, în general de forma cilindrică, fie învelișuri din mantale metalice preponderent sferice și cu dubla etanșare sau mixte metal-beton armat, de forma cilindrică sau sferică.

Securitatea nucleară este determinată de riscul prezentat de o centrală nuclearo-electrică, ce constă în esență în scăparea în mediul înconjurător a unor cantități de materiale radioactive peste valorile limitelor stabilite pentru caz de accident.

Măsurile luate în centrală trebuie să asigure ca posibilitatea unui astfel de accident, să fie sub  $10^{-6}$  (evenimente / an).

Pentru a putea înțelege mai bine noțiunea de siguranță în funcționare sau altfel spus, pentru a putea răspunde mai bine la întrebarea "cât de sigură este o centrală nucleară electrică?", trebuie mai întâi definită noțiunea de risc.

Astfel, pentru a defini noțiunea de risc, trebuie acceptată ideea că nimic nu este sigur, perceperea riscului fiind subiectivă și variind de la individ la individ.

Totuși, în cele mai multe studii științifice despre risc, [8], [23], acesta este definit ca fiind produsul dintre

probabilitatea unui eveniment și mărirea consecințelor sale.

O activitate este considerată ca fiind sigură, când riscul pe care îl implica este scăzut, comparativ cu alte activități corespunzătoare, acceptate de societate.

Astfel, au fost depuse eforturi pentru a se estima mărimea riscului în comparație cu beneficiul adus de diverse activități, studiile efectuate sugerând ca indivizii sunt dornici să efectueze activități cu riscuri de o mie de ori mai mari, pentru a obține aceleași beneficii, rezultatul studiilor indicând faptul că în evaluarea riscurilor elementul emoțional primează celui rațional (este cazul indivizilor ce se tem să zboare cu avionul, preferând călătoria cu automobilul, deși riscul pe călătorie și chiar pe kilometru, este mai mare în cazul călătoriei cu automobilul).

Riscurile pot fi clasificate în două categorii: riscuri "cronice" (incidentele) și riscuri "acute" (accidentele).

În prima categorie intra scăpările de produse toxice, scăpările reduse de substanțe radioactive, etc., toate încadrându-se între niște limite acceptabile a căror nivele au fost stabilite prin norme de mediu.

În a doua categorie a accidentelor intra scăpările ridicate de gaze toxice și radioactive, explozii, avarieri de baraje, etc.

Singura diferență dintre astfel de accidente posibile și un accident posibil în cazul unei CNE, este faptul că riscul public la aceasta din urmă este mai degrabă unul radiologic decât unul chimic sau fizic. O centrală nucleară nu dispune de inventare mari de produse chimice care să se poată dispersa în natură și nici nu poate exploda ca o bombă atomică.

Un risc pentru populație în cazul unei CNE, îl constituie numai acele accidente care conduc la mari scăpări de substanțe radioactive în mediul înconjurător. De altfel, nici o modalitate de obținere a energiei electrice nu este lipsită de risc: mii de vieți omenești sunt pierdute la ruperea unui baraj în cazul centralelor hidro sau în cazul exploziilor la o mină de cărbune sau CTE, principalul risc la centrala cu combustibil fosil fiind poluarea aerului.

De exemplu, după /8/, o centrală utilizând drept combustibil cărbunele, poate provoca de 400 ori mai multe decese decât o centrală nucleară de aceeași putere, de 4 - 18 ori mai multe decât una pe păcura și de 300 - 500 ori mai multe decât una pe gaz.

Studii științifice și tehnologice de prestigiu, /8/, /13/, /23/, /24/, /31/, arată că energia nucleară împreună cu sursele noi de energie (solară, eoliană, etc.) în condiții de funcționare normală se plasează în zona de riscuri scăzute pentru sănătatea populației, pe când energia produsă în CTE clasice se află în zona de riscuri ridicate. În condiții de accidente severe cu o foarte mare probabilitate de apariție la energia nucleară putem compara riscuri de aceeași ordine de mărime cu energia produsă pe baza de petrol și gaz natural și cu două ordine de mărime mai mici decât energia hidro.

Luând ca sursă pe Cohen, B. And Lee, L.S. în "A catalogue of risks" Health 1991, după /G1/, pot fi date ca exemplu câteva activități umane care au drept risc scăderea medie a duratei de viață (măsurată în nr. de zile) cum sunt: bărbat necăsătorit - 3500, fumător - 2250, accidente rutiere - 207, alcool - 130, expunere la radiații - 40, radiații naturale - 8, accidente în CNE (studiul Rosmassen) - 0,02.

Securitatea populației, de altfel de o mare importanță, nu reprezintă singura motivație pentru grija extremă care se acordă problemelor de securitate ale CNE.

Astfel, după /23/, un accident într-o centrală nucleare-electrică conduce la pierderi de aproximativ un milion de dolari pe zi pentru a acoperi pierderile de electricitate, motiv suficient pentru ca asigurarea unor înalte standarde de securitate să fie preocuparea primordială în dezvoltarea CNE.

Ori, tocmai acest deziderat și-l propune și lucrarea de față, din punctul de vedere al specialistului în construcții metalice coroborat cu cerințele fiabilității energiei nucleare și al asigurării calității obiectivelor CNE.

## 1.1. SCOP

Dezvoltarea energiei nucleare, de la apariția primelor reactoare de putere și până astăzi se caracterizează prin eforturi sporite îndreptate spre creșterea siguranței în funcționarea CNE.

Filosofia siguranței și securității nucleare presupune un ansamblu de măsuri tehnice și organizatorice destinate să asigure funcționarea sistemelor și instalațiilor nucleare în condiții de siguranță, să prevină și să limiteze deteriorarea echipamentelor și să ofere protecție personalului ocupat profesional, populației, mediului înconjurător și bunurilor materiale împotriva iradierii sau contaminării radioactive.

Analizând problemele de siguranță și securitate nucleare din CNE, se constată în primul rând că există deosebiri esențiale față de modul cum sunt privite problemele de securitate în alte domenii ale tehnicii și chiar din alte domenii ale tehnologiilor nucleare. Specificul CNE este determinat, în principal, de faptul că trebuie să se prevadă măsurile de prevenire împotriva unor erori care nu s-au mai produs în practică, dar care în mod teoretic s-ar putea produce, în timp ce în alte domenii măsurile de tehnica a securității sunt generate aproape în totalitate de experiența acumulată în perioade lungi de timp.

Cea mai importantă sursă de pericole nucleare din centrală o constituie reactorul nuclear, unde în timpul funcționării se acumulează produse de fisiune, unele dintre ele cu durată lungă de viață. Cele mai periculoase produse de fisiune se prezintă sub formă de gaze nobile:  $Xe_{133}$ ,  $Kr35$ , halogeni:  $I_{131}$  și metale volatile:  $Sr_{90}$ ,  $Cs_{137}$ , deoarece se pot răspândi cu ușurință în atmosferă și prin iradierea beta și gama a organismelor produc îmbolnăviri, în special atunci când sunt inhalate (de exemplu iodul se fixează în glanda tiroidă, fiind foarte periculos mai ales la copii, iar stronțiu și cesiul se acumulează în oase).

Activitatea totală a produselor de fisiune care se acumulează în zona activă a unui reactor de 3000 MWt. Poate fi, după /24/, de  $4,9 \times 10^8$  Ci.

Pentru împiedicarea punerii în libertate a acestor elemente radioactive se are în vedere strategia de "apărare în adâncime" care constă din conceperea unui sistem de bariere fizice necesare în calea eliberării surselor radioactive, pentru fiecare dintre acestea existând mai multe nivele de apărare împotriva acelor evenimente care ar putea afecta integritatea fiecărei bariere fizice.

Dintre toate tipurile de centrale nucleare s-au ales pentru studiul acestei lucrări, în general, pe cele moderate sau răcite cu apă grea sub presiune (tip PHWR) și în particular pe unul dintre cele mai dezvoltate și mai bine puse la punct tehnic și economic și care a acumulat o bună experiență de exploatare - tipul CANDU - PHWR, pentru care a optat și România și care se află în construcție la Cernavodă, unde prima unitate a fost pusă în funcțiune în anul 1996.

Cu toate măsurile de siguranță luate în calcul, la stabilirea riscurilor, totuși unele probleme structurale și tehnice apărute la proiectare, execuție, montaj și probe, în special pe partea nucleară a CNE, impun reanalizarea și schimbarea unor soluții tehnice de construcție, opțiunea pentru varianta structurilor metalice putând juca un rol salvator în luarea deciziilor.

Pentru menținerea tuturor caracteristicilor de siguranță și fiabilitate este necesar să se acorde o mai mare atenție problemelor structurale ale clădirilor CNE, mai ales a celor din partea nucleară, chiar dacă nu îndeplinesc funcții de securitate nucleară propriu-zisă.

Tocmai de aceea, scopul acestei lucrări este de a contribui la îmbunătățirea siguranței și fiabilității generale a CNE și în special a celor de tip CANDU - PHWR, prin îmbunătățirea siguranței și fiabilității construcțiilor metalice ale CNE, teza fiind dezvoltarea în principal pe trei direcții, și anume:

- îmbunătățirea fiabilității generale a CNE prin creșterea fiabilității componentelor structurilor metalice în partea nucleară a CNE.

- îmbunătățirea fiabilității generale a CNE prin adoptarea unor soluții constructive îmbunătățite, în varianta anvelopelor mixte, beton - metal, prin căptușirea anvelopelor din beton cu mantale de oțel

- îmbunătățirea fiabilității generale a CNE prin adoptarea unor soluții noi de anvelopare în structură complet metalică.

## 1.2. DEFINIREA DOMENIULUI

Fiabilitatea - siguranța în funcționare - este un concept relativ nou, care a cunoscut în ultimul timp o evoluție rapidă, în toate domeniile, inclusiv cel al energiei nucleare.

În standardele și literatura de specialitate /B1/, /8/, /23/, s-a definit conceptul calitativ al fiabilității, atitudinea unui sistem, bloc, ansamblu, subansamblu, element ori produs etc., de a îndeplini corect funcțiile prevăzute pe durata unei perioade de timp date, în condiții specifice.

Noțiunea de siguranță, într-o formă empirică a apărut din cele mai vechi timpuri, în special în domeniul construcțiilor.

Încă din antichitate, cea mai veche legislație cunoscută în acest domeniu - codul lui Hammurabi, 1750 î. Ch. - stabilește responsabilitatea constructorului pentru cazurile în care o construcție realizată se prăbușea și aveau loc pierderi de vieți omenești, precizând:

*"Dacă un constructor construiește o casă pentru un om și dacă nu face această construcție solidă și casa care a construit-o se surpă și provoacă moartea proprietarului casei - constructorul va fi omorât".*

Tot în acest sens, cu un secol înainte de Cristos, arhitectul și scriitorul Vitruviu Polio, caracterizează astfel cunoștințele pe care trebuie să le aibă un constructor:

*"El trebuie să știe să scrie, să fie talentat în desen, cunoscător în geometrie, să nu ignoreze optica, să cunoască aritmetica, să fie în curent cu istoria, să fi ascultat filosofia, să priceapă muzica, să aibă cunoștințe de igienă, să știe dreptul și să fi studiat știința stelelor și cerului".*

Cu toate acestea, anchetele efectuate printre specialiști /F1/ arată că domeniile în care fiabilitatea a fost direct implicată și a asigurat succesul realizărilor tehnice specifice sunt, în principal: construcția și exploatarea aparaturii electrice, electronice și microelectronice, sistemele de telecomunicații, construcția și exploatarea sateliților și laboratoarelor spațiale, sistemele urmărite și dirijate prin calculator, sistemele mecanice de finețe și precizie, aparatura și tehnica militară etc.

În ceea ce privește perioada actuală, preocupările pentru studiul științific al siguranței în cea mai veche știință - știința construcțiilor, principiile care stau la bază sunt siguranța și economia, subliniind că acestea sunt astăzi fundamentate pe elemente științifice verificate.

Problema de baza care s-a pus chiar de la începutul creării științei construcțiilor a fost cunoașterea legilor care leagă solicitările, respectiv forțele și deformațiile corpurilor, după care s-a pus problema cunoașterii forțelor și a solicitărilor ce acționează asupra construcțiilor și modul în care se manifestă această acțiune.

Totuși, tendința de bază este economia în construcții, adică folosirea cât mai rațională a proprietăților fizico - mecanice ale materialelor de construcții, cu garanția însă a rezistenței, respectiv a siguranței construcției atât în ansamblul ei, cât și în fiecare din elementele care o compun.

Toate lucrările sau elementele de lucrări de construcții trebuie să fie calculate în așa fel încât să fie capabile să reziste cu siguranță la toate acțiunile prevăzute în timpul perioadei construcției și în perioada de serviciu.

Construcția este scoasă din serviciu atunci când unul sau mai multe din elementele sale încetează să îndeplinească funcțiunea pentru care a fost concepută prin deformații elastice sau plastice efective, prin fisurări excesive, prin rupturi sau deplasări anormale, la fiecare din aceste scoateri din serviciu, corespunzând un stadiu

limită.

Pentru construcție, starea limită poate fi atinsă în urma intervenției unor factori multipli de nesiguranță, de caracter întâmplător care se îmbină între ei și care își au originea fie în modificarea valorilor avute în vedere de inginer pentru rezistența materialelor utilizate, aceste valori fiind alese între valorile mai mult sau mai puțin dispersate, fie în intervenția solicitărilor imposibil de prevăzut cu exactitate în timpul duratei pentru care a fost stabilită construcția.

Scopul calculului siguranței este de a menține probabilitatea de a atinge starea limită avută în vedere dincolo de o anumită valoare stabilită în prealabil pentru tipul de construcție sau obiect considerat. Un calcul probabilistic complet cere cunoașterea legilor de distribuție a solicitărilor celor mai defavorabile care se pot prezenta în timpul întregii durate de execuție și exploatare a lucrărilor similare, ca și de capacitatea constructivă a diferitelor sale elemente de a rezista la aceste solicitări. Un asemenea calcul trebuie să țină seama de toți factorii întâmplători susceptibili de a influența asupra posibilității de a atinge starea limită considerată.

Datele statistice actuale sunt insuficiente sau inexistente, astfel că aplicarea sistematică și generalizată a principiilor probabilistice prezintă dificultăți serioase, fiind convenabil să utilizăm în modul cel mai adecvat rezultatele statistice deja obținute și să apreciem cât mai bine dispersiile pentru care există puține date la ora actuală.

Concomitent cu dezvoltarea sistemelor tehnice s-au amplificat consecințele negative pe care le atrăgeau întreruperile în funcționare: în ceea ce privește domeniul energiei nucleare pot fi date ca exemplu nenumăratele incidente care au condus la opriri de scurtă sau mai lungă durată, dintre care două - Three Mile Island (SUA) și Cernobîl (URSS) sunt considerate chiar accidente nucleare, deoarece au avut loc și scăpări radioactive în mediul înconjurător.

Siguranța în exploatare a obiectivelor și instalațiilor energetice în general și a celor nucleare în special a devenit în prezent o problemă majoră, datorită consecințelor economice pe care le implică la scara întregii economii.

Proiectarea judicioasă a sistemelor energetice deci și a sistemelor de anvelopare la CNE este legată de existența unor metode adecvate pentru calculul unor indicatori numerici, care constituie criterii obiective de comparare a diferitelor soluții analizate.

Siguranța sistemului poate fi definită drept probabilitatea ca într-un interval de timp considerat, instalația sau sistemul să funcționeze în condiții de calitate date, siguranța apărând ca o funcție de probabilitate având ca variabile timpul și comportarea posibilă a sistemului.

Caracteristicile de siguranță ale CNE cu reactoare PHWR - CANDU, avute în vedere pentru studiul acestei lucrări iau în calcul nu numai erorile umane, ci și căderile datorate echipamentului și alte riscuri naturale, cum ar fi cutremurele.

Producătorii de componente nucleare, inclusiv cei de construcții metalice trebuie să întrunească calități superioare. Fiecare componentă este examinată și trebuie să treacă prin filtrul de control intern al industriei și al controlului de calitate al acesteia. Ca o măsură în plus de siguranță, multe componente ale unei centrale nucleare, sunt duplicate. Chiar și computerul principal care operează reactorul este dublat, iar dacă se defectează, centrala este oprită automat. Cele două sisteme de oprire sunt total independente. În primul rând sunt barele de oprire care sunt suspendate deasupra reactorului: în caz de urgență acestea cad automat în miezul reactorului, fapt care duce la oprirea acestuia. În al doilea rând, de-o parte și de alta a reactorului sunt rezervoare ce contin o substanță otrăvitoare denumită nitrat de gadolinium. Această substanță lichidă, "otrăvește" miezul nuclear prin absorbția neutronilor necesari reacției în lanț în reactor. Dacă barele de oprire nu reușesc să oprească reactorul, atunci "otrava" este injectată cu gaz precomprimat în reactor, iar acesta este oprit din funcțiune instantaneu. O caracteristică adițională este sistemul de răcire, care într-un caz de urgență



pompează rapid apa în miezul reactorului, astfel menținând nivelul apei constant și răcește combustibilul nuclear (uraniu).

În plus, există cinci bariere defensive (vezi fig. 1. 2. 1.) proiectate pentru a împiedica scăpările de radioactivitate în condiții normale sau de urgență.

Prima din aceste bariere este combustibilul, pastila de bioxid de uraniu, care este împachetat într-un înveliș ceramic rezistent termic și apoi este introdus într-o carcasă unică fabricată dintr-un aliaj metalic, zircaloy, care reține cea mai mare parte a produșilor de fisiune solizi, chiar la temperaturi înalte, cu un factor de reținere de 99 %.

O a doua barieră este tubul de presiune care înconjoară combustibilul.

A treia barieră este vasul calandria cu sistemul primar de transport al căldurii care reține produsele de fisiune care ar putea scăpa ca urmare a defectării tecii.

A patra barieră este clădirea reactorului (anvelopa) care reține produsele reactive în cazul avariei tecii și sistemului primar.

De menționat este faptul că anvelopa nu intervine în exploatarea normală a reactorului, prima și în același timp principala funcție este de a împiedica raspândirea radioactivității în mediul înconjurător.

A cincea barieră este zona de excludere care înconjoară centrala pe o rază de 1,5 km, în jurul reactorului unde nu sunt permise activități umane permanente, nelegate de exploatarea CNE și care asigură o diluție atmosferică a oricărui eliberări de radioactivitate evitându-se astfel expuneri nepemise ale populației.

În afara produselor de fisiune în reactor și în circuitul agentului de răcire al reactorului pot să apară produse de coroziune și de eroziune care în condițiile din reactor devin radioactive și, acumulându-se în diverse locuri din centrală (coturi, ventile etc.), reprezintă o sursă de radiații periculoase pentru personalul de exploatare.

O altă sursă de pericole nucleare o constituie instalațiile anexe de depozitare a elementelor combustibile și a deșeurilor radioactive rezultate din procesul tehnologic, instalații prevăzute cu ecrane de protecție.

În prima categorie sunt incluse: sistemele de protecție automată, sistemele de răcire de avarie a zonei active, sistemele de răcire a incintei etanșe prin pulverizare de apă, sau zonele de răcire a elementelor de construcție, pompele de răcire de rezervă, ventilele de închidere rapidă, precum și alte instalații care intră în funcțiune la producerea unei avarii, în scopul limitării efectelor ei.

În categoria mijloacelor pasive care realizează securitatea nucleară sunt cuprinse: tecile elementelor combustibile, sistemul de circulație al agentului de răcire, vasul de presiune al reactorului sau tuburile de presiune, construcția etanșă numită înveliș de protecție, anvelopă sau containement, sistemul de condensare a aburului expandat prin ruperea circuitului primar, protecția biologică contra radiațiilor, sistemele de filtrare la cosul de evacuare a gazelor etc.

Construcțiile metalice care pot fi implicate direct în diferitele sisteme de securitate nucleară în funcție de dispunerea lor în CNE, sunt:

- platforma sistemului de stropire cu apă în caz de avarie, din clădirea reactorului care face parte din categoria mijloacelor active de securitate ;

- învelișul de protecție sau anvelopa, canalele de protecție biologică contra radiațiilor, suportul mașinii de încărcare cu combustibil și suportul generatoarelor de abur din clădirea reactorului, care fac parte din categoria mijloacelor de securitate.

Degradarea sau avarierea acestor structuri metalice poate avea drept consecințe degradarea sistemului din care fac parte, cu urmări dintre cele mai grave ce pot duce în afara întreruperilor în funcționarea CNE și la contaminări radioactive.

Celelalte elemente metalice ale diferitelor structuri ale clădirilor CNE fie din partea sistemelor de

securitate nucleară, fie a celor de pe partea clasică sunt implicate indirect în diferite sisteme de securitate, avarierea lor putând conduce la întreruperi în funcționarea diferitelor sisteme și instalații ale CNE, cum ar fi: plafonul luminos din camera de comandă principală, acoperișul sălii mașinilor, turnul de reconcentrare D20 etc.

Din vastul domeniu al construcțiilor metalice ce fac parte din structurile de rezistență (anvelope, hale, clădiri, turnuri) sau de protecție (ecrane, canale) ale unei centrale nucleare-electrice, am analizat pentru studiul acestei lucrări pe cele din prima categorie și anume a celor implicate direct fie în categoria mijloacelor active de securitate, fie în cea a celor pasive, cu accent deosebit pe îmbunătățirea siguranței și fiabilității construcțiilor metalice ale învelișului de protecție sau anvelopei, urmărind cele trei direcții principale și anume:

- mărirea fiabilității elementelor structurilor metalice,
- adoptarea unor soluții constructive îmbunătățite,
- adoptarea unor soluții noi de anvelopare.

Chiar dacă pe plan mondial, în domeniul construcțiilor s-a ajuns la reglementări unanim acceptate, în primul rând datorită marilor avantaje ale construcțiilor metalice (siguranța în exploatare, raport ridicat dintre rezistențele mecanice și greutatea proprie, compacitate și etanșitate, posibilități de realizare industrială a elementelor etc.) și în al doilea rând datorită metodelor de calcul semiprobabilistice ale stărilor limită, s-a considerat că este bine să se facă mai întâi o prezentare a problemelor specifice ale fiabilității CNE, pentru definirea mai clară a conceptului de siguranță, precum și o descriere a problemelor specifice de asigurarea calității, domenii de mare importanță pentru îmbunătățirea siguranței și fiabilității structurilor metalice ale CNE.

În încheierea lucrării sunt prezentate concluziile generale și contribuțiile originale ale autorului privind cele patru variante propuse pentru îmbunătățire precum și documentele de referință, normative și bibliografice utilizate de autor.

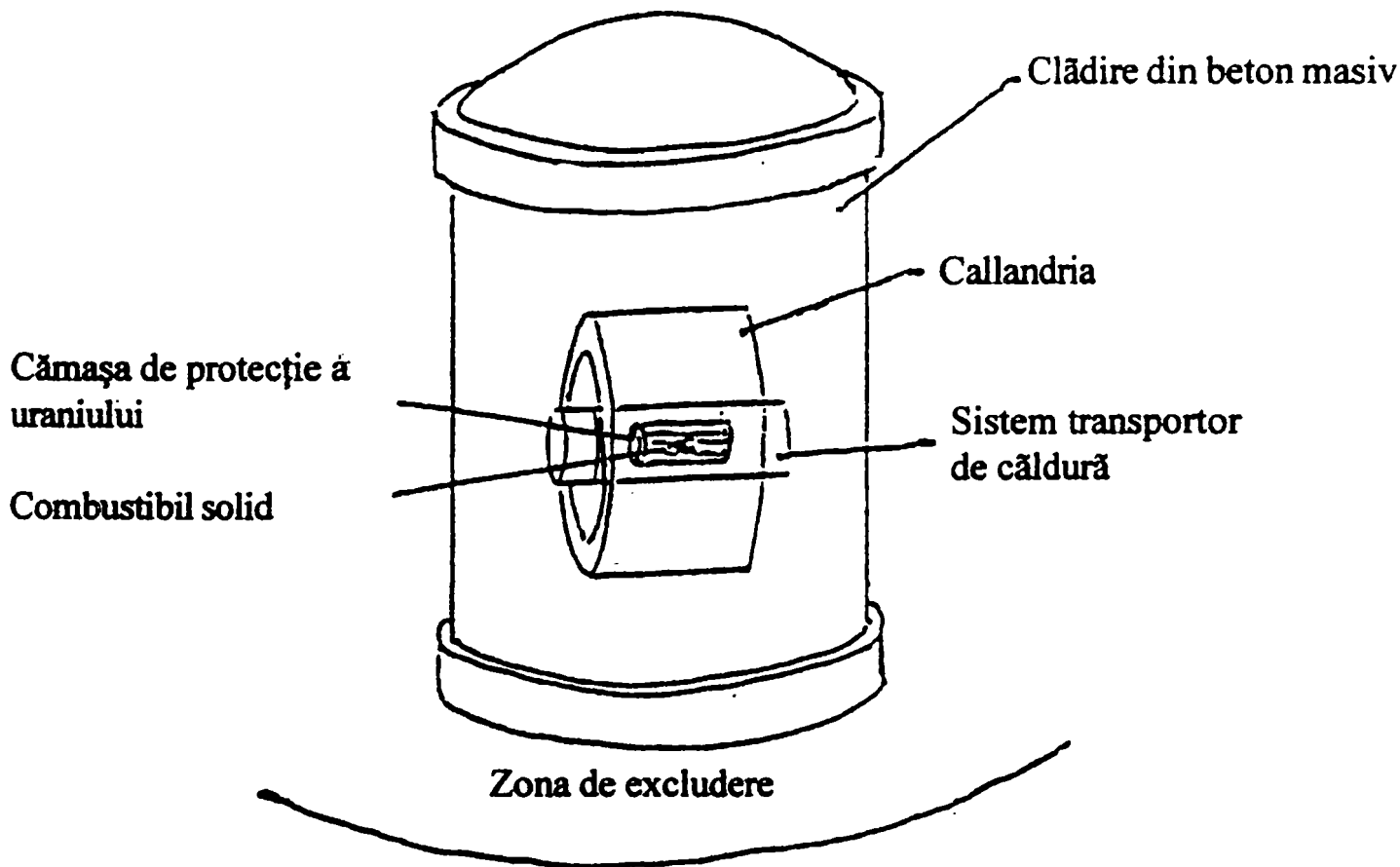


Fig. 1. 2. 1. Soluțiile de siguranță și de protecție ale reactorului și barierele prevăzute împotriva scăpărilor de radioactivitate.

### 1. 3. 1. PRESCURTĂRI ȘI SIMBOLURI

#### 1. 3. 1. 1. Prescurtări și simboluri utilizate în Capitolul I.

CNE - Centrala Nucleară Electrică

Xe - Xeleniu

Kr - Kripton

I - Iod

Sr - Stronțiu

Cs - Cesium

MWt - Megawați termici

Mwe - Megawați electrici

CANDU - Canada Deuteriu Uraniu

PHWR - Pression Heavy Watter Reactor (reactor cu apă grea sub presiune)

I.Ch. - Înainte de Cristos

fig. - figura

D<sub>2</sub>O - apă grea (deuteriu<sub>2</sub> oxigen)

CTE - Centrala Termo Electrică

#### 1. 3. 1. 2. Prescurtări și simboluri utilizate în Capitolul II

$\lambda t$  - intensitate de defectare

$\mu t$  - intensitate de reparare

$\Delta t$  - interval de timp

$p(t)$  - funcția siguranței în funcționare

$q(t)$  - funcția nesiguranței în funcționare

$f(t)$  - probabilitatea defectării unei componente într-un interval de timp dat

$F(t)$  - funcția de distribuție a timpului de funcționare fără defecțiuni

$t$  - timpul

$G(t)$  - funcția de distribuție a timpului de defecte

$g(t)$  - probabilitatea reparării defecțiunilor într-un interval de timp dat

$\alpha$  - parametru suplimentar

$T_f$  - timp de funcționare

$M(T_f)$  - durată medie de funcționare

$M(T_d)$  - durată medie de defectare

$D(T_f)$  - dispersia timpului de funcționare

$D(T_d)$  - dispersia timpului de defectare

$v$  - abaterea medie pătratică

$a$  - constanta

### 1.3.1.3. Prescurtări și simboluri utilizate în Capitolul III

AC (AQ) - asigurarea calității (idem și în limba engleză)

MAC - Manualul de Asigurarea Calității

PCCVI - Plan de control de calitate, verificări și încercări

ETAC - Examinări Tehnice de A. C. (AUDIT în limba engleză)

PF - pregătirea fabricației

CTC - control tehnic de calitate

$\Delta$  - simbolizare punct de control CTC

FCC - Fișa chestionar de control

T. T. - Tratamente termice

CND (NDE) - Control nedistructiv (presc. în lb. engleză)

P/I - proceduri / instrucțiuni

PIF - Punere în funcțiune

CNCAN - Comisia Națională pentru Controlul Activităților Nucleare

BSI - indexul sistemelor de bază (presc. din lb. engleză)

ISO - Organizație pentru Standardizare Internațională (presc. din lb. engleză)

AMC - Aparate de Măsură și Control

CGCM - Controlul garanției calității materialelor

### 1.3.1.4. Prescurtări și simboluri utilizate în Capitolul IV

mrem - miliremi, subunitate de măsură a intensității radiațiilor

$\Delta p$  - diferența de presiune

$Q_t$  - cantitatea totală de radiații

Ci - Curie, unitate de măsurare a radiațiilor

ASTM - American Standard for testing of materials

HB - unități Brinell pentru măsurarea durtății materialelor

Fe - fier

Sn - staniu

C - carbon

U<sub>2</sub> - unitatea 2

$\phi$  ext / int - diametrul exterior / interior

C<sub>ech</sub> - carbon echivalent

US - ultra sonic

SIRP - șuruburi, de înaltă rezistență, pretensionate

SDV - scule, dispozitive, verificatoare

SA - grad de sablare

SIS - standarde suedeze

Pb - plumb

AAM - simbol ancoră autoforantă

MS - simbol ancoră prezon

### 1.3.1.5. Prescurtări și simboluri utilizate în capitolul V

p<sub>n</sub> - presiune normală

$\Theta_1; \Theta_2$  - unghiuri ale suprafeței mediane cu axa de rotație

$\upsilon_1; \upsilon_2$  - tensiuni normale

$\delta_1; \delta_2$  - tensiuni tangențiale

M - momentul

T - forța tăietoare

N - efortul axial

t<sub>e</sub> - grosime echivalentă

q - încărcare uniform distribuită

Alte prescurtări și simboluri utilizate sunt identice cu cele descrise în paragrafele anterioare sau sunt explicate în textul capitolului de referință.

### 1. 3. 1. 6. Prescurtări și simboluri utilizate în capitolul VI

$\varphi$  - unghiul normalei la suprafața mediană cu axa de rotație

$d_e$  - diametrul exterior al țevii

$D_e$  - diametrul exterior al sferei

$t_s$  - grosime perete sferă

$\alpha, \beta$  - parametrii

$p_r$  - presiune

$p_s$  - suprapresiune

R - forța radială

$\mu$  - greutate specifică

$p_z$  - încărcare din zăpadă

$p_v$  - încărcare din vânt

$p_{vac}$  - subpresiune (vacuum)

$\nu$  - coeficient de siguranță

DBE - cutremure de bază în proiectare

SDE - cutremure de proiectare de amplasament

GDE - cutremur general de proiectare

Alte prescurtări și simboluri utilizate sunt identice cu cele descrise în paragrafele anterioare sau sunt explicate în textul capitolului de referință.

### 1. 3. 2. DEFINIȚII

#### 1. 3. 2. 1. Definiții utilizate în Capitolul I

- fiabilitate: calitatea sistemelor tehnice definită statistic, care se exprimă prin probabilitatea ca sistemul studiat să-și îndeplinească funcțiunile pentru care a fost proiectat, într-o perioadă de timp dată.

- securitate nucleară: totalitatea măsurilor într-o CNE pentru prevenirea și limitarea consecințelor incidentelor sau accidentelor nucleare.

- curie: unitate de măsură a intensității radiațiilor.

- bariere fizice: ecrane de protecție din beton sau metal, contra radiațiilor.

- sisteme tehnice: ansamblu de structuri și mecanisme care în mod obișnuit sunt de natură diferită și care pot realiza împreună în mod autonom o funcționare bine definită.

- protecție biologică: protecția contra radiațiilor a personalului din centrală sau din afara ei.

- risc admisibil: riscul suplimentar produs de CNE care pentru populație trebuie să fie mai mic decât cel existent din cauza CTE, și anume de 100 ori mai mic, adică  $10^{-7}$  pe individ și an, valoare care este la nivelul pericolelor din cauza evenimentelor naturale catastrofale.

### 1. 3. 2. 2. Definiții utilizate în Capitolul II

- mentenabilitate: aptitudinea produselor sau sistemelor exprimată cantitativ sau calitativ, de a fi reparate și repus în funcțiune în caz de defectare.
- disponibilitate: caracteristica unui bloc energetic de a funcționa fără defecțiuni.
- sisteme de bază: ansamblul echipamentelor tehnologice de bază pentru presiunea energiei.
- sisteme auxiliare: ansamblul echipamentelor tehnologice prevăzute pentru prevenirea regimurilor periculoase de funcționare.
- sisteme de proces: ansamblul echipamentelor tehnologice ale procesului de producere a aburului.
- rata insecurității: probabilitatea condiționată a defectării într-un interval de timp dat a unei componente care a funcționat în perioada anterioară.
- funcția de fiabilitate: probabilitatea funcționării unui element sau componentă fără defecțiuni într-o perioadă de timp dată.
- degradare: evenimentul prin care un element sau componentă își pierde calitatea care îi permite realizarea funcțiilor pentru care a fost construit.
- cauzele degradării: circumstanțele legate de proiectarea, fabricarea sau utilizarea elementelor sau componentelor și care au dus la degradarea acestora.
- mecanism de degradare: procesul fizic, chimic sau de altă natură care a condus la o degradare.
- dispersie: media pătratului abaterii variabilei de la valoarea medie.

### 1. 3. 2. 3. Definiții utilizate în Capitolul III.

- calitate: performanțele produselor realizate în procesul de concepție și execuție, garantate la ieșirea acestora din uzină.
- control de calitate: tehnici și activități cu caracter operațional utilizate pentru satisfacerea cerințelor referitoare la calitate.
- asigurarea calității: ansamblul activităților planificate și sistematice implementate în cadrul sistemului calității și demonstrate atât cât este necesar pentru furnizarea încrederii corespunzătoare că o cantitate va satisface condițiile referitoare la calitate.
- sistemul calității: structuri organizatorice, proceduri, procese și resurse necesare pentru implementarea managementului calității.
- dovezi obiective: orice rezultate înregistrate ale controalelor de calitate sau ale constatărilor care confirmă calitatea.
- proceduri programatice: procedurile funcțiilor de sistem ale PAC.
- neconformitate: o deficiență în caracteristici, documente sau proceduri care fac ca pentru un produs sau serviciu, calitatea să fie inacceptabilă, nedeterminată sau neconformă cu cerințele specifice.
- punct de control: un loc de muncă sau un stadiu din ciclul de fabricație sau montaj, în care se efectuează controalele de către personalul ce are responsabilitatea de a determina acceptabilitatea produselor și de a înregistra datele de control.
- supraveghere: evaluarea, analiza și confirmarea permanentă a înregistrărilor, metodelor, procedurilor, produselor și serviciilor pentru a asigura îndeplinirea cerințelor.

**1.3.2.4. Definițiile utilizate în Capitolul IV sunt aceleași cu cele utilizate în capitolele I și III.**

**1.3.2.5. Definiții utilizate în Capitolul V.**

Definițiile utilizate în capitolul V sunt aceleași cu cele utilizate în capitolele precedente (I,.,IV)

**1.3.2.6. Definiții utilizate în Capitolul VI.**

- perioada de utilizare normată: perioada de funcționare care în cazul CNE se consideră de aproximativ 30 de ani.
- siguranța construcției: proprietatea construcției ca într-un interval de timp dat să satisfacă, prin nivelul caracteristicilor sale, condițiile necesare exploatării legate de destinația și de importanța construcției respective
- cutremur de bază de proiectare (DEE): pentru amplasamentul CNE este definit ca o reprezentare artificială a efectelor combinate pe amplasament, a unui set de cutremure posibile, având o foarte mică probabilitate de depășire în timpul duratei de viață a centralei. DEE este exprimat sub formă de spectru de răspuns.
- cutremur de proiectare de amplasament (SDE): efectul maxim preconizat pe amplasament, având o rată de apariție de 0,01 pe an, pe baza datelor istorice a cutremurelor actuale aplicabile pe amplasament. SDE este exprimat tot sub formă de spectru de răspuns.
- cutremurul general de proiectare (GDE): cutremurul aplicat în proiectarea acelor structuri sau sisteme, calificate ca nefiind legate de securitate în CNE și care nu sunt esențiale pentru securitate după evenimentul seismic, însă sunt importante din punct de vedere economic.



# Cap. 2 PROBLEME SPECIFICE ALE FIABILITĂȚII CNE

## 2.1. FIABILITATEA GENERALĂ A CNE

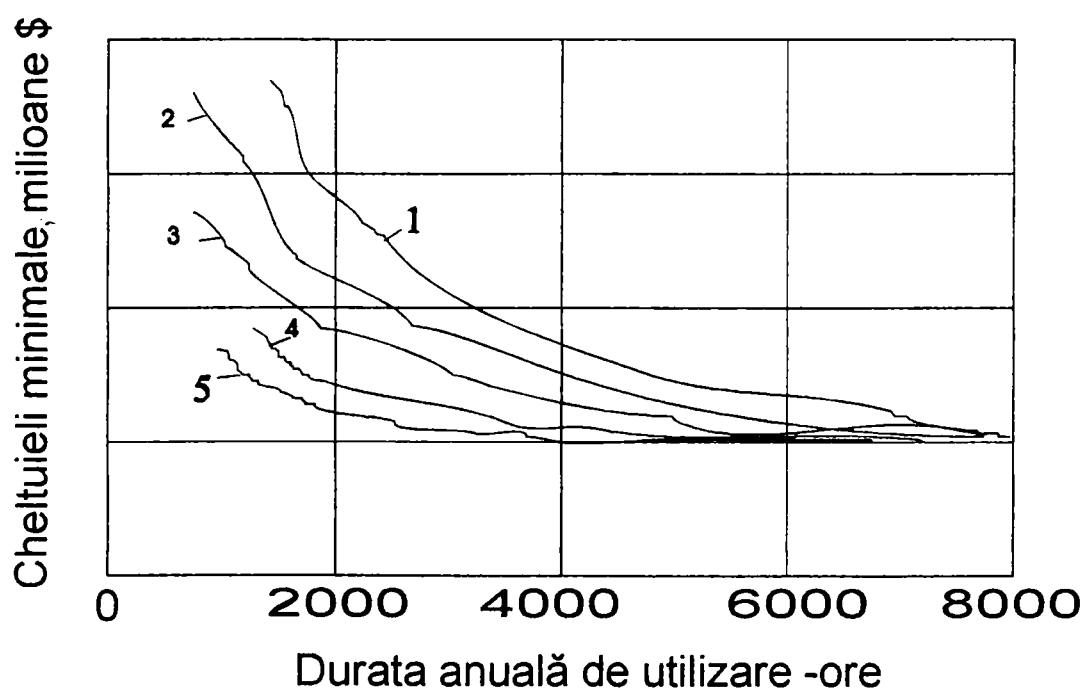
### 2.1.1. Criteriul fiabilității: siguranța în funcționare

Impusă de considerente de natură socială și economică de cea mai mare importanță, siguranța în funcționare reprezintă un criteriu de bază în concepția generală de proiectare, execuție, montare și exploatare a CNE.

În primul rând se are în vedere faptul că unele avarii pot avea consecințe grave asupra mediului biologic prin contaminarea zonei înconjurătoare cu elemente radioactive și prin expunerea personalului operativ la radiații peste limitele admise.

De asemenea, sunt foarte importante efectele pe care defectarea instalațiilor nucleare le au asupra prețului de cost, din cauza costului ridicat al reparațiilor necesare. Importante efecte asupra eficienței economice a exploatării sunt produse și la disponibilitatea capacităților instalate.

Dacă ar fi să analizăm diagramele de variație a cheltuielilor pentru producerea energiei electrice în funcție de numărul de ore, de utilizarea anuală a puterii instalate date în literatura de specialitate (vezi fig. 2.1), remarcăm faptul că la CNE dependența prețului de cost de disponibilitatea puterii instalate este mai accentuată comparativ cu CTE, convenționale.



**Fig. 2.1. Curbele caracteristice ale cheltuiellor pentru diferite tipuri de centrale electrice, raportate la cheltuielile minime ale fiecărui tip:**

**1 - reactor reproducător, 2 - reactor termic, 3 - cărbune brun, 4 - uilă, 5 - păcură și gaze naturale**

Reactorul cu apă grea, luat în considerare în programul nuclear al României, actual și de perspectivă, precum și în studiul acestei lucrări, este un reactor termic avansat din punct de vedere tehnic, care prezintă avantajul folosirii drept combustibil a uraniului natural, necesitând în același timp rezerve de uraniu mai reduse. Prin perfecționarea părții nucleare a centralei, în care intră și sistemul de anvelopare, la majoritatea țărilor care

utilizează și dezvoltă energia nucleară, se observă o evoluție continuă în sensul ridicării performanțelor, a mărimilor capacităților unitare, a creșterii siguranței în funcționare prin alegerea adecvată a schemelor tehnologice și a componentelor acestor scheme.

Printre perfecționările aduse atât în vederea reducerii costului centralei cât și a simplificării instalațiilor și a creșterii gradului de siguranță sunt și soluțiile propuse, prezentate succint la scopul și domeniul lucrării, și dezvoltate în ea.

### 2.1.2. Structura analizei de fiabilitate

Pentru structura analizei de fiabilitate în CNE se deosebesc două direcții principale de cercetare, cuprinzând o serie de domenii de studiu deosebite atât din punctul de vedere al obiectivelor urmărite, cât și al metodelor de calcul utilizate, cunoscute sub denumirile de disponibilitate și securitate (fig. 2.2).

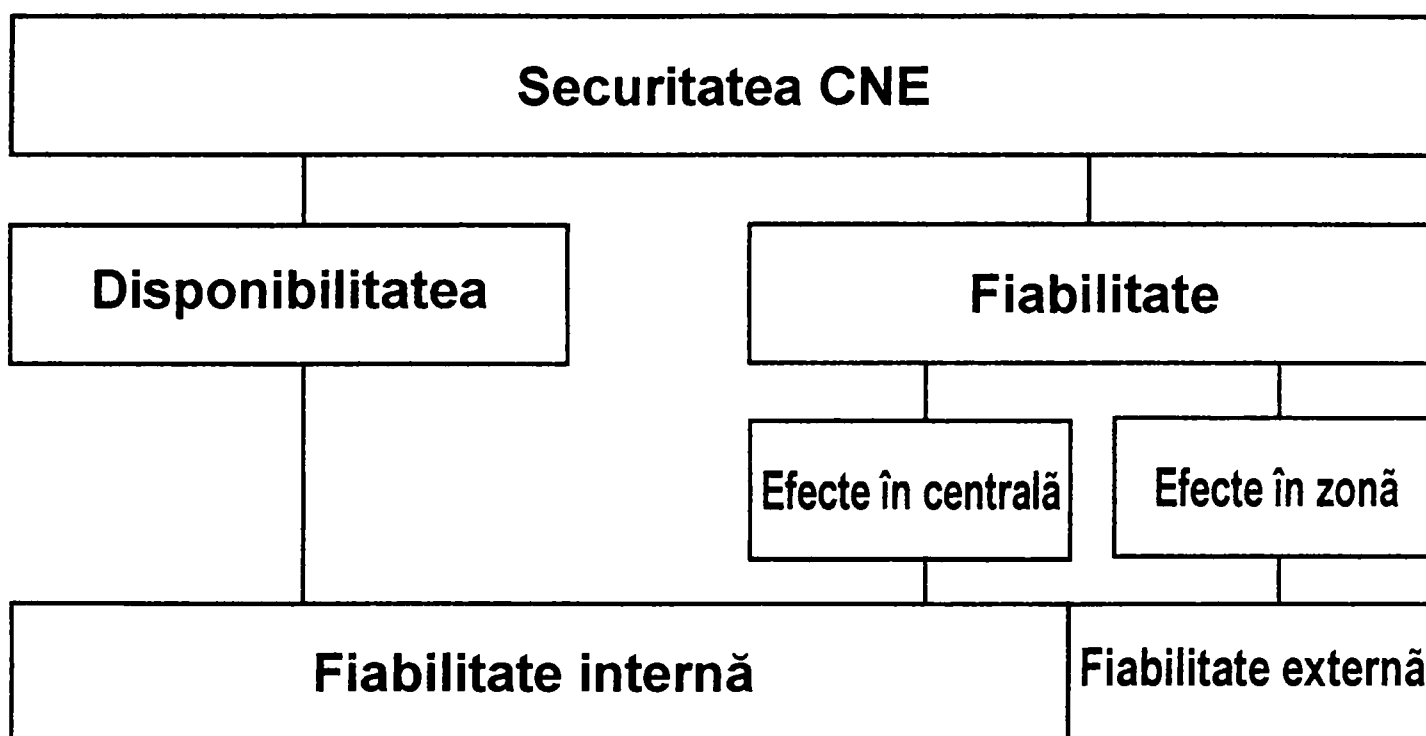


Fig. 2.2 Structura analizelor de fiabilitate în CNE

Disponibilitatea capacităților instalate se exprimă printr-o serie de indicatori funcționali care caracterizează calitățile operative ale blocului energetic. În cadrul studiului de disponibilitate se au în vedere defecțiunile care afectează producția de energie electrică calculându-se indicatorii funcționali care caracterizează disponibilitatea, pe baza unor scheme care includ toate echipamentele tehnologice de bază.

La analiza securității nucleare în schemele echivalente se introduc, pe lângă echipamentele de bază, și sistemele auxiliare care au rolul de a interveni la apariția unei defecțiuni în scopul limitării consecințelor. Determinarea cantitativă a securității nucleare sau a siguranței CNE se obține calculând probabilitatea producerii defecțiunilor sau avariilor care afectează integritatea echipamentelor, securitatea personalului și a zonei înconjurătoare.

Dacă sistemele auxiliare refuză să acționeze în cazul când sunt solicitate, atunci creează condițiile pentru apariția unor avarii care pot avea efecte asupra personalului sau asupra mediului din jurul centralei. Tocmai de aceea, studierea probabilității producerii unor defecțiuni cu astfel de consecințe și a măsurilor posibile de prevenire, face obiectul securității nucleare. Alături de calculele de fiabilitate sunt antrenate și alte specialități ca: fizica reactorului, protecția împotriva radiațiilor, radiochimie etc.

Unele lucrări de specialitate grupează analizele de fiabilitate pe baza localizării efectelor defecțiunilor, în două

categorii:

- fiabilitatea internă a CNE, care cuprinde disponibilitatea și securitatea, limitate la fenomenele din centrală;
- fiabilitatea externă a CNE în cadrul căreia se studiază efectele funcționării centralei în regim normal și de avarie, asupra mediului înconjurător.

Trebuie subliniat de asemenea că toate analizele de fiabilitate bazate pe calcule probabilistice țin de domeniul fiabilității previzionale sau predeterminate, care grupează preocupările de determinare prin calcul a performanțelor operative.

Analizele teoretice completează studiile care au avut loc la CNE în funcțiune sau pe reactoare de cercetare și care formează fiabilitatea experimentală.

Care este rolul și locul structurilor metalice în structura analizei de fiabilitate?

Așa cum am arătat la capitolul 1.2. din această lucrare, construcțiile metalice intră atât în categoria mijloacelor tehnice active, cât și în a celor pasive care realizează securitatea nucleară.

Ca atare, direcția de studiu privind analiza de fiabilitate împletește ramura securității nucleare cu studiul efectelor în centrală și în zona înconjurătoare.

Defectarea sau avarierea construcțiilor metalice implicate direct în diferitele sisteme de securitate, funcție de dispoziția lor în CNE, poate avea drept consecință defectarea sistemului și apariția unor avarii cu efecte în centrală asupra echipamentelor și personalului sau cu efecte în zona din jurul centralei.

Iată câteva exemple legate de structurile metalice ale căror obiect de studiu privind siguranța în exploatare îl reprezintă lucrarea de față:

- avarierea platformei metalice de susținere a sistemului de stropire cu apă în caz de avarie în clădirea reactorului, dispusă de regulă la partea superioară a anvelopei și rezemată pe toată circumferința acesteia, se poate produce datorită unor cauze multiple cum ar fi: erorile de proiectare, fabricație sau montaj, amplificate în cazul unor catastrofe naturale ca cutremurele. În aceste cazuri, poate fi scoasă parțial sau total din funcțiune instalația de stropire la avarie pe care platforma metalică o susține, acest lucru anulând rolul sistemului auxiliar de intervenție la avarie și anume acela de a opri sau micșora efectele accidentului în sistemul de proces, cu consecințe imediate în centrală;

- avarierea canalelor ecranelor de protecție biologică care blindează conductele de apă grea din clădirea reactorului, precum și suportul metalic al mașinii de încărcare-descărcare al reactorului și suportii metalici ai generatoarelor de abur, de asemenea din clădirea reactorului. O avarie de tipul celei din urmă s-a produs în realitate, acum câțiva ani, în SUA, la CNE Three Miles Island, când datorită unor suduri de slabă calitate, necontrolate corespunzător, s-a ajuns la scoaterea din funcțiune a unui generator de abur și oprirea temporară a centralei.

- efecte în zona mediului înconjurător s-ar produce datorită avariei sistemului de anvelopare al reactorului când scăpările radioactive peste limitele admise ar putea conduce la consecințe dintre cele mai grave atât pe plan economic, cât și pe plan social.

Este cunoscut faptul că într-un sistem tehnic de complexitate centralelor nucleare, riscul de apariție a unor defecțiuni nu este niciodată nul, cel puțin teoretic, fiind astfel necesar să se stabilească nivelul până la care trebuie să se insiste pentru ridicarea siguranței în funcționare. În unele cazuri, limitate ca număr, datorită consecințelor cu implicații grave de ordin economic și social pe care avariile posibile le-ar putea avea, toate măsurile tehnic realizabile sunt justificate chiar fără un calcul de eficiență economică. În majoritatea cazurilor însă, nivelul de siguranță cerut unui sistem, instalație sau echipament trebuie să rezulte din comparația costului măsurilor de siguranță cu echivalentul economic al consecințelor posibile ale lipsei de siguranță.

Totuși, pentru domeniul fiabilității externe și al consecințelor expunerii personalului, se întâmpină dificultăți importante datorită implicațiilor de natură socială și etică, atunci când se echivalează economic efectele lipsei de securitate sau a insecurității restante.

Ținând cont că în literatura de specialitate, în cazul sistemului energetic, în condițiile țării noastre, limita economică a asigurării energiei electrice cerute de către consumatori este de 99,990-99,999%, pentru CNE calculele de eficiență economică trebuie să aibă ca obiectiv nu numai stabilirea nivelului optim de asigurare, ci și determinarea căilor de maximă eficiență care pot conduce la realizarea acestui nivel.

### 2.1.3. Structura sistemelor tehnice

În studiul fiabilității la CNE, noțiunea de sistem așa cum este definită la cap. 1.3., care este poate prea generală, poate fi înlocuită cu noțiuni mai precise care țin seama de structura și de funcționalitatea instalațiilor energetice.

De aceea, pentru un sistem care realizează o funcție tehnologică autonomă, se utilizează denumirea de instalație sau grupă funcțională, iar pentru sistemele sau instalațiile care se caracterizează și printr-o unitate constructivă se folosește denumirea de echipament.

În funcție de structura instalațiilor și de regimurile de funcționare, în analizele de fiabilitate se evidențiază o serie de deosebiri la comparația între CNE și CTE, remarcându-se în primul rând diferențele de structură care provin din existența unui sistem nuclear de producere a aburului, complet diferit de cazanele cu abur. Astfel, la majoritatea CNE, acest sistem este complet separat de restul centralei, cum este și cazul celor de tip PHWR care se caracterizează în general printr-o securitate nucleară asigurată în condiții mai ușoare.

Dacă comparăm condițiile în care lucrează diversele componente CNE și CTE, observăm faptul că din cauza câmpului de radiații nucleare, materialele sunt supuse unei uzuri mai rapide, având durata de funcționare în general mai redusă decât în mod obișnuit.

De asemenea, accesul în zonele iradiate este fie imposibil în timpul funcționării, fie limitat, ceea ce afectează regimul de reparații și modifică modul de abordare al problemelor de disponibilitate și de securitate nucleară.

Dacă se analizează regimurile de funcționare se pot observa și o serie de condiții care la CNE sunt mai ușoare în comparație cu cele de la CTE. Astfel, temperaturile și presiunile mai scăzute și mediul ambiant mai curat, lipsit de praful de cărbune care la CTE are o importanță negativă în apariția multor defecțiuni.

În concluzie, energetica nucleară prezintă un grad de siguranță în funcționare comparabil cu cel al centralelor clasice sau chiar mai bun în unele cazuri.

Această constatare este unul dintre principalele argumente pentru dezvoltarea la scară industrială a producerii energiei electrice pe bază de surse nucleare, tendință care se manifestă și astăzi la majoritatea țărilor dezvoltate sau în curs de dezvoltare.

Disponibilitatea realizată la CNE în funcțiune este suficient de bună și în unele cazuri depășește valorile înregistrate de CTE.

O statistică recentă, după „Nuclear Engineering Internațional”-1991, arată că din cele 343 de reactoare cu putere de peste 150MW, primele 10 în top realizează o disponibilitate a puterii instalate de 85,7-90,6%, ceea ce presupune o fiabilitate ridicată a sistemelor și echipamentelor utilizate.

Despre securitatea nucleară a centralelor aflate în funcțiune se poate afirma că au fost obținute rezultate încurajatoare, în regim normal de funcționare, gradul de nocivitate al CNE dovedindu-se a fi sensibil inferior CTE, utilizând cărbune sau păcură cu procente ridicate de sulf.

În ceea ce privește pericolul unor regimuri de avarie, în majoritatea cazurilor funcționarea a fost mai bună decât așteptările, neînregistrându-se cazuri de contaminare periculoasă a zonelor și nici iradieri grave pentru personalul din centrală. Excepție au făcut cazurile Three Miles Island (SUA) și Cernobîl (URSS).

Pericolul există încă la centralele de tip VVR din primele generații, ale fostei Uniuni sovietice, la care reactoarele nu sunt anvelopate. În rest pentru reducerea la valori minime a probabilității unor avarii catastrofale, s-au luat și se iau o serie de măsuri de containerizare (anvelopare) și de protecție contra radiațiilor.

## 2.1.4. Indicatori de siguranță

Principalii indicatori de siguranță care exprimă cantitativ performanțele elementelor componente și care sunt utilizați în calculele de fiabilitate la CNE sunt:

- intensitatea de degradare sau pericolul de avarie ( $\lambda$ );
- intensitatea de reparare ( $\mu$ ).

Intensitatea de degradare,  $\lambda(t)$ , definită ca probabilitate condiționată a degradării într-un interval  $t$  al unei componente care a funcționat în perioada anterioară, este dată de relația:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{q(t \text{ or } t + \Delta t) - q(t)}{\Delta t} = -\frac{1}{p(t)} \cdot \frac{dp(t)}{dt}, \quad (2.1)$$

care, prin integrare, ne dă funcția de fiabilitate:

$$p(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right], \quad (2.2)$$

care este funcție a siguranței în funcționare.

În mod analog, se obțin și celelalte funcții:

$$q(t) = F(t) = 1 - \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right], \quad (2.3)$$

care reprezintă funcția nesiguranței în funcționare și:

$$f(t) = \lambda(t) \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right], \quad (2.4)$$

care exprimă probabilitatea degradării unei componente într-un interval de timp dat, fără referire la faptul că această componentă nu s-a degradat înainte de începerea acestui interval.

Intensitatea de reparare  $\mu(t)$ , definită ca probabilitatea de reparare în intervalul  $t$  a unei componente condiționate de probabilitatea ca aceasta să se fi degradat în momentul  $t$  de începere a intervalului, este dată de relația:

$$\mu(t) = -\frac{1}{p_d(t)} \cdot \frac{dp_d(t)}{dt}, \quad (2.5)$$

care prin integrare ne dă funcția de fiabilitate,

$$p_d(t) = \exp\left[-\int_0^t \mu(t) dt\right], \quad (2.6)$$

Aceasta este probabilitatea ca o componentă degradată să nu se fi reparat până în momentul  $t$ .

În mod analog se obțin și celelalte funcții:

$$G(t) = 1 - \exp\left[-\int_0^t \mu(t) dt\right], \quad (2.7)$$

care reprezintă și funcția de distribuție a timpului de degradare sau de restabilire, și

$$g(t) = \mu(t) \cdot pa(t) \quad , \quad (2.8)$$

care exprimă probabilitatea reparării unei componente într-un interval de timp dat.

Valorile cu care se lucrează sunt obținute pe baza unor estimări cu un anumit grad de precizie a valorilor reale care depind de numărul limitat de observații și se exprimă sub forma unui nivel de încredere definit sub forma probabilității ca valoare reală a parametrului estimat ( $\lambda$ ) să se găsească într-un interval de încredere delimitat de două valori, una inferioară ( $\lambda_{inf.}$ ) și alta superioară ( $\lambda_{sup}$ ):

$$\text{Prob}\{\lambda_{inf} < \lambda < \lambda_{sup}\} = \alpha \quad , \quad (2.9)$$

Pentru fiecare element sau instalație în parte, acești parametri variază în funcție de faza în care se găsește elementul respectiv: perioada imediată terminării montajului (prematură), perioada de maturitate (de bază) și perioada de îmbătrânire (uzură).

La CNE, componentele care intervin în calculele de fiabilitate pot fi grupate în trei categorii, astfel:

- componente similare cu cele din CTE convenționale, care funcționează în condiții identice și pentru care există o bază informațională satisfăcătoare;

-componente asemănătoare, dar funcționând în condiții diferite de cele din CTE (radiații, temperaturi ridicate, inaccesibile etc.);

-componente complet noi, funcționând în condiții specifice CNE.

În cadrul lucrării de față se vor analiza componente din cea de-a treia categorie, amplasate în clădirea reactorului, deci specifice CNE, cum sunt platforma metalică de susținere a sistemului de stropire cu apă la avarie, învelișul de protecție al anvelopei, canalele de protecție biologică împotriva radiațiilor, suportul metalic al mașinii de încărcare cu combustibil nuclear și suportul metalic al generatoarelor de abur.

Având în vedere faptul că în cazul CNE nu întotdeauna se dispune de o bază informațională formată pe un număr de cazuri observate, cu un nivel de credibilitate ridicat, în analizele de fiabilitate ale lucrării de față am combinat mai multe metode de studiu pomind de la analiza calitativă, efectuată prin deducții intuitive, urmată de unele calcule de rezistență specifice și completate cu câteva particularități ale calcului de fiabilitate și unele măsuri necesare pentru aducerea componentei studiate la nivelul de siguranță cerut.

### 2.1.5. Legi de distribuție

În calculele de fiabilitate o problemă importantă o constituie alegerea corectă a legilor de distribuție ale timpului de funcționare fără degradare, legi care, deduse pe căi experimentale, sunt approximate prin distribuțiile teoretice continue cunoscute.

Ca urmare a observațiilor efectuate asupra diverselor sisteme sau elemente, s-a constatat că evoluția în timp a intensităților de degradare se caracterizează printr-o curbă cu trei perioade de comportamente diferite (fig. 2.1.5.1):

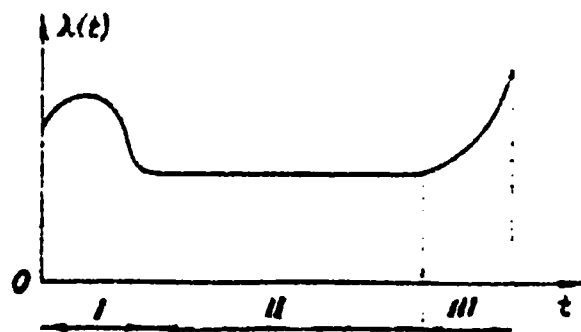


Fig. 2.1.5.1. Evoluția în timp a intensităților de degradare.

I. imediat după punerea în funcțiune are loc rodajul sistemului și apar numeroase degradări datorită concepției, montajului sau fabricației mai slabe;

II. după înlăturarea acestor deficiențe de început, intensitatea de degradare scade la o valoare care se menține constantă pentru perioada denumită de exploatare industrială;

III. perioada apariției fenomenelor de îmbătrânire și a creșterii permanente a intensității de degradare, după care sistemul este scos din funcțiune.

La studiul fiabilității CNE, intervin următoarele distribuții:

1) distribuția exponențială, a cărei aplicare corespunde bine realității în cazurile elementelor care se defectează datorită înrăutățirii întâmplătoare a condițiilor de mediu cum ar fi defectarea la producerea unor vibrații cu amplitudine mai mare decât cea admisă sau creșterea bruscă a temperaturii mediului ambiant, componente care pot avea defecte ascunse, componente supuse continuu unui proces de supraveghere și testare sau cu verificări și reparații profilactice periodice.

2) distribuția Weibull, utilizată cu succes în primul rând pentru componentele unde defectiunile apar ca urmare a oboselii oțelurilor și a depășirii limitei de elasticitate (îmbătrânirea);

3) distribuția normală, justificată pentru componentele cu fenomene de îmbătrânire, dar care sunt fabricate în serie și au o împrăștiere mică în jurul valorii medii a timpului de funcționare (piese mecanice, de serie, cu o desfășurare stabilă a producției cum sunt organele de asamblare);

4) distribuția log normală, utilizată pentru a exprima comportarea la solicitări alternative a materialelor atunci când logaritmul numărului de cicluri de încărcare-descărcare care se înregistrează până la distrugerea componentei este distribuit normal;

5) distribuția gama, asemănătoare cu distribuția Weibull, având însă o mai mare asimetrie, apropierea fiind mai pronunțată pentru valori mari ale timpului de funcționare;

6) distribuția binomială sau schema lui Bernoulli, o distribuție discretă cu rol important în teoria fiabilității;

7) distribuția Poisson, caracteristică evenimentelor rare.

În studiul acestei lucrări am ales pentru exemplificare primele trei distribuții care intervin și în calculele de fiabilitate ale sistemelor ce înglobează structurile construcțiilor metalice.

### 2.1.5.1. Distribuția exponențială

Comportarea sistemelor sau elementelor așa cum este redată în fig. 2.1.5.1. poate fi exprimată aproximativ prin relația:

$$\lambda(t) = \frac{\alpha \cdot t^{\alpha-1}}{M(T_f)^\alpha}, \quad (2.10)$$

unde  $\alpha < 1$ , pentru perioada de rodaj (I),  $\alpha = 1$ , pentru exploatarea industrială (II) și  $\alpha > 1$ , pentru ultima perioadă (III).

Acceptându-se faptul că în majoritatea timpului și în special în timpul exploatării industriale,  $\lambda(t) = \text{constant}$ , rezultă funcția siguranței în funcționare cu o expresie simplificată:

$$p(t) = e^{-\lambda t}, \quad (2.11)$$

numită și legea exponențială a siguranței în funcționare.

În mod similar se obțin și celelalte funcții:

$$q(t) = F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad , \quad (2.12)$$

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad , \quad (2.13)$$

iar pentru  $0 \leq T_f < +\infty$ ,  $t=0$  și  $f(t)=\lambda$  se obține reprezentarea grafică din fig. 2.1.5.2.

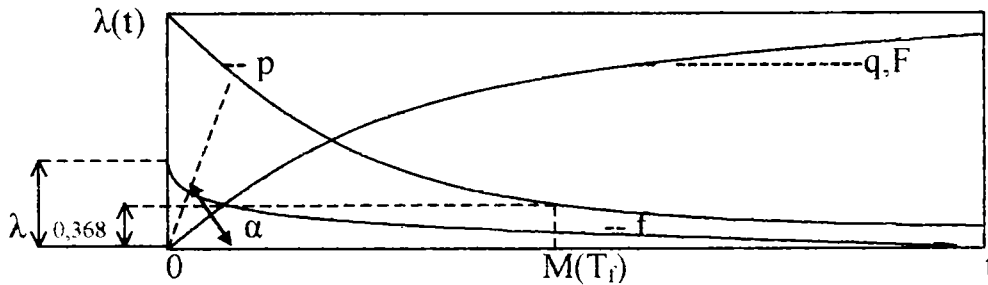


Fig. 2.1.5.2. Distribuția exponențială

Ținând cont de cele mai de sus și de relațiile duratei medii de funcționare:

$$M(t) = \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt \quad ,$$

și a diferenței de funcționare fără defecțiuni  $D(T_f) = M(T_f^2) - M^2(T_f)$

rezultă  $M(T_f) = \frac{1}{\lambda}$  și  $D(T_f) = \frac{1}{\lambda^2}$ , observând că  $\operatorname{tg} \alpha = \lambda$  și că pentru  $t = M(T_f) = \frac{1}{\lambda}$ ,  $p(t) = 0,368$ .

Această lege a distribuției exponențiale este des folosită la CNE pentru simplificarea calculului și în lipsa unor indicații ferme pentru a putea prefera o altă distribuție, fiind aplicabilă mai ales pentru sistemele și componentele din clădirea reactorului, unde defecțiunile pot apărea ca urmare a înrăutățirii condițiilor de mediu, a temperaturilor ridicate, a defectelor ascunse etc.

Pentru sistemele sau subsistemele complexe formate dintr-un număr relativ mare de ansamble și subansamble de natură diferită cu structuri și componente diverse și pentru care nu se aplică bine distribuția exponențială la fiecare în parte, pe ansamblu se poate admite legea exponențială în condiții acceptabile. În majoritatea cazurilor, aceste ansambluri sunt compuse dintr-un număr redus de componente importante, mari, care au pe toată durata exploatarei industriale o intensitate redusă de defectare și o comportare ca în fig. 2.1.5.1. și dintr-un număr relativ mare de componente cu rol auxiliar care pot fi sursele unor defecte supuse unor alte legi, dar având durate de viață mult mai mici și fiind verificate, reparate periodic sau la nevoie chiar înlocuite, nu influențează caracterul general al comportării agregatului, care rămâne exponențială. La componentele care în timpul perioadei de funcționare normală prezintă fenomene de uzură treptată, ipoteza  $\lambda(t) = \text{constant}$  nu mai poate fi acceptată decât ca o primă aproximare grosieră a realității, care urmează să fie precizată pe baza unor analize suplimentare.



### 2.1.5.2. Distribuția Weibull

După legea Weibull în cazul unei distribuții a timpului de funcționare fără degradări, funcția siguranței are forma:

$$p(t) = \exp[-\lambda t^\alpha] \quad (2.14)$$

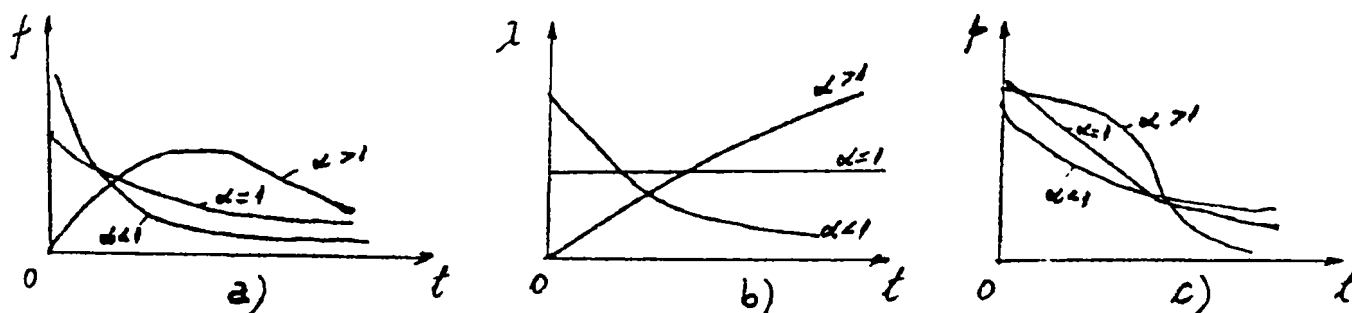
iar celelalte funcții caracteristice ale siguranței au următoarele expresii:

$$q(t) = F(t) = 1 - \exp[-\lambda t^\alpha] \quad (2.15)$$

$$f(t) = \alpha \lambda t^{\alpha-1} \exp[-\lambda t^\alpha] \quad (2.16)$$

$$\lambda(t) = \alpha \lambda t^{\alpha-1} \quad (2.17)$$

se poate observa că parametrul  $\alpha$ , care totdeauna mai mare ca zero, determină prin valorile care le primește comportarea calitativă a componentei ca în fig. 2.1.5.3. și anume:



**Fig. 2.1.5.3. Distribuția Weibull pentru : a) densitatea distribuției; b) intensitatea de degradare; c) funcția siguranței în funcționare.**

-pentru  $\alpha=1$  se obține distribuția exponențială

-pentru  $\alpha < 1$ , intensitatea de degradare are la început valori mari (la  $t=0$ ,  $\lambda_{t_0} = \infty$ ) pentru ca apoi să scadă continuu.

-pentru  $\alpha > 1$ , intensitatea de degradare care este nulă la  $t = 0$ , crește continuu și caracterizează procesele de uzură.

La fel ca la funcția exponențială și pentru distribuția Weibull există o formă simplificată pentru cazul  $\lambda t^\alpha \ll 1$ :

$$p(t) \cong 1 - \lambda t^\alpha \quad (2.18)$$

(În majoritatea cazurilor  $\lambda = (1+2)$ )

### 2.1.5.3. Distribuția normală

Utilizarea distribuției normale se recomandă atunci când degradarea unui element apare ca urmare a variației treptate a parametrilor fizico-chimici, variabila aleatoare, fiind normal distribuită dacă densitatea de distribuție are forma:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.19)$$

unde  $a$  și  $\sigma > 0$

Reprezentarea grafică din fig. 2.1.5.4. ne arată că există o simetrie față de ordonata în punctul de abscisă  $t = a$  și că adoptarea de valori pentru  $\sigma > 1$  conduce la o aplatisare accentuată a curbei.

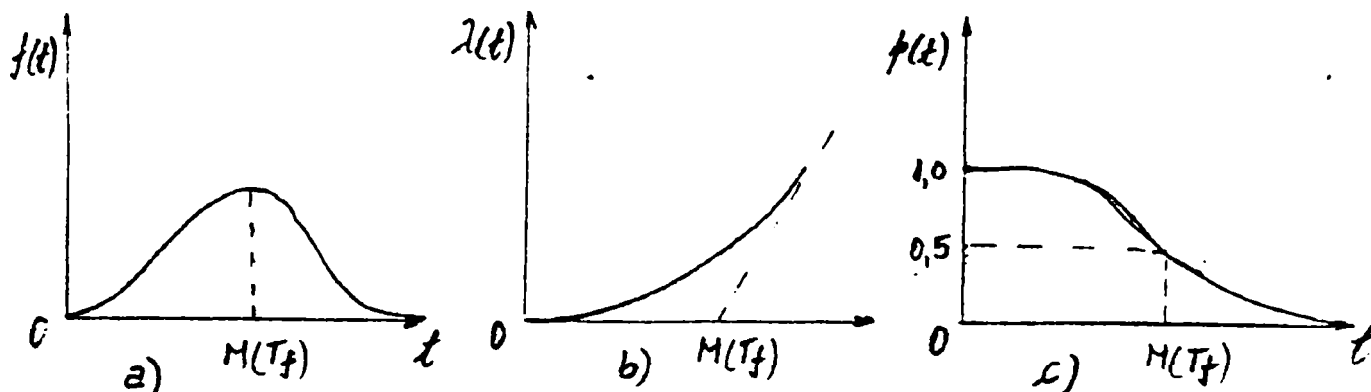


Fig. 2.1.5.4. Distribuția normală: a) densitatea de distribuție; b) intensitatea de degradare; c) funcția siguranței în funcționare

Timpul de funcționare fără degradări este o variabilă care poate lua numai valori pozitive și din acest motiv avem numai distribuție normală trunchiată, care se caracterizează prin faptul că densitatea distribuției este dată de relația:

$$f'(t) = c \cdot f(t) \quad (2.20)$$

S-a demonstrat că, dacă limitele de variație ale lui  $T_f$  sunt teoretic  $0 \rightarrow +\infty$ , constanta  $c$  ia valoarea:

$$c_0 = \frac{1}{\frac{1}{2} + \phi\left(\frac{a}{\sigma}\right)} \quad (2.21)$$

Din calculul mediei și dispersiei timpului de funcționare fără degradări se găsește interpretarea probabilistică a acestor constante ale distribuției normale:

$$M(T_f) = a \quad \text{și} \quad D(T_f) = \sigma^2$$

în practică raportul  $\frac{M(T_f)}{\sigma} > 2$ , funcțiile au constanta  $C_0$  are valori foarte apropiate de unitate, iar expresiile:

$$p(t) = \frac{1}{2} + \phi\left(\frac{M(T_f) - t}{\sigma}\right) \quad (2.22)$$

$$\lambda(t) = \frac{\sigma \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(t - M(Tf))^2}{2\sigma^2}\right]}{\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{M(Tf) - t}{\sigma}\right)} \quad (2.23)$$

unde ,  $\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u \exp\left[-\frac{\sigma^2}{2}\right] dr$  este funcția Laplace-Gauss, normală.

Dacă ,  $\sigma \ll M(Tf)$  funcția siguranței în funcționare  $p(t)$  poate fi scrisă sub o formă mai simplă și anume:

$$p(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{t-M(Tf)}^{\infty} e^{-\frac{\sigma^2}{2}} \cdot dr \quad (2.24)$$

În reprezentarea grafică din fig. 2.1.5.4. a intensității de degradare se poate observa că pentru valori ,  $t > M(Tf)$ , curba  $\lambda(t)$  crește continuu tinzând asimptotic către dreapta  $y = [t + M(Tf)]/\sigma$ , iar pentru valori  $t < M(Tf)$ ,  $\lambda(t) \approx$  constant.

Acest fapt se poate interpreta ca o comportare dublă a componentei respective și anume în perioada dinaintea timpului mediu de viață pot apărea numai degradări întâmplătoare, iar după atingerea acestor valori apare fenomenul de îmbătrânire care determină o creștere continuă cu pantă constantă a intensității de degradare.

Comportarea simetrică a componentelor cu distribuții nominale conduce și la faptul că pentru  $t = M(Tf)$ ,  $p(t) = 0,5$  ceea ce înseamnă că jumătate din componente se degradează înainte de atingerea timpului mediu de viață, însă în orice caz majoritatea ies din funcțiune în jurul acestui termen.

Așa cum s-a arătat în preambulul acestui paragraf, cele trei legi de distribuție prezentate, se vor aplica în studiul fiabilității structurilor metalice prin exemple numerice în capitolele următoare, aceste structuri fiind dispuse în clădirea reactorului unde condițiile de mediu, vibrațiile cu amplitudine mare, creșterea bruscă a temperaturii, oboseala oțelurilor ș.a. sunt tot atâtea cauze care pot duce la degradarea elementelor, iar aplicarea corespunzătoare a distribuțiilor corespunde bine realității în aceste cazuri.

## 2.2. SECURITATEA CNE

### 2.2.1. Criteriul securității nucleare

Toate aprobările forurilor administrative, tehnice și științifice necesare încă din faza de studiu a structurii, de la stabilirea amplasamentului viitoarei CNE și până la punerea în funcțiune și trecerea la exploatarea industrială, sunt emise pe baza unor documente privind aspectele care influențează securitatea centralei și măsurile de prevenire a avariilor.

Toate aceste documente care formează raportul de securitate se întocmesc pe baza unor analize deterministe și probabilistice inclusiv cele de fiabilitate internă a CNE și a noțiunii de risc admisibil, soluțiile tehnice atât la nivel de ansamblu cât și în detaliu fiind elaborate și analizate în cadrul acestui raport pe baza criteriului securității nucleare, care constituie principala motivație a alegerii lor și a aprobărilor primite.

Analizele de funcționare se fac plecând de la inventarierea defecțiunilor primare posibile din care se selectează cele care pot influența securitatea.

Combinând situațiile de defectare posibile în condițiile create de funcționarea centralei rezultă o serie de avarii cu consecințe diferite, de la defectarea unor echipamente, până la contaminarea zonei înconjurătoare, obținându-se astfel următoarea clasificare:

- avarii care produc defectarea sau distrugerea echipamentelor a căror consecință se evaluează în bani;
- avarii care produc iradierea periculoasă a personalului centralei, evaluată după nivelul dozelor încasate;

- avarii cu influențe asupra zonei învecinate și în general asupra mediului biologic, evaluate după activitatea totală eliberată din centrală sau prin activitatea pe unitate de volum a mediului.

Apariția acestor evenimente cu consecințe asupra securității nucleare poate avea loc în două situații:

- în primul rând se au în vedere avarii cu o probabilitate extrem de redusă, care nu au fost luate în considerare și pentru care nu s-au prevăzut măsuri speciale de protecție, fiind incluse aici evenimentele catastrofale naturale care nu sunt considerate nici în alte domenii, și avarii din surse interne centralei cu probabilitate extrem de mică

- în al doilea rând se au în vedere defecțiunile cu probabilități mai mari de apariție pentru care s-au prevăzut măsuri speciale de protecție și unde avariile cu consecințe grave apar ca urmare a suprapunerii defecțiunilor primare și a defecțiunilor sistemelor auxiliare prevăzute pentru limitarea și lichidarea defecțiunii respective.

Astfel într-o CNE se deosebesc două avarii limită care au un rol foarte important în concepția despre securitatea centralei:

- avaria sau accidentul maxim credibil, care este defecțiunea tehnică posibilă ce are cele mai grave consecințe și probabilitatea extrem de mică de apariție, dar totuși diferite de zero, cum ar fi spargerea vasului de presiune al reactorului nuclear cu distrugerea structurilor zonei active însoțite de o stare supracritică provenită dintr-o imposibilitate de control a reactivității; această avarie nu este considerată de regulă în calculele de fiabilitate nucleară, dar a apărut la Cernobâl în 1987;

- avaria sau accidentul maxim posibil care este o avarie cu consecințe mai puțin grave, dar cu o probabilitate mai mare de apariție, cum ar fi ruperea unei conducte principale din circuitul agentului de răcire. Și acest gen de avarie a apărut în practică la accidentul din SUA la Three Miles Island.

## 2.2.2. Fiabilitatea sistemului de anvelopare al reactorului

Printre cele trei sisteme auxiliare care au o importanță deosebită și condiționează direct securitatea nucleară a CNE este și sistemul de anvelopare al reactorului.

Fiabilitatea sistemului de anvelopare este apreciată în general la un nivel comparabil cu cel al vaselor de presiune considerându-se în calcule, că o defectare parțială poate avea loc cu o frecvență mai mare de ordinul a  $10^{-3} \text{ an}^{-1}$ , care nu poate fi neglijată la determinarea probabilității apariției accidentului maxim probabil.

Studiul fiabilității sistemelor auxiliare și implicit al sistemului de anvelopare al reactorului prezintă importanță dacă se urmărește creșterea securității nucleare a CNE și a fiabilității interne.

Fiabilitatea cerută ansamblului format din instalația tehnologică de bază și din sistemele auxiliare, se determină cunoscând riscul admisibil pentru diverse avarii grave.

Având în vedere că siguranța echipamentelor tehnologice constituie un punct fix al problemelor de fiabilitate și că intensitatea de avarie a acestora nu poate fi influențată în mod substanțial, pentru atingerea scopului propus rămâne ridicarea performanțelor ansamblului prin realizarea unor sisteme auxiliare corespunzătoare.

În majoritatea timpului, sistemele auxiliare se găsesc în regim de așteptare și nu acționează decât în perioade foarte scurte, atunci când apar defecțiuni în instalația tehnologică aferentă, perioade în care sistemul poate deveni indisponibil. Când în perioadele de "refuz" ale sistemului auxiliar apare o defectare tehnologică, aceasta se dezvoltă nestingherit, luând proporțiile unei avarii grave.

Factorii care intervin la determinarea unui anumit nivel de siguranță pentru sistemele auxiliare sunt: calitatea componentelor, fiabilitatea structurilor și intensitatea regimurilor de testare.

Astfel, probabilitatea apariției unei avarii grave  $P(t)$  poate fi exprimată prin produsul dintre probabilitatea apariției unei defecțiuni tehnologice la momentul  $t$ ,  $P_d(t)$  și probabilitatea ca sistemul auxiliar să fie surprins în stare de refuz,  $Q_r(t)$ :

$$P(t) = P_d(t) \times Q_r(t) \quad (2.25)$$

Intensitatea unei avarii grave,  $\lambda_\varepsilon$ , este dată de relația:  $\lambda_\varepsilon = P_\varepsilon \times \lambda$ , unde  $\lambda$  este intensitatea de apariție a defecțiunilor tehnologice, /8/.

Scriind rapoartele  $\lambda/\lambda_\varepsilon = 1/P_\varepsilon = K$ , unde  $K$  este factorul de securitate al instalației, avem, ținând cont de distribuția exponențială a timpului de funcționare,  $K = T / M(T_d)$ , unde  $T$  este timpul între două testări successive ale sistemului auxiliar, iar  $M(T_d)$ , este media timpului de indisponibilitate a sistemului auxiliar. Acest raport între perioada de testare  $T$  și media timpului de indisponibilitate a sistemului auxiliar  $M(T_d)$ , în această perioadă mai este denumit și factor de merit al sistemului auxiliar.

## 2.3. Căile de îmbunătățire a fiabilității

Așa cum s-a menționat în paragraful precedent, factorii care intervin la determinarea unui anumit nivel de siguranță sunt: calitatea componentelor, fiabilitatea structurilor și regimurile de testare, calitatea reparațiilor.

Posibilitățile de influențare a factorilor care determină disponibilitatea și în general fiabilitatea sistemelor sunt valorificate ținând cont de particularitățile fiecărui caz concret.

Calitatea componentelor, reprezentată în calcule de intensitatea de defectare, poate fi asigurată printr-o serie de măsuri dintre care cele mai importante sunt: alegerea corectă a echipamentelor și materialelor în funcție de condițiile concrete de funcționare și încercarea riguroasă a instalațiilor în timpul perioadei de punere

în funcțiune și rodare.

Printre măsurile care pot fi luate de producătorul echipamentelor pot fi menționate pe lângă cele generale de asigurarea calității și mijloacele moderne de verificare și de control nedistructiv care permit obținerea unor performanțe ridicate.

Fiabilitatea schemelor și în general a structurilor instalațiilor reprezintă domeniul în care se poate acționa cu multă eficiență în faza de proiectare pentru obținerea indicatorilor prescriși ansamblului respectiv, principalele măsuri care pot fi luate în acest scop fiind următoarele:

- reducerea numărului de componente care afectează fiabilitatea;
- introducerea unui anumit grad de rezervare.

Pentru limitarea la maxim a numărului componentelor care intervin în fiabilitatea schemelor se utilizează legături suplimentare pentru ocolire și legături transversale astfel încât defectarea componentelor respective să nu afecteze disponibilitatea sau să minimalizeze reducerile de capacitate. Metoda utilizării elementelor redundante are mare răspândire atât prin menținerea permanentă în funcțiune a unor capacități suplimentare cât și prin prevederea unor rezerve care intră în funcțiune la apariția unei indisponibilități în schema principală.

Calitatea reparațiilor intervine în calculele de fiabilitate prin intensitatea de reparare, sau prin durata medie a perioadelor de reparare  $M(T_r)$ . Creșterea siguranței în funcționare a diverselor instalații necesită pe toate căile a timpului când echipamentelor sunt indisponibile. În același timp trebuie să se asigure calitatea lucrărilor de reparare astfel încât restabilirea calității echipamentelor să fie cât mai completă.

Pentru situațiile specifice CNE se pot obține rezultate foarte bune prin optimizarea regimului de reparații în zona inaccesibilă a reactorului, în care scop se pot întreprinde:

- stabilirea prin calcul a sistemului optim de scoatere în reparație a echipamentelor;
- înlocuirea preventivă a componentelor cu fiabilitate redusă și care pot determina indisponibilități importante ale întregului ansamblu.

Toate aceste căi vor fi prezentate în funcție de particularitățile fiecărui caz în parte în capitolele următoare ale prezentei lucrări, începând cu mărirea fiabilității componentelor structurilor metalice și continuând cu mărirea fiabilității structurilor metalice ale clădirii reactorului CNE studiate.

## 2.4. Analiza securității nucleare

După cum s-a menționat și în paragrafele precedente, din punct de vedere a participării la procesul de producție, componentele CNE se împart în două categorii:

- echipamente care participă direct la producția de energie electrică
- instalații auxiliare, care au rolul protejării centralei contra apariției unor defecțiuni cu consecințe grave, acestea trebuind să se găsească permanent în stare de funcționare astfel încât să asigure un nivel ridicat al securității nucleare.

O avarie gravă, cu consecințe asupra personalului și zonei înconjurătoare și cu efecte economice importante nu poate să aibă loc decât în următoarele două cazuri:

- la apariția unei defecțiuni în instalația tehnologică din categoria celor teoretic posibile, dar având o probabilitate mică care nu a fost luată în considerație și deci nu sunt prevăzute sisteme auxiliare corespunzătoare;
- dacă se produc defecțiuni în instalația tehnologică în momentul în care sistemul auxiliar destinat să protejeze centrala contra acestui tip de defecțiuni, este indisponibil.

Așa cum am mai precizat, studiul securității CNE se face plecând de la un anumit risc considerat ca acceptabil, determinat atât pe baze statistice de fiabilitate ale CNE, cât și pe riscurile existente în regiunea

amplasamentului provenite din condițiile naturale și nivelul de civilizație.

Dacă riscul admisibil a fost stabilit, atunci se procedează astfel: se stabilesc pe baza unei analize funcționale și a detaliilor de construcție toate avariile cu consecințe grave și se determină, pentru fiecare, frecvența posibilă de apariție și valoarea medie a consecințelor, produsul celor trei indicatori pentru fiecare tip de avarie permițând compararea cantitativă a pericolului real.

Toate avariile luate în considerare se pot reprezenta pe o diagramă, ca în figura 2.4.1.

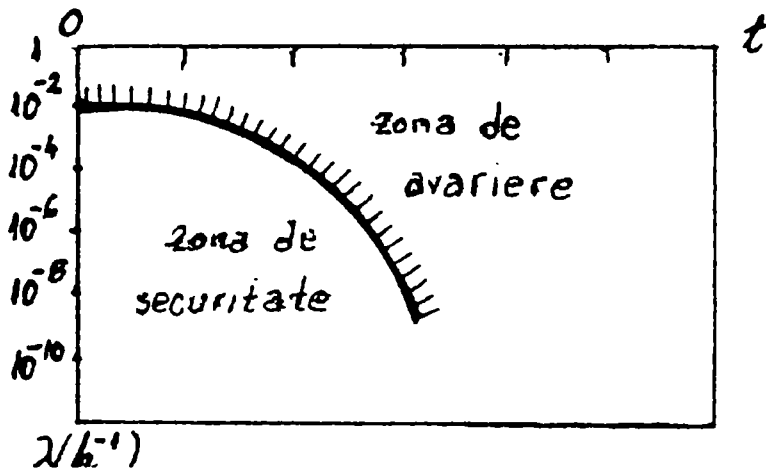


Fig. 2.4.1.

Diagrama cu prezentarea avariilor luate în considerare

Dacă pe baza ratei insecurității restante s-a tratat limita domeniului de risc admisibil, atunci pentru fiecare avarie luată în considerare se poate preciza dacă este necesar să se prevadă sisteme auxiliare de protecție și care este nivelul de siguranță necesar pentru acestea, astfel încât pe ansamblu avaria respectivă să nu se situeze în afara sistemului admisibil.

Ținând cont de relația  $K = T / M(Tdr)$ , prezentă în paragraful 2.2.2., se poate afirma cu o bună aproximație că securitatea nucleară a instalațiilor tehnologice de bază depinde în primul rând de fiabilitatea sistemelor auxiliare prevăzute pentru protecție.

Din relațiile stabilite pentru siguranța ansamblului rezultă că încercarea periodică a stării de bună funcționare a sistemelor auxiliare cu regim de lucru "în așteptare" este decisivă pentru determinarea ansamblului, fiind singurul mijloc eficace de descoperire a eventualelor stări de refuz.

În calculele de fiabilitate prin care se caută să se determine pentru fiecare caz dat un sistem optim de testare, se are în vedere că la testare s-au descoperit și au fost înlăturate toate defectiunile care dau stări de refuz și că probabilitatea de defectare a instalației în timpul testării este complet neglijabilă.

Din punct de vedere a posibilităților de testare, sistemele auxiliare se împart în două categorii care necesită rezolvări distincte.

În prima categorie se au în vedere sistemele disponibile în timpul testării, a căror funcție de asigurare nu încetează în perioada în care sunt încercate, cazuri pentru care evoluția în timp a siguranței sistemului este ca în figura 2.4.2. de mai jos:

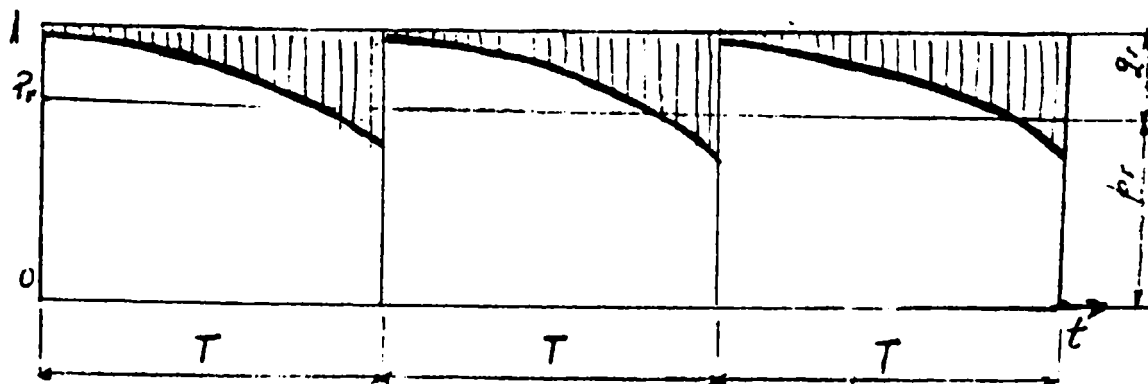


Fig 2.4.2. Perioadele de testare ale unui sistem disponibil.

Valoarea medie a siguranței față de refuzurile de acționare pentru perioada dintre două teste este dată de relația:

$$Pr = \frac{1}{T_0} \int_0^T (1 - e^{-\lambda_r t}) dt \cong 1 - \frac{\lambda_r T}{2} \quad (2.26)$$

Cunoscând valoarea intensității de defectare  $\lambda_r$  a componentelor sistemului auxiliar și impunând ca probabilitatea medie de refuz să nu depășească o anumită valoare limită, atunci se poate determina intervalul de testare necesar, cu relația:

$$T = \frac{2qr}{\lambda_r} \quad (2.27)$$

Problema se poate pune și altfel, adică cunoscând  $T$  pentru o anumită schemă se cere să se determine noul interval de testare pentru o altă schemă, astfel încât performanțele sistemului să rămână aceleași. Astfel din egalitatea relațiilor:

$$\frac{1}{T} \int_0^T q_r(t) dt = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} q_{r_1}(t) dt, \quad (2.28)$$

se determină noul interval de testare  $T_1$ , care de exemplu, pentru o trecere de la o schemă de echivalență 2/3 (două componente funcționează din trei) la una 2/2, cu valoarea:  $T_1 = \lambda_r \times T^2$ .

În cea de-a doua categorie se au în vedere sistemele care nu sunt disponibile în timpul testării, cazurile date în fig. 2.4.3., de mai jos:

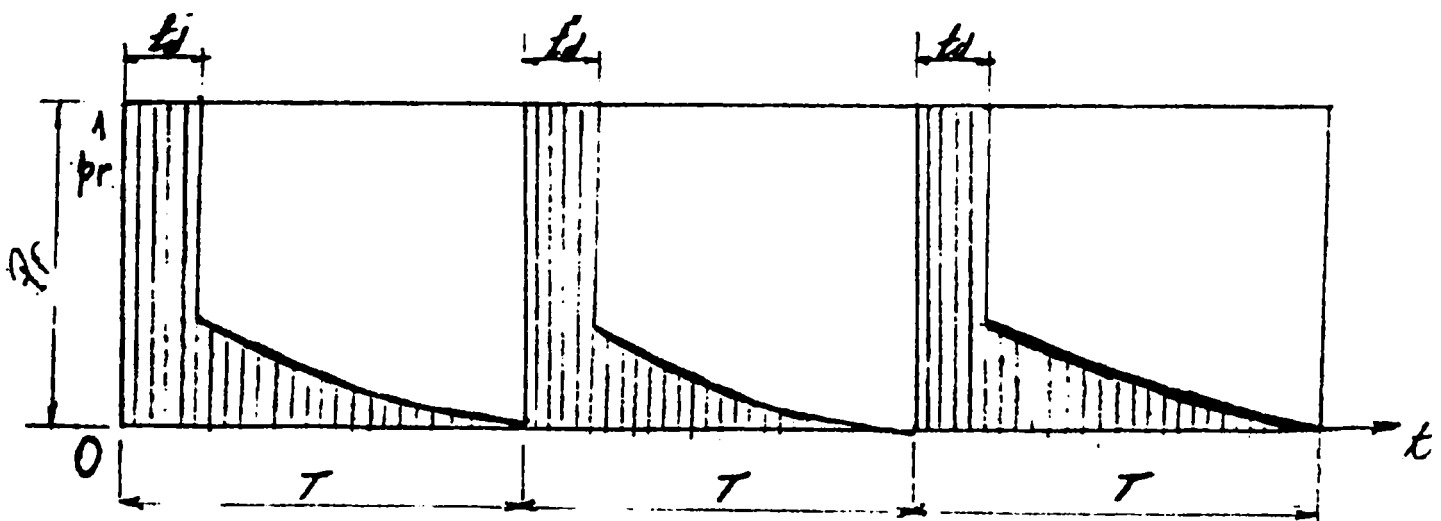


Fig. 2.4.3. Perioadele de testare ale unui sistem indisponibil.

În acest caz durata unei încercări  $t_d$  nu poate fi modificată și este necesar să se stabilească perioada de testare  $T$ , astfel încât siguranța sistemului față de refuz să fie maximă, aplicând relația:



$$\Pr(t) = \frac{1}{T} \int_0^T e^{-\lambda t} dt \quad \text{și} \quad \frac{d\Pr(t)}{Dt} = 0, \quad (2.29)$$

de unde fiind îndeplinite condițiile  $\lambda r T \ll 1$  și  $\frac{1}{\lambda} \geq t_d$

, rezultă intervalul optim de testare căutat:  $T_{optim} = \sqrt{\frac{2t_d}{\lambda_1}}$ , (2.30)

Dintre instalațiile auxiliare care intervin în stabilirea nivelului de siguranță a CNE, sistemele de protecție sunt cele mai răspândite.

Analiza rezultatelor obținute din calcul, evidențiază faptul că avantajele unor scheme față de altele depind de valorile indicatorilor elementelor componente.

În cazurile în care indicatorii elementelor studiate nu sunt cunoscuți cu o precizie suficientă, se poate analiza fiabilitatea, parametrizând acești indicatori și verificând comportarea schemei pe diagrame de genul celei din fig. 2.4.1.

# CAPITOLUL III

## PROBLEME SPECIFICE DE ASIGURAREA CALITĂȚII ALE STRUCTURILOR METALICE LA C.N.E.

### 3.1. GENERALITĂȚI

#### 3.1.1. Conceptul de calitate și asigurarea calității

În energetica nucleară nu se poate vorbi de securitate nucleară fără a înțelege, dezvolta și aplica, conceptul de calitate și asigurarea calității, în limbajul de specialitate existând chiar o noțiune nouă, aceea de implementare a sistemelor calității.

Pentru a asigura, controla și îmbunătăți calitatea este necesar ca aceasta să fie evaluată.

Prin definiție (v. cap. 1.3.), calității i se cere să identifice toate proprietățile și caracteristicile produsului sau serviciului, care le conferă abilitatea acestora de a satisface cerințele date.

Această abilitate de a satisface cerințele date, include atât factorii, cât mai ales cei de disponibilitate, mentenabilitate, fiabilitate, proiectare, și toate celelalte caracteristici necesare produsului sau serviciului implicat.

Relația conceptuală a factorilor determinanți și de măsură a calității produselor și serviciilor destinate obiectivelor și instalațiilor nucleare este redată în figurile 3.1.1. și 3.1.2.

În figura 3.1.1. se poate observa că, funcție de cerințele pieței factorii determinanți pentru calitatea unui produs sunt cei menționați în specificații sau standarde, sub influența resurselor umane și financiare alocate și care influențează la rândul lor cele trei activități de bază determinante, respectiv proiectarea, materialele și procesele tehnologice.

Totodată calitatea produselor poate fi măsurabilă pentru conformitate, în unități îndelungate de timp, cum sunt funcționalitatea, aspectul, efectele senzoriale, variabilitate, procent de defectări etc., sau dependente de timp, caracteristice fiabilității, cum sunt stabilitatea, durata medie de viață, caracteristicile de fiabilitate, rata greșelilor, precum și perioada între greșeli.

În cazul unui serviciu (fig. 3.1.2.), calitatea acestuia este determinată de oameni, facilități și instrucțiuni, care depind de resursele financiare alocate și specificațiile sau noemativele aplicate, funcție de cerințele pieței.

Ca măsuri ale calității serviciului sunt nominalizate experiența în domeniu și perioada de timp în care se rezolvă serviciul respectiv.

În ultimii ani noile concepte, discipline și tehnici au facilitat atingerea obiectivelor calității, prin dezvoltarea noțiunii de asigurarea calității, care include toate activitățile și funcțiile de care depinde calitatea unui produs sau serviciu.

În figura 3.1.3. s-au prezentat câteva elemente de bază implicate în asigurarea calității corelate cu noțiunile de proiectare / specificații corespunzătoare și proces tehnologic / operații procedurale corespunzătoare.

Se poate observa că funcție de cerințele pieței, responsabilitatea managerială pentru asigurarea calității implică în primul rând definirea obiectivelor conducerii, incluzând pregătirea și educația personalului, motivația

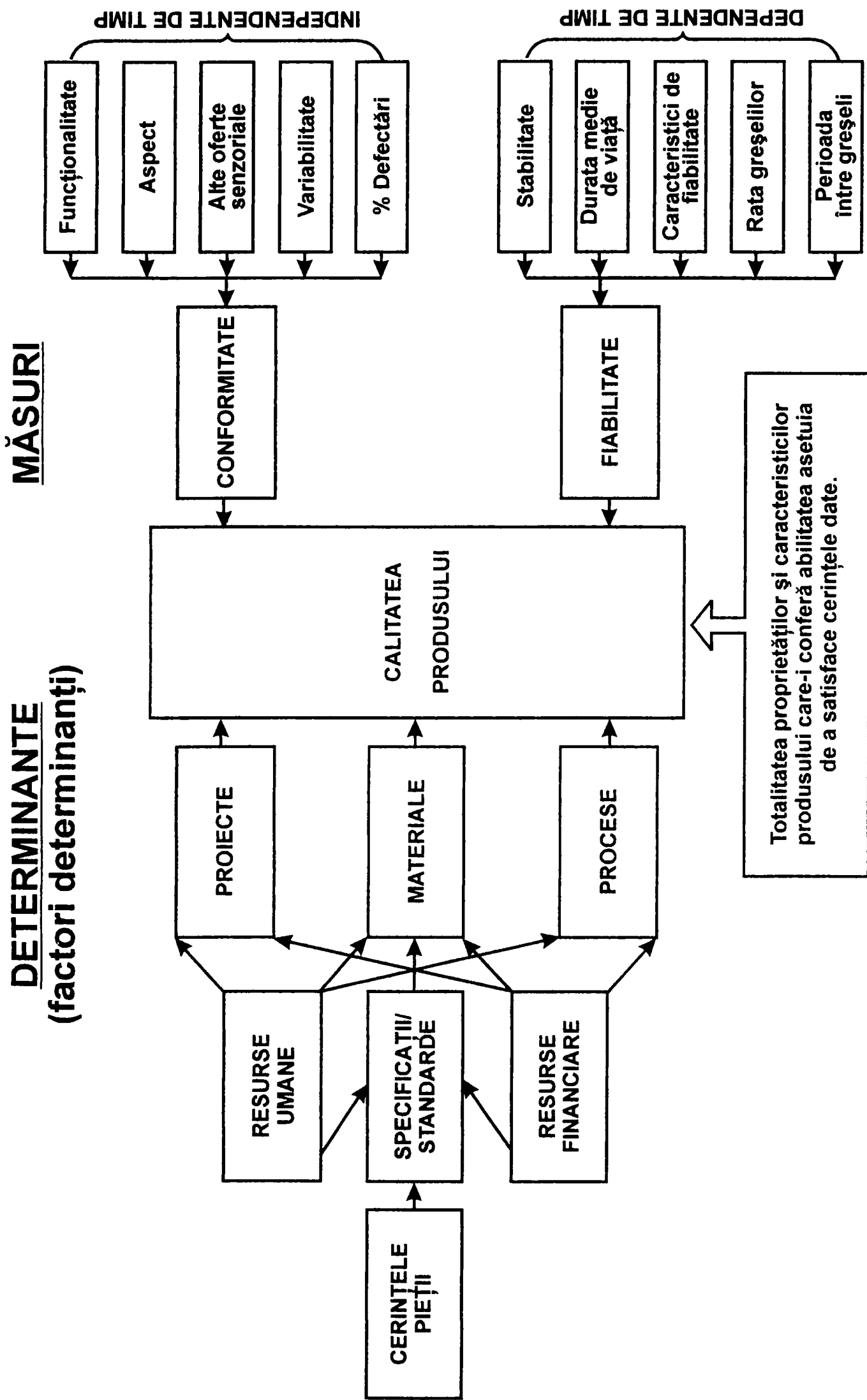


Fig. 3.1.1. Câteva determinate și măsuri ale calității produsului pentru CNE

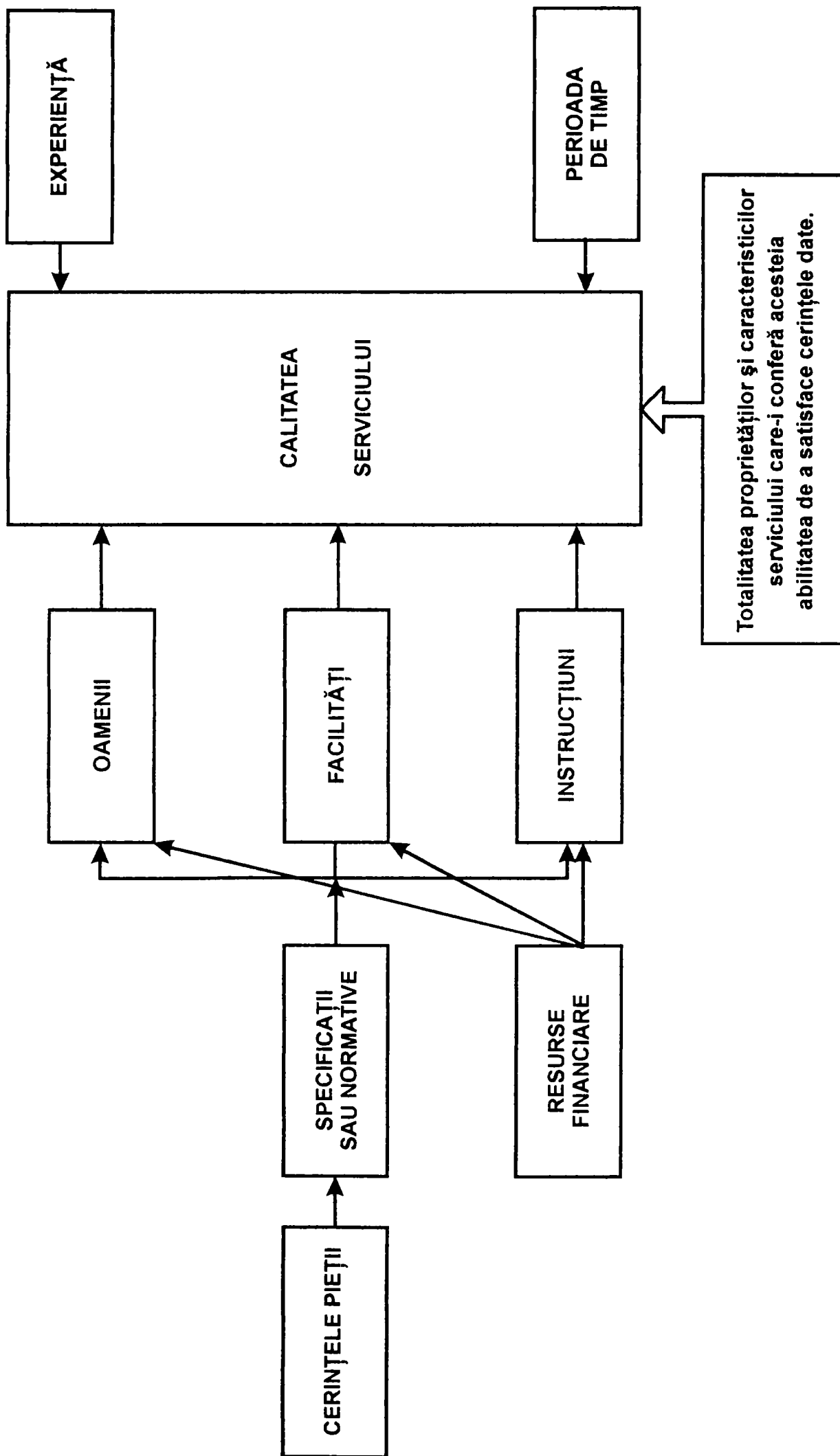
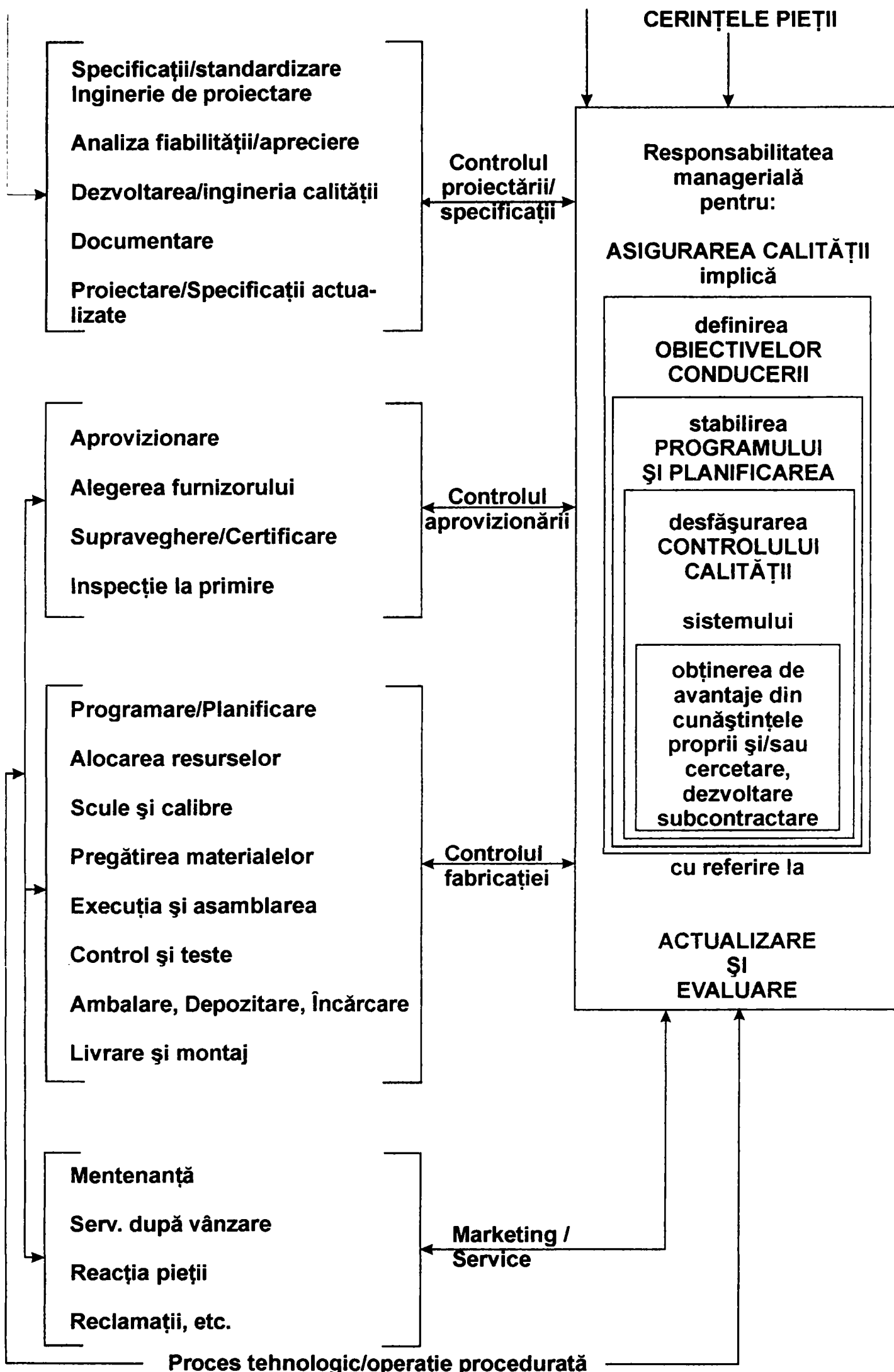


Fig. 3.1.2. Câteva determinante și măsuri ale calității serviciului pentru CNE



*Fig. 3.1.3. Câteva elemente de bază implicate în asigurarea calității.*

costurilor precum și evaluarea și actualizarea.

Între activitățile de bază care includ proiectarea, aprovizionarea, fabricația, marketingul și service, se interpun activitățile de control care fac parte din sistemul asigurării calității.

### **3. 1. 2. Managementul calității**

Pentru realizarea obiectivului managementului calității, acela de a satisface cerințele clienților din domeniul nuclear ca de altfel și din alte domenii în care asigurarea calității trebuie demonstrată, sunt necesare o serie de documente, programe și activități ce trebuie implementate, după cum urmează:

- manualul calității, un document general al politicii de calitate, proceduri și practici ale utilizatorului;
- sistemul calității, cu structura organizatorică, responsabilități, activități și resurse, toate bazate pe proceduri și metode de implementare corespunzătoare cerințelor calității;
- programul calității, un set de documente, activități și resurse care servesc la implementarea sistemului calității;
- planul calității, un document derivat din programul calității care scoate în evidență practicile specifice calității, resursele și activitățile relevante sau particulare ale unui contract sau proiect;
- auditul calității, o examinare independentă a calității pentru a asigura informații generale;
- auditul calității produsului, o examinare independentă a calității unui produs pentru a asigura informații despre acesta;
- auditul calității procesului tehnologic, o examinare independentă a calității procesului pentru a asigura informații;
- auditul sistemului calității, o examinare independentă a organizării sistemului de asigurare a calității efectuată de un grup de auditori;
- controlul calității, pre-evaluarea și validarea calității produselor și serviciilor;
- ingineria calității, pentru a utiliza tehnicile adecvate și calificate în vederea realizării calității cerute;
- evaluarea subfurnizorilor, pentru stabilirea capabilității acestora de asigurare a calității înainte de plasarea comenzii;
- supravegherea subfurnizorilor, pentru a constata îndeplinirea cerințelor, după plasarea comenzii;
- actualizarea proiectului, în urma unui studiu critic și documentat propus de specialiști asupra proiectului;
- calibrarea, operație făcută cu scopul de a determina valorile și erorile instrumentelor de măsură și control.

Toate aceste activități vor fi detaliate în paragrafele următoare care descriu cerințele de asigurare a calității specifice la execuție și la montajul structurilor metalice aferente centralelor nucleare-electrice.

### **3. 1. 3. Criterii de clasificare în asigurarea calității**

Realizarea programelor de energetică nucleară a impus în întreaga lume crearea unui cadru juridic și tehnic specific domeniului nuclear. La noi în țară a fost adoptată Legea 6/1982 privind asigurarea calității obiectivelor și instalațiilor nucleare, completată ulterior cu norme republicane de asigurarea calității specifice diferitelor faze și activități de realizare a acestora, cum sunt: conducerea lucrărilor, proiectarea, aprovizionarea produselor și serviciilor, execuția produselor și serviciilor, construcții montaj, punerea în funcțiune și exploatarea, toate având la bază standarde canadiene pentru asigurarea calității.

Pentru execuție, normele conțin cerințe specifice împărțite în cinci categorii, din care patru au cerințe specifice de asigurarea calității (categoriile I - IV) și una (categoria V) are cerințe de execuție în conformitate cu prevederile legale destinate produselor și serviciilor convenționale (nucleare). De asemenea, normele conțin și

criteriile de clasificare pe categorii de asigurare a calității a produselor și serviciilor pe care executantul le achiziționează de la subfurnizori

Stabilirea preliminară a categoriei de asigurare a calității se face pe bază de punctaj, în urma evaluării celor șase factori considerați esențiali: complexitatea procesului de fabricație, caracteristicile produsului sau serviciului, securitatea nucleară și eficiența economică, pentru fiecare factor acordându-se puncte de la 0 la 4, iar din tabele, funcție de suma rezultată, se alege categoria de asigurare a calității (vezi tabelul 1).

**Tabelul 1**

Suma	Categoria AQ	Tip produs / serviciu
18- 24	I	produse și servicii nucleare
13- 17	II	
8- 12	III	
4 - 7	IV	
0 - 3	V	
(nucleare)		produse și servicii convenționale

Reprezentarea cerințelor minime pe categorii de asigurare a calității este redată în tabelul 2, funcție de necesitatea respectării acestora de către executant privind organizarea, examinarea tehnică de asigurare a calității (auditul), documentele programului AC, înregistrările de calitate, procedurile funcțiilor de sistem și confirmarea calității.

**Tabelul 2**

CERINȚE SPECIFICE	CATEGORIA AC			
	I	II	III	IV
I. Organizarea	X	X	X	X
II. Examinarea tehnică de asigurare a calității (audit intern)	X	-	-	-
III. Documentele programului AC	X	X	X	X
- manualul asigurării calității	X	X	X	X
- PCCVI	X	X	X	X
- Proceduri	X	X	X	X
IV. Înregistrări de calitate privind:	X	X	X	X
- Controale de calitate, verificări și încercări	X	X	X	X
- Dispoziții pentru produsele neconforme	X	X	X	X

CERINȚE SPECIFICE	CATEGORIA AC			
	I	II	III	IV
- Acțiuni corective din proprie inițiativă	X	X	-	-
- Calificarea personalului, omologarea proceselor speciale	X	X	X	-
- Lista subfurnizorilor acceptați de executant	X	X	-	-
- Examinările tehnice de AC	X	X	-	-
<b>V. Procedurile funcțiilor sistemelor AC</b>				
- Analiza contractului	X	-	-	-
- Controlul documentelor	X	X	X	-
- Mijloace de măsurare și încercare	X	X	X	X
- Aprovizionarea	X	X	X	X
- Controalele de calitate, verificările și încercările asupra produselor și serviciilor primite	X	X	X	-
- Controalele de calitate, verificările și încercările pe produsul final	X	X	X	-
- Stadiul controalelor, verificărilor și încercărilor	X	X	X	-
- Identificarea și regăsirea	X	X	X	X
- Manipularea și depozitarea	X	X	-	-
- Execuția produselor și serviciilor	X	X	X	-
- Procese speciale				
- Conservarea, ambalarea și expedierea	X	X	X	-
- Înregistrări de calitate	X	X	X	X
- Neconformitatea	X	X	X	X
- Produse puse la dispoziție de beneficiar	X	X	X	X



CERINȚE SPECIFICE	CATEGORIA AC			
	I	II	III	IV
- Acțiuni corective	X	X	-	-
<b>VI. Confirmarea calității de către beneficiar</b>				
- Evaluarea inițială a PAC și a capabilității tehnice	X	X	X	X
- Analiza și acceptarea PCCVI și a procedurilor aferente	X	X	X	X
- Evaluarea și confirmarea permanentă	X	X	X	X
- Dreptul de a dispune acțiuni corective	X	X	X	X
- Acces în unitatea executantă pentru:				
- ETAC - uri	X	X	X	X
- Supraveghere	X	X	X	X

## **3.2. ASIGURAREA CALITĂȚII LA EXECUȚIE**

### **3.2.1. CERINȚELE SISTEMULUI**

Orice executant de construcții metalice care sunt de regulă de categoria IV AC, este obligat să se organizeze și să elaboreze, să aplice și să reactualizeze un Program de Asigurarea Calității în conformitate cu prevederile legale și cerințele specifice din norme.

Programul de Asigurarea Calității așa cum rezultă și din tabelul 2, cuprinde următoarele documente:

- Manualul de Asigurarea Calității

- Procedurile scrise de Asigurarea Calității, care pot fi: ale funcțiilor de sistem, de execuție, de control și de lucru ale compartimentelor funcționale.

- Planul de Control de Calitate, Verificări și Încercări.

Prin programul de asigurarea calității se stabilește un ansamblu de măsuri tehnice și organizatorice necesare pentru prevenirea și detectarea oricărei abateri față de cerințele din documentațiile tehnice de execuție, precum și corectarea tuturor neconformităților în vederea îndeplinirii cerințelor de securitate nucleară.

Față de schema clasică de organizare utilizată la execuție construcțiilor metalice convenționale, pentru CNE executantul trebuie să definească clar în MAC metodele de conducere pentru asigurarea calității, obiectivele și responsabilitățile pentru asigurarea calității, incluzând responsabilitățile fiecărei secții, atelier sau compartiment.

Se vor arăta responsabilitățile și competențele privind calitatea produselor și serviciilor din domeniul construcțiilor metalice, atât a personalului de conducere, cât și a celui de execuție, precum și a personalului care consemnează conformitatea produsului sau serviciului respectiv cu cerințele de calitate și este prezentată pe o diagramă de relații, legăturile dintre toți aceștia.

Ca o cerință expresă, pe această diagramă apare compartimentul de asigurarea calității al cărui șef numit cu avizul comisiei naționale de control a activității nucleare, raportează permanent conducerii firmei, la un nivel care evită subordonarea cerințelor de asigurarea calității față de fabricație și desfacere, având competența de a rezolva orice problemă de calitate.

De asemenea, personalul acestui compartiment de asigurarea calității, prin gradul de independență organizatorică asigurat, are competența să:

- identifice și să înregistreze problemele de calitate

- inițieze, recomande sau să elaboreze dispoziții privind modul de tratare a neconformităților

- confirme corectarea produselor neconforme

- interzică reparația, livrarea sau montajul produselor sau serviciilor neconforme până când se dispune modul de rezolvare a deficiențelor sau stării necorespunzătoare.

### **3.2.2. Funcțiile sistemului**

Dacă pentru un produs de mare complexitate, sau cu securitate nucleară cum este calandria, cu cerințe specifice de asigurarea calității de categoria I, este obligatoriu ca următoarele funcții ale sistemului AC, să fie procedurate: analiza contractului, controlul documentelor, mijloacele de măsurare și încercare, aprovizionarea, controalele de calitate, verificările și încercările asupra produselor și erviceilor primite, controalele de calitate, verificările și încercările în timpul execuției, controalele de calitate, verificări și încercări pe produsul final, stadiul

controalelor, verificările și încercările, identificarea și regăsirea, manipularea și depozitarea, execuția produselor și serviciilor, produsele speciale, conservarea, ambalarea și expedierea, înregistrările de calitate, neconformitățile, produsele puse la dispoziție de beneficiar, pentru construcțiile metalice, încadrate în categorie IV AC, sunt obligatoriu de procedurat numai următoarele cinci funcții ale sistemului AC

- "Mijloace de măsurare și încercare", funcția prin care se furnizează dovezi obiective că aparatele de măsură și control sunt într-o stare cunoscută de etalonare, sau verificarea metrologică și pot efectua măsurători valabile, fiind în conformitate cu cerințele metrologice legale, cu indicarea datei la care expiră valabilitatea etalonării sau verificării metrologice.

- "Identificarea și regăsirea", funcția prin care se identifică fiecare produs, lot, componentă sau parte, față de desenul, specificația, caietul de sarcini sau alt document tehnic aplicabil, de la primire și pe tot parcursul execuției și construcției, atribuind o identitate unică fiecărui produs și înregistrând această identificare pe toate înregistrările de proces și de control al calității, pentru o ușoară regăsire.

- "Înregistrări de calitate", funcție prin care se întreprind măsuri de păstrare pentru toate înregistrările privind calitatea, ca o dovadă că produsul sau serviciul executat satisface cerințele legale și contractuale, incluzând cel puțin înregistrările controalelor de calitate prin care se identifică nr. desenului de referință, al modificărilor acestuia și cel de identificare a componentei produsului, bazele acceptării, neconformitățile și datele când au fost executate controalele; pe lângă aceste măsuri trebuie asigurate și condițiile de mediu corespunzătoare pentru evitarea deteriorării sau distrugerilor și pentru prevenirea pierderilor.

- "Neconformitatea", funcție prin care se dispune modul de tratare a tuturor produselor și serviciilor neconforme, incluzând și pe cele ale subfurnizorilor, identificând și oprind produsele neconforme pentru evaluare, eliberând dispoziții privind modul de tratare a neconformităților cu acordul celor care au responsabilități în acest sens, urmărind îndeplinirea acestor dispoziții și prevăzând cerințele privind recontrolarea produselor reparate sau refăcute.

- "Produse puse la dispoziție de unitatea beneficiară", funcție prin care beneficiarul specifică în contract categoria AC și certifică faptul că aceste produse sunt în concordanță cu cerințele de calitate ale produsului final, executantul confirmând certificarea beneficiarului, la primirea produselor la dispoziție, examinându-le totodată pentru a stabili dacă sunt complete și de tip corespunzător, detectând stricăciunile din timpul transportului.

Fiecare procedură pentru funcțiile sistemului, conține în scris: scopul și domeniul, definiții și prescurtări utilizate în text, document de referință, responsabilități prin care se stabilește cine și pentru ce este responsabil, descrierea procedurii incluzând cum, când și unde se execută fiecare fază, cu ce materiale, echipamente și documente și modul în care se controlează toate acestea, formulare etichete, anexe la care se face referire în text, anexate ca model de procedură.

### **3.2.3. Implementarea sistemului**

Pregătirea fabricației pentru construcțiile metalice destinate clădirilor CNE, față de pregătirea clasică a fabricației, la produsele convenționale care constă în analizarea documentației de proiectare, și ablonare, elaborare extrase de materiale, necesare de materiale și colaborări, fișe tehnologice, proiect de SDV etc., se face numai pe bază de proceduri scrise, după cum urmează:

- procedura de lucru specifică a compartimentului responsabil de pregătirea fabricației
- procedura tehnologică de execuție și control a elementelor de construcție metalică destinate CNE, care

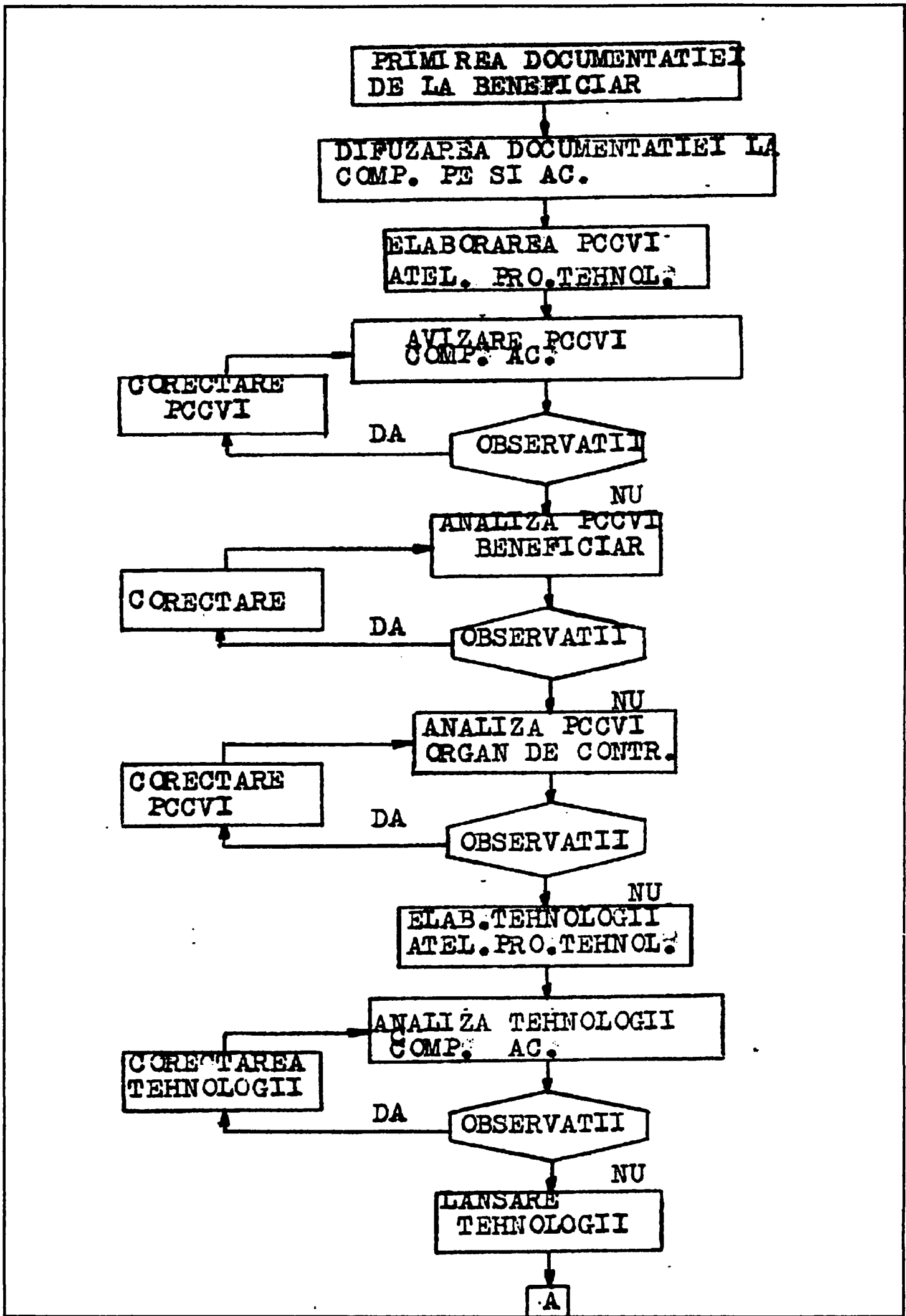


Fig. 3.2.3.1. Diagrama bloc cu etapele PCCVI la fabricație

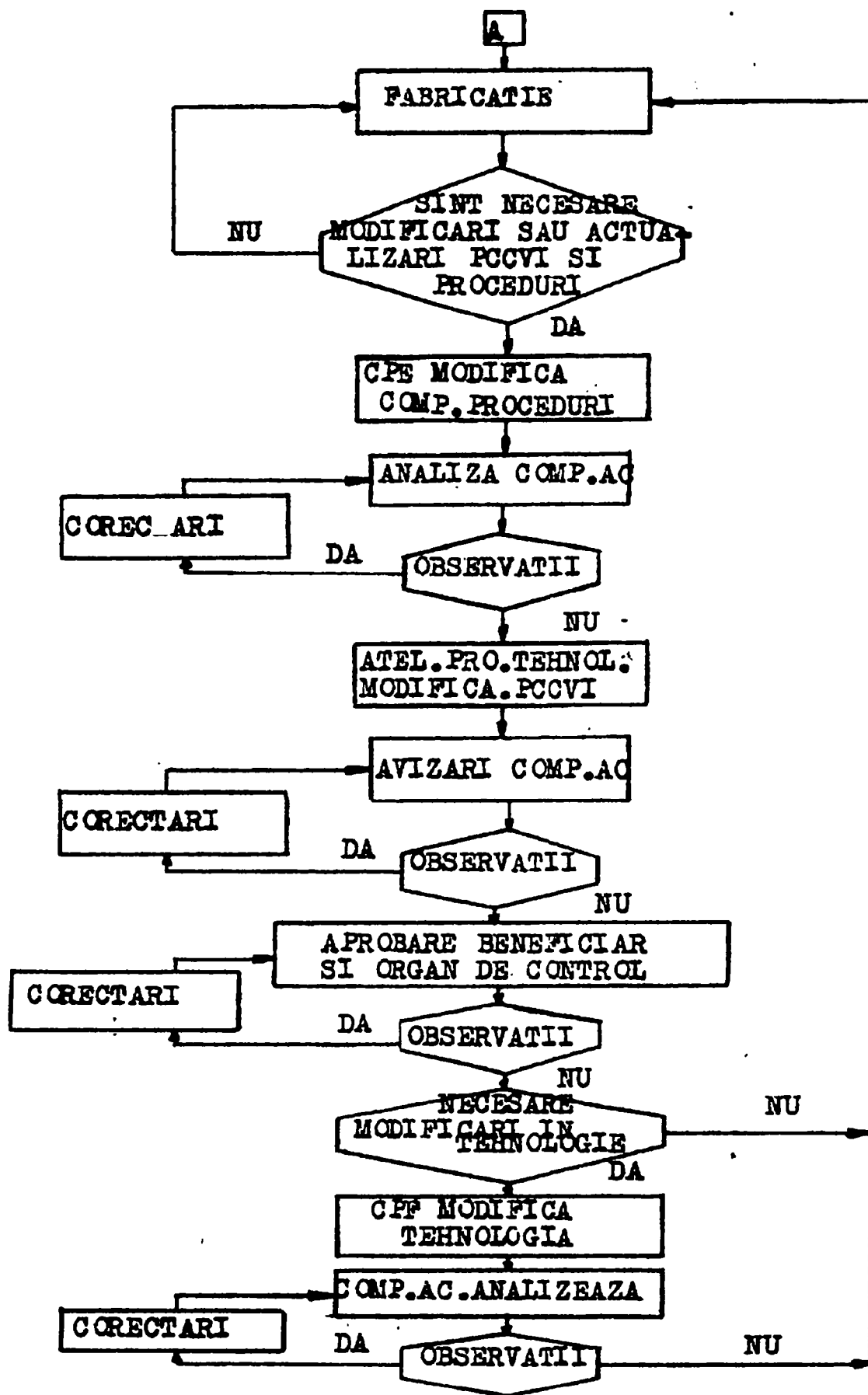


Fig. 3.2.3.1. (continuare)

conține fișele de fabricație mai puțin sudarea și protecția anticorrosivă care sunt procedurate separat

- procedura tehnologică de execuție și control a protecției anticorrosive a construcțiilor metalice destinate CNE

- procedura tehnologică de execuție și control a operațiilor de sudare a construcțiilor metalice destinate CNE.

Procedurile de lucru, execuție și control au aceeași structură de format, descrisă la pct. 3. 2., ultimul aliniat, pentru procedurile funcțiilor de sistem de ale căror cerințe trebuie să țină cont.

Tot la pregătirea fabricației se elaborează și PCCVI-ul care conține documentul ce enumeră și descrie toate controalele, verificările și încercările necesare pe faze de execuție și finale pentru un produs sau serviciu.

PCCVI-ul se elaborează după încheierea contractului între executant și client și înaintea lansării în fabricație, ținând cont de fluxul tehnologic al executantului, corelat cu cerințele din documentația tehnică de proiectare, parcurgând etapele descrise în diagrama bloc prezentată în fig. 3. 2. 3. 1.

Formatul PCCVI corespunde sistemului aplicat de executant pentru execuția și controlul construcțiilor metalice, având următoarea componentă:

- pagina de gardă cu denumirea produsului numărul comenzii/contract, numărul comenzii interne și denumirea beneficiarului.

- lista de difuzare a reviziei PCCVI-ului cu nr. exemplarului, destinatarul exemplarului și data difuzării.

- lista de control a reviziei, cu avizările și aprobările necesare, data intrării în vigoare, nr. reviziei, simbolul reviziei și descrierea pe scurt a obiectului reviziei.

- descrierea PCCVI, cu conținutul pe scurt al planului.

- cerințele de contract obligatorii, cu menționarea acestora în ordinea fazelor descrise în PCCVI.

- lista materialelor principale, cu denumirea acestora, nivelul de calitate solicitat și denumirea furnizorului.

- controlul în proces, cuprinzând descrierea operațiilor pe faze de fabricație cu menționarea procedurilor și instrucțiunilor aplicabile, operațiile și procedurile de control corespunzătoare, documentele de confirmarea calității în urma controlului de calitate, cu precizarea celor care intră în componența dosarului de istorie a fabricației, precizarea punctelor de control (inspecție cu asistare sau staționare obligatorie al celor care au responsabilitatea efectuării acestora).

Această din urmă componentă a PCCVI, de altfel și cea mai reprezentativă este redată în tabelul 3, pentru subsambele de construcții metalice.

Atât PCCVI-ul cât și procedurile tehnologice se elaborează la uzina executantă de construcții metalice, de către atelierele de proiectare tehnologică în colaborare cu compartimentele de control și asigurarea calității.

De asemenea tot ca o noutate, datorată sistemului de asigurarea calității, la atelierele se șablonare toate corecturile rezultate în urma verificărilor elementelor cu lungime mare, sunt consemnate într-o fișă cu corecturi pe care se obține aprobarea proiectantului sau cum este prevăzut în procedura tehnologică și de lucru.

Execuția elementelor și subsambelelor de construcție metalică se face în secții și ateliere specializate ale uzinei executante, cu respectarea procedurilor de lucru proprii și a celor tehnologice.

Principalele faze de execuție așa cum sunt ele descrise în PCCVI și detaliate în procedurile tehnologice, sunt

- recepția materialelor, produselor și serviciilor, de la subfurnizori;

- depozitarea, manipularea și eliberarea acestora din depozite;

Tabelul 3 Controlul în proces la execuție

Nr. Crt.	Operații de Fabricație	Operații de Control	Proceduri de control	Înregistrări calitate	DP	Inspectat de		
						CTC	AC	RC
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Recepția la primirea materialelor și produselor comandate în condițiile Legii nr. 6/82 și NRAC, AQ-04/1983.	1.1. Control cantitativ 1.2. Control calitativ	Cod:	LRCC Mater NIR LVCP PVV BID BUS				
2.	Efectuarea probelor mecanice	Efectuarea încercărilor mecanice pe materiale conf. Caiet de Sarcini	Cod:	NPP BID LVCP				
3.	Recertificarea materialelor din ctg. V (dacă se cere)	Efectuarea în cerc. mec. și analizelor conf. teh. de recertificare	Cod:	DRM LCPRM CCFPRM LVCP				
4.	Întocmirea planelor de croire	Plan croire	Cod:	PC				

5.	Eliberarea materialelor și produsele din depozit	Conf. centralizator Plan Croire	Cod:	BI 5 LVCP				
6.	Sablare, grunduire mater.	Conf. TC	Cod:	BI 5 TCSG CP 6 LVCP				
7.	Debitare și marcarea repere	Conf. TC	Cod:	CP 6 TCDP PC LVCP CP 7 NCM				
8.	Pregătire repere (în drept. însemnare, indoire, rabotare, etc.)	Conf. TC	Cod:	CP 7 TCDP BI 8 PVCP CP 8				
9.	Jontare	Conf. Plan Rx Us și Lp	Cod:	CP 8 BCRx BCLP BCUS LSA FO				



10.	Asamblare la câ tuş i	Conf. TC	Cod:	BID BI 9 TCS LVCP BI 9 TCA LVCP CP 10				
11.	Sudare elemente	Conf. Plane Rx, Us ş i Lp	Cod:	TCS CP 10 CP 11 BCRx BCLp BCUs BID LSA FO				
12.	Prelucrări mecanice (piese mecanice)	Conf. TC	Cod:	BI 5 (8) TCPM BI 12 LVCP				
13.	Preasamblare ş i ajustare finală	Conf. TC	Cod:	CP 11 FM TCA LVCP CP 13				

14.	Vopsire	Conf. TC	Cod:	NC TCV CP 13 CCPA CP 14 LVCP PVLA				
15.	Marcare coletare (ambalare și conservare unde este cazul)	Conf. TC	Cod:	CP 14 PCM+PS TCA FA LVCP NPPF PVA				
16.	Recepția produselor	Conf. TC	Cod:	CCG PVR DR LVCP				
17.	Mijloace de măsurare și încercare	Conf. TC	Cod:	FE-AMC Eticheta "Verificat"				
18.	Neconformități	Detectare neconformități	Cod:	RNC NT AC NPR				
19.								

20.	Asamblare la cătuși ptr. completare pe și antier	Conf. TC	Cod:	TCA CP 19			
		Conf. Plane Rx, Us și Lp	Cod:	CP 19 TCS BCUs+BCLp LSA FO			
21.	Sudare element ptr. completare pe și antier	Conf. TC	Cod:	BID			
				CCG PVR LVCP			
	Recepția lucrărilor de completare pe și antier						

NOTĂ: Se va marca cu X (în coloana 5), documentele ce vor intra în Dosarul produsului.

Se va marca cu "S" sau "H" punctele de inspecție CTC și AC ale executantului și reprezentantului clientului, în coloanele 6, 7, respectiv 8.

- sablarea și grunduirea tablelor și profilelor;
- debitarea tablelor și profilelor;
- pregătirea pentru montaj (însemnarea, trasarea, găurirea, sanfrenarea, îndoirea, etc.);
- jontarea tablelor și profilelor;
- asamblarea elementelor compuse în dispozitive;
- sudarea elementelor compuse,
- asamblarea după sudare (premontaj, ajustare, definitivare, etc.);
- ambalarea (coletarea);
- recepția finală;
- expedierea și transportul.

Controlul calității execuției se execută de către personalul compartimentului de control, în conformitate cu PCCVI și procedurile / instrucțiunile la care acesta fac referire în fiecare fază de execuție.

Principalele responsabilități ale personalului de control în cazul produselor și serviciilor destinate CNE și prevăzute în procedurile de control, sunt:

- verificarea calității materiilor prime, materialelor, reperelor și subansamblelor la aprovizionarea și introducerea lor în fabricație;

- verificarea reglajului și preciziei mijloacelor de măsură și control;
- efectuarea operațiilor tehnologice de control în toate fazele de fabricație și asupra produselor finite;
- respingerea produselor cu deficiențe de calitate;
- propunerea pentru sisterea fabricației și oprirea lansării produselor care nu corespund calitativ.

Pentru produsele și serviciile găsite necnorme în urma efectuării controalelor de calitate, personalul compartimentului de control întocmește un raport de neconformitate pe care îl procesează conform procedurii specifice de tratare a neconformităților.

Rezultatul controalelor de calitate, verificărilor și încercărilor se consemnează în înregistrările de calitate prevăzute în proceduri / instrucțiuni, prin care se atestă conformitatea executării produselor și serviciilor cu cerințele din documentația tehnică de proiectare.

Recepția și livrarea produselor pentru CNE se face numai dacă toate operațiile de calitate descrise în PCCVI au fost executate corespunzător și confirmate de către CTC.

Recepția se face numai de către o comisie constituită în acest scop, în care vor fi incluși și reprezentanți ai compartimentelor de asigurarea calității atât la beneficiar cât și la executant.

Comisiile de recepție a produselor destinate obiectivelor și instalațiilor nucleare își desfășoară activitatea controlând existența și conținutul înregistrărilor de calitate prevăzute în PCCVI pe care le confruntă cu proiectul și cu produsul supus recepției.

În urma acestor verificări, comisia hotărăște admiterea, amânarea sau respingerea recepției, consemnând acest lucru într-un proces verbal de recepție.

Dacă recepția a fost admisă, se poate trece la efectuarea operațiilor de încărcare și livrare în ordinea stabilită în contract atașând produselor documentele necesare pentru recepția la primire la beneficiar și anume: avizul de expediere, certificatul de calitate și garanție, foaia de ambalaj, avizul de asigurarea calității și procesul verbal de recepție.

Conform prevederilor contractuale dintre beneficiar și executant după ultima livrare a coletelor prevăzute în graficul de livrări, executantul se obligă să asambleze și să predea dosarul cu înregistrările de calitate prevăzute în PCCVI, care constituie dovada obiectivă a îndeplinirii cerințelor contractuale și juridice. Acest dosar împreună cu înregistrările care îl compun trebuie astfel alcătuit încât să reziste pe toată durata de viață a CNE, în condiții corespunzătoare de arhivare.

Trebuie menționat că, înainte de încheierea contractului, beneficiarul evaluează documentele PAC ale executantului și capacitățile tehnice de execuție, pentru a stabili dacă cerințele din norme vor fi îndeplinite înaintea momentului începerii execuției. În caz că aceste documente nu satisfac cerințele, beneficiarul va dispune implementarea de către executant a acțiunilor corective necesare prin care se asigură că cerințele din norme vor fi satisfăcute.

Documentele PAC și capacitățile de producție care satisfac cerințele din norme sunt supuse aprobării comisiei naționale pentru controlul activităților nucleare, care eliberează totodată și autorizația prevăzută de legislație.

De asemenea, beneficiarul evaluează și PCCVI-ul, după încheierea contractului și înaintea începerii execuției, împreună cu toate condițiile reactualizate ale acestuia pentru a stabili dacă poate fi acceptat, urmând ca după avizare să fie supus aprobării comisiei naționale pentru controlul activităților nucleare.

Totodată, beneficiarul prin reprezentantul său de asigurarea calității efectuează supravegherea prin care se asigură că executantul îndeplinește cerințele PAC și cele din norme.

Executantul va permite accesul inspectorilor beneficiarului în capacitățile sale de producție, inclusiv în zonele de lucru pentru examinările tehnice de AC, pentru inspecții și pentru efectuarea supravegherii.

### **3.3. Asigurarea calității la montaj**

#### **3.3.1. Cerințele sistemului**

Anteprenorul care montează construcțiile metalice destinate CNE, este obligat să se organizeze și să elaboreze, să aplice și să reactualizeze un program de asigurare a calității în conformitate cu prevederile legale și cerințele specifice ale normelor republicane de asigurarea calității în construcții-montaj.

Programul de asigurarea calității la montaj cuprinde în principiu aceleași documente ca și la execuție (MAC, PCCVI, și proceduri) fiind structurat în săpe activități specifice de conducere a lucrărilor de montaj, de confirmare, de inspecție și examinări tehnice, de înregistrări de calitate și control documente.

Ca și la execuție, anteprenorul de construcții metalice, care montează construcțiile metalice ale clădirilor CNE, trebuie să definească în MAC structura organizatorică, responsabilitățile funcționale, competențele și schemele de relații interne.

Astfel se vor identifica responsabilitățile tuturor compartimentelor pentru aplicarea și consemnarea eficienței PAC, stabilindu-se totodată subordonarea compartimentelor de execuție, CTC și AQ față de conducere, la un astfel de nivel încât să se asigure compartimentelor îndeplinirea tuturor sarcinilor și atribuțiilor prevăzute în norme.

Anteprenorul, ca și executantul de construcții metalice destinate CNE va stabili clar responsabilitatea compartimentelor de asigurarea calității privind controlul aplicării și evaluarea deficienței PAC, asigurându-i acestuia subordonarea directă față de conducere, încât să se asigure că îndeplinirea sarcinilor de planificare și aspectele financiare nu prevalează față de îndeplinirea cerințelor de asigurarea calității.

Orice activitate de montaj, a structurilor metalice pentru obiectivul sau instalația nucleară va putea începe numai după autorizarea anteprenorului în condițiile stabilite prin norme.

Ca și la execuție, cel mai important document PAC la montaj este MAC-ul, în care anteprenorii trebuie să specifice genul de lucrări de construcții montaj a căror execuție urmează să fie controlată prin măsurile și procedurile descrise în manual.

Fiecare manual de asigurarea calității la montaj, trebuie să conțină:

- Hotărârea Consiliului de Administrație;
- Descrierea măsurilor și a structurilor organizatorice;
- Procedura de analiză și actualizare periodică a MAC;
- Procedura pentru efectuarea ETAC;
- Procedurile de AC cu definirea locului pe care acestea îl ocupă în cadrul PAC.

MAC, trebuie să fie controlat, analizat, avizat, aprobat și actualizat periodic, operații ce se vor consemna, iar înregistrările se vor păstra.

Documentul de bază pentru desfășurarea activităților de confirmare care sunt corelate cu ordinea operațiilor de montaj este PCCVI-ul, care identifică toate controalele de calitate, ordinea acestora, condițiile prealabile, punctele de control cu staționare obligatorie sau asistare, criteriile de acceptare și documentele necesare așa cum rezultă din tabelele 3 și 4:

**Tabelul 3****DESCRIEREA P.C.C.V.I. Montaj construcții metalice**

<i>Activități de montaj și control conform revizie</i>	<i>CONTROL COD _____</i>	<i>CTC beneficiar</i>
6. 1. Identificare și eliberare din depozit cod _____	FCC, cod _____ CGCM _____	
6. 2. Transport la locul de montaj și verificarea în șantier înaintea punerii în operă cod _____	FCC, cod _____	
6. 3. Preasamblare conf. proiect cod _____	FCC, cod _____	
6. 4. Efectuare îmbiări IP cod _____	FCC, cod _____ PV, cod _____	
6. 5. Preluare front lucru cod _____	FCC, cod _____ PV, cod _____	
6. 6. Montaj propriu-zis cod _____	FCC, cod _____	
6. 6. 1. Verificare topo. cod _____	FCC, cod _____ PV, cod _____	
6. 6. 2. Verificare poziții ancore Phillips cod _____	FCC, cod _____	
6. 6. 3. Verificare în vederea subtunării cod _____	FCC, cod _____	
6. 6. 4. Montare plăci lubrite cod _____	FCC, cod _____	
6. 6. 4. 1. Verificare cota placă înglobată	FCC, cod _____	
6. 6. 4. 2. Verificare verticalitate placă înglobată	FCC, cod _____	
6. 6. 4. 3. Verificarea orizontalității suportului		
6. 6. 4. 4. Verificarea plăcii de egalizare	FCC, cod _____	

Tabelul 4. Exemplet de FCC Montaj construcții metalice

Nr. Crt.	DENUMIREA ACTIVITĂȚII DE CONTROL	<u>SEMNĂTURA/DATA RESPONSABIL CTC</u> <u>COTA</u>
6. 1.	Identificare și eliberare din depozit	
6. 2.	Transport la locul de montaj și verificare în șantier înainte de punerea în operă	
6. 3.	Preasamblare conf. proiect	
6. 4.	Efectuare îmbinări IP	
6. 5.	Preluare front lucru	
6. 6.	Montaj propriu-zis	
6. 6. 1.	Verificare topo	
6. 6. 2.	Verificare montaj ancore Phillips	
6. 6. 3.	Verificarea în vederea subțumării	
6. 6. 5.	Montarea pe poziție a construcției metalice	
6. 6. 6.	Verificare topo	
6. 6. 7.	Strângere șuruburi ancoraj	
6. 6. 8.	Verificare suduri	
6. 6. 13.	Verificare terminare montaj	
6. 6. 14.	Verificare închidere neconformități (DS și RNC)	
6. 6. 15.	Verificare dosar pentru recepția calitativă	

De asemenea, prin PCCVI se identifică toate procedurile de execuție și control aplicabile în fiecare fază de montaj.

Îndeplinirea de către antreprenor a cerințelor PCCVI se asigură prin dovezile obiective prin care se confirmă că:

- lucrările de montaj nu au fost continuate după punctele de control cu staționare obligatorie decât numai atunci când în documentele prevăzute au fost obținute acordurile de confirmare din partea organelor de control și avizare care au indicat acele puncte în PCCVI.

- activitățile de control de calitate, verificări și încercări și înregistrările acestora, semnate, controlate și acceptate asigură că montarea structurilor metalice s-a efectuat corect și complet.

Toate aceste cerințe sunt materializate prin confirmarea Fișelor chestionar de control enumerate întotdeauna la PCCVI și prezentate ca model în tabelul 4.

### 3.3.2. Funcțiile sistemului

Spre deosebire de execuție, unde funcțiile sistemului sunt reprezentate ca cerințe specifice pe categorii de asigurarea calității, la montaj acestea sunt descrise pe activități pentru care se întocmesc proceduri programatice, după cum urmează:

a) pentru activitățile de conducere, procedurile:

- "pregătirea și calificarea personalului", funcție prin care se asigură că se utilizează personal pregătit și competent pentru aplicarea prevederilor PAC.

- "analiza periodică a PAC", funcție pentru stabilirea eficienței acestui program

- "controlul interfețelor", funcție pentru identificarea și controlul interfețelor între beneficiar, proiectanți, executanți și anteprenori.

b) pentru activitățile de execuție, procedurile:

- "planificarea", prin care se asigură că lucrările de montaj se planifică și se consemnează în conformitate cu cerințele tehnice.

"elaborarea procedurilor și instrucțiunilor", prin care se asigură executarea activităților de montaj pe bază de proceduri / instrucțiuni scrise.

"controlul proceselor speciale", prin care se asigură că procesele speciale (sudura, T.T., END, protecție anticorosivă) vor fi executate în condiții controlate.

"identificarea și regăsirea", prin care se asigură că produsele și serviciile cu cerințe AQ sunt aprovizionate în conformitate cu prevederile din norme.

"primirea, depozitarea și manipularea, prin care se stabilesc măsuri pentru controlul primirii, depozitării și manipulării produselor.

c) pentru activitățile de confirmare, procedurile:

- "planul de control de calitate, verificări și încercări", prin care se stabilesc măsuri pentru elaborarea, avizarea și aprobarea PCCVI.

- "controale de calitate, verificări și încercări", prin care se asigură că acestea vor fi executate în conformitate cu procedurile aprobate.

- "stadiul controalelor", prin care se asigură că, controalele sunt prevăzute și executate, acceptarea produselor sau activității este cunoscută în orice etapă.

- "mijloace de măsură și încercare" prin care se asigură că AMC-urile folosite sunt în clasa, tipul și precizia corespunzătoare.

d) pentru examinările tehnice de asigurarea calității, procedura:

- "E. T.A.C.", prin care se stabilește modul de elaborare și aplicare a Planului de ETAC.

e) pentru documente și înregistrări, procedurile:

- "controlul documentelor", prin care se stabilesc măsuri pentru ținerea sub control a elaborării, identificării, verificării și difuzării P/I și documente tehnice

- "înregistrările de asigurarea calității", prin care se stabilesc măsuri de identificare, control și păstrare a înregistrărilor permanente și nepermanente.

f) pentru activități corective, procedurile:

- "neconformități", prin care se asigură măsuri de identificare, raportare, analiză, dispunerea modului de tratare a neconformităților și controlul documentelor produselor și serviciilor care nu sunt conforme cu cerințele specifice.

- "acțiuni corective", prin care se asigură că neconformitățile sunt corectate prompt, eliminând deficiențele și cauzele care le-au generat.

Procedurile funcțiilor de sistem care sunt și proceduri programatice se elaborează, avizează și aprobă împreună cu MAC-ul, reactualizându-le periodic odată cu acesta.



### 3. 3. 3. Implementarea sistemului

În baza contractului cu beneficiarul și a graficului de nivel III al acestuia (de conducere a lucrărilor anteprenorilor) anteprenorul elaborează grafice de nivel IV pentru montaj prin care planifică lucrările pe care le are de executat.

Funcție de cele stabilite în graficul de nivel IV, anteprenorul elaborează documentele necesare obținerii avizului de începere a lucrărilor pentru pachetul de lucrări prevăzut în grafic.

Activitatea de pregătire tehnologică a montajului structurilor metalice, cuprinde:

- analiza documentației tehnice de proiectare și clasificarea divergențelor;
- elaborarea PCCVI-ului și a procedurilor / instrucțiunilor la care se fac referiri;
- elaborarea proiectelor tehnologice de montaj;
- stabilirea necesarelor de produse și materiale în vederea emiterii comenzilor la subfurnizori;
- stabilirea soluțiilor tehnologice pentru corectarea neconformităților.

Lansarea către șantierele de montaj a documentației tehnologice pregătite, se face în mod controlat prin sistemul unic de difuzare, multiplicare și arhivare.

Activitățile de montaj se desfășoară în conformitate cu documentația tehnică de proiectare numai în baza PCCVI-ului și a procedurilor / instrucțiunilor aprobate, în ordinea fazelor descrise în PCCVI.

De asemenea trebuie respectat proiectul tehnologic de montaj pentru asigurarea unei execuții corecte și fără riscul producerii unor accidente.

Pentru fiecare fază descrisă în PCCVI trebuiesc obținute confirmările necesare în ordinea: executant, CTC, AQ, beneficiar, urmând ca trecerea de la o fază la alta să se facă numai dacă s-a obținut acceptul celor care au aceste responsabilități stabilite ca atare în PCCVI.

Montajul se consideră terminat, dacă la predarea provizorie a pachetelor de lucrări contractate și prevăzute în trafic, nu sunt observații din partea beneficiarului.

Dacă sunt observații, acestea se consemnează în scris, urmând ca până la predarea definitivă, dată care se stabilește de comun acord între beneficiar și anteprenor, ținând cont și de graficele de nivel I - III (de pif, de aprovizionare și de conducere a lucrărilor) ale beneficiarului, să fie rezolvate în totalitate de către anteprenor.

Operațiile de control de calitate, verificări și încercări sunt cele descrise în procedurile / instrucțiunile specifice fiecărei faze din PCCVI.

Controlul în fiecare fază constă în:

- verificarea condițiilor prealabile, înaintea începerii operației;
- supravegherea desfășurării operației propriu-zisă;
- verificarea finală, după terminarea operației respective;

Confirmarea efectuării controlului de calitate, verificărilor și încercărilor constă în semnarea, ștampărirea și datarea înregistrărilor de calitate aferente, menționate în proceduri / instrucțiuni, de către cei cu responsabilități în acest sens.

Nu se poate trece de la o operație la alta, prevăzută în PCCVI, dacă nu s-au obținut toate confirmările necesare stabilite la aprobarea PCCVI.

Orice deficiență constatată cu ocazia controlului va fi consemnată în scris într-un raport de neconformitate care se procesează conform celor stabilite în procedurile de tratare a neconformităților, fiind considerată rezolvată prin închiderea raportului de neconformitate de către CTC-ul anteprenorului și reprezentantului beneficiarului.

Recepția montajului structurilor metalice ale clădirilor CNE cuprinde două etape și anume:

- acceptarea provizorie și definitivă a pachetelor de lucrări, de către beneficiar;
- recepția cu comisia de recepție numită potrivit legii.

Față de obiectivele clasice, la CNE, în comisiile de recepție vor fi numiți obligatoriu și reprezentanții CNCAN-ului și ai compartimentelor de asigurarea calității de la beneficiar.

Întocmirea dosarului cu istoria construcției are ca scop asamblarea în mod uniform și complet a înregistrărilor de calitate la execuție și montaj, în conformitate cu cerințele codurilor și standardelor și punerea în ordine pentru predare după terminarea lucrării.

În practica CNE se întâlnesc trei tipuri de dosare cu istoria construcției și anume:

- generale, care reprezintă o colecție de înregistrări de calitate de execuție, documentând activitățile care nu sunt în mod necesar îndosariate pe coduri BSI.

- de sistem, care reprezintă o colecție de înregistrări de calitate, asamblate pe coduri BSI și pe discipline (necanice, instalații, construcții, etc.)

- aditionale, care sunt o colecție de înregistrări de calitate aferente oricărei lucrări de construcții-montaj realizate după transferul dosarelor generale / sistem, la beneficiar.

Examinările tehnice de asigurare a calității se desfășoară de regulă, în baza unui plan ETAC și au ca scop confirmarea că activitățile care pot afecta calitatea lucrărilor de montaj sunt în conformitate cu PAC, iar acest program a fost aplicat efectiv.

ETAC-urile se desfășoară, de asemenea în baza procedurilor și instrucțiunilor cu fișe chestionar de control, de către un personal AQ bine instruit și calificat corespunzător.

Imediat după terminarea ETAC-urilor, echipa de ETAC va raporta în scris conducerii anteprenorului orice deficiență constatată, împreună cu acțiunile corective pe care le sugerează, urmărind atât eliminarea deficiențelor cât și a cauzelor care le-au generat.

În afara ETAC-urilor planificate, personalul compartimentului AQ, poate efectua și inspecții suplimentare când se constată că PAC nu este eficient.

### 3.3.4. Concluzii

Avantajele și dezavantajele sistemului de AC. Aplicat la CNE sunt următoarele

Avantaje:

- realizarea și exploatarea obiectivelor și instalațiilor nucleare în condițiile asigurării securității instalațiilor, protecției populației și mediului înconjurător;
- eficiența economică sporită;
- ridicarea calității produselor și serviciilor;
- angajarea la toate nivelele, de la muncitor la director, a implementării PAC;
- flexibilitatea sistemului prin acceptarea unor revizii și actualizări periodice.

Dezavantaje :

- un volum prea mare de înregistrări care duce uneori la un consum exagerat de hârtie și stagnări inutile la fabricație / montaj;
- implementarea PAC în condiții de pionierat conduce la cheltuieli suplimentare, dificultăți de execuție, întârzieri la livrare, montaj și punere în funcțiune etc.

Noutățile sistemului de A.C. aplicat la CNE față de sistemul clasic de control de calitate se caracterizează prin:

- asigurarea unui cadru legislativ și normativ adecvat;
- autorizarea tuturor unităților care participă la realizarea și exploatarea obiectivelor și instalațiilor nucleare;
- toate activitățile de construcții-montaj și exploatarea obiectivelor și instalațiilor nucleare și de execuție a produselor și prestare a serviciilor destinate CNE se desfășoară pe baza programelor de asigurare a calității care cuprind: MAC, proceduri și PCCVI;
- utilizarea sistemului de procedurare a activităților și operațiilor prin care se stabilește clar cine și pentru ce este responsabil și modul de realizare a acestora în concordanță cu prevederile documentației tehnice de proiectare, a standardelor și codurilor aplicabile;
- stabilirea unui mod unitar de tratare a neconformităților;
- amplasarea înregistrărilor de fabricație, respectiv de montaj în dosarele cu înregistrări privind istoria fabricației și a montajului.

Perspectivile de generalizare a sistemului de A.C. la produsele convenționale este la ora actuală în curs de desfășurare în toată lumea.

Având în vedere avantajele utilizării sistemului de asigurare a calității la produsele și serviciile destinate CNE, în prezent și la noi în țară se fac eforturi pentru generalizarea acestui sistem la toate produsele și serviciile convenționale (nenucleare), în conformitate cu standardele internaționale ISO.

Această generalizare are ca scop în primul rând ridicarea calității produselor și serviciilor pentru mărirea competitivității produselor românești pe piața etemă și nu în ultimul rând, obținerea celorlalte avantaje care rezultă din aplicarea acestui sistem.

Dezavantajele sistemului, în cazul generalizării, pot fi înlăturate ținând cont de experiența dobândită la produsele executate și montate pentru CNE:

De asemenea pentru reușita operațiunii, corelarea standardelor și normelor românești cu alte norme, standarde și coduri internaționale este binevenită și în unele cazuri obligatorie.

## Cap. IV. ÎMBUNĂTĂTIREA FIABILITĂȚII GENERALE A CNE PRIN MĂRIREA FIABILITĂȚII COMPONENTELOR STRUCTURILOR METALICE

### 4. 1. Generalități

Fiabilitatea componentelor structurilor metalice, atât din categoria mijloacelor tehnice active, cât și a celor passive care realizează securitatea nucleară, este determinantă pentru fiabilitatea sistemului tehnic din care fac parte și în consecință pentru fiabilitatea generală a CNE.

Defectarea sau avarierea unor componente ale structurilor metalice cu implicații directe în diferitele sisteme de securitate nucleară, poate avea drept consecință defectarea sistemului, cu urmări dintre cele mai grave ce pot duce în afara întreruperilor în funcționarea CNE și la contaminări radioactive.

Dacă analizăm condițiile în care lucrează diversele componente ale structurilor metalice la CNE se poate observa că din cauza câmpului de radiații nucleare, materialele sunt supuse unei uzuri mai rapide, având durata de funcționare în general mai redusă decât în mod obișnuit.

De asemenea accesul în zonele iradiate este sau imposibil, sau limitat în timpul funcționării, ceea ce afectează regimul de reparații și modifică modul de abordare a problemelor de securitate nucleară.

Așa cum s-a mai precizat în cap. 2, pentru studiul lucrării am ales componente funcționând în condițiile specifice CNE, amplasate în clădirea reactorului, cum sunt: platforma metalică de susținere a sistemului de stropire cu apă la avarie, învelișul de protecție al anvelopei, canalele de protecție biologică contra radiațiilor, suportul metalic al mașinii de încărcare cu combustibil nuclear și suportul metalic al generatoarelor de abur.

Ținând cont de legile de distribuție care intervin în studiul fiabilității acestor componente, defectarea lor se poate produce fie datorită înrăutățirii întâmplătoare a condițiilor de mediu, cum sunt creșterea bruscă a temperaturii mediului ambiant, a nivelului ridicat de radiații sau apariției unor vibrații cu amplitudinea mai mare decât cea admisă, fie datorită unor defecte ascunse ale materialelor, sau apariției fenomenelor de îmbătrânire ca urmare a oboselii oțelurilor și a depășirii limitei de elasticitate.

Sunt luate în considerare, de asemenea, erorile umane săvârșite la proiectare, execuție, montaj sau întreținere în timpul funcționării.

Printre problemele ce se cer a fi analizate pentru îmbunătățirea siguranței și de-aia fiabilității construcțiilor metalice ale clădirilor CNE și în caz particular a celor de tip Candu -PHWR, sunt:

- problemele de structură propriu-zisă ale acestor construcții metalice cu referire la formă și alcatuire precum și la execuție și montaj;
- problemele de protecție anticorosivă ale acestor structuri, cu referire la protecția la temperaturi înalte, protecția la agenți corosivi și ca o particularitate a CNE, protecția la radiații.

Aceste probleme vor fi analizate din două puncte de vedere: întâi din punct de vedere al soluțiilor existente aplicate la CNE aflate în funcțiune sau în construcție și apoi din punct de vedere al unor soluții alternative care să elimine dezavantajele soluțiilor inițiale.

## 4. 2. Probleme de structură ale construcțiilor metalice CNE

### 4. 2. 1. Probleme de formă si alcătuire

Unul dintre cele mai importante sisteme care realizează securitatea nucleară este sistemul de izolare, o construcție etanșă numită și înveliș de protecție, anvelopă sau containment.

În ipoteza unui accident urmat de pierderea întregii cantități de agent primar și de topirea elementelor combustibile, ceea ce provoacă aliberearea de produse radioactive, este necesară realizarea acestui înveliș etanș de protecție care să poată reține în mod sigur vaporii și gazele respective, eliberate.

Această construcție trebuie să reziste condițiilor celor mai grele, adică la o presiune biologică de 3 - 5 daN/cm<sup>2</sup> și la o temperatură de aproximativ 130 - 180 ° C, realizând și o protecție biologică suficient de bună și o etanșare satisfăcătoare.

Aproape toate lucrările de specialitate din domeniul energiei nucleare, menționează că pe ansamblu, centralele nucleare-electrice nu trebuie să contribuie la creșterea fondului natural de radiații cu mai mult de 1 %, ținând cont că valoarea medie a fondului este de 120 mrem/ an la nivelul mării, de 60 mrem/an la 1000 m altitudine și de 100 mrem/an la 3000 m, iar doza medie de diagnosticăe Röntgen este de 20 mrem/an.

Funcție și de tipul reactorului, până în prezent s-au ales diferite soluții de izolare de siguranță, utilizându-se diverse forme de anvelope, fie cilindrice, fie sferice sau combinate cilindru-cupola sferică, executate din beton, oțel sau o combinație oțel - beton, într-unul din sistemele de izolare -anvelopare, la presiunea maximă, dubla cu spațiu de absorbție, cu reducerea presiunii și spațiu de absorbție, cu depresiune sau cu depresiune și sistem de reducere a presiunii.

Soluția care a fost adoptată încă de la prima centrală americană cu reactor cu apă sub presiune, constă în principiu dintr-o anvelopă de beton capabilă să reziste condițiilor create de accidentul maxim de proiectare și dintr-un sistem de injecții cu apă (sprinkler) care contribuie la condensarea rapidă a aburului și deci la reducerea presiunii și temperaturii în interior (vezi. fig. 4.1.)

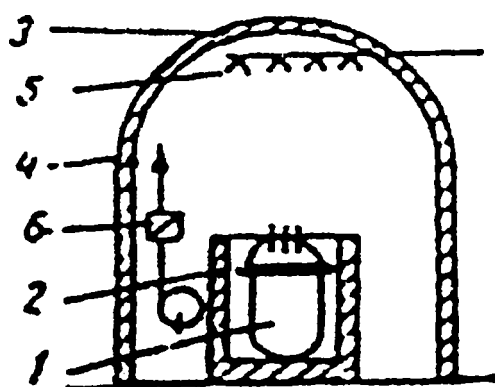


Fig 4. 1. Anvelopa pentru presiune totală

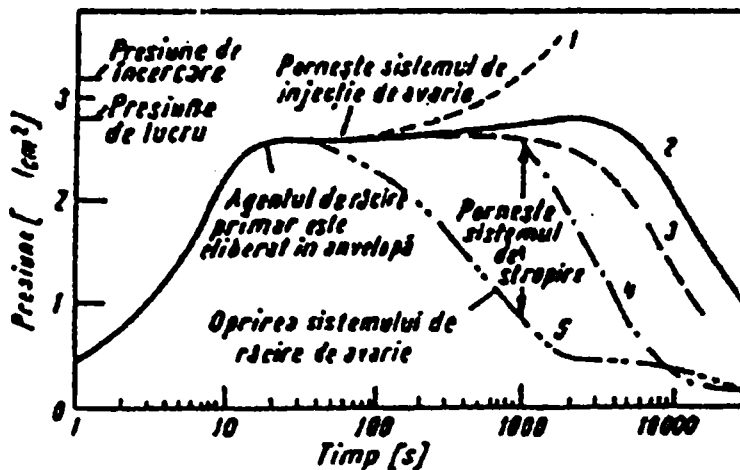
- 1 - reactor;
- 2 - protecția biologică;
- 3 - anvelopa;
- 4 - ecran biologic;
- 5 - sistem de injecție;
- 6 - instalații de filtrare.

Etansarea asigurată de această anvelopă conduce la pierderi mai mici de 0,5 %/zi în condiții de presiune maximă. În condiții de funcționare în interior se menține o depresiune de 10 - 20 mm coloană de apă.

Pentru a înțelege fenomenul de evoluție în interiorul anvelopei la o avarie cu pierderea agentului de răcire, se poate observa în fig. 4. 2. că o bună funcționare a sistemelor de injecție, poate să reducă destul de rapid presiunea din interior.

- 1 - evoluția presiunii fără instalații de răcire
- 2 - sunt în funcțiune 3 instalații de răcire și ventilație
- 3 - sunt în funcțiune 4 instalații de răcire și ventilație
- 4 - instalații de răcire și ventilație plus stropire cu apă
- 5 - toate sistemele de răcire (inclusiv răcirea de avarie) în funcțiune.

Fig. 4. 3. Evoluția presiunii după o avarie cu pierderea agentului de răcire.



Pentru obținerea unor pierderi mai mici prin anvelopă s-a adoptat la unele CNE soluția căptușirii construcției din beton cu o manta din oțel, ceea ce asigură scăpări mai mici de 0,1 % / zi, precum și o reducere considerabilă a dimensiunilor anvelopei.

Un exemplu de anvelopă cilindrică, calculată la presiunea maximă este soluția adoptată la CNE Indian Point - 2 (SUA), unde au rezultat următoarele dimensiuni: înălțimea - 85 m, diametrul - 41,2 m, grosimea pereților cilindrici - 1,371 m și grosimea cupolei - 0,962 m.

O altă formă constructivă pentru anvelopele de presiune maximă este cea sferică indicată în figura 4. 3., caracterizată prin faptul că între peretele exterior de beton și mantaua internă de oțel se păstrează un spațiu în care există permanent o depresiune față de incinta reactorului, astfel încât la apariția unor degajări de abur și gaze care pătrund prin neetanșeitățile sferei de oțel, acestea sunt reținute în spațiul dintre cele două sfere, de unde sunt aspirate și trimise la o instalație de filtrare iar apoi evacuate în atmosferă.

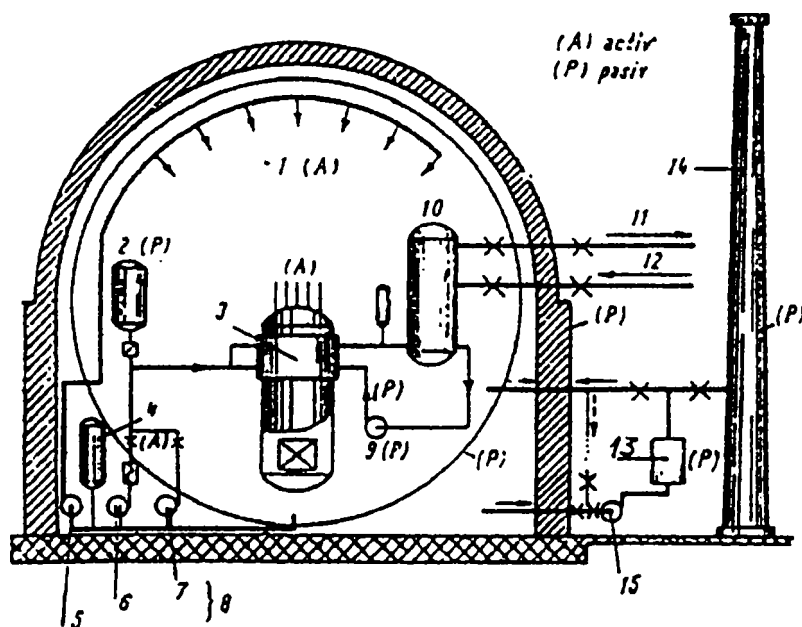
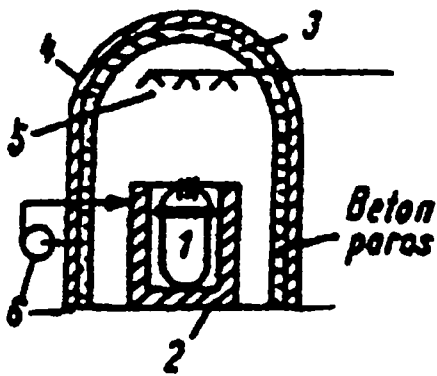


Fig. 4. 3. Secțiune prin anvelopă sferică cu două învelișuri și cu spații de colectare a scăpărilor.

- 1 - instalația de stropire anvelopă; 2 - condensator de presiune; 3 - reactor;
- 4 - rezervor soluție bor; 5 - pompă stropire anvelopă; 6 - pompă racire joasă presiune; 7 - pompă racire înaltă presiune; 8 - sisteme de răcire de avarie;
- 9 - circuit de răcire; 10 - generator abur; 11 - abur; 12 - apa de alimentare;
- 13 - filtru; 14 - coș evacuate; 15 - ventilatoare.

Astfel de soluții sunt aplicate la unele centrale cu reactoare PWR din Germania, unde scăparile prin sistem nu depășesc 0,2 % / zi.

Tot în domeniul anvelopelor de presiune maximă poate fi citată și soluția cu pște dublu din fig. 4. 4. realizată cu două mantale de oțel între care se află două straturi de beton cel de la interior fiind beton poros. Eventualele scăpări prin mantaua internă sunt aspirate din acest spațiu și reintroduse în incintă.



**Fig. 4.4. Anvelopa dublă**

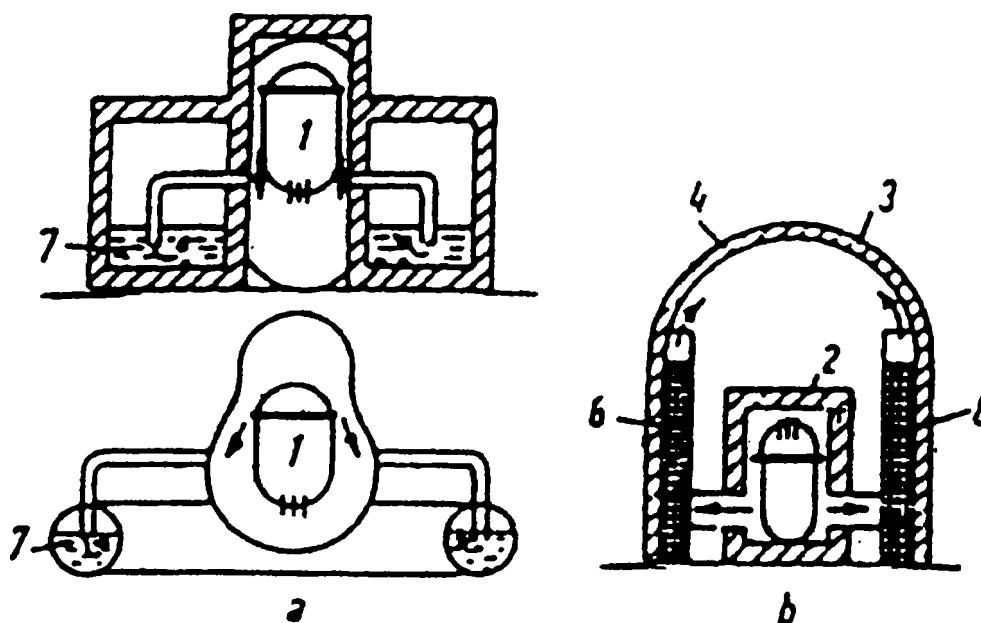
- 1 - reactor;
- 2 - protecția biologică;
- 3 - envelope;
- 4 - ecran biologic;
- 5 - sistem de injecție;
- 6 - instalație de filtrare.

O soluție cunoscută și aplicată și la CNE este soluția de anvelopare cu depresiune. Spre deosebire de anvelopare cu presiune totală, în acest caz se realizează în interior o depresiune care în timpul funcționării normale este mult mai mare, ceea ce permite reducerea volumului anvelopei și a prețului de cost.

Depresiunea creată este între 0,7 - 1,05 kg/cm<sup>2</sup>, reducerea de volum fiind de 15 - 50 %, iar în cazul ruperii conductei principale, prin utilizarea injectiei de apă, presiunea de 3 kg/cm<sup>2</sup> se reduce în cca. 30 de minute la valoarea normală.

De exemplu, dimensiunile anvelopei din beton de la CNE Cemavodă au în acest caz valorile: 45 m - diametru și 1m - grosimea peretelui, cu mult mai mici ca în cazul CNE Indian Point - 2 prezentate mai înainte, în ceea ce privește înălțimea și grosimea construcției.

Pentru reducerea sensibilă a dimensiunilor și implicit a prețului de cost, precum și a dificultăților care se întâlnesc la anvelopările cu presiune totală, se utilizează și sisteme cu mare capacitate de absorbție rapidă a cantităților importante de căldură degajate într-un accident grav, cum sunt anvelopele cu reducerea presiunii cu apă (a) sau cu gheață (b) din fig. 4. 5.



**Fig. 4.5. Anvelope cu reducerea presiunii: a) - cu apă; b) - cu gheață;**

- 1 - reactor; 2 - protecția biologică; 3 - envelope; 4 - ecran biologic
- 5 - rezervor de condensare; 6 - gheață; 7 - apă,

În cazul b), condensatorul cu gheață trebuie astfel izolat încât la o temperatură a gheții de - 100 C, ieșirea din funcțiune a instalațiilor de răcire să nu producă topirea decât după aproximativ o săptămână; o mare parte din produsele de fisiune fiind reținute în condensatorul cu gheață de unde gheața topită cu conținut de bor poate fi trimisă cu pompe pentru stropirea reactorului.

Există și alte metode de reducere a presiunii maxime și deci a dimensiunilor anvelopei, mai puțin utilizate, cum sunt anvelopele cu sistem de descărcare a presiunii cu clapete sau rezervor sub vid (contaiñment) prezentat în figura 4. 6. sau sistemele de izolare cu camere de presiune ca în fig. 4. 7., unde în fiecare încăpere sunt incluse sisteme de stropire cu apă pentru accelerarea condensării aburului produs și reducerea presiunii, iar în scopul repartizării uniforme a sarcinilor aceste camere au prevăzute diafragme de protecție care prin spargere la creșterea presiunii permit o egalizare a solicitărilor.

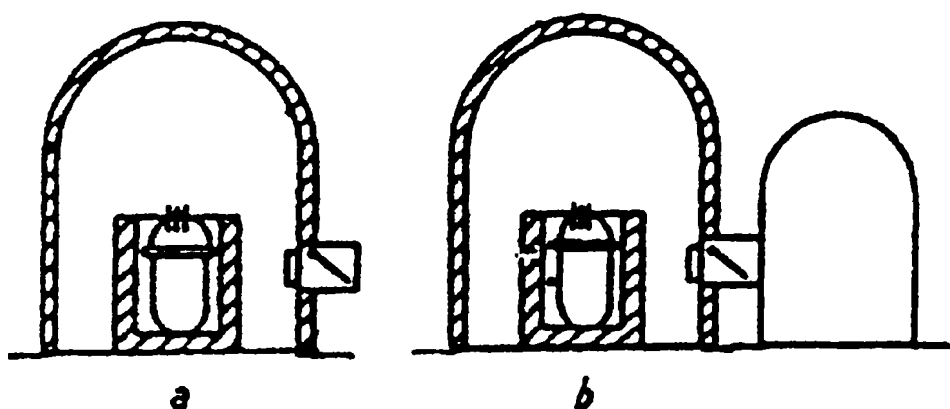


Fig. 4.6. Anvelope cu sistem de descărcare a presiunii

a - cu clapetă;  
b - cu rezervor sub vid.

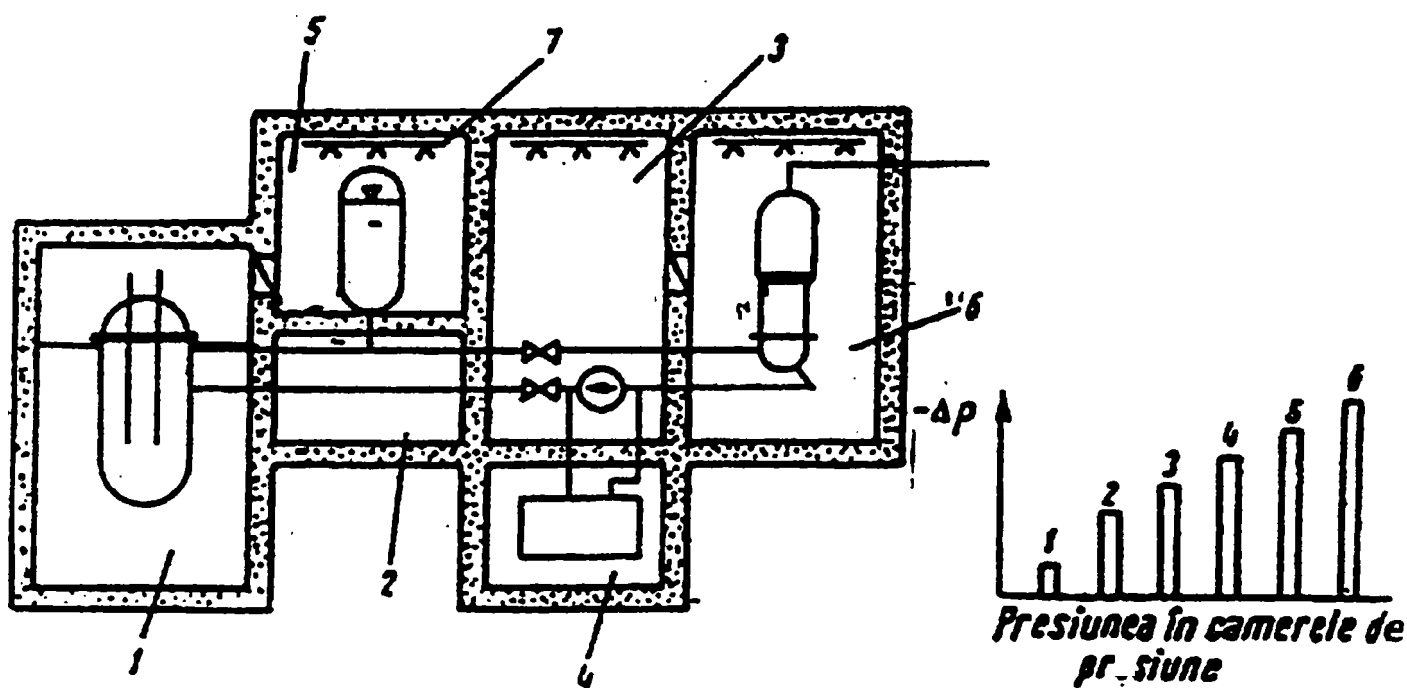


Fig. 4.7. Sistem de izolare cu camere de presiune.

- 1 - camera de presiune a reactorului; 2 - controlul conductelor;
- 3 - camera de presiune a pompelor; 4 - camera de presiune a epurării agentului de răcire; 5 - camera de presiune a compes. de presiune;
- 6 - camera de presiune a generatorului de abur; 7 - instalație de stropire.

Pe baza cercetarilor efectuate de Forbess se poate face o comparație interesantă privind eficacitatea sistemelor de izolare prezentate mai înainte, comparând activitatea gazelor care pot scăpa la fiecare din soluțiile enumerate și constatând o varietate foarte mare de la caz la caz, ca în tabelul 1.4. de mai jos:



#### Tabelul 1.4.

Cantitatea totală de produse de fisiune eliberate de sistemele de izolare, în atmosferă, la accidentul maxim posibil.

Nr. Crt.	Sistem de izolare de siguranță	$\int Q(t) dt, (Ci)$
1.	Anvelopă la presiunea maximă (scurgeri de 1% / zi)	465,0
2.	Anvelopă dublă cu spațiu de absorbție	13,4
3.	Anvelopă cu reducerea presiunii	289,0
4.	Anvelopă cu reducerea presiunii și spațiu de absorbție	8,3
5.	Anvelopă cu depresiune	105,7
6.	Anvelopă cu depresiune și sistem de reducere a presiunii	68,4

Datele din tabel sunt calculate pentru activitatea  $I_{131}$  eliberat la ruperea conductei principale de agent de răcire, integrala reprezentând cantitatea totală de produse de fisiune eliberate de fiecare sistem de izolare în atmosferă la accidentul maxim posibil.

După opinia mea și așa cum rezultă din tabelul 1.4., soluția de anvelopare care a fost adoptată și pentru CNE Cemavodă, similară cu cea a primelor centrale americane cu reactoare cu apă sub presiune, constând dintr-o anvelopă cilindrică de beton armat precomprimat capabilă să reziste condițiilor create de accidentul maxim de proiectare, poate fi îmbunătățită dacă se va evalua extinderea bazelor de proiectare și pentru accidentele severe peste cele care constituie baza de proiectare.

Soluția de anvelopare numai cu beton, fie el și special cu alie de Pb, beritină, limonită sau oxiclură de Mg, are dezavantajul pe lângă cantitatea mare de elemente de fisiune eliberate în atmosferă la accidentul maxim posibil și a creării posibilității apariției unor fisuri sau segregări în beton, deficiențe foarte greu de rezolvat prin reparații superficiale cum sunt operațiile de acoperire cu vopsele speciale (Epoxi și Narac) a microfisurilor din straturile de beton în cazul pereților perimetrali ai clădirii reactorului de la CNE Cemavodă.

Din acest punct de vedere, cele mai eficiente sisteme de izolare de siguranță sunt anvelopele cu reducerea presiunii și spații de absorbție (6,3 Ci) și anvelopele duble cu spații de absorbție (13,4 Ci) sau cele cu depresiune și sisteme de reducere a presiunii (68,4 Ci).

Cu toate caracteristicile de siguranță luate în calcul la stabilirea riscurilor în cazul soluțiilor de anvelopare, aceste probleme structurale și de formă apărute la execuția anvelopelor din beton ale clădirii reactorului, pot impune reanaliza în vederea îmbunătățirii soluțiilor constructive, opțiunea pentru varianta de căptușire cu metal sau de realizare a anvelopelor duble din metal, având un rol important și salvator în luarea deciziilor.

În acest sens, problema va fi tratată în detaliu în capitolele următoare și anume:

- îmbunătățirea sistemului de anvelopare la CNE tip CANDU - PHWR, utilizat de către țara noastră la Cemavodă, prin căptușirea la interior a anvelopei din beton cu o manta din oțel sau aluminiu și realizarea unei depresiuni între cei doi pereți

- realizarea unei noi soluții de anvelopare cu dublă etanșare și spații de absorbție, în variantă sferică de metal.

După cum se poate remarca și din exemplele date mai înainte, forma în plan a anvelopelor este de regulă circulară, unul din principalele motive ale alegerii acestei soluții fiind uniformizarea presiunilor în cazul accidentelor maxim posibile.

Restul clădirilor CNE alcătuite din structuri metalice pot avea diferite forme în plan și spațiu funcție de

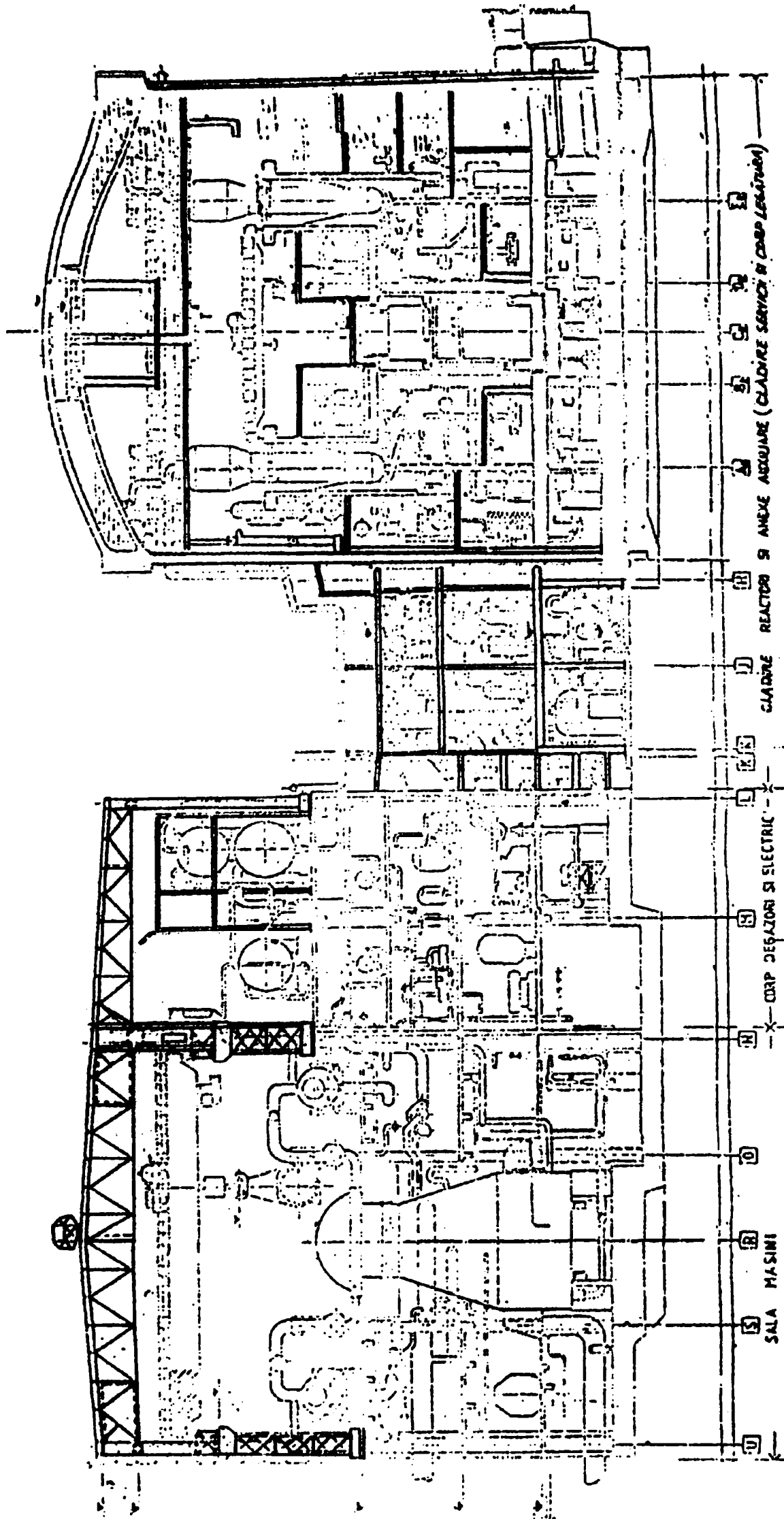


Fig. 4.8. Secțiune prin clădirile principale ale CNE tip CANDU (PHWR)

destinația și rolul lor, astfel (v.fig. 1.0.8 și 4.8.):

- tip hală la sala mașinilor, de obicei de forma dreptunghiulară și amplasată longitudinal față de anvelopă, din considerente economice.

- tot tip hală, de formă dreptunghiulară, la hala podului-rolant din clădirea serviciilor auxiliare nucleare.

- tip construcție metalică multietajată paralelipipedică la clădirea serviciilor auxiliare nucleare.

- tip turn paralelipedic la clădirea turnului de reconcentrare apă grea.

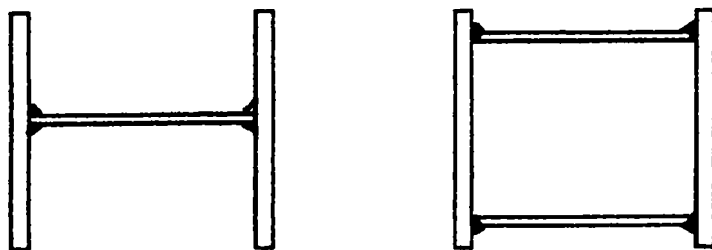
Disponerea și forma clădirilor CNE precum și a diferitelor încăperi și utilități în cadrul acestora, trebuie să țină seama de următoarele recomandări: securitatea nucleară; siguranța și continuitatea în funcționarea CNE prin izolarea sistemelor radioactive, inflamabile și nocive, de alte instalații și de mediul ambiant, așezarea degazoarelor la o diferență de nivel față de pompele de alimentare, precum și a generatoarelor de abur din clădirea reactorului, mai sus decât reactorul, pentru a permite răcirea reactorului în caz de avarie, prin circulație naturală; măsuri antiseismice, de izolare față de apele subterane, drenare a apelor etc.; fluxuri de energie și legături tehnologice (conducte de abur, apa de alimentare, apa de racire, cabluri electrice etc.) cât mai scurte; costul și volumul clădirii cât mai redus; separarea încăperilor după gradul de radioactivitate. (vizitabile, semi și nevizitabile) având în vedere ca accesul la încăperile cu radioactivitate se poate face numai prin ecluze sanitare; posibilitatea extinderii CNE cu blocuri noi; evacuarea caldurii, umidității, reducerea zgomotelor și crearea condițiilor optime pentru activitatea personalului de exploatare, iluminarea și ventilarea naturală a sălii turbinelor și a serviciilor interne clasice; condiții pentru desfășurarea cât mai rapidă și pe un front cât mai larg a lucrărilor de construcție-montaj; spații libere pentru montaj, reparații, scoaterea conductelor etc.; acces ușor la echipamente pentru reparații, revizii, racord de cale ferată pentru aducerea echipamentului greu.

În cadrul fiecăror structuri metalice de rezistență, ansamblul de elemente portante care preiau încărcările de diferite proveniențe (permanente, climatice, din utilaj etc.) poate avea diferite forme constructive rezultate funcție de mărimea forțelor pe care le transmit, de rigiditatea pe care trebuie să o asigure structurii, de anumite condiții de gabarit, de natura terenului de fundație etc.

Forma secțiunilor se adoptă în funcție de solicitări și de posibilitățile de prindere și înădare, astfel:

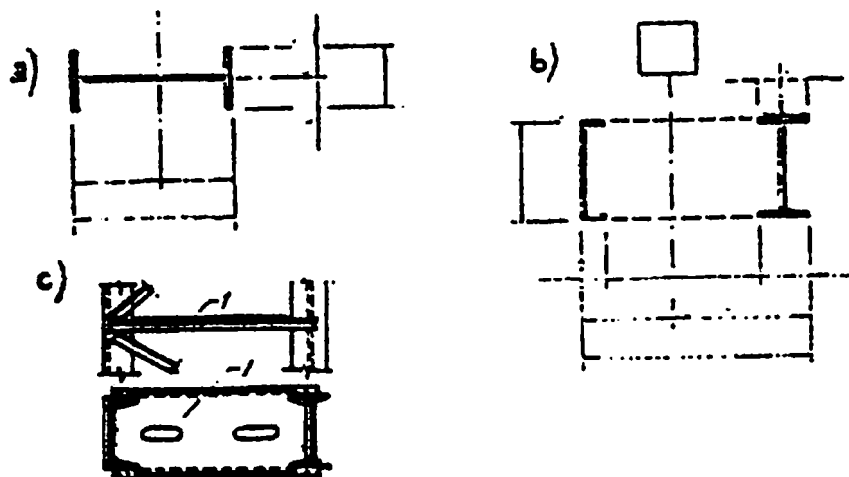
- pentru stâlpi, avem cele două cazuri în funcție de amplasarea acestora în clădiri multietajate cum sunt clădirea serviciilor auxiliare nucleare, interiorul clădirii reactorului sau în clădiri de tip hală cum este sala mașinilor și centrala Diesel de avarie.

În primul caz, deoarece predomină forțele axiale iar lungimile de flambaj sunt practic egale în raport cu cele două axe principale, secțiunile se dezvoltă astfel încât momentele de inerție corespunzătoare nu diferă prea mult. Ca atare se folosesc secțiuni în formă de dublu T la majoritatea structurilor sau închise (chesonate) în zona de depozitare a combustibilului uzat, din considerente de decontaminare, la care lățimea tălpilor este foarte apropiată de înălțimea inimii ca în figura 4.8.1.



**Fig. 4.8.1. Secțiuni de stâlpi, utilizate în clădirile nucleare.**

În cel de al doilea caz, unde acționează și poduri rulante de mare capacitate iar variația eforturilor este mai pronunțată, se folosesc stâlpi cu secțiunea în trepte unde din considerente economice și de solicitare partea inferioară, unde acționează forțe axiale, momente și forțe tăietoare se realizează cu zăbrele evitând astfel apariția momentelor suplimentare în ramurile stâlpului, iar partea superioară cu secțiunea plină. Ramurile acestor stâlpi cu solicitări mari se realizează din elemente sudate, cu zăbrele din comiere iar pentru mărirea rigidității la răsucire se prevăd din loc în loc diafragme de rigidizare (vezi fig. 4. 9.)



**Fig. 4. 9. Secțiuni de stâlpi utilizate la sala mașinilor**

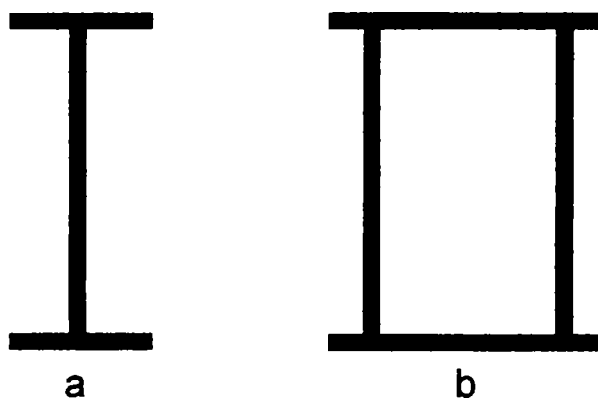
a) ramura superioară, b) ramura inferioară, c) diafragma de rigidizare.

- pentru grinzile principale și secundare ale planșeelor din clădirile nucleare se utilizează profile U sau T laminate sau compuse prin sudură.

De remarcat este faptul că în străinătate se folosesc aproape în exclusivitate profile laminate, economice, de tipul IPE, UPE, în timp ce din păcate la noi se utilizează cu precădere profile compuse.

- pentru grinzile cu zăbrele ale fermelor sălii mașinilor se utilizează diferite forme, cea mai des folosită fiind forma trapezoidală cu prima diagonală realizată ascendent pentru repartizarea mai rațională a eforturilor în zona de reazam a fermei.

- pentru grinzile căilor de rulare ale podurilor speciale, atât din clădirea serviciilor auxiliare nucleare (1 x 80 t), cât mai ales din sala mașinilor (2 x 220 t), se utilizează secțiunea plină, de formă dublu T (vezi fig. 4.10. a) cu talpa superioară mai dezvoltată decât talpa inferioară din cauza solicitărilor suplimentare din forțe horizontale și necesitățile legate de prinderea șinelor; la unele CNE cu grinzi de deschidere mare care susțin poduri rulante cu capacitate mare de ridicare se utilizează forma cu doi pereți tip cheson (fig. 4.10. b).



**Fig. 4. 10. Secțiuni de grinzi de rulare utilizate la CNE**

Deci, din punct de vedere al formei structurilor si elementelor de constructii metalice utilizate mai ales în partea nucleară a CNE, pentru mărirea fiabilității componentelor acestor structuri si implicit a fiabilității generale a CNE, trebuie reținute următoarele aspecte:

- anvelopa trebuie să aibă formă cilindrică sau sferică pentru repartizarea uniformă a presiunilor si vacuumurilor.

- elementele componente ale structurii să aibă secțiunea de formă cât mai simplă, dacă este posibil din profile laminate pentru a elimina riscul acumulării prafului radioactiv și pentru o cât mai ușoară decontaminare.

În zonele cu radioactivitate ridicată în condițiile exploatării normale și la elementele puternic solificate este recomandabil utilizarea secțiunilor închise (casetate) pentru aceleași considerente ca mai sus.

## 4. 2. 2. Probleme de prinderi si rezemări

### 4. 2. 2. 1. Rezemarea si prinderea grinzilor secundare pe grinzi principale

Prinderea grinzilor secundare pe grinzi principale este realizată în mai multe moduri funcție de destinația clădirii (parte nucleară sau parte caldică) sau locul de amplasare (planșee intermediare, planșee de acoperiș, platforme tehnologice) distingându-se cele două variante:

- prinderi care transmit numai forțe (reacțiuni) corespunzând unor rezemări simple;
- prinderi care transmit forțe si momente, corespunzând unei rezemări cu continuitate.

Cea mai simplă rezolvare o reprezintă așezarea directă a grinzilor secundare pe grinda principală, legatura fiind asigurata prin suruburi la talpa inferioara sau prin reazem, continuitatea grinzilor secundare fiind realizată prin intermediul unor placuțe de continuitate sudate la montaj. Sub grinzile secundare, grinzile principale au prevăzute rigidizari transversale care asigură transmiterea încărcării la inima grinzii împiedicând încovoierea tălpii sub acțiunea presiunii locale.

Astfel de situații sunt întâlnite mai ales la planșeele de acoperiș ale clădirii serviciilor sau turnului D2 O (clădiri multietajate).

În cele mai multe cazuri condițiile de gabarit pentru realizarea planșeelor intermediare sau a unor platforme tehnologice (ex. Platforma de stropire din clădirea reactorului; vezi fig. 4.11.) impun ca grinzile secundare sa fie așezate cu talpa superioară la nivelul grinzilor principale sau chiar mai jos.

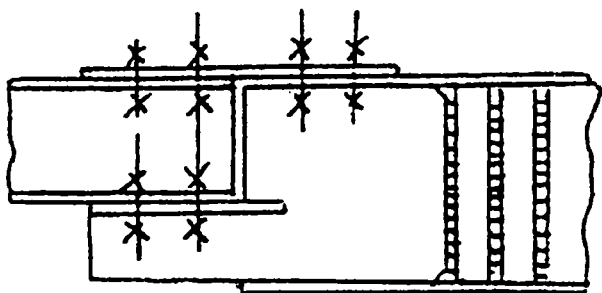
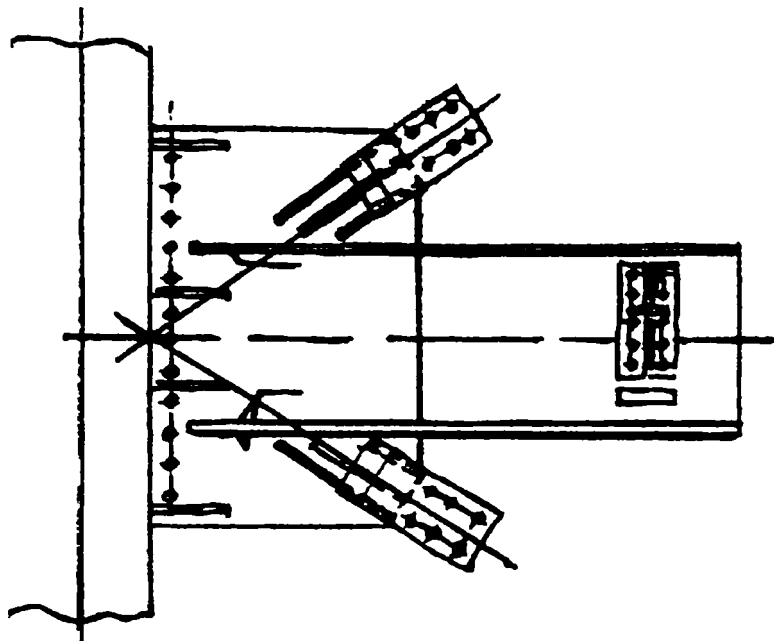


Fig. 4. 11. Rezemarea si prinderea unei grinzi secundare pe grinda principală în clădirea reactorului, CNE - PHWR, CANDU

La rezemele care transmit numai forțe, pentru a permite rotirea grinzilor secundare pe reazem, talpa superioară a acesteia nu este legată de grinda principală, iar pentru împiedicarea deplasării grinzii secundare de pe reazem, aceasta este legată de grinda principală, fie pe inimă în zona axei neutre în cazul planșeelor intermediare si al platformelor tehnologice, fie numai pe talpa inferioară, în cazul planșeelor de acoperiș.

Rezemarea sub nivelul tălpii se face pe un scaun sudat, fie prin intermediul unei plăci groase fixate pe inima grinzii principale (vezi fig. 4.12).



*Fig. 4.12. Rezemarea și prinderea grinzilor secundare pe grinda principală în clădirea serviciilor CNE-PHWR, CANDU*

Când pe grinda principală se reazamă grinzi secundare pe ambele părți, scaunele de rezemare sunt mai dezvoltate deoarece momentele provenite din reacțiunile excentrice ale grinzilor secundare, se echilibrează între ele.

Când grinda reazemă pe o singură parte, acest lucru se face pe o placă groasă care asigură transmiterea reacțiunii cât mai aproape de inima grinzii principale, evitând momentele de răsucire.

#### **4.2.2.2 Rezemarea și prinderea grinzilor de stâlpi**

În cazul structurilor metalice ale clădirilor CNE cele mai frecvente moduri de rezemare ale grinzilor pe stâlpi metalici se întâlnesc la:

- rezemarea grinzilor principale cu inimă plină pe stâlpii structurilor multietajate ale clădirilor serviciilor și turnului D20;
- rezemarea grinzilor cu zăbrele ale fermelor pe stâlpii clădirii principale integrate (sală mașini, corp electric și corp degazori);
- rezemarea grinzilor căilor de rulare pe stâlpii metalici ai structurii clădirilor CNE.

#### **4.2.2.3. Prinderea grinzilor și contravântuirilor cu inimă plină pe stâlpi metalici**

În general rezemarea grinzilor pe stâlpi este realizată articulat fie prin așezarea grinzii pe capul stâlpului în cazul planșelor de acoperiș fie prin intermediul unor guse sudate de talpa sau inima stâlpului și prinse cu șuruburi IP de inimă grinzii în cazul planșelor interioare. În primul caz transmiterea axială a reacțiunii grinzii se realizează prin intermediul unui element de rezemare-centrare de lățime mică, dezvoltat în plan transversal față de axa grinzii și sudat de talpa grinzii. Legarea grinzilor de stâlpi în vederea preluării unor reacțiuni negative de jos în sus este asigurată prin șuruburi (vezi fig. 4. 13.) iar forțele orizontale sunt transmise prin elementele de blocare (tacheți) sudate de capătul stâlpului, după ce grinda și stâlpul sunt așezați unul față de altul în poziția cerută.

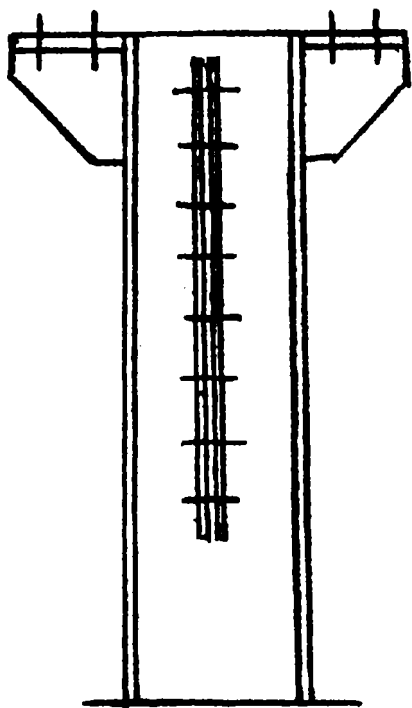


Fig. 4. 13. Prinderea si rezemarea grinzilor cu Inimă plină pe stâlpi metalici, la cladirile nucleare ale CNE, tip CANDU-PHWR.

Cel de al doilea caz, reprezintă o îmbinare articulată grindă-stâlp specifică clădirilor nucleare fiind denumită în limbajul de specialitate îmbinare tip cuțit (vezi fig. 4. 14.), legătura între stâlp și grindă făcându-se prin intermediul a două gusee ("cuțite") sudate de stâlp (pe inimă sau talpă) între care se introduce inima grinzii, prinderea făcându-se cu șuruburi de înaltă rezistență, pretensionate. Pentru ușurarea montajului spațiul între inima grinzilor și cele două gusee se completează cu fururi.

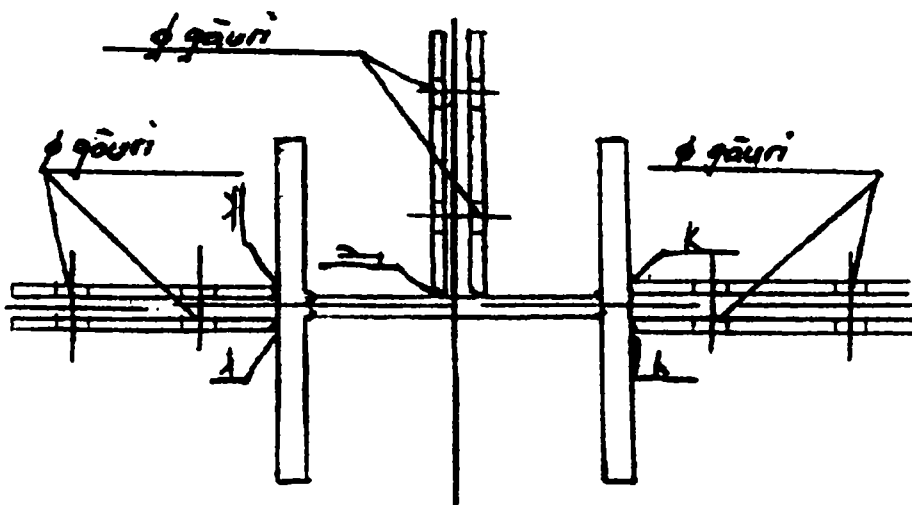


Fig. 4. 14. Prinderea tip cutit utilizată în clădiri nucleare ale CNE tip CANDU - PHWR.

#### 4.2.2.4. Prinderea și rezemarea grinzilor cu zăbrele pe stâlpi metalici

La CNE, grinzile cu zăbrele sunt utilizate în partea clasică în structura acoperișului clădirilor principale integrate la alcătuirea fermelor trapezoidale (vezi fig. 4. 15.)

Legătura între aceste ferme și stâlpii concepuți cu structura variabilă, cu ramura superioară alcătuită sub forma secțiunii compuse cu inimă plină, destinate rezemării fermelor de acoperiș, este de tip încastrat, asigurând astfel rigiditatea transversală a cadrului halei.

Prinderea fermei de stâlp se realizează cu șuruburi nepășuite semiprecise, standardizate.

Rezemarea fermelor se realizează prin intermediul unui scaun sudat de stâlp care pentru a asigura o transmitere mai precisă a reacțiunii este prelucrat mecanic cu o suprafață curbă (vezi fig. 4. 16.)

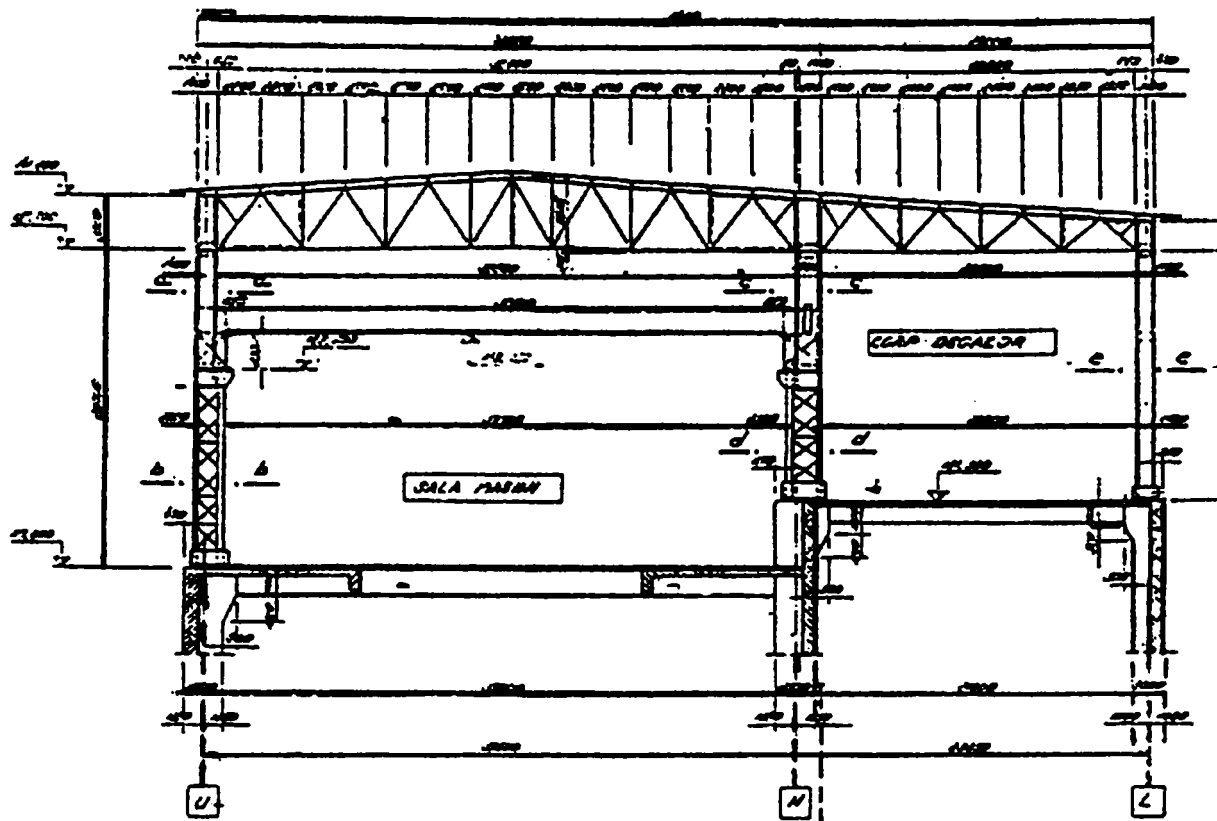


Fig. 4.15. Secțiune prin clădirea principală integrată la CNE, tip CANDU-PHWR

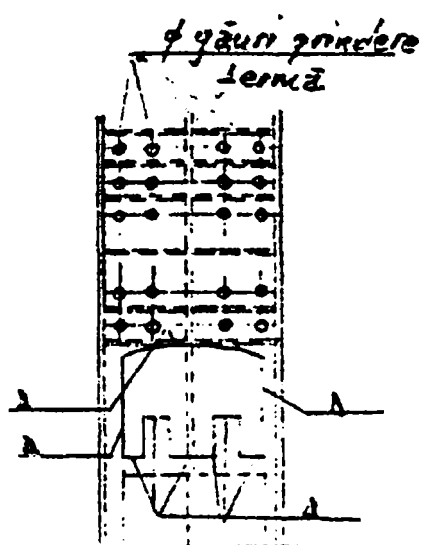


Fig. 4.16. Detaliu de prindere și rezemarea fermei pe stâlpi la clădirea sălii mașinilor, la CNE, tip CANDU-PHWR

Prinderea propriu-zisă este verificată la eforturile rezultate din efectul de cadru, iar reacțiunea verticală a fermei se transmite integral la scaun.

Pentru repartizarea mai rațională a eforturilor în zona de reazem a fermei, prima diagonală este realizată ascendentă. În nodul inferior datorită momentului de pe reazem se dezvoltă forța de compresiune care se preia prin contactul direct cu stâlpul, iar nodul superior se centrează și se verifică la întindere.

#### 4.2.2.5. Prinderea și rezemarea grinzilor și a căilor de rulare pe stâlpi metalici

Grinzile de rulare ale clădirilor din partea clasică precum și cele din partea nucleară sunt proiectate pentru deservirea halelor atât în exploatarea normală cât și pe durata montării echipamentelor tehnologice, fiind alcătuite în soluția grinzilor metalice simplu rezemate, cu inimă plină în variantă sudată.

Dintre acestea, cele mai solicitate sunt cele ale sălii mașinilor destinate susținerii celor două poduri



rulante de 220 t. fiecare, care pot lucra independent sau cuplate cu sarcina maxima de 330 t. Prinderea grinzilor de rulare de stâlpi trebuie sa asigure transmiterea reacțiilor verticale pe reazem (placuta de centrare si respectiv șuruburile de ancoraj pentru reacțiuni negative), legatura stâlpilor curenți de grindă (prin tacheți) si legatura grinzii de stâlpii cu portal (placute flexibile, care blocheaza în sens longitudinal, dar nu împiedică deformațiile pe verticală).

În afară de prinderea de la talpa inferioară, grinzile de rulare sunt prinse de stâlpi si în zona talpii superioare mai ales pentru a asigura transmiterea forțelor orizontale transversale.

Asigurarea rotirii pe reazame și a deschiderii rostului implică adoptarea unor soluții de prindere care să permită deplasările evitându-se sudarea tablei striate de stâlp, creându-se în schimb legături deformabile prin plăci ghidate cu tacheți (vezi fig. 4. 17.)

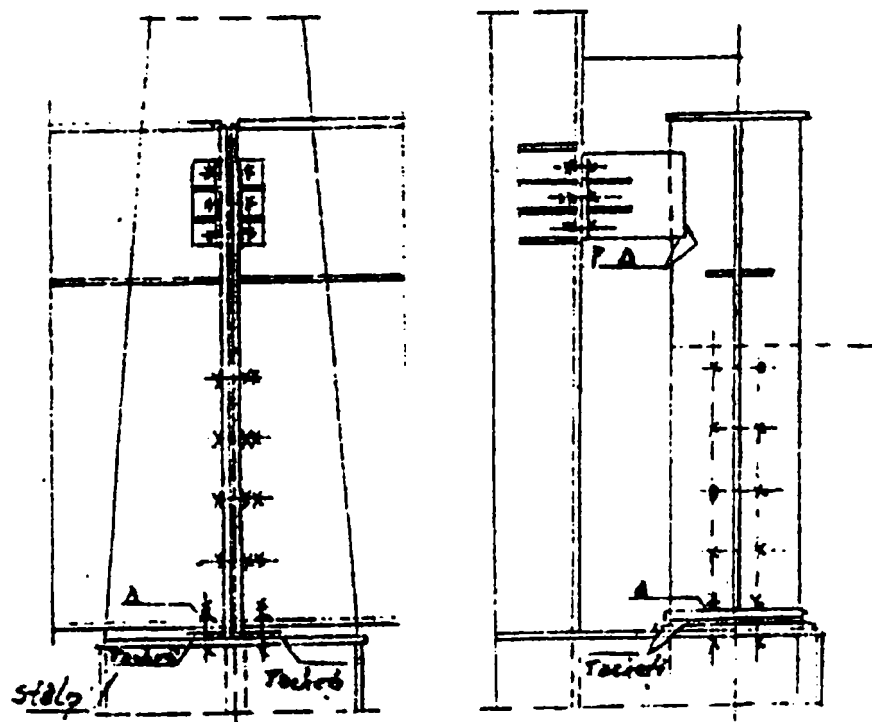


Fig 4. 17.

Prinderea si rezemarea grinzilor căilor de rulare pe stâlpii metalici ai sălii mașinilor la CNE, tip CANDU - PHWR.

Pentru ușurarea introducerii șuruburilor de ancoraj sunt prevăzute găuri ovalizate, în talpa inferioară a grinzii, în lungul ei, iar în consola de rezemare a stâlpului, transversal pe axul grinzii. Șinele de rulare sunt realizate din oțel pătrat având rabotat un sant special pentru așezarea plăcutelor de prindere (clești) executate prin prelucrare mecanică.

Pentru asigurarea șinelor împotriva alunecărilor longitudinale produse de forțele de frânare ale podului, sunt prevăzute blocaje pe zonele dintre rosturile de dilatație.

O problemă aparte o reprezintă în acest caz înădirea șinelor pe reazemele grinzilor de rulare și la rosturile de dilatare, în primul caz șina fiind trecută peste rost pe o lungime de cca. 400 mm asigurându-se numai o ghidare laterală iar la rosturile de dilatare fiind necesară și o echipare a șinelor cu găuri ovalizate care permit variații de distanță de ordinul zecilor de mm.

#### 4.2.2.6. Prinderi articulate

Prinderile articulate, realizate astfel încât să permită rotirea barelor în limitele valorilor rezultate din deformațiile elastice evitând momentele încovoietoare care ar lua naștere la prinderile rigide, sunt folosite în cazul structurilor metalice ale cladirilor CNE la alcătuirea și prinderea tiranților și la realizarea articulațiilor grinzilor de montaj demontabile (probleme descrise la acest paragraf) precum și la prinderea articulată a unor grinzi de montaj.

#### 4.2.2.7. Prinderea tiranților

La structurile metalice ale clădirilor CNE din partea nucleară în mod deosebit în clădirea reactorului, tiranții sunt utilizați pentru prinderea suplimentară a unor platforme tehnologice de cupola din beton armat (vezi fig. 4.18.)

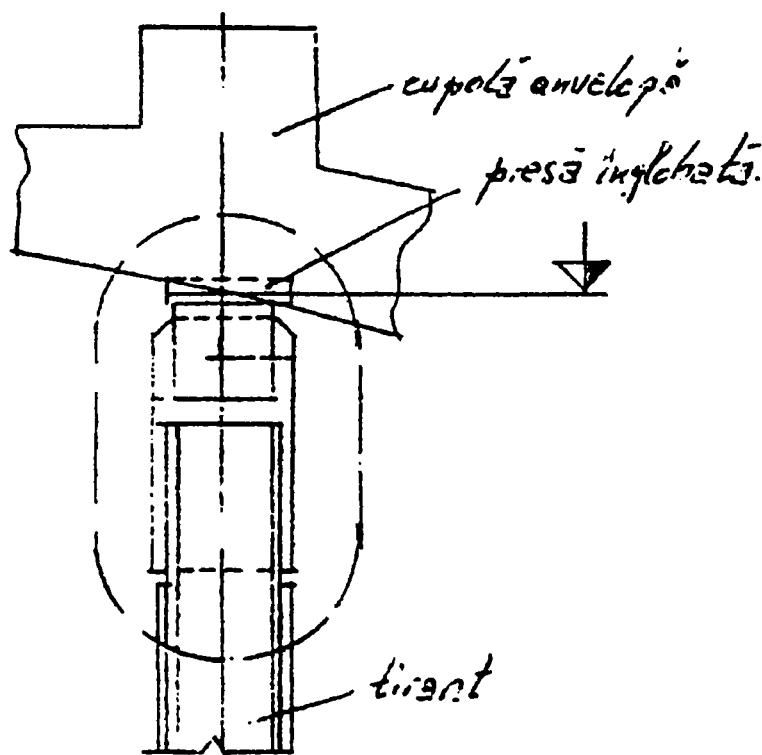


Fig. 4. 18. Prinderea tiranților ce susțin platforma sistemului de stropire de cupola clădirii reactorului la CNE, tip CANDU - PHWR

Tiranții sunt alcătuiți, în general din două profile U laminate, solidarizate cu placuțe sudate de tâlpi și prevazute cu distanțieri sudați de inimile profilelor, având la capete guseele de prindere în articulațiile prevazute cu găuri pentru introducerea bolțurilor.

La partea superioară articulația este realizată cu ajutorul unui dispozitiv special executat odată cu placa înglobată în elementul de beton armat al cupolei, iar la partea inferioară cele două gusee se sudează la monaj de talpa superioară a grinzii principale ale platformei pe care o susțin tiranții.

Bolțurile sunt prevăzute din material ASTM, piulitele fiind asigurate la deșurubare cu splinturi. Tirantul propriu-zis este realizat din oțel OL 52-2k.

#### 4.2.2.8. Prinderea grinzilor de montaj

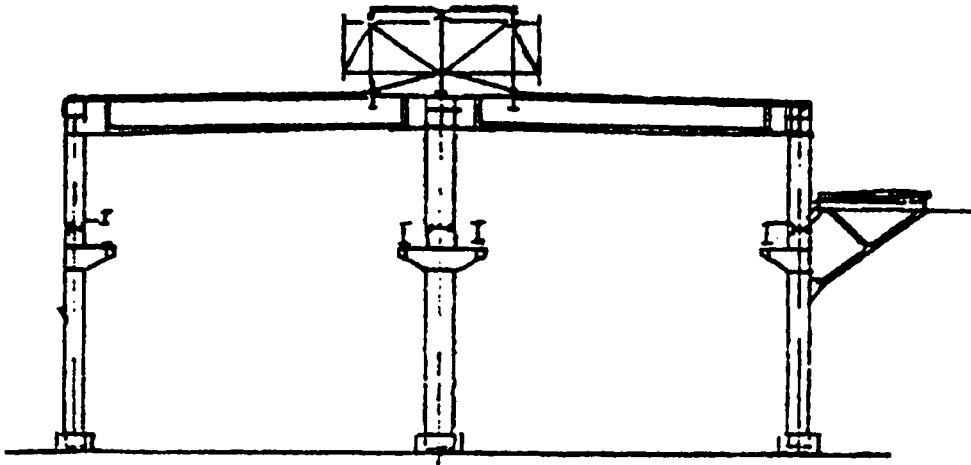
Grinzile de montaj utilizate provizoriu atât la montarea podurilor rulante de 200 t din sala mașinilor cât și a caruciorului sunt prinse de stâlpii metalici ai halei articulat cu bolțuri realizând astfel o înbinare demontabilă care se îndepărtează după montajul utilajelor de ridicat.

În acest caz barele articulate sunt realizate din țevă, prinderea realizându-se cu ajutorul unor gusee sudate la extremitățile lor prin care trece bulonul de articulație realizat din oțel carbon cu caracteristici mecanice superioare.

#### 4.2.2.9. Legături rigide. Colțuri de cadre

Prinderile rigide ale grinzilor de stâlpii metalici, realizate prin sudare, formând colțurile de cadre, sunt

utilizate la cladirile CNE numai în partea clasica si anume la cladirea centralei DIESEL electrice de avarie, la care hala fiind cu doua deschideri, colturile de cadru sunt realizate cu doua rigle adiacente (vezi fig. 4. 19.). Aceste rigle sunt pozitionate si fixate cu suruburi de montaj dupa care se sudeaza, asigurând prinderea rigida de stâlp.



*Fig. 4. 19. Sectiune prin cladirea centralei DIESEL electrice de avarie, la CNE, tip CANDU - PHWR.*

Elementele cadrului fiind compuse prin sudare, legatura între acestea se rezolva ca în figura prin nervuri de rigidizare si diafragme dispuse pe toata înaltimea (la începutul racordarilor si mijlocul coltului), cu rol de a lega talpa inferioara comprimata de cea superioara intensa si de elementele de legatura transversale (grinzi secundare, pane, contravântuiri) asigurând coltul împotriva pierderii stabilitatii prin rasucire.

#### **4.2.2.10 Fixarea grinzilor si stâlpilor pe elemente de beton armat**

##### **A. Rezemarea si fixarea grinzilor**

La structurile metalice ale cladirilor CNE, în mod deosebit la cladirile nucleare (cladirea reactorului si cladirea serviciilor auxiliare nucleare) prinderea si rezemarea grinzilor metalice pe elemente de beton armat se face la unele platforme tehnologice sau suportii pentru conducte, fie prin intermediul unei placi metalice fixata pe beton cu ancoraje speciale (vezi fig. 4. 20. a si 4. 20. b), fie direct pe beton asezând grinda pe un strat subtire de mortar de ciment care asigura o transmitere mai buna a presiunilor pe suprafata de reazem (vezi fig. 4. 21.)

Fata de tehnologia clasica, la CNE fixarea se realizeaza cu ancore Phillips tip prezon (vezi fig. 4. 20.) dupa tehnologia de montaj specifica.

Aplicarea tehnologiei de gaurire si fixare este obligatoriu precedata de masuratori topo de precizie si o trasare corespunzatoare.

Ancorele tip prezon se folosesc acolo unde eforturile de forfecare sunt preponderente fata de cele de tractiune, iar ancorele autoforante spre deosebire de ancorele tip prezon, se folosesc acolo unde eforturile de forfecare si cele de întindere sunt sensibil egale, sarcinile maxime admisibile de încarcare la tractiune a ancorelor autoforante fiind ceva mai mari decât cele ale ancorelor tip prezon.

##### **B. Rezemarea si fixarea stâlpilor**

Rezemarile stâlpilor sunt realizate în diferite moduri: articulare care permit unele rotiri si care pot transmite numai forțe, utilizate mai ales la partea nucleara a CNE si încastrate, care pot transmite atât forte cât si momente încovoietoare utilizate cu preponderenta la partea clasica (cladirea principala integrata).

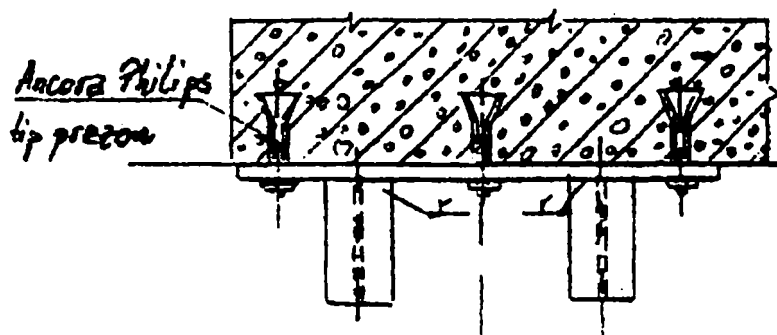
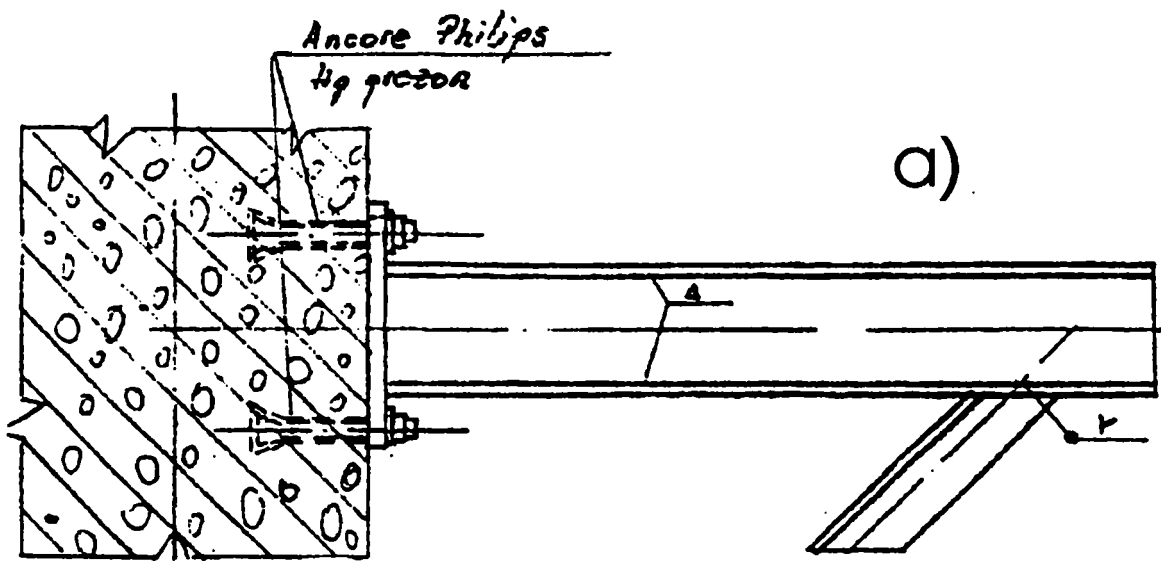
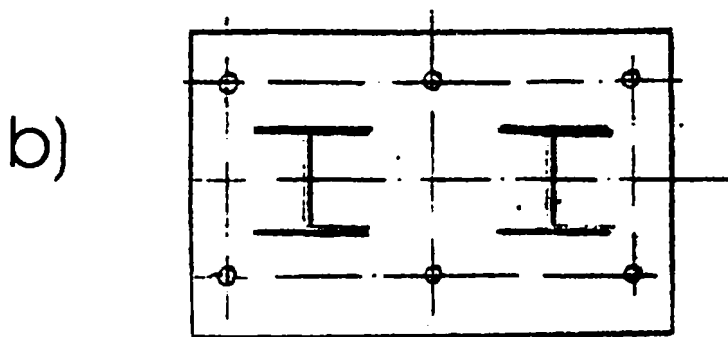


Fig. 4.20.

Rezemarea și fixarea grinzilor metalice pe elemente din b.a., cu ancore Philips-tip prezor

a) platformă tehn I g că



b) suporturi conducte

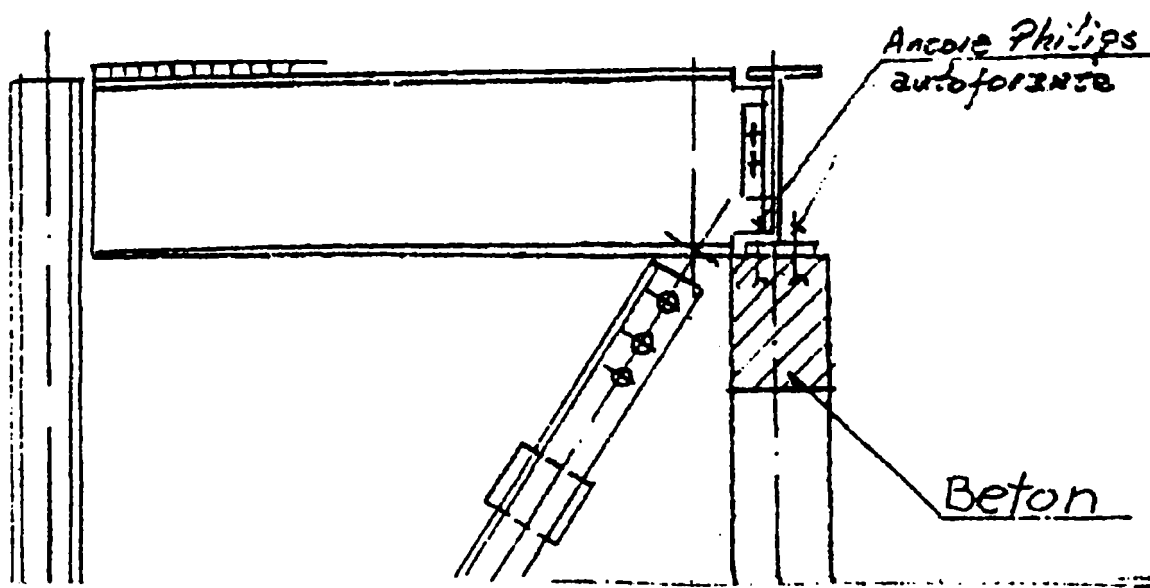


Fig. 4.21. Rezemarea și fixarea grinzilor metalice pe elemente din b.a., cu ancore Philips autoportante

#### 4.2.2.11. Rezemările articulate

Rezemările articulate, utilizate mai ales la clădirea serviciilor auxiliare nucleare, sunt realizate, funcție de solicitări, astfel:

- la stâlpii cu solicitări reduse ai unor suporti sau pentru susținerea unor platforme tehnologice (vezi fig. 4.22.) printr-o placă de bază fixată de fundație de beton și prin prinderea cu două buloane de ancoraj speciale dispuse în axă astfel încât unele rotații să fie posibile; sub placa de bază se injectează un strat de mortar (de subțumare) necontractil tip In-Pakt, în așa fel încât să umple compact întregul spațiu de sub placa de bază, la subțumare prevăzându-se cofraje laterale astfel ca refularea betonului să se facă numai prin găurile circulare din placa de bază.

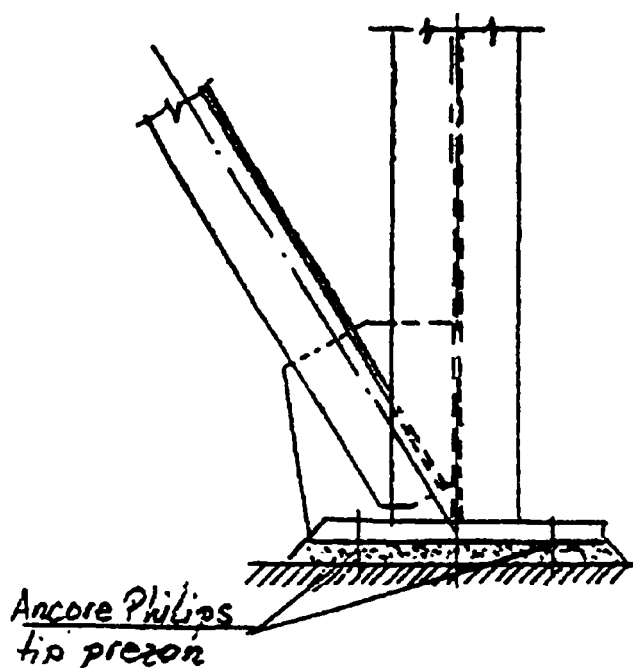


Fig. 4.22.

Rezemarea articulată la stâlp cu solicitări reduse, realizată cu ancore Phillips - tip prezon

- la stâlpii cu forțe axiale mari (vezi fig. 4.23.) rezemarea articulată se realizează cu ajutorul unor plăci de bază mai dezvoltate sub care se prevăd nervuri de rigidizare ce se înglobează în betonul de subțumare, fiind prevăzute de asemenea buloane de ancoraj înglobate în beton înainte de turnarea acestuia și care sunt așezate în axă sau aproape de axa stâlpului.

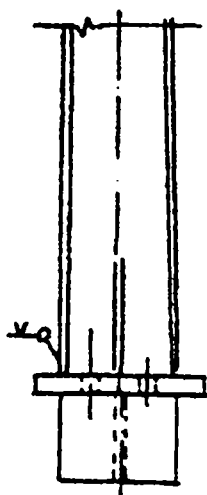


Fig. 4.23. Rezemare articulată la stâlpi cu solicitări mari în clădirile nucleare ale CNE, tip CANDU - PHWR.

Fixarea stâlpilor în primul caz se realizează cu ancore Phillips-tip prezon (vezi fig. 4.22.) găurirea și strângerea efectuându-se după tehnologia specifică iar în cel de-al doilea caz cu buloane de ancoraje asamblate în casețe și înglobate înainte de turnarea betonului, așa cum s-a precizat mai sus.

#### 4.2.2.12. Rezemări incastrate

La rezemările incastrate utilizate la stâlpii metalici și clădiri principale integrate se adoptă soluția clasică pentru astfel de rezemări la care partea inferioară a stâlpului este dezvoltată în mod corespunzător, alcătuind baza stâlpului, care se ancorează în fundație cu buloane de ancoraj.

Momentul încovoietor de la baza stâlpului fiind mare ca și presiunile ce se exercită pe talpă, e necesar pentru a nu rezulta o placă prea mare, să se prevadă nervuri și diafragme care crează reazeme intermediare.

Pentru evitarea stagnării apei din precipitații în timpul montajului și pentru a asigura o subțumare corectă cutiile delimitate de nervurile de reazem se umplu prin injectare (subțumare) cu mortar necontractil nemetalic tip In-Pakt.

#### 4.2.2.13. Dispozitive speciale de rezemare

##### A. Reazeme cu plăci lubrite și limitatori seismici

Platforma metalică de susținere a sistemului de stropire și inundare la avarie din clădirea reactorului, cu o deschidere de 41,45 m, are grinzile principale dispuse radial la  $30^\circ$ , alternând grinzile dublu T singulare (6 buc.) cu grinzi dublu T dublate (2 x 6), solidarizate cu zăbrele și reazemă prin acestea pe cele 12 scaune fixate de piesele înglobate prevăzute cu ancore Richmond, în peretele perimetral.

Dispozitivul de rezemare este simplu rezemat tip placă lubrită prevăzut cu limitatori seismici cu plăci de cauciuc (vezi fig. 4.24.).

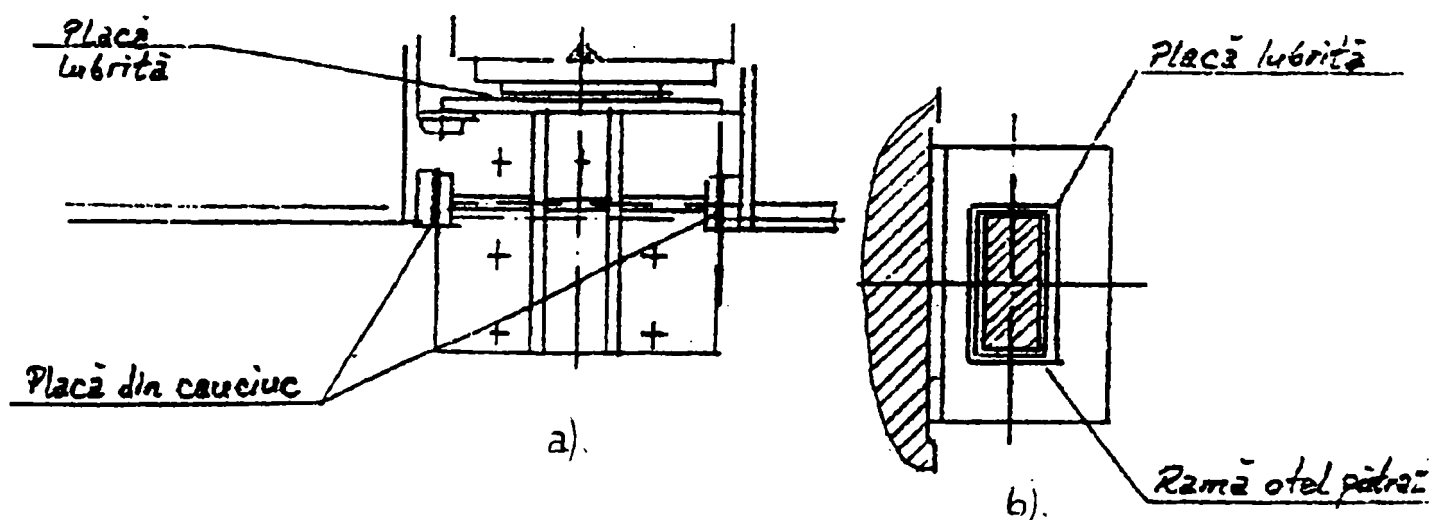


Fig.4.24. Dispozitiv special de rezemare la platforma metalică de susținere a sistemului de stropire din clădirea reactorului la CNE, tip CANDU - PHWR. a) secțiune de reazem cu plăci lubrite și limitatori seismici. b) detaliu placă lubrită.

Placa lubrite, în varianta canadiană, utilizată la unitatea 1 de la CNE Cernavodă este executată din bronz grafitat sinterizat, asigurând astfel alunecarea seismică. Începând cu U2 se utilizează varianta românească cu placuțe antifricțiune, cu un coeficient de frecare static de 0,15, duritate 41-47 HB, rezistența de forfecare 1362 daN/mm<sup>2</sup>, având în compoziție Fe 0,12%, Sn 10,03% și C 2,10%, obținute prin sinterizare sunt fixate cu 2 x 8 șuruburi cu cap înecat M 6 x 12 gr.5.8.

Între capetele grinzilor principale și scaunul de reazem sunt dispuse tamponuri din plăci de cauciuc cu rol de limitatori seismici în cazul deplasării platformei spre peretele perimetral, la acțiunea cutremurelor.

Tot cu plăci lubrite din Duramid, sunt echipate reazemele unor conducte tehnologice ce transportă agenți termici în clădirea reactorului și CSAN (vezi fig.4.25.)

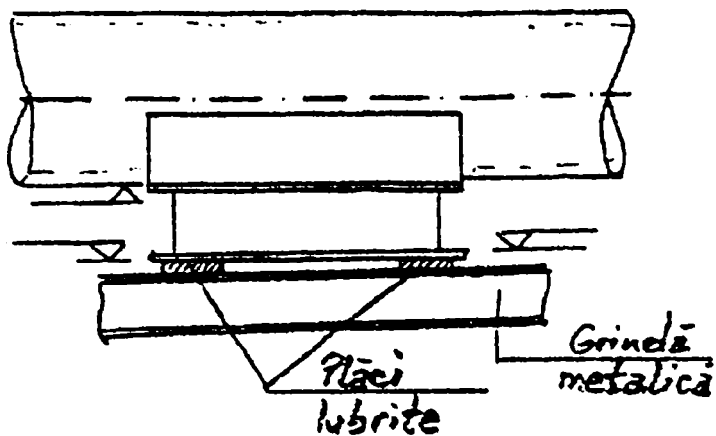


Fig.4.25. Reazem cu plăci lubrite la conducte tehnologice în clădirile nucleare a.e CNE, tip CANDU - PHWR

## B. Reazeme elastice pe casete cu arcuri

Grupurile Diesel electrice de rezervă la avarie, reazemă pe un bloc de fundație masiv din beton armat (B 300 cu PC 52) cu rezemare pe elemente elastice, pentru reducerea și amortizarea vibrațiilor transmise la radierul clădirii. Rezemarea blocului se face prin intermediul unor cutii cu arcuri (vezi fig. 4.26.) care conduc la o frecvență proprie foarte joasă a blocului, departe de frecvența de lucru a grupului motor-generator, asigurându-i o izolare bună la vibrații.

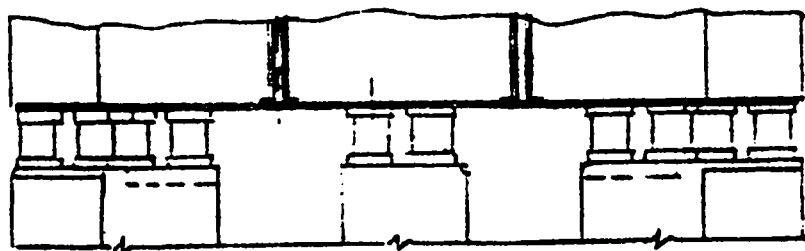
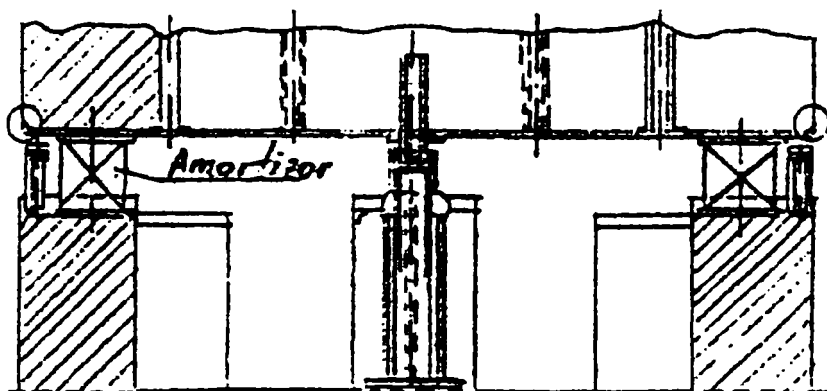


Fig. 4. 26.

Reazeme elastice pe casete cu arcuri la grupurile Diesel ale CNE, tip CANDU - PHWR

Pentru asigurarea construcției în cazul apariției unor factori imprevizibili la pornire - oprire, având în vedere că rezonanța nu se poate evita, cu toate că timpul de trecere prin rezonanță este suficient de redus, pentru a nu permite acumulări de energie la nivel periculos, se prevăd cutii amortizoare executate din două părți metalice din tablă groasă din OL 37.2 între care se pun 5 straturi de cauciuc prinse cu șuruburi M22 care se vor detensiona.

Din aceleași motive se prevăd și cutii cu arcuri de rezervă care permit acordarea frecvenței proprii a blocului în caz de necesitate.

Pentru împiedicarea deplasărilor orizontale și rotirii blocului sub acțiunea forțelor seismice sau de scurt-circuit al generatorului (deplasări ce nu trebuie să depășească valorile admise de arcuri: vertical 4 cm și orizontal 3 cm) sunt puse limitatoare verticale și orizontale care permit deplasări de 3 cm vertical și orizontal la nivelul arcului și 3 cm vertical, 15 lateral orizontal și 10 cm longitudinal orizontal, la nivelul racordului cel mai depărtat.

Cutiile cu arcuri (cutii active + rezerve) sunt executate din:

- capace (superior si inferior) din OT 45 prelucrat mecanic la interior fără defecte de tumare de genul incluziunilor, golurilor, porilor, etc.

- șuruburi speciale din OL 50 cu filet invers la cele doua capete (stânga - dreapta) cu piulițe corespunzatoare.

- arcurile, din producție curentă pentru locomotive ( $\phi$  ext.,  $\phi$  int.,  $\phi$  sârma ext., interior) de diferite dimensiuni.

### C. Reazeme mobile cu rulouri

Sunt realizate cu rulouri mobile care funcționează prin rostogolire, fiind utilizate în cadrul ansamblului CNE ca suport pentru unele conducte tehnologice care transportă agenți termici.

Ruloul este așezat între două plăci sau între inima unui profil U si o placă metalică. Pentru limitarea cursei, ruloul este prevăzut cu un șanț în care pătrunde ciocul plăcilor de reazem, iar placa de reazem cu opritor din oțel pătrat.

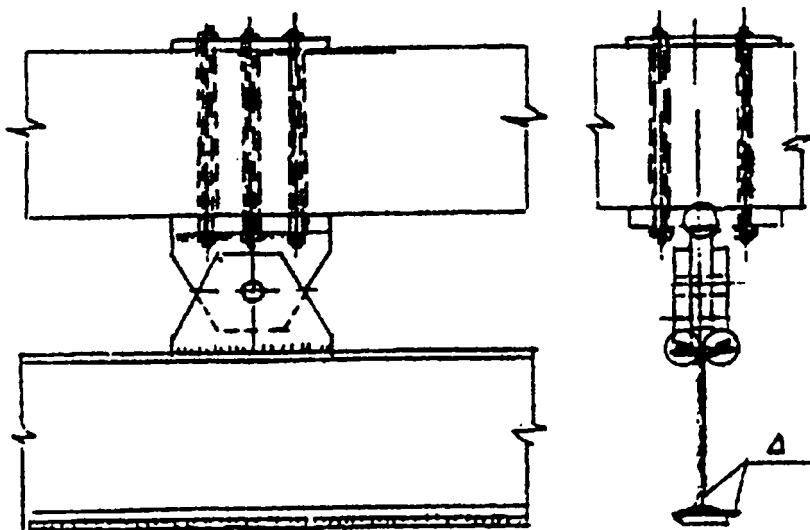
Ruloul este așezat astfel încât să permită variația de lungime atât la eventualele creșteri cât si scăderi de temperatură ale conductelor tehnologice.

#### 4.2.2.14. Prinderi ale grinzilor de monorai

##### A. Prinderi ale grinzilor de monorai de piese metalice-speciale

Diferitele variante de execuție utilizate la CNE țin seama de poziția fiecărui monorai, atât față de elementele de construcție cât si față de traseele diferitelor elemente de instalație.

Șina monoraiurilor este executată din profile I laminate, de dimensiuni corespunzatoare sarcinii de ridicat. Prinderea de planșeu a acestor șine (grinzi) este realizată de asemenea în mai multe variante, utilizând piese metalice speciale. Astfel, în fig. 4.27. este reprezentată prinderea cu buloane prin intermediul unui aparat de reazem de tip "urechi de prindere" în sistem articulată, utilizat la sala mașinilor.



*Fig. 4.27. Prinderea grinzilor de monorai cu piese metalice speciale:*

*- buloane si articulatie de tip "urechi de prindere"*

Un alt sistem de prindere prezentat în fig. 4.28. este realizat cu plăcuțe speciale, prelucrate după panta tălpii profilului I si fixate cu șuruburi si șaibe de siguranță în ancore Richmond înglobate în beton la tumarea acestuia, utilizat la clădirea reactorului.



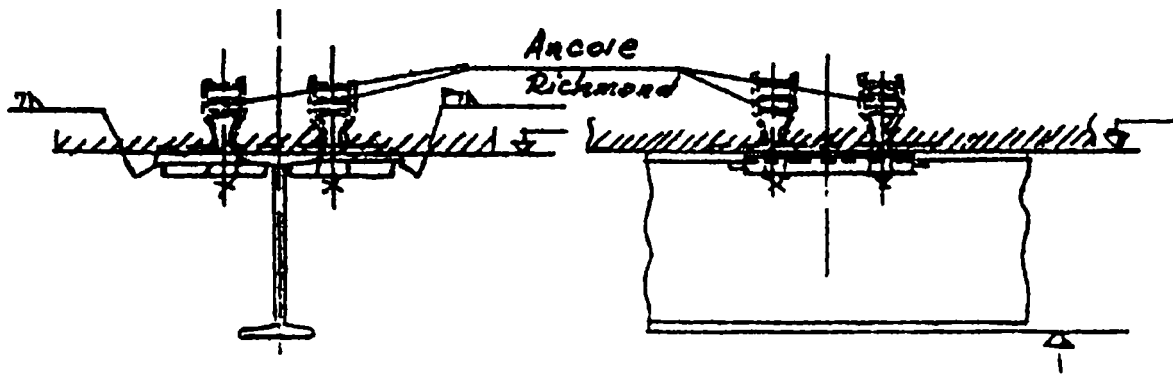


Fig. 4.28. Prinderea grinzilor de monorai cu piese metalice speciale, fixate cu suruburi în ancore Richmond

## B. Prinderea grinzilor de monorai de plăci înglobate în beton armat

Acest tip de prindere este realizat prin intermediul unui aparat de reazem tip "rigidizari în cruce" în sistem încastrat, prinderile fiind realizate cu sudură atât a șinei de grinzile suport, cât și a grinzilor suport de placa înglobată în planșeul din beton armat.

La capete, șina de monorai este prinsă cu șuruburi de comiere cu găuri ovalizate, sudate la montaj de plăci înglobate în beton. Acest sistem este utilizat la clădirea serviciilor auxiliare nucleare (vezi fig. 4.29.).

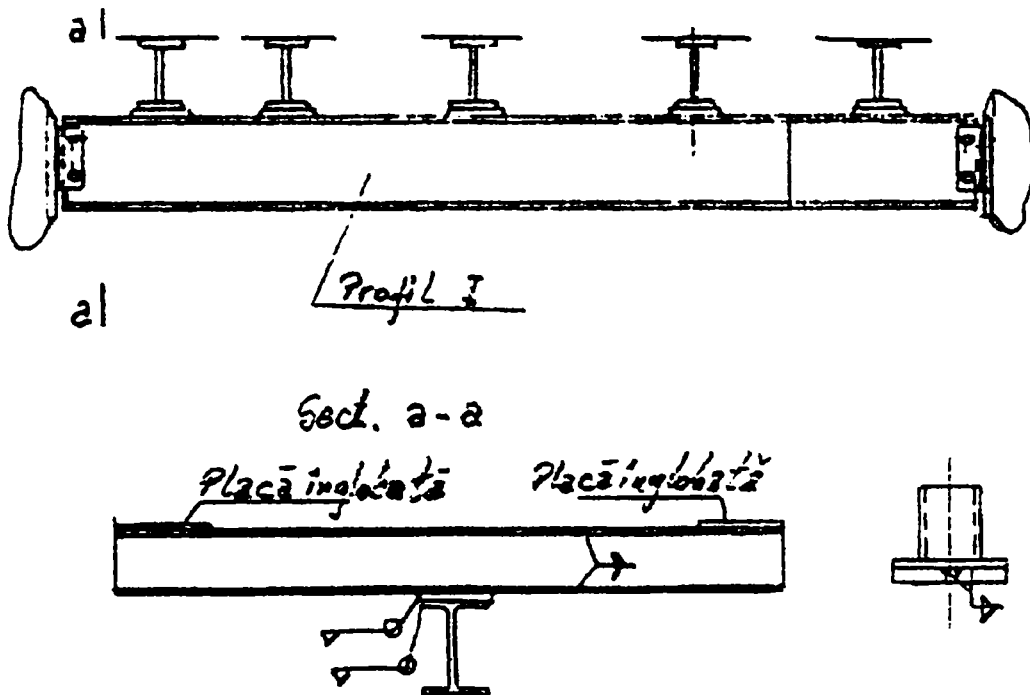


Fig. 4.29.

Prinderea grinzilor de monorai de plăci înglobate în beton

Tinând cont că majoritatea elementelor de construcție metalică și în mod special cele amplasate în clădirea reactorului lucrează în condiții de mediu care se pot înrăutăți întâmplător în cazul unor accidente, problema găsirii celor mai bune soluții de prindere și rezemare a acestor structuri asigură atât fiabilitatea componentelor cât și a întregii construcții.

Una dintre problemele de bază care se pune pentru siguranța ansamblurilor și subansamblurilor structurilor metalice amplasate în clădirea reactorului, este alegerea corectă a calității materialelor de bază și de asamblare și fixare. Ca materiale de bază, cele mai utilizate la noi în țară sunt oțelurile cu rezistențe mari, slab aliate, QL 52 și 44, în stare calmată.

Dacă industria siderurgică românească ar dispune de elementele de aliere necesare și ar produce și oțeluri slab aliate, cu granulație fină cu caracteristici mecanice ridicate, proprietăți plastice și comportare bună la sudare, cu rezistențe remarcabile față de ruperea fragilă, atunci acestea ar fi cele mai indicate pentru

aceste construcții cu solicitări destul de mari și, mai ales, în condiții grele de exploatare la accidente nucleare posibile în clădirea reactorului.

De altfel, aceste oțeluri corespund cel mai bine oțelurilor utilizate în străinătate pentru astfel de scopuri.

Pentru a putea utiliza totuși oțelul OL 52-2k produs la noi în țară, în conformitate cu STAS 500-80, sunt necesare respectarea de către producător a unor cerințe suplimentare de sudabilitate cum sunt:

-limitarea carbonului echivalent, stabilit ca relația:

$$C_{ech} = C + (Cr + Mo + V) / 5 + Mn / 6 + (Ni + Cu) / 15 \quad , \text{ la valorile:}$$

max. 0,44% - pentru table ,

max. 0,45% - pentru profile ;

-conținuturile reziduale Cr, Ni și Cu, max. 0,30% pentru fiecare, separat ;

-conținutul de S=max. 0,035% și N<sub>2</sub>=max. 0,015%

-control US la table, min. clasa M4 S4

De remarcat că elementele din grupa halogenilor, cum este azotul, sunt contraindicate în compoziția oțelurilor care intră în structurile din incinta clădirii reactorului deoarece în condiții de radioactivitate dau compuși radioactivi.

În aceste condiții, ca materiale de adaos pentru sudură se permite utilizarea numai a fluxurilor bazice și a electrozilor cu înveliș bazic, calcinați.

Pentru îmbinările cu șuruburi de înaltă rezistență, pretensionate, se utilizează SIRP executate din oțeluri aliate (41 MoC 11 pentru șuruburi, șaibe și 33 MoC 11 pentru piulițe) cu caracteristici mecanice superioare, tratate termic, ținând cont că presiunile pe piese, respectiv întinderile în tijele șuruburilor cresc odată cu caracteristicile mecanice ale oțelului. Pentru repartizarea pe o suprafață plană și dură, la rotirea piuliței care înșurubează, SIRP se prevăd cu două rondoale (șaibe).

Cuplul de strângere ce se trece în tabele în funcție de diametrul nominal al șurubului se calculează cu relația:

$$M = 0,2 \times N \times d \quad \text{sau} \quad M = 0,14 \times \sigma_c \times A_{nom} \times d$$

unde,

0,2 = coeficientul de frecare între șurub și piulița

N = 0,7 x A<sub>nom</sub>.surub x σ<sub>c</sub> , este forța de întindere în șurub

σ<sub>c</sub> = limita minimă de curgere garantată a materialului șurubului

d = diametrul nominal al șurubului

O problemă aparte în realizarea prinderilor structurilor metalice la CNE o constituie elementele de fixare cu ancore Richmond și Philips, o tehnologie relativ nouă, utilizată pentru prima oară la noi în țară la CNE Cemavodă.

Ancorele tip Richmond sunt piulițe speciale, ancorate în beton la tumarea acestuia, în care se înfiletează șuruburile, ambele fiind executate din oțel OLC (fig. 4.28.).

Cuplurile de strângere pentru șuruburile ce se înfiletează în ancore de tip Richmond se dau în tabele și se calculează cu relația:

$$MS = K \times N_p \times d \quad ,$$

unde,

K = coeficient de frecare între șurub și piuliță (K = 0,2)

d = diametrul nominal al șurubului

$N_p$  = forța de preîntindere în șurub

$A_c$  = aria de calcul ( $A_c = 3.14 d_o^2/2$ ,  $d_o = 0,89d$ )

$\sqrt{c}$  = limita de curgere ( $\sqrt{c} = 800 \text{ daN/cm}^2$ )

Ancorele Philips utilizate la fixarea structurilor metalice ale clădirilor CNE, în special pe partea nucleară, sunt de două tipuri:

- tip prezon
- autoforante

Ancorele Philips, tip prezon, (Philips red head wedge anchors), sunt elemente de fixare utilizate la prinderile tehnologice ale structurilor metalice pe pereți portanți, fundațiile sau planșeele din beton armat ale clădirilor CNE unde eforturile de forfecare sunt predominante față de cele de tracțiune. Elementele componente ale acestui tip de ancoră sunt prezentate în fig. 4.30., notarea făcându-se prin simbolul MS, urmat de cifra care reprezintă diametrul nominal al părții filetate și cifrele care reprezintă lungimea totală a ancorei prezon.

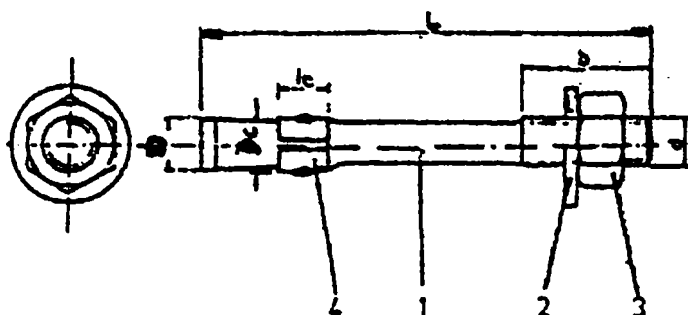


Fig. 4.30. Ancore Phillips - tip prezon

Utilizarea acestui tip de ancore se face după o tehnologie aparte ce va fi descrisă în paragraful 4.2.3.

Ancorele Phillips, autoforante (Phillips self drilling anchors), ca și ancorele Phillips de tip prezon, sunt elemente de fixare a structurilor metalice, utilizate la prinderile tehnologice ale acestora de pereții portanți, fundații sau platforme din beton armat ale clădirilor CNE, în mod frecvent la partea nucleară pentru

prinderea grinzilor și stâlpilor, suporturilor și platformelor tehnologice. Spre deosebire de ancorele prezon, ancorele autoforante se găsesc acolo unde eforturile de forfecare și cele de întindere sunt sensibil egale, sarcinile maxime admisibile de încărcare la tracțiune a ancorelor autoforante fiind ceva mai mari decât cele ale ancorelor tip prezon. Un exemplu în acest sens este dat în tabelul 2.4.

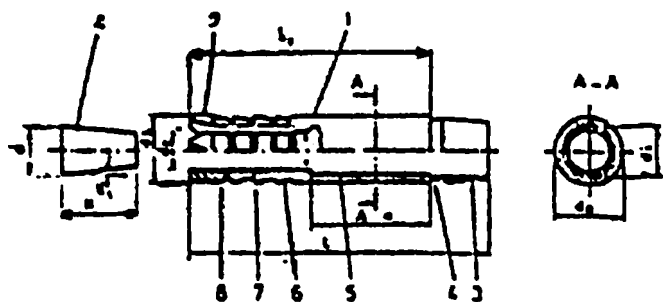
Tabelul 2.4.

TIP ANCORĂ	TRACȚIUNE (Kgf)	FORFECARE (Kgf)
MS - 22	1.520	2.360
AMM - 22	2.000	2.080

Elementele componente ale ancorei autoforante sunt arătate în fig. 4.31. notarea făcându-se prin simbolul AAM, urmat de cifrele care reprezintă diametrul nominal "d" al filetului metric al ancorei pentru ancora propriu-zisă, și cu simbolul CAA, urmat de simbolul M și cifra corespunzătoare diametrului nominal al filetului metric corespunzător al ancorei, pentru conul de expandare.

Tehnologia de utilizare a acestor ancore autoforante cuprinde mai multe etape care vor fi descrise în continuare la paragraful 4.2.3.

## ANCORA AUTOPERFORANTA (PHILIPS).



1. Bucșă
2. Pastilă conică
3. Conul de rupere
4. Secțiunea de rupere
5. Zona filetată
6. Zona nefiletată
7. Canale longitudinale
8. Canale radiale
9. Coroana de perforare

## CON DE EXPANDARE

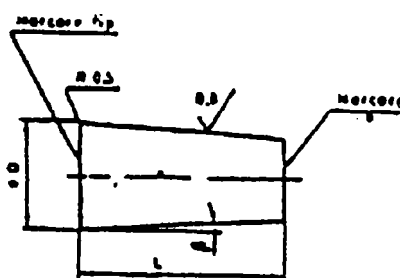


Fig. 4.31. Ancore Phillips-autoforante

În general, pentru rezolvarea legăturilor și prinderilor la construcția metalică a CNE pentru sistemul descris, se utilizează soluții așa-zise clasice, cunoscute și în literatura de specialitate de la noi. Totuși, așa cum am arătat pe parcursul paragrafului, se folosesc și elemente de prindere, îmbinare și fixare noi, care la rândul lor generează noi tehnologii de execuție și montaj precum și unele soluții noi de prindere și rezemare.

Deși în majoritatea cazurilor soluțiile de prindere și îmbinare utilizate în prezent la CNE permit o rezolvare corectă a legăturilor și rezemărilor, sunt și situații în care acestea se dovedesc neadecvate (cazul prinderii tip cuțit), necesitând reanalizarea lor pentru a fi aplicabile scopului pentru care au fost gândite.

Având în vedere necesitatea menținerii caracteristicilor de siguranță și fiabilitate, în cazul CNE este important să se acorde o mare atenție rezolvării problemelor structurale și de îmbinare, nu numai la proiectarea acestora, ci și la execuția și montajul construcțiilor metalice și în mod deosebit la cele din partea nucleară a CNE.

### 4.2.3. Probleme de execuție și montaj

În general, execuția în uzină a elementelor de construcții metalice pentru obiectivele și instalațiile nucleare nu ridică probleme deosebite față de construcțiile metalice pentru obiectivele convenționale. Totuși la realizarea primei centrale nucleare-electrice din România la Cernavodă, au mai apărut unele probleme de execuție legate de prinderea și rezemarea unor structuri ce vor fi prezentate în continuare.

De asemenea, la realizarea acestor obiective au apărut și s-au folosit la execuție unele noțiuni noi cum ar fi implementarea sistemului calității, ceea ce presupune crearea, dezvoltarea și utilizarea unor programe de asigurarea calității și a documentelor sale de bază: manualul calității, planul de control de calitate, verificări și încercări, procedurile programatice, operaționale și de lucru.

Îmbinările caracteristice ale majorității elementelor structurilor metalice la CNE tip CANDU-PHWR se realizează fie prin sudură fie cu șuruburi de înaltă rezistență pretensionate.

Îmbinările sudate, trebuie realizate numai pe bază de proceduri scrise care să se refere atât la procedee de sudare omologate, cât și la tehnologii de sudare care să includă:

- marca si clasa de calitate a oțelurilor, inclusiv cerințele suplimentare de sudabilitate;
- operațiile de debitare si prelucrare a pieselor cu indicarea clasei de calitate a taieturilor;
- operatii de asamblare a pieselor, contine ordinea de asamblare, prinderea provizorie, împiedicarea deformatiilor, parametrii de sudare din fisele de omologare a procedului, preîntâmpinarea stărilor de eforturi remanente, asigurarea toleranțelor impuse;
- operații de prelucrare finală si de tratament termic;
- clasa de calitate pentru fiecare îmbinare sudată;
- controlul pe faze si final, cuprinzând modul de verificare în timpul procesului de execuție si planul de control nedistructiv cu ordinea, metodele folosite si procentele de control;
- încercările pe probe din oțel si pe îmbinările sudate;
- modul de protecție anticorozivă;
- indicatii asupra SDV-urilor si AMC-urilor folosite;
- soluții pentru remedierea defectelor.

Ca materiale de adaos, se permite numai utilizarea fluxurilor si electrozilor bazici, calcinati la 300°C sau ambalati în cutii vidate, mentinuti în coptoare la 100°C precum si în cutii izoterme, în timpul lucrului, care nu permit scăderea temperaturii sub 50°C.

Sudarea fiind considerată un proces special, activitatea de execuție si control este monitorizată, fiind în permanentă supraveghere. Îmbinările cu șuruburi de înaltă rezistență, pretensionate sunt frecvent utilizate mai ales la clădirile nucleare ale CNE, pentru prinderea grinzilor de stâlpi, a grinzilor secundare de grinzile principale precum si a contravânturilor, așa cum s-a precizat în paragraful anterior.

Pentru a realiza eficiența maximă a îmbinării este necesar ca presiunile care se exercită pe piese să fie cât mai mari, iar coeficientul de frecare dintre elementele îmbinate sa aibă valori cât mai ridicate. Realizarea coeficientului de frecare minim prescris de 0,35 la elementele structurilor metalice ale CNE, se obține printr-o sablare corespunzătoare gradului minim SA 2 1/2, după SIS, la fabricație. o mare importanță o are si soluția aleasă pentru protejarea temporară a suprafețelor sablate în uzină, ce se îmbină cu SIRP până la montajul pe șantier.

Soluția utilizată la CNE Cernavodă, de protejare a acestor suprafețe cu lac detașabil este în contradicție cu literatura de specialitate în care se menționează că acest lac, aplicat pe suprafețe sablate, nu se mai poate detașa ulterior.

Acest lucru a condus la un mare consum de forțe de muncă, timp si bani pentru îndepărtarea lacului pe șantier. Mai mult, îndepărtarea acestuia prin răzuire cu rașcheta a transformat suprafața sablată cu un anumit grad de rugozitate, într-o suprafață lucioasă, improprie asigurării coeficientului de frecare prescris.

Soluția care ar trebui utilizată, se aplică în prezent în țările avansate tehnic și constă în protecția în uzină a suprafețelor sablate, cu un strat de grund pe bază de silicat si praf de zinc, care nu reduce coeficientul de frecare prescris și asigură o protecție anticorozivă temporară foarte bună.

Nici soluția de aluminizare a acestor suprafețe utilizată la unele obiective convenționale, nu este admisă la CNE deoarece se consideră ca aceasta micșorează coeficientul de frecare.

O problemă spinoasă la execuția prinderilor elementelor de construcție metalică la CNE Cernavodă (tip CANDU PHWR) o constituie îmbinarea articulată specifică clădirilor nucleare, denumită în limbajul de specialitate "îmbinare tip cuțit", unde legătura între stâlp si grindă se face prin intermediul a două gusee ("cuțite") sudate de stâlp (pe inimă sau talpă), între care se introduce inima grinzii ca în fig. 4.32.

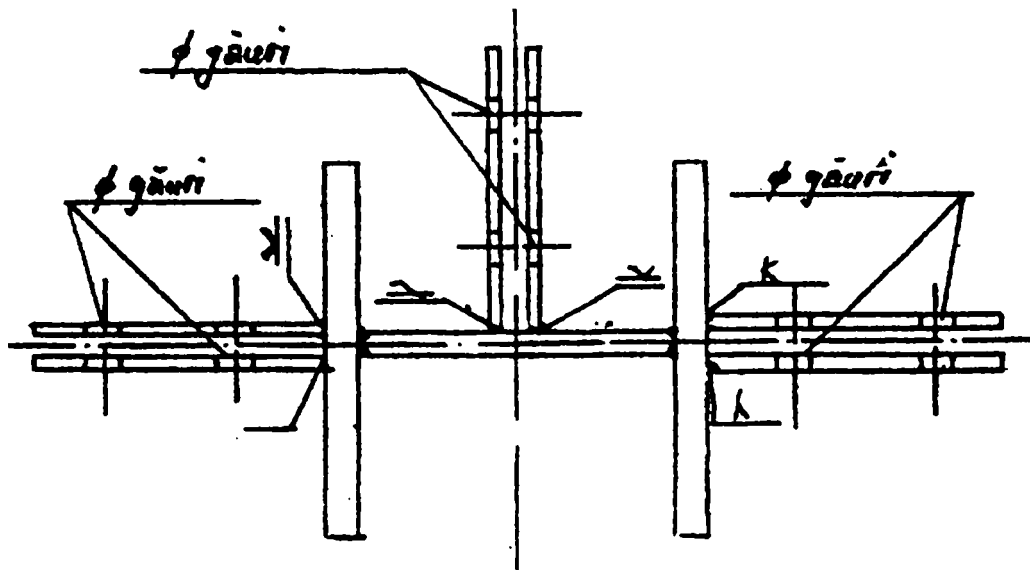


Fig. 4.32. Îmbinarea tip cuțit la CNE Cernavodă (tip CANDU- PHWR).

Prinderea elementelor structurii metalice se face cu șuruburi de înaltă rezistență, pretensionate.

Pentru ușurarea montajului spațiul între inima grinzilor și cele două gusee, este recomandat a se completa cu fururi.

Dacă asupra tipului de îmbinare ales nu se pot face prea multe comentarii, fiind o îmbinare specifică utilizată în SUA și Canada, în schimb asupra condițiilor tehnice, se pot face următoarele observații:

- soluția aleasă (vezi fig. 4.32), impune sudarea celor două cuțite în atelier, cu sudură total pătrunsă, cu sudare la rădăcină la primul cuțit și fără resudare la cel de-al doilea cuțit; dacă la primul cuțit pot fi redresate deformațiile de după sudare la cel de-al doilea cuțit, datorită spațiului prea mic între cele două cuțite, din punct de vedere tehnologic, este imposibilă redresarea deformațiilor după sudare, pentru a asigura paralelismul celor două gușee.

- cele menționate mai sus au o influență defavorabilă la montaj asupra realizării îmbinării cu șuruburi de înaltă rezistență, pretensionate, cuplul de strângere consumându-se mai mult pentru apropierea celor două gușee, decât pentru realizarea strângerii, astfel ca îmbinarea să lucreze ca o îmbinare de înaltă rezistență, pretensionată.

De asemenea, în încercarea de apropiere a celor două gușee se introduc tensiuni în cordoanele de sudură care pot conduce la apariția ulterioară a unor fisuri ce pot influența în mod defavorabil siguranța și stabilitatea construcției.

De altfel, soluțiile de remediere propuse la premontajul uzinal sau la montajul pe șantier, de a se realiza fururi polizate tip pană, sunt greu de realizat în practică.

Dacă luăm în considerare și posibilitatea cumulării defectelor, ținând cont de cele precizate anterior referitor la pregătirea suprafețelor, putem considera fără să greșim, că acest tip de îmbinare nu lucrează ca o îmbinare de înaltă rezistență, pretensionată.

Problema se poate rezolva prin schimbarea soluției de prindere, utilizând variantele cunoscute, tip scaun sau ciot, fie prin schimbarea soluției de execuție și montaj a acestui tip de îmbinare, în una din următoarele două variante:

- I - fie varianta sudării unui guseu (cuțit) în atelier, iar a celui de-al doilea pe șantier, la montaj, adoptând și o tehnologie corespunzătoare de sudură la montaj, combinată cu aplicarea unei metode corespunzătoare de detensionare după sudare cum ar fi detensionarea prin vibrații (vezi fig. 4.33)

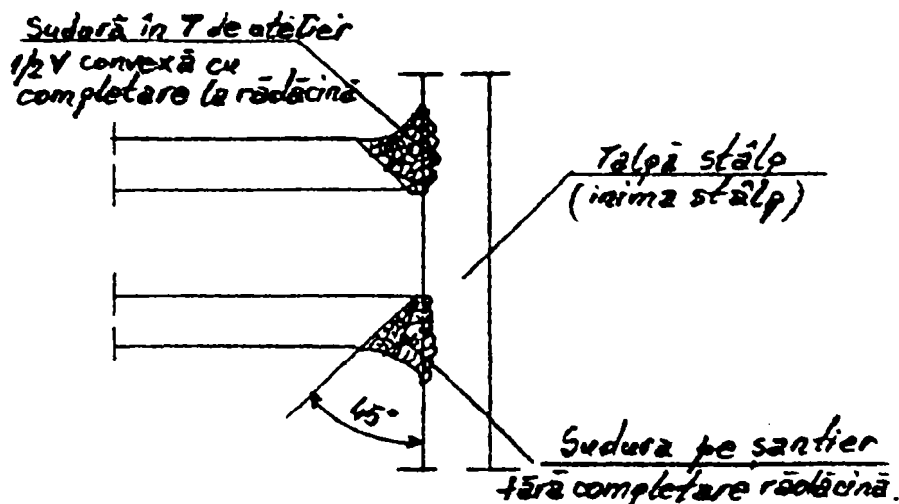


Fig. 4.33 Varianta I de realizare a îmbinării tip cuțit la CNE Cernavodă

II. fie în varianta utilizării unui singur guseu sudat în uzină prin redimensionarea îmbinării.

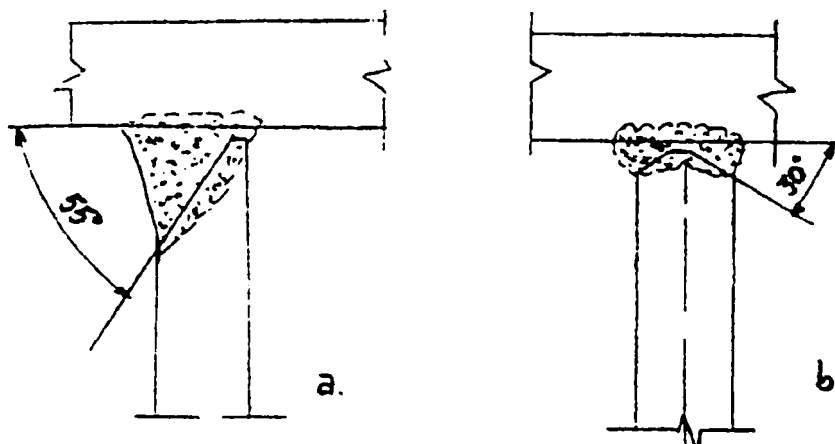


Fig. 4.34 Varianta II de realizare a îmbinării tip cuțit la CNE Cernavodă:

- a) cu sudură în y, cu resudare la rădăcină;
- b) cu sudură în k

Printre noile tehnologii aplicate la montajul structurilor metalice ale clădirilor CNE se numără și cele de utilizare a ancorelor Philips - tip prezon și autoforante, descrise în paragraful 4.2.2.

Tehnologia de utilizare a ancorelor Philips tip prezon cuprinde mai multe etape, descrise în fig. 4.35 (a, b, c, d, e) și anume:

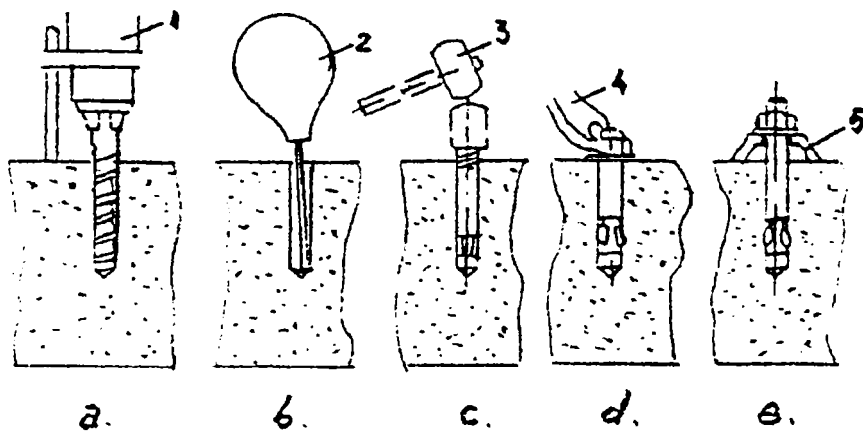


Fig. 4.35 Descrierea tehnologiei de montaj ancore Philips tip prezon.

a - găurirea în beton cu diferite tipuri de burghiuri (cu cap vidia sau cu caroteză diamantată) montate în mașini rotopercutante (1).

b - curățirea de praf a găurilor prin suflare cu aer comprimat printr-o pompă de mână (2) sau sursă de aer comprimat și verificarea dimensiunilor găurii (diametru, lungime, perpendicularitate) prevăzute în tabele, corespunzător tipului de ancoră.

c - introducerea ancorei, după ce în prealabil s-a scos piulița hexagonală și s-a înfiletat dispozitivul de batere, prin lovituri succesive cu ciocanul (3), până când capul tronconic al ancorei a ajuns în fundul găurii, după care se scoate dispozitivul de batere și se înșurubează piulița hexagonală.

d - expandarea ancorei în beton prin strângerea piuliței cu cheia dinamometrică (4), la cuplul de strângere prevăzut în documentația tehnică.

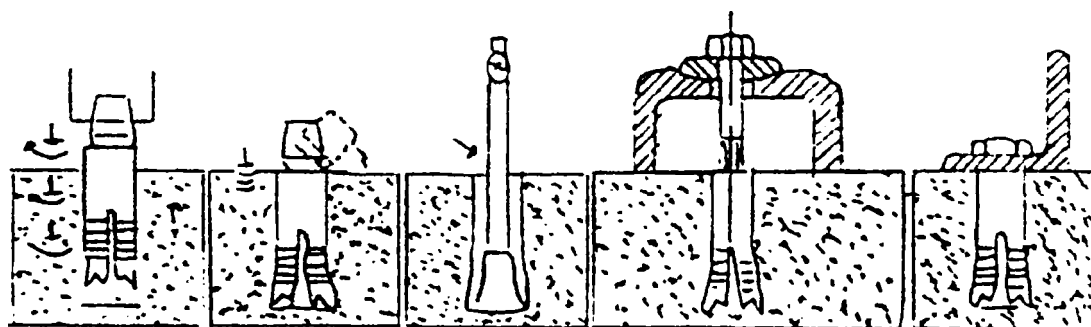
e - verificarea sub sarcină a fixării corecte a ancorei în beton, utilizând dispozitivul de verificare (5) și aplicând piuliței cuplul de verificare prescris, neadmițându-se deplasarea ancorei sub sarcină.

După scoaterea dispozitivului de verificare se poate trece la montajul final al construcției metalice aplicând piuliței cuplul de strângere prevăzut în tabelul 3.4 de mai jos:

**Tabelul 3.4.**

Tip ancoră	MS-6	MS-10	MS-12	MS-16	MS-20	MS-22	MS-27	MS-30
Cuplul max. de strângere (daNm)	0,55	1,6	2,8	5,2	9,5	20,3	25,2	42,2

Tehnologia de utilizare a ancorelor Philips autopercorante cuprinde de asemenea mai multe etape, descrise în fig. 4.36, și anume:



**Fig. 4.36 Descrierea tehnologiei de montaj ancore Philips autopercorante**

- se percută locul de montare a ancorei, pe o adâncime de 3-5 mm, cu ancora montată prin intermediul unor buterole corespunzătoare în piesa antrenare-percutare a unei mașini de găurit speciale rotopercutante, după care se înlocuiește piesa de antrenare rotație percuție, montată cu buterolă corespunzătoare;
- se găurește până la limita superioară a porțiunii cilindrice curățind din când în când gaura, precum și la final;
- se înlocuiește piesa de antrenare rotație percuție cu piesa de antrenare percuție, introducând ancora cu partea conică în gaura forată și prin percuție se expandează ancora până când limita superioară a porțiunii cilindrice ajunge la nivelul betonului;
- după scoaterea mașinii (a buterolei), se retează conul de rupere printr-o lovitură de ciocan;
- se verifică cu verificatorul;
- se face verificarea sub sarcină cu dispozitivul de verificare aplicând piuliței cuplul de verificare prescris, neadmițându-se deplasarea ancorei sub sarcină.

După scoaterea dispozitivului de verificare se poate trece la montajul final al construcțiilor metalice, aplicând șurubului cuplul de strângere prevăzut în tabelul 4.4., astfel:



**Tabelul 4.4**

Tip ancoră	AAM-M6	AAM-M8	AAM-M10	AAM-M12	AAM-M16	AAM-M20	AAM-M22
Cuplul max. de strângere al șurubului (daNm)	0,8	1,3	2,3	4,2	7,8	10,5	15,5

Printre tehnologiile specifice utilizate cu precădere la montajul construcțiilor metalice ale clădirilor din partea nucleară a CNE, menite să asigure atât fiabilitatea și siguranța structurilor metalice și a echipamentelor, cât și protecția acestora precum și a personalului de exploatare, la radiații, mai pot fi enumerate încă două:

- prima se referă la spațiile dintre planșeele metalice și peretele perimetral al clădirii reactorului (anvelopei) care se umplu cu lână de plumb, tehnologia de aplicare diferentându-se funcție de dimensiunile spațiului (îngust până la 5 mm, sau larg între 5~80 mm lățime).

De asemenea zonele puternic radioactive din clădirea reactorului situate în apropierea Calandrei sau a circuitului primar se căptușesc fie cu cărămizi de Pb, fie cu casete metalice umplute cu Pb turnat, pentru împiedicarea propagărilor radioactive dintr-o zonă în alta în condiții de accident.

La execuția acestor casete trebuie acordată o mare atenție realizării unor suduri de etanșare, controlate cu lichide penetrante, deoarece orice fisuri sau pori permit scurgerea Pb-ului topit, conducând la accidente grave de muncă.

- cea de-a doua tehnologie specifică de montaj, se referă la suprafețele asamblate cu SIRP care se chituiască după realizarea și verificarea strângerii, cu un chit special (Alutchit) și la zonele de fixare a construcțiilor metalice de piesele înglobate în b.a. care etanșează cu chit Thiocol, ambele chituri având pe lângă proprietățile bune de etanșare și o rezistență foarte bună la decontaminare.

### **4.3. PROBLEMA MATERIALELOR DE STRUCTURĂ ȘI PROTECȚIE CONTRA RADIAȚIILOR LA CONSTRUCȚIA METALICĂ A CLĂDIRII REACTORULUI.**

#### **4.3.1. Criterii pentru alegerea materialelor de structură și protecția contra radiațiilor**

Materialele de construcție și protecția contra radiațiilor folosite în clădirea reactorului, pot funcționa în condiții deosebit de grele, fiind supuse într-un timp mai scurt sau îndelungat (uneori pe toată durata de viață a CNE), la acțiunea combinată a temperaturilor, a șocurilor termice, a agenților corozivi și erozivi și a câmpurilor intense de radiații alfa, beta gama și neutroni.

Pentru a putea corespunde rolului lor în clădirea reactorului, aceste materiale trebuie să aibă proprietăți generale comune cum ar fi: proprietăți mecanice (rezistență mecanică la întindere și compresiune, ductibilitate), rezistență la coroziune și eroziune, stabilitate termică, proprietăți termodinamice (transfer de căldură, dilatare, conductivitate), proprietăți chimice, compatibilitate cu alte materiale cu care vin în contact, prelucrabilitate (prelucrare mecanică, sudare, forjare, topire, laminare), lipsa toxicității și inflamabilității, proprietăți economice (disponibilitate, preț de cost), precum și proprietăți speciale nucleare cum sunt: comportarea la iradiere (stabilitatea dimensiunilor, structurii și proprietății materialului la radiații), rezistență la deteriorările produse de radiații (umflarea, fragilizarea), comportarea față de radioactivitatea indusă, puritatea chimică.

### 4.3.2. Comportarea la iradiere

Atât la proiectarea cât și la exploatarea clădirii reactorului este necesar să se țină seama de modificările proprietăților fizice, chimice, mecanice și termice ale materialelor sub acțiunea radiațiilor, fie prin contact direct, fie indirect în cazul unor scăpări sau accidente. Dintre cele mai importante efecte ale radiațiilor asupra materialelor din clădirea reactorului sunt; descompunerea unor compuși chimici, cum ar fi radioliza apei, descompunerea și polimerizarea materialelor organice cu creșterea vâscozității și schimbarea unor proprietăți, formarea de izotopi noi prin captură de neutroni, cu modificarea proprietăților.

Aceste materiale trebuie să nu cuprindă elemente care sunt supuse la radiații, dau izotopi radioactivi cum sunt halogenii sau cobaltul. Efectele radiațiilor asupra materialelor din clădirea reactorului sunt de altfel foarte diferite, putând duce la deteriorări și la deformări ale materialelor cu modificări ale structurii atomice și moleculare ale rețelei cristaline a metalelor, creșterea durtății, rezistenței la curgere, rezistivității electrice și reducerea ductibilității și a alungirii la materialele structurate.

Alegerea materialelor de structură sau de protecție în clădirea reactorului pune deci probleme specifice deosebite, având în vedere că aceste materiale trebuie să satisfacă condiții mai multe și mai grele decât materialele obișnuite, caracteristicile nucleare fiind cele hotărâtoare. Totuși în comportarea materialelor utilizate în clădirea reactorului există anumite limite a căror depășire face nesatisfăcătoare utilizarea lor, putând duce la avarii grave ale CNE.

Deoarece nu întotdeauna se găsesc materiale care să satisfacă simultan toate condițiile cerute, care sunt deseori contradictorii, soluția aleasă reprezintă în cele din urmă un compromis.

Alegerea acestor materiale influențează într-o mare măsură hotărâtoare costul clădirii reactorului și a instalațiilor conexe (stropire la avarie, decontaminare, ventilare), securitatea și disponibilitatea CNE.

### 4.3.3. Rolul și proprietățile materialelor de protecție contra radiațiilor.

Oamenii de știință din domeniul energiei nucleare consideră că problema cea mai importantă a tehnicii nucleare este protecția contra radiațiilor, reactorul nuclear fiind o puternică sursă de radiații; (de ex. un reactor de putere termică de 250 MWt produce o radiație echivalentă dată de 1000 to radiu), /e/.

Atenuarea radiațiilor nucleare până la intensități admisibile se face prin ecranarea reactorului, a întregului circuit primar, precum și a tuturor spațiilor conținând substanțe radioactive.

Astfel rolul ecranării este de a reduce intensitatea radiațiilor în scopul protecției personalului de exploatare împotriva efectelor nocive ale radiațiilor, protecției și asigurării condițiilor de continuitate și securitate în funcționare pentru echipamente și aparate supuse radiației și utilizării căldurii rezultate la interacțiunea radiațiilor cu materia.

Materialele de protecție trebuie să posedă următoarele proprietăți: capacitate (putere) mare de moderare a neutronilor (absorbție a neutronilor termici și rapizi), putere de atenuare a radiațiilor gama, stabilitate termică și la radiații, proprietăți mecanice corespunzătoare, conductivitate termică mare, impermeabilitate la gaze și lichide, lipsa de agresivitate cu alte materiale cu care vin în contact, energie mică a radiațiilor gama secundare produse în materiale, fabricație cât mai simplă, cost redus.

Radiațiile produse într-o CNE pot fi după /22/: radiații primare, provenite din zona activă și radiații secundare, rezultate din interacțiunea radiațiilor primare cu materiale străbătute cum sunt agenții de răcire, moderatorii, materialele de protecție; de ex. radiația gama secundară a apei are o energie de 2,2 MeV, a grafitului 5 MeV, a fierului 7,6 MeV, iar radiațiile primare cele mai importante sunt: neutronii rapizi 6+8 MeV, radiații gama de fisiune 0,5+10 MeV, radiații gama de dezintegrare radioactivă a produselor de fisiune 2+5,5 MeV, și radiații gama din captura radioactivă 8MeV.

În afară de acestea, în CNE mai rezultă radiații alfa, beta și protoni.

Protecția contra radiațiilor se calculează însă numai la neutronii și radiațiile gama, deoarece o protecție dimensionată la acestea va atenua în același timp și celelalte radiații cu intensitate și putere de pătrundere mai mică.

Astfel materialele de protecție acționează asupra neutronilor rapizi prin: încetinirea lor la viteze termice (de unde rezultă recomandarea ca acestea să conțină hidrogen, de obicei sub formă de apă legată chimic cu materialul protector) și absorbirea neutronilor termici (prin condiția de a conține substanțe cu secțiune mare de absorbție cum ar fi borul).

Materialele de protecție cele mai utilizate sunt: betonul obișnuit și special, materialele ceramice, sticlele, sărurile topite, minereurile, metalele, borosilicații, apa, substanțele organice, etc.

Deoarece aceste materiale nu îndeplinesc de obicei toate condițiile cerute, protecția se poate executa sub formă de mai multe materiale, asigurând atât protecția termică cât și pe cea biologică care o înconjoară.

Eficiența de atenuare a radiației gama poate fi exprimată prin grosimea materialului, necesară pentru a reduce intensitatea radiației de 10 ori (vezi fig. 4.3.1) sau de  $10^9$  ori (vezi tabela 1.4.3).

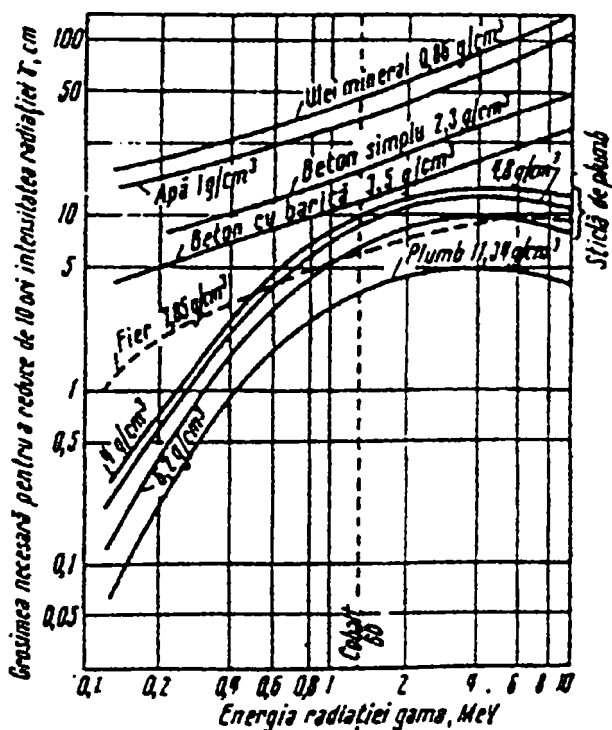


Fig. 4.3.1 Proprietățile de protecție contra radiațiilor gama ale unor materiale.

Tabela 1.4.3.

Grosimea necesară a ecranelor de protecție pentru atenuarea radiației gama de  $10^9$  ori (după Lane), /8/.

	Greutatea specifică $T/m^2$	Grosimea, m
Apa	1,0	6,30
Beton	2,3	2,78
Beton cu barită	3,5	1,80
Beton cu fier	5,6	1,16

De asemenea și eficacitatea atenuării fluxului de neutroni termici se poate măsura cu ajutorul grosimilor de material de protecție biologică (vezi fig. 4.3.2) sau termică (vezi fig. 4.3.3)

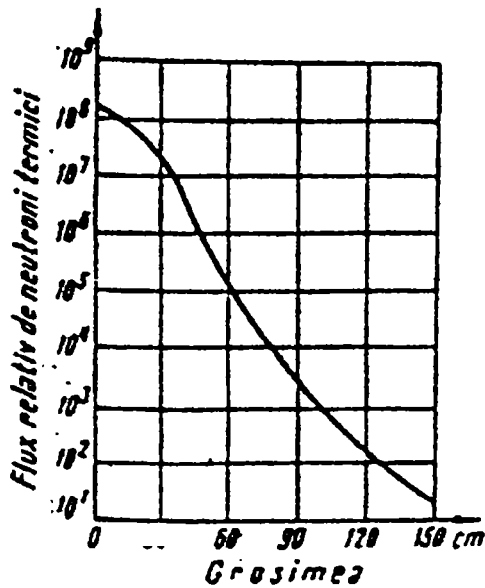


Fig. 4.3.2. Protecție de beton

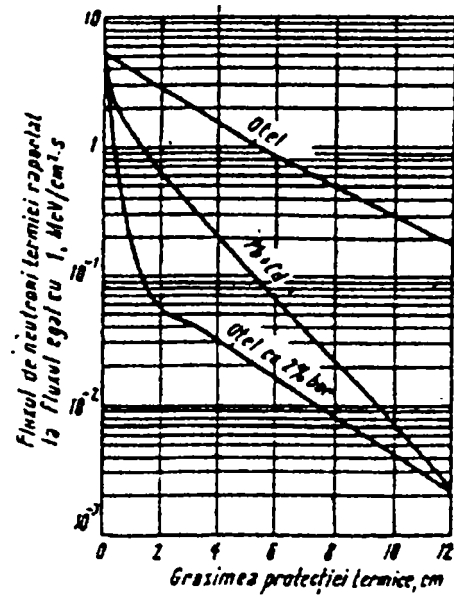


Fig. 4.3.3 Protecție de oțel și alte metode

Eficiența de atenuare a radiațiilor gama și neutroni poate fi exprimată și cu ajutorul lungimii de relaxare  $\lambda$  a materialului pentru radiația dată, care reprezintă grosimea de material necesară pentru reducerea fluxului de radiații de "e" ori.

Astfel atenuarea intensității unui fascicul monoenergetic de neutroni sau de fotoni gama la trecerea prin material după  $\lambda$  este:

$$I_x = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad [\text{MeV} / \text{cm}^2 \cdot \text{s}] \quad (4.1)$$

unde,  $I_0$  este intensitatea fascicolului de radiații la intrarea în material,  $x = 0$

$I_x$  intensitatea la distanța  $x$ , cm

$\mu$  - coeficientul liniar de atenuare a radiației sau de absorbție al materialului, care depinde de felul materialului și de energia radiației  $\text{cm}^{-1}$ ; în cazul neutronilor;  $\mu = \Sigma$

Intensitatea fascicolului de radiații  $I$  este:

$$I = \Phi \cdot \Delta E \quad [\text{MeV} / \text{cm}^2 \cdot \text{s}] \quad (4.2)$$

unde  $\Phi$  este fluxul de radiații și  $\Delta E$  energia radiației. Pentru radiații gama avem  $\Delta E = \mu \nu$ , adică energia fotonului  $\Phi \times I$ , fiind proporțional cu  $\Phi$  se poate scrie,

$$\Phi_x = \Phi_0 \cdot e^{-\mu x} \quad [\text{radiații} / \text{cm}^2 \cdot \text{s}] \quad (4.3)$$

Radiațiile absorbite în materiale se transformă în căldură. Densitatea de putere sau fluxul volumetric de căldură produsă într-un punct al materialului absorbant este:

$$qv = \mu I \quad [\text{MeV} / \text{cm}^2 \cdot \text{s}] \quad \text{sau} \quad (4.4)$$

$$qv = 1,603 \cdot 10^{-7} \mu I \quad [\text{W} / \text{m}^3] \quad (4.5)$$

Variația densității de putere în grosimea materialului absorbant este exponențială  $qv = qv_0 \cdot e^{-\mu x}$ , unde  $qv_0$  este  $qv$  pentru  $x = 0$ .

Pentru a ține seama că în zona activă la interacțiunea cu materia, a radiațiilor primare iau naștere și radiații secundare și că radiațiile nu sunt monoenergetice ci polienergetice, valorile  $I$ ,  $\phi$  și  $qv$  se înmulțesc cu un coeficient de corecție  $B$ :

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \cdot B, \phi = \phi_0 \cdot e^{-\mu x} \cdot B, qv = qv_0 \cdot e^{-\mu x} \cdot B \quad (4.6)$$

Valorile coeficientului  $B$  pentru radiațiile gama în cazul unei surse punctiforme în apă (după Pearson), sunt date în fig. 4.3.4.

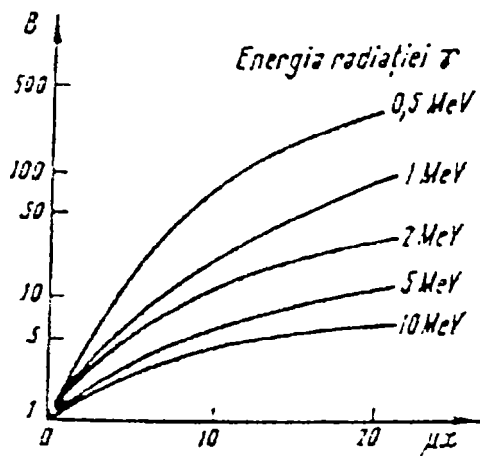


Fig. 4.3.4. Coeficientul de corecție „B” pentru radiațiile gama în cazul unei surse punctiforme în apă.

Valorile „B” se determină experimental și depind de felul și de energia radiației, de geometria sursei de radiație și de natura materialului absorbant.

Atenuarea radiației poate fi exprimată și sub forma:

$$\phi_x = \phi_0 \cdot e^{-\frac{x}{\lambda}} \cdot B [\text{radiatii} / \text{cm}^2 \cdot \text{s}], \quad (4.7)$$

unde  $\lambda$  este lungimea de relaxare a materialului pentru radiația dată, adică grosimea de material care reduce fluxul de radiații „e” ori,  $\text{cm}^{-1}$ .

Din comparația relațiilor de mai sus rezultă  $\lambda = \frac{1}{\mu}$  sau  $\lambda = \frac{1}{\Sigma}$ , adică  $\lambda$  este egal cu drumul mediu

liber al neutronilor sau al fotonilor cu o anumită energie în material.

Distribuția temperaturii în corpurile supuse radiațiilor poate fi determinată cunoscând distribuția de putere în corp.

În cazul unei plăci de grosime  $\delta$  (vezi fig. 4.3.5) densitatea de putere  $qv(x)$  este funcție de distanța  $x$  de la peretele interior al plăcii.

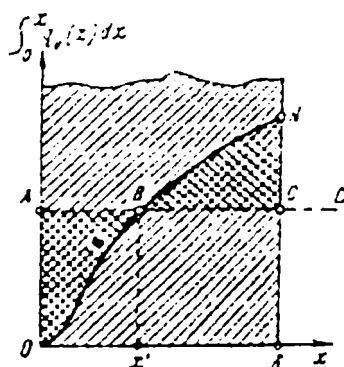


Fig. 4.3.5. Determinarea distribuției temperaturii într-o placă supusă radiațiilor.

Notând cu  $q$  cantitatea de căldură care traversează în unitatea de timp, unitatea de suprafață ( $S = 1$ ) la distanța  $x = x'$

$$\left(\frac{dq}{dx}\right)_{x=x'} = qv(x') \quad (4.8)$$

de unde, integrând rezultă:

$$q_v(x') = \int_0^{x'} q_v(x) dx + C, \quad (4.9)$$

unde „C” este constanta de integrare.

În figura 4.3.5., mărimea  $\int_0^x qv(x) dx$ , este reprezentată grafic. Conform legii lui Fourier, avem:

$$q = -\lambda p \left(\frac{dt}{dx}\right)_{x=x'},$$

unde  $\lambda$  este conductivitatea termică a materialului plăcii. Din ecuația de mai sus rezultă:

$$t_{(x')} = t_0 - \frac{l}{\lambda p} \int_0^{x'} q_v(x) dx \quad (4.10)$$

$$\int_0^{\delta} q_v(x) dx = \lambda \cdot p (t_0 - t_{\delta}) \quad (4.11)$$

unde  $t_0$  și  $t_{\delta}$  sunt valorile temperaturii pentru  $x = 0$ , respectiv  $x = \delta$

Constanta de integrare „C” din ecuația de mai sus poate fi eliminată dacă axa  $x$  din fig. 4.3.5 se alege astfel ca suprafața de sub curbă să fie egală cu  $\lambda(t_0 - t_{\delta})$ . În cazul particular  $t_0 = t_{\delta}$ , integrala devine egală cu zero. Noua poziție a axei este determinată de dreapta ABCD, iar ordonata este egală cu mărimea lui  $q(x)$ , măsurată de la punctul „A”.

Punctul „B”, corespunzător solicitării energetice maxime se află la distanța  $x = x'$  din condiția  $q(x)=0$ , obținându-se grafic la intersecția axei ABCD cu curba OBN. Pentru cazul  $t_0 = t_{\delta}$  punctul „B” trebuie ales în așa fel ca suprafețele OAB și NBC să fie egale. Pentru exemplificare, în fig. 4.3.6. se arată diferența de temperatură produsă de 1 MW pe 1 cm<sup>2</sup> de neutroni termici și rapizi într-un ecran de protecție biologică pe grosime de 2 cm din beton ordinar (a) și din beton cu barită (b)

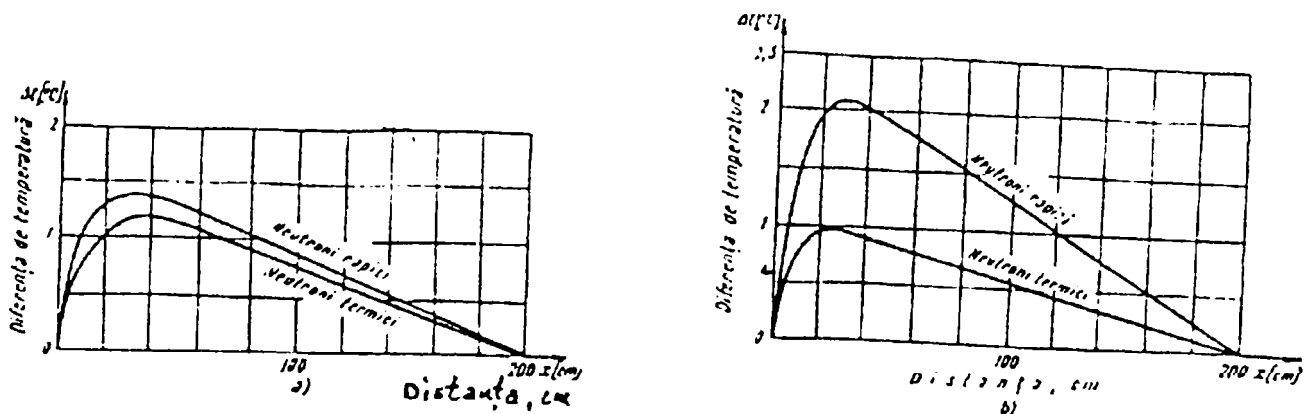


Fig. 4.3.6. Curbele de variație a diferenței de temperatură

iar în fig. 4.3.7. este reprezentată densitatea de putere produsă de un flux de neutroni termici  $\phi = 10^{10} n/cm^2.s$ , care cade pe o placă de oțel de grosime 12 cm (a) și distribuția temperaturii în cazul unui flux

de neutroni termici de  $6,8 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$  pe suprafața interioară a protecției (b), temperatura pe ambele fețe ale plăcii fiind considerată egală.

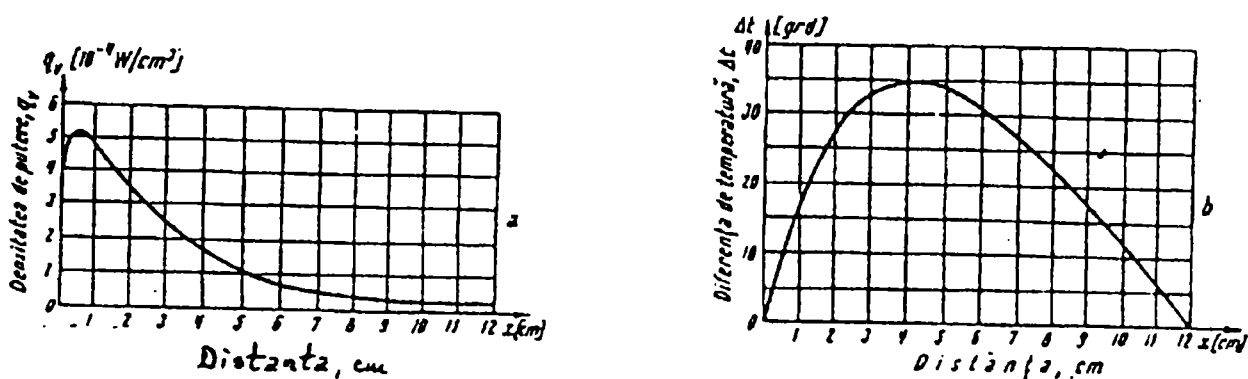


Fig. 4.3.7. Variația densității de putere  $q_v$  produsă de un flux de neutroni termici de  $10^{10} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$  care cade pe o placă de protecție din oțel de 12 cm grosime (a) și variația temperaturii în aceeași placă în cazul unui flux de neutroni termici de  $6,8 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$  (b) pe fața interioară a plăcii (temperatura ambelor fețe ale plăcii se consideră egală).

Analizând diagramele de mai sus, se constată că în beton ecartul maxim de temperatură are loc la distanța de cca 30 cm de fața interioară a protecției.

Printr-un calcul aproximativ se poate considera că fiecărui 1MW care cade pe  $1 \text{ cm}^2$  de protecție îi corespunde o diferență de temperatură de  $1,5^\circ\text{C}$ .

Mai mulți cercetători printre care Price, Horton și Spinney recomandă ca într-o protecție de beton, ecartul de temperatură să nu depășească  $30^\circ\text{C}$ , adică corespunzătorul unui flux de  $20 \text{ MW/cm}^2$  sau  $10^{11} \text{ MeV/cm}^2 \cdot \text{s}$ , iar căderea de temperatură în ecranul de protecție metalic al unui reactor cu apă sub presiune să nu depășească  $30^\circ\text{C}$  ceea ce corespunde unui flux al radiațiilor gama și neutroni de  $10^{14} \text{ MeV/cm}^2 \cdot \text{s}$ .

Ecranele de protecție termică se pot dispune fie între vasul de presiune al reactorului și protecția lui de beton, fie între conductele circuitului primar și canalele de protecție în caz de avarii grave în interiorul clădirii reactorului.

Din fig. 4.3.8 de mai jos în care se arată variația temperaturii în grosimea protecției biologice din beton în cazurile fără ecran de protecție termică (1) și cu ecran de protecție termică (2) se constată o reducere a temperaturii în protecția de beton în cazul existenței ecranului de protecție termică.

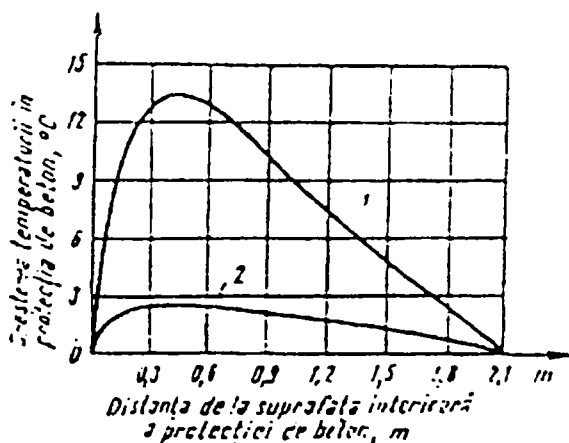


Fig. 4.3.8. Variația temperaturii în grosimea protecției biologice din beton  
1 – fără ecran de protecție termică  
2 – cu ecran de protecție termică

În tabelul 2.4.3 se arată lungimile de relaxare pentru radiații gama și neutroni, la diferite materiale.

### Tabela 2.4.3.

Lungimile de relaxare pentru radiații gama ( $\lambda_\gamma$ ) și pentru neutroni ( $\lambda_\eta$ ) la diferite materiale (după Bussard, de Løner)

Nr.crt	MATERIAL	DENSITATEA g/cm <sup>3</sup>	$\lambda_\gamma$ cm	$\lambda_\eta$ cm
1.	Beton obișnuit	2,30	15	11
2.	Beton cu barită	3,5	10	8
3.	Beton cu limonită	4,3	8	6
4.	Al	2,73	13	10
5.	Fe	7,8	3,6	6
6.	Pb	11,3	2,1	9
7.	C	1,65	19	9
8.	Be	1,84	18	9
9.	BeO	2,30	14	9
10.	H <sub>2</sub> O	1,0	30	10

Se observă că în cazul materialelor cu densitate mică  $\lambda_\eta < \lambda_\gamma$ , iar în cazul materialelor cu densitate mare  $\lambda_\eta > \lambda_\gamma$ .

Din aceste motive atât pentru protecția termică, cât mai ales pentru protecția biologică a fost preferat betonul ( $\lambda_\eta \cong \lambda_\gamma$ ), dar sunt multe cazuri în care combinația din două sau mai multe materiale prezintă proprietăți avantajoase de atenuare, construcție și exploatare.

Tocmai acest lucru va fi prezentat în capitolele următoare ale lucrării de față unde se va încerca să se arate că o combinație între metal (oțel sau aluminiu) și beton în cazul reactorului CANDU – PHWR sau o combinație de metale în cazul unei propuneri de noi soluții de anvelopare pe structura reactorului CANDU – PHWR, poate conduce la o protecție termică și biologică mai bună, cu diminuarea corespunzătoare a riscului de contaminare radioactivă în caz de accident nuclear.

## 4.4. PROBLEME DE PROTECȚIE ANTICOROZIVĂ ALE CONSTRUCȚIILOR METALICE CNE

### 4.4.1. Protecția la temperaturi ridicate

În condiții de exploatare normală, nu se pun probleme deosebite pentru asigurarea protecției anticorozive a structurilor metalice ale clădirilor CNE, singurul criteriu special fiind asigurarea rezistenței la foc până la intervenția sistemelor de stingere a incendiilor. Se știe că odată cu creșterea temperaturii, la oțeluri scade rezistența la rupere, limita de curgere și modulul de elasticitate și crește alungirea la rupere; fenomenul este puțin accentuat până la 350°C, dar periculos la 400°C, iar la 600 – 700°C construcția ar pierde capacitatea portantă.

Protecția anticorozivă în condiții de exploatare normală este suficientă a fi realizată prin sablare la gradul SA 2<sup>1/2</sup>, după SIS, grunduire provizorie în uzină cu un strat de grund pasivant și cca. două straturi de



grund oxid roșu de fier cu o grosime finală a straturilor de cca. 80 – 120  $\mu\text{m}$  și o vopsire finală după montaj pe șantier cu emailuri alchidice care se comportă bine la foc.

Cu totul altfel se pune problema la construcțiile metalice din clădirea reactorului și în mod special în condiții de accidente soldate mai ales cu o creștere bruscă a temperaturii mediului ambiant din interiorul anvelopei.

În sisteme închise, atacul corosiv datorat oxigenului crește continuu cu temperatura. S-a constatat că el se dublează la o creștere a temperaturii cu 30°C. Această creștere se datorește numai măririi vitezei de difuziune și accentuării conversiei naturale și forțate. Solubilitatea oxigenului va scăde în sistemele închise până la 100°C peste care va avea loc o creștere a sa, astfel că la 200°C solubilitatea va fi la fel de mare ca la 20°C. De asemenea la apă, care este folosită în contact cu metalele în tot domeniul de stabilitate al fazei lichide, de la punctul de îngheț de 0°C, până la punctul critic de 374°C, creșterea temperaturii afectează compoziția chimică și proprietățile fizice ale acesteia și totodată natura și proprietățile depozitelor precum și comportarea metalului însuși. Compoziția apei este afectată prin schimbările concentrației gazelor dizolvate, în special a oxigenului ce joacă un rol primordial în desfășurarea proceselor de coroziune.

În afară de efectele temperaturii asupra vitezei de coroziune a metalului, în prezența oxigenului, pot să apară, tot sub influența acestui factor și efecte termo - galvanice în care potențialul electrodic al metalului variază cu temperatura. Astfel, în soluții neutre de halogeni, o creștere a temperaturii oțelului va conduce la o descreștere a potențialului, adică zona cu temperatură mai ridicată potențialul devine mai anodic, ceea ce produce o accelerare a coroziunii în zona respectivă.

S-a constatat de exemplu, că la suprafețele metalice ce transmit căldură, viteza de coroziune este de 10 – 12 ori mai mare decât în cazul metalelor imersate în soluții cu aceeași temperatură. Aceste constatări demonstrează că temperatura suprafeței metalului este factorul de control al procesului și nu este în funcție de cantitatea de căldură ce trece prin metal.

Protecția prin vopsire a suprafeței metalice constă dintr-un film format din pelicule organice aplicate astfel încât să asigure o porozitate minimă, oprind pătrunderea oxigenului și umidității, formând un strat izolant capabil să oprească trecerea curentului electric. Vopselele rezistente la temperatură conțin pigmenți anorganici și lianți rezistenți la șoc termic. Pigmenții sunt în general pulberea de zinc sau de aluminiu, fosfatul de crom sau de zinc, cadmiu sau plumb metalic, sau solzi de oțel inoxidabil. Ca lianți se utilizează titanatul de butil la temperaturi de cca. 850°C, silicat de litiu la temperaturi peste 1500°C, rășini siliconice la temperaturi de cca. 440°C și silicați alcalini.

O aplicare a vopselelor pe bază de lianți anorganici o constituie protecția suprafețelor metalice din clădirea reactorului, unde se cere o durată de protecție de cca. 30 ani, fiind de dorit ca aceste suprafețe să nu aibă niciodată nevoie de re-vopsire după intrarea instalației în exploatare.

Ca atare, alchil – silicații ar trebui folosiți drept grunduri în grosime de cca. 75  $\mu\text{m}$  pe un strat, în special la uzinarea structurilor metalice. După montare se aplică un strat de finisare epoxi – fenolic, sau epoxi – poliamidic în grosime de min. 125  $\mu\text{m}$ , acest sistem răspunzând la cele mai severe cerințe privind normele de prevenire a accidentelor. Sistemul acesta de protecție s-a aplicat și la CNE Cernavodă pentru toate structurile clădirilor nucleare, dar grundul oxid roșu de fier aplicat la cererea uzinei executante ca protecție temporară, s-a dovedit a fi necompatibil în zonele puternic iradiate și cu posibile temperaturi ridicate, fiind înlăturat prin resablare și înlocuire cu un sistem compatibil descris mai sus.

Ca o îmbunătățire a protecției la temperaturi înalte, mai ales la structurile metalice din interiorul anvelopei reactorului, cred că ar trebui folosite, după opinia mea și alte sisteme experimentate în alte domenii cum ar fi:

- vopsele anorganice pe bază de silicați de litiu cu rezistență optimă la temperaturi foarte ridicate (cca. 2000<sup>0</sup>C) utilizate la rachetele balistice;
- vopsele pe bază de titanat de butil, care conțin aproximativ 70% pulbere de zinc, raportată la greutatea peliculei uscate. Sedimentarea la depozitare este întârziată prin adaosul de mici cantități de etilceluloză cu viscozitate mare și pulbere mică.

Acest tip de vopsea a fost produs în Australia și propus ca grund anticorosiv pentru piese din oțel supuse la temperaturi de până la 4000<sup>0</sup>C.

Sistemele descrise mai sus și-ar dovedi eficacitatea mai ales cazul accidentului maxim posibil în interiorul clădirii reactorului, combinat cu întârzierea sau refuzul de a intra în funcțiune al sistemelor de răcire la avarie.

#### 4.4.2. Protecția la agenți corosivi

Se spune pe bună dreptate că procesul de coroziune apare mai întâi pe planșeta proiectanților și se continuă de la fabricarea materialelor și a structurilor metalice până la montajul construcției, în cazul când aceasta nu este corect protejată cu vopsele adecvate și bine întreținută în timp.

În afara temperaturii și radiațiilor a căror acțiune este tratată separat, asupra construcțiilor metalice ale CNE acționează coroziunea atmosferică.

Viteza procesului de coroziune în atmosferă este determinată în principal de următorii factori: umiditatea relativă a aerului, natura și cantitatea gazelor prezente în atmosferă și dizolvate în pelicula de umiditate, prezența particulelor de praf, temperatura, compoziția chimică a metalului etc.

O mișcare relativă a suprafeței metalice în raport cu apa, stimulează atacul corosiv; această formă specifică de atac accelerat mecanic, numită și eroziune – coroziune se poate manifesta ca abraziune, curgere liniară, turbulentă sau cavitație, acționând asupra filmelor protectoare de oxizi sau gaze prezente pe suprafața metalică pe care le-o îndepărtează parțial.

În locul în care metalul este descoperit se produce atacul corosiv până când filmul are posibilitatea să se reformeze, sau până când peretele metalic este corodat în întregime. Fenomenele de eroziune – coroziune se pot întâlni în zonele cu conducte de transport a aburului umed în cazul unui accident soldat cu ruperea sau fisurarea conductelor de transport.

Pentru realizarea unei protecții anticorosive de lungă durată așa cum este aplicată la majoritatea CNE aflate în funcțiune, rezistente în condițiile speciale de exploatare, este necesar să fie realizate următoarele condiții:

- pregătirea corectă a suprafeței metalice;
- alegerea celui mai indicat sistem de vopsire;
- aplicarea corectă a sistemului ales.

Cel mai important dintre acești trei factori este pregătirea suprafeței. Aceasta rezultă și din faptul că dacă se aplică un sistem foarte bun de protecție pe suprafețe insuficient pregătite, aceasta are o durabilitate mai mică decât dacă s-ar fi utilizat vopsele de calitate mai slabă, dar aplicate pe suprafețe corect pregătite.

Din cercetările întreprinse la noi în țară, cât și din datele din literatura de specialitate, rezultă că durata unei vopsiri în funcție de procedeul ales pentru pregătirea suprafeței metalice, se prezintă astfel:

- curățire manuală cu peria de sârmă, un an
- curățire cu flacăra și peria de sârmă, un an și jumătate
- curățire chimică alcalină, uzuală, doi ani
- curățire prin sablare cu nisip sau alică, patru ani

- curățire chimică perfectă urmată de spălare, cinci ani.

Importanța pregătirii suprafeței reiese și din faptul că în străinătate, la o vopsire bună, costurile se repartizează astfel: 50% pentru pregătirea suprafeței, 35% pentru manoperă, și 15% pentru materiale de vopsire. În ceea ce privește întreprinderile românești executante de construcții metalice și echipamente CNE se poate spune că majoritatea dintre ele fac această pregătire a suprafețelor metalice prin procedeul sablării, în vederea unei bune vopsiri. Din păcate operațiunea nu se execută peste tot în condiții corecte. Defecțiunile existente în instalațiile de sablare pot duce la o calitate scăzută și deci la o pregătire mai slabă a suportului metalic.

Alegerea corectă a sistemului de protecție reprezintă de asemenea un factor important pentru a realiza o lucrare de bună calitate. În cadrul unei CNE, nu există vopsele universal valabile care să fie aplicate pe orice tip de ansamblu de structură metalică și în orice condiții de exploatare pe oricare din clădirile CNE. Uneori, chiar și porțiuni ale aceleiași structuri trebuie vopsite cu materiale diferite, datorită condițiilor impuse în exploatare.

Ultimul factor menționat mai înainte, care influențează calitatea vopsirii, este aplicarea corectă a sistemului prescris pentru protecție. Aceasta constă de fapt în respectarea instrucțiunilor de aplicare specifice, prin care se stabilește:

- procedeul și modul de aplicare
- grosimea straturilor
- durata și modul de uscare
- timpul de uscare între straturi
- natura straturilor și numărul lor
- condiții de temperatură, umiditate și ventilație
- modul de pregătire a vopselei înaintea aplicării.

Din păcate în întreprinderile noastre situația este deficitară din acest punct de vedere, vopsirea executându-se în condiții mai puțin corespunzătoare, și ceea ce este mult mai grav, fără personal calificat.

Ca o concluzie, pentru creșterea fiabilității și siguranței în exploatare a structurilor metalice ale CNE, în ceea ce privește protecția la agenții corosivi se recomandă următoarele măsuri la uzinare:

- respectarea riguroasă a normelor existente referitoare la pregătirea suprafețelor în vederea vopsirii
- amenajarea unor hale de vopsire, pe ansamble, bine ventilate, încălzite și lipsite de umiditate
- dotarea cu instalații de curățire și aplicare prin pulverizare, cu și fără aer, prevăzute cu utilaje de mare productivitate
- uzinele constructoare să fie prevăzute cu personal tehnic corespunzător și calificat în sectoarele de vopsire, pentru a putea aplica protecții anticorrosive eficiente, în bune condițiuni.

După cum se poate constata, în România se fabrică și/sau comercializează în ultimii ani, produse pentru protecția anticorrosivă, de calitate, dar se impune aplicarea lor în bune condițiuni, după tehnologia stabilită, cu utilaje corespunzătoare, economice și de mare productivitate, obținând astfel durabilitatea cerută în exploatare, inclusiv în cazul CNE.

#### **4.4.3. Protecția la radiații**

Oțelul de construcții folosit la majoritatea elementelor de construcție metalică ale clădirilor CNE, nu prezintă rezistență bună la fragilizare prin iradiere, în special la temperaturi ridicate de peste 200°C și ca atare nu se utilizează ne-protejat.

De asemenea aceste oțeluri nu trebuie să conțină Cobalt nici măcar ca impurități, deoarece în condiții de iradiere formează izotopi radioactivi ( $\text{Co}^{60}$ ).

În schimb oțelurile inoxidabile austenice folosite în clădirea reactorului și a serviciilor auxiliare nucleare, pot să prezinte un fenomen de coroziune intercristalină sub sarcină, dacă nu au fost supuse unui tratament de sensibilizare (detensionare). Utilizarea oțelurilor cu un conținut mic de Carbon (0,03 – 0,08%) sau stabilizate, poate evita această coroziune. Garanția nu este totuși absolută, apărând unele inconveniente cum ar fi:

- caracteristici mecanice slabe, pentru oțelurile cu un conținut mic de Carbon
- dificultăți la sudare pentru oțelurile stabilizate

O rezistență bună la coroziune intercristalină sub tensiune după [17], prezintă oțelul Uranus 50, chiar după un tratament de sensibilizare foarte ridicat (24 ore la  $600^{\circ}\text{C}$ ) și de asemenea o rezistență bună la fragilizare prin iradiere la  $290^{\circ}\text{C}$ . În acest caz special, oțeluri mai puternic feritice nu vor prezenta aceeași siguranță în ceea ce privește fragilizarea prin menținerea la  $300^{\circ}\text{C}$ .

Efectele izotopice sunt semnificative când sunt implicați hidrogenul și deuteriul, elemente conținute în apa grea utilizată ca moderator în circuitul primar al CNE. Pe lângă necesitățile descrise mai înainte, de a rezista la diferiți agenți corosivi și la temperaturi înalte, concepția de realizare a protecției anticorosive la construcțiile metalice ale clădirilor nucleare și în mod deosebit în interiorul anvelopei reactorului, este de a asigura și cerințele de decontaminare de cca.  $10^2$ , în condiții de iradiere specifice, în cazul accidentelor soldate cu scăpări radioactive.

Sistemele de vopsire utilizate pentru protecția la radiații a construcțiilor nucleare ale CNE sunt aceleași cu cele descrise anterior.

#### 4.5. PARTICULARITĂȚI ALE CALCULULUI DE FIABILITATE

În cazul structurilor metalice, exprimarea prin calcul a condiției de siguranță, indiferent dacă aceasta se referă la siguranța unei secțiuni, a unui element, a prinderilor dintre diverse elemente (grinzi, stâlpi) sau a întregii structuri, se poate face întotdeauna sub forma unei inegalități de tipul:

$$v \geq v_a \quad (4.12)$$

în care  $v_a$  reprezintă gradul de siguranță stabilit aprioric și considerat acceptabil pentru cazul considerat, iar  $v$  este gradul de siguranță evaluat prin calcul.

Gradul de siguranță  $v$  reprezintă o măsură (indicator) a siguranței, cu care condiția:

$$S \leq C \quad (4.13)$$

este îndeplinită și unde  $S$  este solicitarea (efectul încărcărilor) ce se obține aplicând încărcările pe schema de calcul a structurii, iar  $C$  este capacitatea portantă (corespunzătoare solicitării  $S$ ) a secțiunii, a elementului, a prinderii sau chiar a structurii respective.

Evoluția concepțiilor și metodelor de calcul, care au cunoscut diverse trepte de dezvoltare, conturează însăși evoluția conceptului de siguranță utilizat în calculul construcțiilor. Conceptul de siguranță adoptat determină și măsura  $v$  prin care se apreciază gradul de siguranță. Este cunoscut faptul că la ora actuală, tratarea semiprobabilistică a siguranței construcțiilor prin metoda stărilor de limită nu este nici completă, nici

riguroasă, fiind lipsită de consecvența necesară, întrucât definirea actuală a valorilor de calcul pentru acțiuni și pentru rezistențe, (valori care sunt considerate cuantili cu asigurare fixă ai repartițiilor respective) nu duc decât cu totul întâmplător la probabilitățile de supraviețuire dorite pentru structuri.

Aceasta are loc și datorită faptului că în locul valorilor caracteristice ale acțiunilor și ale rezistențelor se adoptă de regulă valorile normate din cadrul metodelor tradiționale bazate pe concepția deterministă.

Abordarea prin concepția probabilistică a evaluării siguranței, abordare care înlătură inconsecvențele concepțiilor precedente (deterministă – treapta 0 și semiprobabilistică – treapta I) este în principiu posibilă pentru orice structură, cu condiția de a dispune de toate datele de bază necesare.

Premisele acestui punct de vedere sunt următoarele:

- a) se imaginează o colectivitate statistică de „n” elemente de construcție (grinzi, stâlpi, etc.) normal identice (executate după același proiect) aflate în situații de exploatare nominal identice (având destinații similare);
- b) două elemente distincte ale acestei colectivități vor diferi între ele prin caracteristicile de rezistență și rigiditate efectiv realizate (datorită variabilității întâmplătoare a acestor caracteristici și a abaterilor inevitabile la execuție) cât și prin încărcările efectiv aplicate în decursul exploatării (încărcările au de asemenea o variabilitate întâmplătoare).
- c) evenimentele care caracterizează comportarea în condiții de siguranță a elementelor din această colectivitate se realizează întâmplător (evenimente aleatoare) fără a urma o lege cunoscută, pentru diferitele elemente;
- d) pentru colectivități mari („n”, mare) se constată o stabilitate de masă a frecvenței relative cu care un anumit eveniment care caracterizează comportarea elementelor în condiții de siguranță se realizează. De exemplu, frecvența relativă a comportării fără apariția deformațiilor plastice sau fără pierderea stabilității etc, este practic independentă de numărul elementelor din colectivitate.

După cum se poate observa, toate aceste premise sunt aplicabile și structurilor metalice ale clădirii reactoarelor de tip CANDU – PHWR, ținând cont și de faptul că de regulă o centrală nucleare – electrică de acest tip este formată dintr-un grup de unități nucleare identice.

Stabilitatea de masă a frecvenței relative cu care evenimentele aleatoare menționate se realizează, constituie în context cu definiția statistică a probabilității, suportul experimental al aplicării teoriei probabilităților la analiza siguranței construcțiilor metalice ale CNE.

Noțiunea de probabilitate poate fi utilizată în problemele de siguranța construcțiilor nu numai ca un echivalent al frecvenței relative, ci și ca o măsură a gradului de încredere în anumite ipoteze care trebuie introduse în calcule fără a putea fi confirmate experimental.

Astfel, pentru aplicarea concepției probabilistice, datele referitoare la încărcări și la caracteristicile structurale trebuie să fie exprimate prin funcții de repartiții.

Pentru unii dintre factorii aleatori, datele existente sunt încă insuficiente pentru a impune tipul funcțiilor de repartiție. Din acest motiv tipul funcției de repartiție trebuie să fie ales pe baza datelor disponibile și a unei interpretări rezultate din ipoteze ce nu pot fi confirmate experimental în momentul luării deciziei asupra tipului de repartiție.

Concepția probabilistică este în măsură să dea un răspuns concludent problemei evaluării siguranței; acest răspuns este de forma probabilitatea de supraviețuire sau de avariere a secțiunii, a elementului sau a structurii este egală cu „p” (0... 1), răspunsul putându-se referi la orice stare limită, înlăturându-se astfel lipsa de semnificație riguroasă a coeficienților tradiționali de siguranță utilizați în cadrul concepției deterministe (c în metoda rezistențelor admisibile și  $\lambda$  în metoda tradițională de calcul în domeniul elasto – plastic) și semiprobabilistice ( $\gamma_m$ , m și n în metoda stărilor limită).

Ipotezele fundamentale care stau la baza aplicării concepției probabilistice în problemele de siguranța construcțiilor sunt următoarele:

1. Noțiunea de probabilitate care intervine în teoria siguranței construcțiilor poate fi utilizată nu numai în sensul unei frecvențe relative ci și ca o măsură a gradului de încredere în anumite ipoteze care trebuie introduse în calcul fără a putea fi confirmate experimental.
2. Datele necesare pentru caracterizarea variabilității întâmplătoare a factorilor de bază care condiționează siguranța trebuie să fie suficiente.
3. Parametrii care caracterizează acțiunile la care este supusă o construcție în decursul exploatării au un caracter aleator. În consecință, efectul S al acestor acțiuni (solicitarea) asupra unei secțiuni, unui element sau a unei structuri, are de asemenea un caracter aleatoriu.
4. Capacitatea portantă (sau capacitatea de deformare, de deplasare etc., C a unei secțiuni, unui element sau a unei structuri în raport cu solicitarea corespunzătoare S are o natură aleatoare (evident, C caracterizează limita stadiului de comportare admis).
5. Toate incertitudinile care afectează siguranța sunt luate în considerație în calcule prin parametrii de împrăștiere (dispersii, abateri medii pătratice, coeficienți de variație, etc.) ai variabilelor aleatoare S și C.
6. Măsura siguranței în raport cu starea limită considerată este dată de valoarea probabilității  $P(+)$  de realizare a evenimentului  $C > S$ :

$$P_{(+)} = P(C > S) \quad (4.14)$$

și reciproc măsura gradului de nesiguranță este dată de probabilitatea  $P(-) = 1 - P(+)$  de realizare a evenimentului  $C < S$ :

$$P_{(-)} = P(C < S) \quad (4.15)$$

Se poate deci utiliza o caracterizare pozitivă (favorabilă) a siguranței reprezentată prin probabilitatea  $P(+)$  de supraviețuire (fără atingerea stării limită) și de o caracterizare negativă (nefavorabilă) a siguranței reprezentată prin probabilitatea  $P(-)$  de atingere a stării limită considerată.

7. condiția de siguranță în raport cu starea limită considerată este respectată dacă una din inegalitățile (echivalente) următoare, este satisfăcută:

$$P_{(+)} \geq P_{(+)}a \quad (4.16)$$

$$P_{(-)} \leq P_{(-)}a \quad (4.17)$$

în care  $P_{(+)}a$  și  $P_{(-)}a = 1 - P_{(+)}a$ , sunt valori de referință admise apriori ce reprezintă probabilitatea (minimă) de supraviețuire și respectiv probabilitatea (maximă) de apariție a stării limită considerate.

Trebuie precizat însă că ipotezele de mai sus, se referă la o situație foarte schematică și anume:

- considerarea unei singure stări limită;
- considerarea unei singure scheme de încărcare;
- neglijarea parametrului timp (atât din punct de vedere al fenomenelor dinamice, cât și din acela al durabilității construcției).

Pentru exemplificare, ținând cont de faptul că în clădirea reactorului tip CANDU – PHWR sunt multe platforme metalice, cu grinzi în consolă, încastrate în peretele de beton, am ales pentru evaluarea pe baza concepției probabilistice a siguranței unei structuri, care de fapt reprezintă problema de bază a siguranței, exemplul următor:

Considerăm o structură supusă unei încărcări statice aleatoare  $Q$  al cărei efect în secțiunea cea mai solicitată se notează  $S$ ; fie  $C$  capacitatea portantă aleatoare a acestei secțiuni în raport cu  $S$ .

Problema de bază a siguranței constă în evaluarea probabilității de supraviețuire  $P(+)=P(C \geq S)$ , sau a probabilității de avariere  $P(-)=P(C \leq S)$  a secțiunii în raport cu care se efectuează calculul.

Astfel considerând că distrugerea consolei din fig. 4.3.1. apare datorită momentului înconvoieror produs de încărcarea  $Q$  în secțiunea de încastrare, se obține  $S=Q=1$ , iar  $C=M$  capabil.

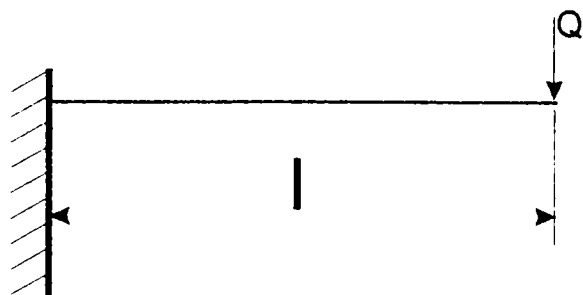


Fig. 4.5.1. Exemplificarea problemei de bază

Deci:

$$P(+)=P(Mcap \geq Q1) \text{ si} \tag{4.18}$$

$$P(-)=P(Mcap < Q1) \tag{4.19}$$

Mărimile  $S$  și  $C$  sunt presupuse variabile aleatoare continue. În acest caz, repartiția vectorului aleator bidimensionabil  $F(S,C)$  se definește prin funcția de repartiție :

$$F_{(s,c)} = P[(S < s) \cap (C < c)] \tag{4.20}$$

care reprezintă probabilitatea ca solicitarea  $S$  să fie inferioară unei valori „ $S$ ” și simultan capacitatea portantă  $C$  să fie inferioară unei valori „ $C$ ”. Densitatea de repartiție a acestui vector este dată de relația:

$$f(S,C) = \frac{\partial F(S,C)}{\partial s \cdot \partial c}, \text{ unde prin integrare se obține:}$$

$$F_{(s,c)} = \int_0^s \int_0^c f(S,C) dsdc \tag{4.22}$$

Integralele sunt extinse numai în domeniul valorilor pozitive ale variabilelor  $S$  și  $C$  deoarece, considerându-se un singur sens de acțiune al încărcării  $Q$ , valorile negative ale acestor variabile sunt lipsite de sens fizic.

Prin definiție, integrala densității de repartiție  $f_{(s,c)}$  pe tot domeniul de definiție al valorilor  $S$  și  $C$  ( $0 < S < \infty$  si  $0 < C < \infty$ ) este egală cu unitatea, deci:

$$\int_0^\infty \int_0^\infty f(S,C) dsdc = 1 \tag{4.23}$$

Această integrală poate fi exprimată ca o sumă de doi termeni astfel:

$$\int_0^{\infty} \int_0^{\infty} f(S, C) dsdc = \iint_{C \geq S} f(S, C) dsdc + \iint_{C < S} f(S, C) dsdc \quad (4.24)$$

în care

$$\iint_{C \geq S} f(S, C) dsdc = P(C \geq S) = P(+)$$
(4.25)

reprezintă probabilitatea de supraviețuire, iar

$$\iint_{C < S} f(S, C) dsdc = P(C < S) = P(-)$$
(4.26)

reprezintă probabilitatea de avariere.

Probabilitățile  $P(+)$  și  $P(-)$  sunt geometric reprezentate în fig. 4.5.2

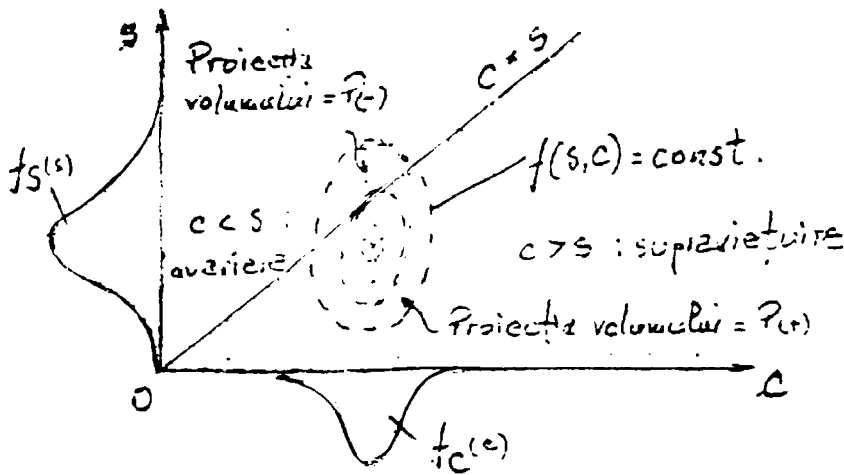


Fig. 4.5.2. Interpretare geometrică a probabilităților de supraviețuire  $P(+)$  și avarie  $P(-)$ .

de volumul cuprins sub suprafața  $f_{(s,c)}$  în octantul  $c > s$  și respectiv în octantul  $c < s$ . Cele două octante  $c > s$  și  $c < s$ , despărțite prin planul bisector  $c = s$ , definesc respectiv domeniul comportării favorabile (sigure) și domeniul comportării nefavorabile (șigure)

Familia de curbe închise reprezentate cu linii întrerupte în fig. 4.5.2. reprezintă proiecția în planul  $s0c$  a intersecției suprafeței  $f_{(s,c)}$  cu plane orizontale a căror ecuație este  $f(s, c) = \lambda$ , în care este constantă pozitivă. Punctele situate pe o astfel de curbă se caracterizează prin aceeași valoare  $\lambda$  a densității de repartiție; pe măsură ce  $\lambda$  crește, curba închisă corespunzătoare se micșorează, iar valoarea densității de repartiție prin care se caracterizează punctele situate pe această curbă, se mărește.

În cazul în care variabilele aleatoare  $S$  și  $C$  sunt independente, densitatea de repartiție bidimensională  $f_{(s,c)}$  reprezentată prin curbele de nivel din fig. 4.5.2. este dată de produsul densităților de repartiție ale variabilelor  $S$  și  $C$  deci:

$$f(s, c) = f_S(s) \cdot f_C(c) \quad (4.27)$$

În această situație curent întâlnită în practică, ținând seama de expresiile funcțiilor de repartiție a variabilelor  $S$  și  $C$ , exprimate prin probabilitățile:

$$F_S(s) = \int_0^s f_S(s) ds = P(S < s) \quad (4.28)$$

$$F_C(c) = \int_0^c f_C(c) dc = P(C < c) \quad (4.29)$$



Astfel:

$$P_{(+)} = \iint_{c \geq s} f(s, c) ds dc = \iint_{c \geq s} f_s(s) \cdot f_c(c) ds dc = \int_0^{\infty} \left[ \int_0^s f_c(c) ds \right] f_c(c) dc = \int_0^{\infty} F_s(c) \cdot f_c(c) dc \quad (4.30)$$

$$P_{(-)} = \iint_{c < s} f(s, c) ds dc = \iint_{c < s} f_s(s) \cdot f_c(c) ds dc = \int_0^{\infty} \left[ \int_0^s f_c(c) dc \right] f_s(s) ds = \int_0^{\infty} F_c(s) \cdot f_s(s) ds \quad (4.31)$$

Inversând ordinea de integrare, expresiile de mai sus se pot scrie și în forma echivalentă:

$$P_{(+)} = \int_0^{\infty} \left[ \int_s^{\infty} f_c(c) dc \right] f_s(s) ds = \int_0^{\infty} 1 - F_c(s) \cdot f_s(s) ds \quad (4.32)$$

$$P_{(-)} = \int_0^{\infty} \left[ \int_c^{\infty} f_s(s) ds \right] f_c(c) dc = \int_0^{\infty} 1 - F_s(c) \cdot f_c(c) dc \quad (4.33)$$

În cazul particular în care ambele variabile S și C cu o repartiție normală, valorile integralelor de convoluție de mai sus, pot fi calculate fără a se recurge la metodele de integrare numerică.

De exemplu considerăm că S și C urmează repartiția normală (vezi cap. 2, paragraful 2.1.5.3) având densitățile de repartiție:

$$f_s(s) = \frac{1}{\sigma_{(s)} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{s - M_{(s)}}{\sigma_{(s)}} \right]^2 \right\} \quad (4.34)$$

$$f_c(c) = \frac{1}{\sigma_{(c)} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{c - M_{(c)}}{\sigma_{(c)}} \right]^2 \right\} \quad (4.35)$$

în care  $M_{(s)}, M_{(c)}$  și  $\sigma_{(s)}, \sigma_{(c)}$  reprezintă valorile medii și respectiv abaterile medii pătratice ale variabilelor aleatoare S și C.

Indiferent de tipul repartiției variabilelor S și C evenimentul  $C < S$  poate fi înlocuit prin evenimentul echivalent  $C - S < 0$ .

$$(C < S) \cong (C - S < 0) \cong (R < 0) \quad (4.36)$$

în care diferența:  $R = C - S$  reprezintă o variabilă aleatoare care exprimă rezerve de siguranță în raport cu starea limită considerată în calcul.

În cazul repartiției normale a variabilelor independente S și C rezerve de siguranță R este de asemenea normal repartizată având densitatea de repartiție:

$$f_R(r) = \frac{1}{\sigma_{(R)} \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{r - M_{(R)}}{\sigma_{(R)}} \right]^2 \right\} \quad (4.37)$$

caracterizată prin parametrii următori:

- valoare medie:  $M_{(R)} = M_{(c)} - M_{(s)}$
- abatere medie pătratică.

Probabilitatea de realizare a evenimentului  $R < 0$  care este echivalentă cu probabilitatea unei comportări nefavorabile reprezentată de apariția stării limită considerată:

$$P_{(-)} \equiv P(R < 0) = \frac{1}{\sigma_{(R)} \cdot \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 \exp\{ \quad \} \quad (4.38)$$

are în cazul repartiției normale următoarea expresie:

$$P_{(-)} \equiv P_{(R<0)} = \frac{1}{\sigma_{(R)} \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 \exp\left\{-\frac{1}{2} \left[\frac{1 - M_{(R)}}{\sigma_{(R)}}\right]^2\right\} dr \quad (4.39)$$

Introducând variabila aleatoare normală Z

$$Z = \frac{R - M_{(R)}}{\sigma_{(R)}} \quad (4.40)$$

caracterizată prin parametri  $M_{(R)} = 0, \sigma_{(R)} = 1$ , relația de mai sus devine:

$$\begin{aligned} P_{[-]} \equiv P_{(R<0)} &= P\left[Z < -\frac{M_{(R)}}{\sigma_{(R)}}\right] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-M_{(R)}/\sigma_{(R)}} \exp\left\{-\frac{Z^2}{2}\right\} dz = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{M_{(R)}/\sigma_{(R)}}^{\infty} \exp\left\{-\frac{Z^2}{2}\right\} \cdot dz = 0,5 - \phi\left[\frac{M_{(R)}}{\sigma_{(R)}}\right], \end{aligned} \quad (4.41)$$

în care  $\phi_{[-]}$  reprezintă funcția lui Laplace care poate fi întabelată.

Ținând seama de faptul că raportul:

$$\frac{\sigma_{(R)}}{M_{(R)}} = F_{(R)} \quad (4.42)$$

reprezintă coeficientul de variație al variabilei aleatoare R, relația de mai sus se mai poate scrie:

$$P_{(-)} = P_{(R<0)} = 0,5 - \phi\left[\frac{1}{V_{(R)}}\right] \quad (4.43)$$

Probabilitatea de supraviețuire  $P_{(+)}$  va avea deci expresia:

$$P_{(+)} = 1 - P_{(-)} = 0,5 + \phi\left[\frac{1}{V_{(R)}}\right] \quad (4.44)$$

Indiferent de tipul repartițiilor variabilelor S și C evenimentul  $C < S$  poate fi exprimat în mod echivalent prin evenimentul  $\ln \frac{C}{S} < 0$  (în situația în care variabilele aleatoare S și C urmează o repartiție log – normală, logaritmiile acestora urmează o repartiție normală):

$$(C < S) = \left(\frac{C}{S} < 1\right) = \left(\ln \frac{C}{S} < 0\right) \equiv (\ln T < 0) \quad (4.45)$$

variabila aleatoare este dată de raportul  $T = \frac{C}{S}$ .

În metodele de calcul bazate pe concepția probabilistică se utilizează pentru diverși coeficienți de siguranță definiți drept raportul dintre unele valori tipice ale variabilelor aleatoare C și S.

Dintre aceștia pot fi menționați următorii:

- coeficientul de siguranță central:

$$\theta_0 = \frac{M_{(C)}}{M_{(S)}}, \quad (4.46)$$

reprezentând raportul dintre valorile medii ale variabilelor aleatoare C și S;

- coeficientul de siguranță convențional:

$$\theta = \frac{c_q}{s_p}, \quad (4.47)$$

reprezentând raportul dintre cuantilul variabilei C corespunzător probabilității q,

$$P_{(C(c_q))} = q \quad (4.48)$$

și cuantilul variabilei S corespunzător probabilității p,

$$P_{(S(s_p))} = p \quad (4.49)$$

Cum în general, o mărire a solicitării S, sau o scădere a capacității portante C, conduce la o micșorare a siguranței, pentru probabilitatea P se adoptă de regulă valori mari ( $0,95 \leq p < 1$ ) și pentru q valori reduse ( $0 < q \leq 0,05$ ).

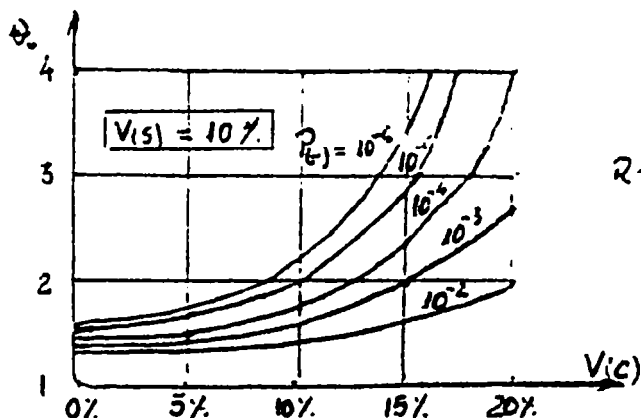
Dacă valorile probabilităților p și q sunt cele prin care se definesc valorile caracteristice ale variabilelor S și C (în general  $p=0,95$  și  $q=0,05$  sau  $q=0,023$ ), atunci coeficientul convențional corespunzător se numește coeficient de siguranță caracteristic.

$$\theta_k = \frac{C_{0,05}}{S_{0,95}} \quad \text{sau} \quad \theta_k = \frac{C_{0,023}}{S_{0,95}}$$

În cazul în care cuantilul  $C_q$  corespunde unei probabilități de 0,005, iar cuantilul  $S_p$  unei probabilități de 0,95 raportul  $\theta^* = \frac{C_{0,005}}{S_{0,95}}$ , se numește coeficient de siguranță de calcul.

Prin intermediul expresiilor integramei de convoluție descrise mai înainte, este posibilă evaluarea probabilității de supraviețuire P(+) sau de avariere P(-), în funcție de timpul repartițiilor variabilelor S și C, de coeficienții de variație ai acestor variabile V(S) și V(C) și de unul din coeficienții de siguranță definiți anterior  $\theta_0, \theta$  (exprimat prin  $\theta_k$  sau  $\theta^*$ ).

În fig. 4.5.3. de mai jos este reprezentată grafic influența acestor factori asupra probabilității P(-) în situația în care S și C urmează repartiția normală.



repartiție normală  
(S și C)

Fig. 4.5.3. Probabilitatea de avariere P(-) în funcție de coeficientul de siguranță  $\theta_0$  și de coeficientul de variație al capacității portante V(C) în cazul când S și C urmează repartiția normală, iar coeficientul de variație al solicitării este: V(C) = 10%.

Conform formulării problemei de bază a siguranței, calculul probabilității de supraviețuire sau de avariere se bazează pe cunoașterea tipurilor de repartiții (distribuții) ale variabilelor aleatoare S și C. Tipurile de repartiții care se utilizează în mod frecvent pentru variabilele aleatoare continue care intervin în analiza probabilistică a siguranței sunt cele menționate la cap. 2 al lucrării.

În categoria variabilelor continue se cuprind următoarele:

- încărcări permanente;
- limită de curgere și rezistență la rupere a oțelului;
- abaterile dimensiunilor unor profile de la dimensiunile normale;
- erori ale unor măsurători.

Cunoscând pentru fiecare dintre variabilele S și C tipul repartițiilor și valorile parametrilor care o caracterizează, tehnicile de calcul probabilistic au ca obiect evaluarea probabilităților date de relațiile P(+) și P(-).

În realitate problema evaluării siguranței pe baza concepției probabilistice este de regulă mult mai complexă decât cea corespunzătoare situației de bază descrisă mai înainte, în care atât efectul încărcării S cât și capacitatea portantă C se exprimă printr-o variabilă aleatoare unidimensională.

Astfel, în general, solicitarea S se poate exprima sub forma unei funcții de forma:

$$S = g(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n; \alpha_x) \quad (4.50)$$

în care  $X_i$  (pentru  $i=1, 2, \dots, n$ ) sunt variabile aleatoare, printre care unele reprezintă o serie de constante sau funcții deterministe, unele dintre acestea putând caracteriza idealizarea acțiunilor, abaterile datorate deficiențelor actuale ale teoriilor referitoare la încărcări, la grupările de încărcări și la efectele încărcărilor, etc.

În mod similar capacitatea portantă C, în raport cu solicitarea S, poate fi exprimată sub forma unei funcții h de forma:

$$C = h(Y_1, Y_2, \dots, Y_j, \dots, Y_m; \alpha_y) \quad (4.51)$$

în care  $Y_j$  (pentru  $j=1, 2, \dots, m$ ) sunt variabile aleatoare reprezentând caracteristicile de rezistență, de rigiditate, precum și alte caracteristici structurale, iar  $\alpha_y$  reprezintă o serie de constante sau funcții deterministe, unele dintre ele caracterizând abateri datorită deficiențelor actuale ale teoriilor referitoare la comportarea structurilor, datorită execuției, etc.

În funcție de gradul de adâncire a analizei probabilistice a siguranței se disting mai multe metode de calcul la baza cărora stau concepții diferite, unele mai vechi, altele mai noi, dintre care unele se pretează calculului manual, iar altele calculului computerizat, iar cele mai noi sunt încă în faza de cercetare.

Am ales pentru exemplificare două metode:

- metoda indicatorului probabilistic al siguranței, care corespunde unei concepții probabilistice aproximative;
- metoda exactă Monte Carlo care corespunde unei concepții probabilistice riguroase ce se distinge prin aplicarea unei metode numerice superioare ca precizie în vederea rezolvării problemelor de calcul ridicate de evaluarea probabilităților care caracterizează comportarea sigură sau nesigură a unor structuri sau elemente de construcție metalică în raport cu diverse stări limită care pot interveni.

Metoda indicatorului probabilistic al siguranței se distinge din punct de vedere al aplicării concepției probabilistice, prin următoarele trăsături esențiale:

- considerarea simultană a variabilității întâmplătoare a factorilor de bază care determină siguranța construcțiilor ținând seama și de dependența statistică care poate avea loc între variabilele  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ , pe de o parte sau între variabilele  $y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m$ , pe de altă parte;

- caracterizarea aproximativă a variabilității întâmplătoare a acestor factori prin utilizarea numai a momentelor de ordine inferioară ale repartițiilor, cum sunt dispersiile și valorile medii sau prin abaterea standard și coeficienții de variație;
- exprimarea condiției de siguranță sub forma  $\beta \geq \beta_a$  în care  $\beta$  este un indicator probabilistic al siguranței în raport cu starea limită considerată, a cărei valoare depinde numai de momentele de ordine inferioare ale repartițiilor variabilelor aleatoare, iar  $\beta_a$  reprezintă un indicator al siguranței stabilit apriori și considerat acceptabil pentru starea limită respectivă. Indicatorul probabilistic al siguranței  $\beta$  se poate stabili în mai multe moduri, unul dintre acestea fiind următorul:

considerăm:  $Z = \Delta(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n; y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m; \alpha_x, \alpha_y)$  ca fiind funcția care cuprinde toți factorii de bază de care depinde siguranța structurii în raport cu starea limită considerată, exprimată astfel încât inegalitatea  $Z < 0$  definește domeniul comportării nefavorabile  $C < S$ , iar  $Z \geq 0$ , definește domeniul comportării sigure  $C \geq S$  existând mai multe posibilități de exprimare analitică a acestei funcții printre care:

$$Z = C - S$$

$$Z = -\frac{C}{S} - 1$$

$$Z = h - \frac{C}{S}$$

În expresia funcției de bază  $Z$  o parte dintre variabilele aleatoare  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m$  pot fi corelate, caz în care printr-o transformare ortogonală a acestor variabile se poate obține șirul de variabile necorelate  $x_1^*, x_2^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*, y_1^*, y_2^*, \dots, y_j^*, \dots, y_m^*$ , în expresiile cărora intervin și constantele cuprinse în  $\alpha_x$  și  $\alpha_y$ ;

Astfel, după această transformare funcția de bază  $Z$  devine:

$$Z^* = \Delta^*(x_1^*, x_2^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*; y_1^*, y_2^*, \dots, y_j^*, \dots, y_m^*)$$

Se presupune că suprafața exprimată prin ecuația  $Z^* = 0$ , poate fi aproximată printr-un plan tangent într-un punct notat  $M$ , astfel ales încât eroarea rezultată prin această liniaritate să fie minimă.

Dacă în mod convențional se acceptă pentru coordonatele punctului  $M$  valorile medii  $M(x_1^*), M(x_2^*), \dots, M(x_i^*), \dots, M(x_n^*), M(y_1^*), M(y_2^*), \dots, M(y_j^*), \dots, M(y_m^*)$  ale variabilelor aleatoare care intervin în relația  $Z^*$  atunci forma liniarizată a funcției  $Z^*$  este următoarea:

$$Z^* = \Delta^* [M(x_1^*), M(x_2^*), \dots, M(x_i^*), \dots, M(x_n^*), M(y_1^*), M(y_2^*), \dots, M(y_j^*), \dots, M(y_m^*)] + \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial \Delta^*}{\partial x_i^*} \right)_M \cdot [x_i^* - M(x_i^*)] + \sum_{j=1}^m \left( \frac{\partial \Delta^*}{\partial y_j^*} \right)_M \cdot [y_j^* - M(y_j^*)] \quad (4.52)$$

unde simbolul  $(*)_M$  indică faptul că derivatele parțiale din paranteză sunt calculate în punctul  $M$ .

Această funcție liniară este caracterizată prin următoarele valori tipice:

- valoarea medie:

$$M_{(Z^*)} = \Delta^* [M_{(x_1^*)}, M_{(x_2^*)}, \dots, M_{(x_i^*)}, \dots, M_{(x_n^*)}, M_{(y_1^*)}, M_{(y_2^*)}, \dots, M_{(y_j^*)}, \dots, M_{(y_m^*)}] \quad (4.53)$$

- abaterea medie pătratică:

$$\sigma_{[z^*]} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial \Delta^*}{\partial x_i} \right)_M^2 \cdot \Delta(x_i) + \sum_{j=1}^m \left( \frac{\partial \Delta^*}{\partial y_j} \right)_M^2 \cdot \Delta(y_j)} \quad (4.54)$$

Indicatorul probabilistic al siguranței  $\beta$  se definește ca fiind raportul între valoarea medie și abaterea medie pătratică:

$$\beta = \frac{M(Z^*)}{\sigma(Z^*)} \quad (4.55)$$

Deoarece această relație se poate scrie și sub forma echivalentă  $M(Z^*) - \beta\sigma(Z^*) = 0$ , rezultă că  $\beta$  reprezintă numărul de abateri standard  $\sigma(Z^*)$  cuprinse în distanța dintre punctul  $M(Z^*)$  și suprafața  $Z^*=0$ , care separă domeniul comportării nefavorabile ( $C < S$ ) de domeniul comportării sigure ( $C > S$ ).

Ca aplicația a acestei metode în cazul elementelor de structură metalică ale clădirii reactoarelor de tip CANDU-PHWR se poate da cazul unei grinzi metalice dublu încastrate, de secțiune constantă cu deschiderea „l”. Grinda face parte din structura unei platforme metalice și este supusă acțiunii unei încărcări cu caracter static uniform distribuită „q” (vezi fig. 4.54).

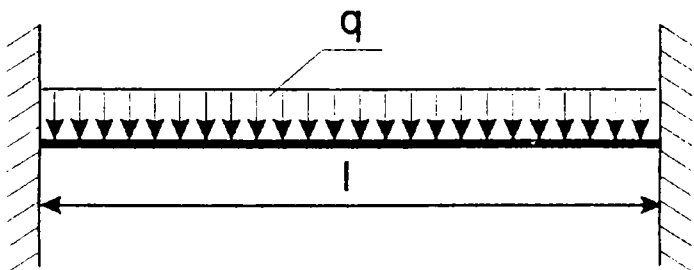


Fig. 4.54 Grinda unei platforme metalice din clădirea reactorului de tip CANDU-PHWR

Considerând încărcarea „q” și limita de curgere a oțelului  $\sigma_c$  drept variabile aleatoare independente și admitând că dimensiunile geometrice ale acestei grinzi cu valori certe (nealeatoare) indicatorul de siguranță în raport cu limita domeniului la comportare elastică (reprezentată de atingerea efortului unitar de curgere în punctul cel mai sollicitat al structurii) este dat de raportul:

$$\beta = \frac{M(Z^*)}{\sqrt{D(Z^*)}} = \frac{M(\sigma_c - \sigma_{ef})}{\sqrt{D(\sigma_c - \sigma_{ef})}} = \frac{M(\sigma_c) - M(\sigma_{ef})}{\sqrt{D(\sigma_c) + D(\sigma_{ef})}}, \quad (4.56)$$

în care  $\beta$  este variabilă aleatoare, reprezentând efortul unitar efectiv sub încărcarea q:

$$\sigma_{ef} = \frac{ql^2}{12W_q}, \quad (4.57)$$

Ținând cont de proprietățile valorii medii și ale dispersiei, relația de mai sus a indicatorului  $\beta$ , devine:

$$\beta = \frac{M(\sigma_c) - \frac{l^2}{12W_q} \cdot M(q)}{\sqrt{D(\sigma_c) + \frac{l^4}{144W_q} \cdot D(q)}}, \quad (4.58)$$

Considerând pentru grinda din fig. 4.5.4. următoarele date: deschiderea de  $l=6m$ , modulul de rezistență elastic  $W_e=354cm^3$  (I 24), limita de curgere aleatoare a oțelului  $\sigma_c$  cu valoarea medie  $M(\sigma_c) = 29,4daN/mm^2$  și dispersia  $D(\sigma_c) = 7,44daN^2/mm^2$  (vezi tabelul 1 din anexă) și presupunând încărcarea aleatoare q

caracterizată prin valoarea medie  $M_{(q)} = 2000 \text{ daN/m}$  și prin coeficientul de variație  $V_{(q)} = 10\%$  (deci dispersia  $D_{(q)} = M^2 \cdot V^2_{(q)} = 2000^2 \cdot 0,1^2 = 40 \cdot 10^3 \text{ daN}^2/\text{m}^2$ ), se obține pentru indicele de siguranță  $\beta$  valoarea:

$$\beta = \frac{2940 - \frac{600^2}{12354} \cdot \frac{2000}{10^2}}{\sqrt{7,44 \cdot 10^4 + \frac{600^4}{144 \cdot 354^2} \cdot \frac{40 \cdot 10^3}{10^4}}} = \frac{1245,08}{321,13} = 3,88$$

Astfel:

1. În cazul în care variabilele aleatoare  $q$  și  $\sigma_0$  urmează o repartiție normală, valoarea 3,88 a indicelui de siguranță  $\beta$  corespunde unei probabilități de depășire a limitei stadiului elastic egală cu:

$$P_{(-)} = 0,5 - \phi(3,88) = 0,5 - 0,499948 = 0,000052,2 \cdot 10^{-5}$$

(vezi relația (4.43) din lucrare și tabelul 2 din /11/).

2. dacă în locul unui profil I 24 grinda din fig. 4.5.4. este confecționată dintr-un profil I 22 ( $W_e = 278 \text{ cm}^3$ ) în locul valorii de 3,88 a indicelui de siguranță se obține valoarea:

$$\beta = \frac{781,73}{347,82} = 2,25$$

În această situație presupunând  $q$  și  $\sigma_c$  normal repartizate, probabilitatea de depășire a limitei stadiului elastic este:

$$P_{(-)} = 0,5 - \phi(2,25) = 0,5 - 0,487776 = 0,012224 = 1222,4 \cdot 10^{-5}$$

Se observă că probabilitatea  $P_{(-)}$  a crescut de circa 225 ori în cazul unui profil I 24.

3. În cazul în care limita domeniului de comportare elastică s-ar considera situația reprezentată de atingerea momentului plastic în secțiunea cea mai sollicitată (admitând redistribuția eforturilor pe secțiune, ce se exprimă cantitativ prin valoarea coeficientului de forma  $K = W_p/W_e$ ), presupunând grinda confecționată dintr-un profil I 24 ( $W_p = K W_e = 1,12354 = 396,5 \text{ cm}^3$ , s-a admis  $K = 1,12$ ), indicele de siguranță corespunzător are valoarea :

$$\beta = \frac{1426,76}{311,93} = 4,57$$

Dacă  $q$  și  $\sigma_c$  sunt normal repartizate, valoarea 4,57 a indicelui de siguranță  $\beta$  corespunde unei probabilități de comportare nefavorabilă (reprezentată de depășirea momentului plastic din secțiunea cea mai sollicitată) egală cu :

$$P_{(-)} = 0,5 - \phi(4,57) = 0,5 - 0,499998 = 0,2 \cdot 10^{-5}$$

Se observă că probabilitatea  $P_{(-)}$  scade de circa 26 ori în cazul admiterii redistribuției plastice a eforturilor pe secțiunea cea mai sollicitată. Dacă pentru grinda din fig. 4.5.4 verificarea siguranței este efectuată față de situația limită a transformării acesteia în mecanism de cedare, indicatorul probabilistic al siguranței este dat de expresia:

$$\beta = \frac{M\left(\frac{16W_p}{l^2} \cdot \sigma_c - q\right)}{\sqrt{D\left(\frac{16W_p}{l^2} \cdot \sigma_c - q\right)}} = \frac{\frac{16W_p}{l^2} \cdot M(\sigma_c) - M(q)}{\sqrt{\frac{256W_p}{l^4} \cdot D(\sigma_c) + D(q)}}, \quad (4.59)$$

În această situație, considerând grinda realizată dintr-un profil I 24 ( $W_p = 1,12$ ,  $W_e = 396,5 \text{ cm}^3$ ), se obține:

$$\beta = \frac{\frac{16 \cdot 396,5}{600^2} \cdot 2940 - \frac{2000}{10^2}}{\sqrt{\frac{256 \cdot 396,5^2}{600^4} \cdot 7,44 \cdot 10^4 + \frac{40 \cdot 10^3}{10^4}}} = \frac{31,81}{5,21} = 6,10$$

Astfel:

1. În cazul în care variabilele aleatoare  $q$  și  $\sigma_c$  urmează o repartiție normală, valoarea 6,10 a indicelui de siguranță  $\beta$  corespunde unei probabilități de apariție a mecanismului de cedare plastică de circa  $10^{-9}$ , adică:

$$P_{(-)} = 0,5 - \phi(6,10) \cong 10^{-9}$$

2. Dacă în locul unui profil I 24 grinda din fig. 4.5.4. este confecționată dintr-un profil I 22 ( $W_p = 1,12 \cdot 12278 = 311,4 \text{ cm}^3$ ), în locul valorii 6,10 a indicelui de siguranță în raport cu cedarea plastică, se obține valoarea:

$$\beta = \frac{20,69}{4,24} = 4,84$$

Această valoare corespunde, în cazul unei repartiții normale a variabilelor  $q$  și  $\sigma_c$ , probabilității:

$$P_{(-)} = 0,5 - \phi(4,84) \cong 6 \cdot 10^{-7} \text{ de cedare a grinzii.}$$

Metoda exactă corespunde unei concepții probabilistice riguroase (treapta a III-a) care se distinge prin aplicarea unor metode numerice superioare ca precizie în vederea rezolvării problemelor de calcul ridicate de evaluarea probabilităților care caracterizează comportarea sigură (sau nesigură) a unor structuri sau elemente de construcție în raport cu diverse stări limită care pot să intervină.

Evaluarea probabilităților prin care se caracterizează siguranța unei structuri ar trebui să se facă în raport cu ansamblul stărilor limită și schemelor de încărcare posibile cu considerarea explicită a parametrului timp, atât din punct de vedere al fenomenelor dinamice, cât și din acela al durabilității construcțiilor, ținând seama și de posibilitatea unei corelații între S și C. Determinarea efectivă a acestor probabilități riguroase. Din cauza insuficienței datelor existente și a dificultăților de calcul, evaluarea exactă a acestor probabilități este la ora actuală accesibilă doar în activitățile de cercetare, în unele situații idealizate.

Din acest motiv, în analiza probabilistică a siguranței structurilor își face loc în mod progresiv metoda experimentărilor statistice, MONTE CARLO. Această metodă se dovedește a fi destul de utilă în special când, din cauza complexității problemei, metodele analitice devin inoperante. În literatura de specialitate [1], metoda MONTE CARLO, este legată de metodele de simulare, ca și metoda numerelor aleatoare.

Cei mai mulți autori au conceput simularea ca pe o tehnică de construire a unui model matematic sau nu, al unei situații reale, astfel încât să fie posibilă operarea de experiențe cu calculatorul asupra modelului.

În funcție de model, care poate fi concret, fizic sau abstract se disting în general două tipuri de simulare: analogică și numerică.

Denumirea de metoda MONTE CARLO a fost acceptată pentru faptul că primele tabele de numere aleatoare utilizate au fost cele realizate cu ajutorul ruletelor de la cazinoul MONTE CARLO.

Dezvoltarea acestor metode s-a realizat odată cu dezvoltarea calculatoarelor electrice care au permis pe de o parte generarea cu ușurință a numerelor aleatoare uniform repartizate, iar pe de altă parte, rezolvarea unor probleme de simulare mult mai complexe, inaccesibile metodelor clasice de calcul. Principala problemă de calcul care se rezolvă de obicei prin metoda MONTE CARLO, este problema estimării valorii medii a unei variabile



aleatoare, adică problema calculului unei integrale de tip LEBESGUE în raport cu o anumită măsură de probabilitate.

Cel mai studiat caz când momentul de ordinul al II-lea al variabilei aleatoare este finit. Schema de clacul în acest caz constă în a calcula realizări independente ale variabilei aleatoare și valoarea medie a variabilei care se estimează cu ajutorul mediei aritmetice a acestor realizări. Esența procedurii constă în faptul că printre estimatorii liniari nedepasați ai valorii medii, media aritmetică are dispersia minimă. Estimația erorii poate fi obținută cu ajutorul inegalității CEBISEV, ca în relațiile de mai jos. De fapt majoritatea schemelor metodei MONTE CARLO se bazează pe legea numerelor mari pentru variabile aleatoare independente.

Pentru exemplificare, fie  $\zeta_1, \dots, \zeta_n$  variabile independente și identic repartizate. Presupunem că există  $M\zeta_x = a$  și  $\Delta\zeta_x = \sigma^2$  și notăm  $S_n = \sum_{x=1}^n \zeta_x$ .

În acest caz, pentru  $\varepsilon > 0$  este verificată inegalitatea lui CEBISEV:

$$P(|S_n/n - a| \leq \varepsilon) \geq 1 - \sigma^2 / n \cdot \varepsilon^2 \quad (4.60)$$

$$P(|S_n/n - a| > \varepsilon) \leq \sigma^2 / n \cdot \varepsilon^2 \quad (4.61)$$

De aici rezultă cea mai simplă variabilă a legii numerelor mari și anume: pentru  $\varepsilon > 0$  și  $\sigma > 0$  arbitrare, pentru „n” suficient de mare, media aritmetică  $S_{n/n}$  diferă de „a” cu o mărime de cel mult  $\varepsilon$ , cu o probabilitate de cel puțin  $1 - \delta$ .

Dacă se fixează un  $\gamma$  suficient de mic și se pune

$$\gamma = \sigma^2 / N \cdot \varepsilon^2 \text{ sau } \varepsilon = \sigma / \sqrt{N \cdot \gamma},$$

se obține:

$$P = \left( \left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \xi - M\xi \right| \leq \frac{\sigma}{(N \cdot \gamma)^{1/2}} \right) > 1 - \gamma \quad (4.62)$$

adică probabilitatea cel puțin  $1 - \gamma$ , media aritmetică a realizărilor independente ale lui  $\xi$  diferă de  $M\xi$  cu cel mult  $\sigma / \sqrt{N \gamma}$ .

Pentru  $\sigma$  și  $\gamma$  fixați, eroarea descrește proporțional cu  $N^{-1/2}$ .

Dacă sunt îndeplinite condițiile de aplicabilitate ale teoremei limită centrală, atunci pentru „N” suficient de mare, se poate considera că variabila  $1/N \sum_{i=1}^N \xi$  are repartiție normală cu media  $M\xi$  și dispersia  $\sigma^2 / N$ .

Deci problema este legată de estimarea parametrilor repartiției normale, respectiv estimarea valorii medii constituie soluția problemei, iar estimația dispersiei furnizează o estimare a erorii, existând interes evident pentru modalitățile de micșorare a dispersiei.

Problema devine mai grea când trebuie calculată valoarea medie a unei variabile aleatoare al cărei moment la ordinul al II-lea este infinit. În acest caz, este posibilă o reducere la problema anterioară, dar problema este insuficient studiată.

Metoda MONTE CARLO se aplică în fiabilitate prin simularea a „N” stări ale unei structuri cu ajutorul unui model matematic și prin observarea distribuției parametrului de ieșire în urma acestor N simulări.

Astfel se poate evalua statistic performanța inițială a sistemului în funcție de distribuțiile inițiale ale caracteristicilor diferitelor componente. Plecând de la legile de distribuție ale parametrilor interni se obțin „N” valori

simulate pentru modelul matematic ales. Cu rezultatele obținute se trece la trasarea histogramei și funcției de repartiție empirică, calculând media și dispersia, precum și la realizarea statisticilor de control de calitate.

Pentru exemplificare, fie „N” – numărul de simulări și „L” – efortul maxim între funcția de repartiție reală teoretică  $P(N)$  și distribuția empirică  $P_N(x)$ , obținută prin simulare pentru un risc  $\alpha$ .

Pentru  $\mu)35$  rezultă următoarele valori pentru  $\alpha$  și L:

L	0,20	0,15	0,10	0,05	0,01
$\alpha$	$\frac{1,07}{\sqrt{N-1}}$	$\frac{1,14}{\sqrt{N-1}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{N-1}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{N-1}}$	$\frac{1,33}{\sqrt{N-1}}$

De exemplu, dacă se dorește  $L=10,33$ , trebuie ca numărul de simulări să fie  $N=595$  pentru  $\alpha = 10\%$ ;  $N = 740$ , pentru  $\alpha = 5\%$ ;  $N = 1060$ , pentru  $\alpha = 1\%$ ,

Procedurile pentru a conduce o analiză de simulare se desfășoară astfel:

- se definește măsura performanțelor sistemului (prin model matematic, funcțiile de transfer)
- trebuie cunoscute (presupuse) distribuțiile statistice ale parametrilor interni (caracteristicile componentelor)
- o măsură a performanței sistemului este calculată în continuare pentru o serie de numere aleatoare alese din tabelele de numere aleatoare corespunzătoare
- procedura de la c) se repetă până se obține un număr suficient de valori simulate, funcție de precizia dorită, cum s-a arătat mai sus.

În ceea ce privește rezultatele care se obțin, acestea constituie:

- un mijloc de a evalua sensibilitatea structurii la variațiile parametrilor interni;
- un mijloc de a determina toleranțele;
- un mijloc de a compara proiectarea diferitelor sisteme;
- o tehnică de optimizare a performanțelor sistemului;
- un mijloc de a reduce costul unei structuri fără a afecta fiabilitatea sau performanțele.

Aceste tehnici sunt foarte utilizate mai ales în analiza modului de defectare a diferitelor echipamente în industria electrotehnică. În studiul siguranței structurilor metalice, metoda MONTE CARLO a fost aplicată cu succes pentru determinarea probabilistică a capacității portante a barelor metalice supuse la compresiune centrică, ținând seama de variabilitatea aleatoare a imperfecțiunilor structurale și geometrice ale acestora.

În condițiile actuale o analiză probabilistică riguroasă trebuie privită drept o activitate prin care se urmărește realizarea următoarelor obiective:

- obținerea unor concluzii cu caracter practic în unele situații de interes ingineresc, prin aplicarea cărora să se realizeze o asigurare mai rațională a elementelor și structurilor analizate.
- îmbunătățirea sistemului de valori de calcul utilizate în prescripțiile semiprobabile în vigoare și trecerea progresivă la o nouă generație de prescripții care va permite o utilizare mai eficientă a resurselor materiale.

Toate aceste obiective de importanță majoră pot fi realizate prin punerea în valoare a datelor obținute dintr-o analiză probabilistică riguroasă.

#### 4.6. SCURTE APLICAȚII NUMERICE ALE CALCULULUI DE FIABILITATE.

Pentru determinarea indicatorilor de fiabilitate a diverselor materiale utilizate în componența diferitelor structuri metalice ale CNE se pot folosi metode parametrice și neparametrice.

În cazul metodelor parametrice se întâlnesc două situații:

- Situația I, când încercarea de fiabilitate se oprește după ce dintr-un număr fix de „n” produse supuse încercării s-au degradat „r” produse.

De exemplu, un număr de 20 șuruburi de înaltă rezistență se supun încercării de fiabilitate, fiecare șurub care se deteriorează fiind înlocuit cu unul nou. Pe o durată de 407 ore, se observă 5 degradări. Se cere:

a) estimarea mediei timpului de funcționare „m” cu un nivel de încredere bilateral de 95%.

Soluția este următoarea:

Prin datele problemei avem:  $n = 20$ ,  $r = 5$ ;  $x_r = 407$ ;

Viața totală acumulată este:  $T_5 = n \cdot x_r = 20 \cdot 407 = 8140$  ore.

Din relația  $m_{r,n} = \frac{T_{r,n}}{r}$ , rezultă că  $m = \frac{T_5}{5} = \frac{8140}{5} = 1628$  ore

Din anexa 2 după /B4/, se citește:

$$\chi^2_{0,025}(10) = 20,5$$

Substituind în relația:

$$\frac{2 \cdot T_r}{x(2 \cdot r)} < m < \frac{2 \cdot T_r}{x(2 \cdot r)} \quad (4.63)$$

se obține intervalul de încredere bilateral de 95%.

$$\frac{2 \cdot 8140}{20,5} < m < \frac{2 \cdot 8140}{3,25}$$

adică:  $795 < m < 5014$  (m=MTBF)

În cazul când se cere să se determine un interval de încredere unilateral de 95% se utilizează

$$\text{relația: } m < \frac{2 \cdot T_r}{x^2 (2 \cdot r)} \quad (4.64)$$

Unde:  $\chi^2_{0,05}(10) = 18,3$

Se obține:  $m > \frac{2 \cdot 8140}{18,3}$ , adică  $m > 893$  ore

b) estimarea duratei de utilizare  $X_p$  pentru  $p=0,9$ , respectiv estimarea lui  $X_{0,9}$ , astfel ca să avem:

$$P_r(x > x_{0,9}) = 0,9$$

Adică probabilitatea de supraviețuire pentru  $X_{0,9}$  ore este de 0,9.

Se cere, de asemenea, un interval de încredere bilateral de 95% pentru  $X_{0,9}$

Soluția este următoarea:

$$\ln \frac{1}{p} = \ln \frac{1}{0,9} = 0,1054$$

Ca urmare, substituim în relația:

$$x_p = m_r \cdot \ln \frac{1}{p} \quad (4.65)$$

și avem  $x_{0,9} = 1628,01054 = 172$  ore

Substituind și relația:

$$\frac{2 \cdot Tr \cdot \ln \frac{1}{p}}{x(2 \cdot r)} < x_p < \frac{2 \cdot Tr \cdot \ln \frac{1}{p}}{x(2 \cdot r)}; \quad (4.66)$$

se obține pentru intervalul de încredere bilateral de 95%

$$83,8 < x_{0,9} < 528$$

iar substituind în relația:

$$x_p < \frac{2 \cdot Tr \cdot \ln \frac{1}{p}}{x^2(2 \cdot r)}, \quad (4.67)$$

se obține pentru intervalul de încredere unilateral de 95%:

$$x_{0,9} > 93,7$$

c) determinarea valorii  $\tau$ , astfel ca să se poată afirma cu un nivel de încredere de 95% ca cel puțin 90% din produsele supuse încercării vor supraviețui  $\tau$  ore.

Soluția este următoarea:

În exemplul numeric s-a văzut că afirmațiile făcute cu un nivel de încredere bilateral de  $100(1 - \alpha)\%$  cu privire la  $x_p$  au la rândul lor un nivel de încredere de  $100(1 - \alpha)\%$ .

Rezultă din exemplul precedent că putem afirma cu un nivel de încredere de 95%, că cel puțin 90% din produsele încercate supraviețuiesc peste  $\tau = 93,7$  ore.

d) estimarea fiabilității pentru  $t^* = 100$  ore, cu un nivel de încredere unilateral și bilateral de 95%.

Soluția este următoarea:

Estimarea cu verosimilitate maximă a lui  $P_i^*$ , probabilitatea de supraviețuire  $t^* = 100$  ore este dată de:

$$\hat{P}_{i^*} = \exp\left[-\frac{100}{1628}\right] = e^{-0,0614} = 0,9404$$

Similar cu intervalul de încredere bilateral de 95% avem:

$$\exp\left[-\frac{100}{795}\right] < P_i^* < \exp\left[-\frac{100}{5014}\right],$$

$$\text{adică: } 0,8817 < P_i^* < 0,9802$$

Un interval de încredere unilateral de 95% pentru  $P_i^*$  este obținut din relația:

$$P_i^* > \exp\left[-x^2(2 \cdot r) \cdot \frac{t^*}{2 \cdot T_r}\right], \quad (4.68)$$

$$\text{adică: } P_i^* > 0,8936$$

Putem deci afirma cu un nivel de încredere de 95% că fiabilitatea, adică probabilitatea de supraviețuire pe o durată de 100 ore este:

$$P_i^* \geq 0,8936$$

e) verificarea dacă în cazul în care cele 5 degradări au apărut în perioada totală de observație de 8140 ore, putem afirma cu nivel de încredere de 95% că fiabilitatea pentru timpul  $t^*=100$  ore  $\geq 0,80$ .

Soluția este următoarea:

$$\text{Din relația: } T_r = x^2_{\alpha}(2 \cdot r) \cdot \frac{t^*}{2 \cdot \ln \frac{1}{\gamma}}$$

Încredere de 95% este necesar să avem:

$$T_5 \geq x^2_{0,05}(10) \cdot \frac{100}{2 \cdot \ln \frac{1}{0,9}} = 18,3 \cdot \frac{100}{2 \cdot 0,1054} = 8689$$

Deoarece viața totală observată până se obțin 5 degradări este 8140 ore, se poate răspunde afirmativ, adică putem afirma cu un nivel de încredere de 95%, că fiabilitatea pentru  $t^*=100$  ore, este mai mare sau cel puțin egală cu 0,8.

Situația II, când încercarea de fiabilitate se oprește după o durată T fixată dinainte.

De exemplu un lot de 30 șuruburi este supus probei de fiabilitate, produsele care se defectează fiind înlocuite, iar încercarea se oprește după 100 ore.

În cursul încercării au apărut 5 defectări. Admițând o distribuție exponențială a fiabilității, se cere:

a) Să se găsească „m” cu interval de încredere bilateral de 95%.

Soluția este următoarea:

$$\text{Viața totală observată, } T = n \cdot t^* = 30 \cdot 100 = 3000$$

Din tabelul pentru funcția  $x^2$  obținem:

$$x^2_{0,025}(12) = 23,3$$

$$x^2_{0,075}(10) = 3,25$$

Substituind în relația:

$$\frac{2 \cdot T}{x^2_{\frac{\alpha}{2}}(2 \cdot r + 2)} < m < \frac{2 \cdot T}{x^2_{1-\frac{\alpha}{2}}(2 \cdot r)}, \quad (4.69)$$

se obține:

$$257 < m < 1848$$

Substituind în relația :

$$m > \frac{2 \cdot T}{x^2(2 \cdot r + 2)}, \quad (4.70)$$

$$\text{și ținând seama că: } x^2_{0,05}(12) = 21,0$$

cu un interval unilateral de 95% putem afirma că:

$$m > 265 \text{ ore}$$

b) Să se estimeze  $\tau$  astfel încât să putem afirma, cu un nivel de încredere de 95% că fiabilitatea pentru timpul  $\tau$  este de cel puțin 0,9.

Soluția este următoarea:

$$\text{Avem: } T = 3000 \text{ ore, } r = 5, \alpha = 0,05 \text{ și } p=0,9$$

Substituind în relația:

$$\tau = \frac{2 \cdot T \cdot \ln \frac{1}{p}}{x^2_{\alpha}(2 \cdot r + 2)}, \quad (4.71)$$

obținem:

$$\tau = \frac{2 \cdot 3000 \cdot 0,1054}{21,0} = 30,1$$

Pe baza datelor, putem afirma că la un nivel de încredere de 95% ca pentru timpul  $\tau = 30,1$  ore, fiabilitatea este  $\geq 0,9$ .

# CAP.V. ÎMBUNĂTĂȚIREA FIABILITĂȚII GENERALE A CNE PRIN ADOPTAREA UNOR SOLUȚII CONSTRUCTIVE ÎMBUNĂTĂȚITE ÎN VARIANTA STRUCTURILOR METALICE

## 5.1.1. GENERALITĂȚI

După cum am precizat și în capitolele anterioare, la CNE, în ipoteza unui accident nuclear maxim posibil, urmat de pierderea întregii cantități de agent primar și de topirea elementelor combustibile, ceea ce provoacă eliberarea de produse radioactive, este necesară realizarea unui înveliș de protecție etanș care să poată reține în mod sigur vaporii și gazele respective eliberate, realizând totodată și o protecție biologică bună. Această construcție a învelișurilor de protecție care este anvelopa, trebuie să reziste condițiilor cele mai grele, la o presiune de 3-5 Kg/cm<sup>2</sup> și la o temperatură de cca. 180°C, realizând totodată protecția biologică și etanșarea corespunzătoare.

Așa cum am mai arătat, soluția de anvelopare aleasă și pentru CNE de tip CANDU-PHWR, constând în principiu dintr-o anvelopă de beton capabilă să reziste condițiilor create de accidentul maxim de proiectare nu pare a fi printre cele mai eficiente sisteme de izolare. Afirmatia se bazează pe compararea cantității totale de produse de fisiune eliberate în atmosferă de fiecare sistem în parte, la accidentul maxim posibil, stabilite pe baza cercetărilor lui Forbess și prezentate în lucrare.

Întrucât anvelopa nu este calculată pentru orice fel de accidente severe peste cele de bază de proiect, utilizarea unei astfel de soluții ar mări capacitatea sa și pentru aceste accidente.

După experiența dobândită până acum în lume /8/, /28/, /6/ etc., se poate spune că soluția de anvelopare numai cu beton, fie și el special, cu alicie de plumb, boritină, limonită, sau oxidorură de magneziu, are dezavantajul creării posibilității apariției unor fisuri sau segregări în beton, deficiențe foarte greu de rezolvat prin reparații superficiale cum ar fi acoperirea cu vopsele speciale (Epoxi sau Narac) a suprafețelor din beton pentru constituirea barierei biologice la interiorul anvelopei de beton a clădirii reactorului, dar care asigură totuși o etanșare ce conduce la pierderi mai mici de 0,5%/zi, în condiții de presiune maximă.

Pentru obținerea unor pierderi mai mici prin anvelopă, la unele CNE (Obrigheim, Stade, Biblis) s-a adoptat soluția fie a căptușirii construcției din beton cu o manta de oțel, ceea ce asigură scăpări sub 0,1%/zi, fie a realizării între peretele exterior de beton și mantaua internă din oțel a unui spațiu în care există permanent o depresiune față de incinta reactorului, astfel încât la apariția unor degajări de abur și gaze care pătrund prin neetanșabilitățile mantalei din oțel, acestea sunt reținute în spațiul dintre ele, de unde sunt aspirate și trimise la o instalație de filtrare și apoi evacuate în atmosferă, scăpările prin sistem nedepășind 0,2 până la 0,25%/zi.

În acest sens se consideră că poate fi rezolvată problema la CNE, atât la înutățile aflate în exploatare, cât mai ales la unitățile aflate în construcție, eliminând în mare parte riscurile unor contaminări radioactive ale mediului înconjurător în cazul unui accident.

O altă variantă a soluției de mai sus ar fi căptușirea cu aluminiu care are avantajul asigurării unei bune compotări la radiații și la decontaminare fără a fi protejat, dar nu poate fi utilizat în zonele cu pericol de temperaturi ridicate.

Acest inconvenient ar putea fi eliminat sau limitat, fie prin utilizarea la fabricația aliajelor de aluminiu a unor elemente de aliere cum sunt: Cu, Ni, Fe, Mg și Si, care-i îmbunătățesc comportarea la temperaturi ridicate, fie prin protejarea în aceste zone cu vopsele rezistente la temperaturi înalte cum sunt cele pe bază de silicați de litiu sau titanat de butil. O soluție și mai bună în cazul utilizării aliajelor de aluminiu ar fi căptușirea la exterior a

anvelopei, caz în care s-ar elimina dezavantajele menționate mai sus și în plus s-ar asigura și o finisare corespunzătoare a clădirii reactorului asigurându-i totodată și un aspect arhitectonic deosebit.

Pentru ambele variante de căptușire propuse (oțel și aluminiu), reducerea costurilor de realizare s-ar putea obține prin micșorarea corespunzătoare a grosimii peretelui de beton.

## 5.1.2. CRITERII STRUCTURALE ALE ANVELOPELOR CNE TIP CANDU-PHWR

### 5.1.2.1. CRITERII DE FUNDARE

Ținând cont că materialul de fundare pe amplasament al clădirii reactorului trebuie să fie cât mai omogen, trebuie avute în vedere următoarele criterii și cerințe:

- condițiile de amplasament prevăd ca toate elevațiile să aibă ca referință nivelul Mării Baltice (B.S.L.);
- datele hidrologice trebuie să conțină referințe la nivelul pânzei freatice;
- datele despre sol se referă atât la fundațiile în piatră unde formațiunile de rocă trebuie să fie identificate și comparate cu documentațiile analitice, cât și la fundațiile în filon granular, ținând cont de proprietățile solului date fie de parametri rezistenței la forfecare (coeziunea  $\text{daN/cm}^2$  și unghiul de frecare internă- $\phi$ ), modulii statici (modulul de elasticitate Young,  $\text{daN/cm}^2$ , modulul de forfecare,  $\text{daN/cm}^2$ , și coeficientul Poisson) și parametri dinamici (modulul de forfecare și coeficientul dinamic Poisson), fie de alte proprietăți ingineresti cum sunt: greutatea specifică -  $\text{t/m}^3$ -, porozitatea -%-, limita lichidă și plastică -%-, și rezistența la strivire - $\text{daN/cm}^2$ -, determinate în cele trei stări: naturală, uscată și saturată, toate în funcție de formațiunea de sol identificată. Se are în vedere, de asemenea, protecția la îngheț care în acest caz prevede ca terenul de fundare să fie cel puțin la 1 m sub nivelul solului.
- datele seismologice care asigură că zona este stabilă geologic, iar seismicitatea în zonă este guvernată de cutremurele cunoscute în regiune.

Amortizarea totală a sistemului de interacțiune a structurii solului constă în amortizarea internă și în amortizarea radiației. Amortizarea internă a materialului pentru toate mediile se presupune a fi de 2% din nivelul critic. Amortizarea radiației este introdusă în sistemul informațional și reprezintă caracteristicile de amortizare actuale ale mediului de sol semiinfiniț și depinde de caracteristicile sistemului analizat.

- încărcările de proiectare sunt date de împingerea laterală a pământului care se calculează în cele trei variante și anume:

a) umplutura de pământ granular, cu formula:

$$p = k[\gamma_r h + \gamma_{sub}(z-h) + \gamma_w(z-h)], \quad (5.1.)$$

unde:  $p$ - presiunea orizontală a pământului la adâncimea "z"

$k$ - coeficientul împingerii pământului dat în tabele funcție de tipul solului

$\gamma_r$ - greutatea specifică a materialului granular, umezit sau saturat, dat în tabele, funcție de tipul solului

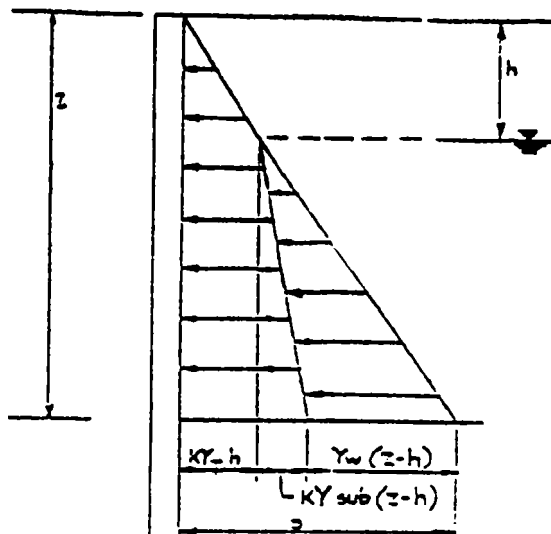
$\gamma_{sub}$ - greutatea specifică a materialului submersibil, dat în tabele, funcție de tipul solului

$h$ - nivelul pânzei freatice

$z$ - adâncimea de referință în subsol

$\gamma_w$ - greutatea specifică a apei





**Figura 1 Împingerea laterală a pământului în cazul umpluturii de pământ granular**

b) împingerea laterală a pământului în cazul seimelor, cu formula:

$$\Delta PAE = (W_{OAB}) (Kh) \quad (5.2.)$$

unde:

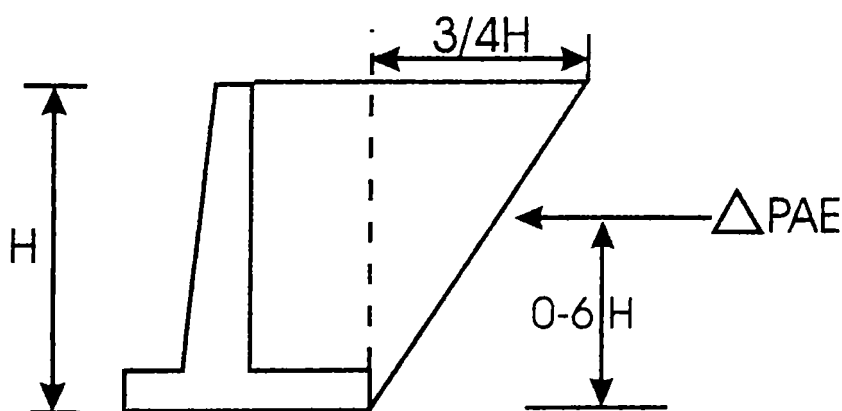
$\Delta PAE$  forța activă din încărcarea dinamică

$W_{OAB}$  greutatea saturată a porțiunii triunghiulare la distanța  $3/4 H$

$Kh$  accelerația

$$\Delta PAE = 1/2 \text{ sat } H(3/4H) (Kh) = 3/8 \text{ sat } H^2(Kh) \quad (5.3.)$$

$\Delta PAE$  se aplică la  $0,6H$  de la baza fundației.



**Figura 2 Împingerea laterală a pământului în cazul cutremurului**

c) umplură cu argilă, cu formula:

$$p_s = \gamma z \text{tg}^2(45 - \phi/2) - 2c \text{tg}(45 - \phi/2) + \gamma_w(Z-h) \quad (5.4.)$$

dar ținând cont că la argilă  $\phi$  este 0, ecuația de mai sus se reduce la:

$$p_s = \gamma z - 2c + \gamma_w(Z-h) \quad (5.5.)$$

unde  $a$  este greutatea specifică a argilei, iar  $c$ , un coeficient al materialului, funcție de gradul de saturație dat în tabele

- combinațiile de încărcări date atât pentru determinarea forței portante admisibile a rocii, cât și pentru calculul structurii la răsturnare și alunecare

### 5.1.2.2. Criterii de analiză și proiectare pentru structura anvelopei

Pentru întreaga clădire a reactorului și în particular pentru anvelopa de siguranță se utilizează analiza pe computer prin metoda elementelor finite, reprezentate de matricea de rigiditate echivalentă.

Diferitele analize sunt efectuate după cum urmează:

a) Analiza statică a întregii anvelope, considerată ca o construcție liniară elastică axisimetrică.

Acest lucru se poate face folosind programul elementelor finite DANUTA.

Cazurile de încărcare sunt considerate astfel:

- încărcarea permanentă din greutatea proprie a anvelopei
- încărcarea permanentă din structura internă a clădirii reactorului și a echipamentului (ex. Sistemul de stropire)
- încărcarea temporară (apa de stropire, zăpada)
- forțele diferitelor sisteme de precompresiune, luate separat
- presiunea internă
- creșterea temperaturii în mod uniform în fiecare parte a structurii
- gradientul temperaturii funcție de grosimea fiecărei părți a structurii.

b) Analiza statică a construcției anvelopei, făcută pentru obținerea eforturilor la baza și perețele perimetral al anvelopei. Sarcinile considerate sunt greutatea cofrajului precum și cea a betonului proaspăt turnat, în patru stadii de amplasament consecutive.

c) Analiza non-axisimetrică, folosind programul elementelor finite STARDYNE, care ia în calcul natura neaxisimetrică a proprietăților rocii de fundare și geometria structurii interne. Sarcina considerată este greutatea proprie a anvelopei și a structurii interne a clădirii reactorului, luând în considerație secvențele de realizare a construcției.

d) Analiza statică a cocentratorilor de tensiune în jurul deschiderilor permanente. În acest caz se izolează un segment al zidului perimetral care este supus unei analize a elementelor finite condus de programul STARDYNE. Sunt luate în considerare toate încărcările, inclusiv cele provenite din presiunea aerului.

e) Analiza statică a concentratorilor de tensiune în jurul deschiderilor temporare, condusă prin programul STRUDL, cu referire la cazurile particulare și luând în considerare sarcinile adiționale, incluzând diferitele contracții și alunecări între împrejmuirea de beton și închiderea golului.

f) Analiza statică a platformei de susținere a sistemelor de stropire, făcută cu ajutorul programului STRESS 3.0. Încărcările luate în considerare în acest caz sunt greutatea proprie, greutatea apei și forța statică echivalentă din seism.

g) Analiza dinamică seismică a anvelopei, folosind sistemul STARDYNE pe un model de element finit. Nivelele de amplitudine pentru deformări, accelerații, eforturi și forțe corespund spectrului terenului pentru un cutremur DBE, luându-se în calcul interacțiunea dintre fundația și structura anvelopei. Solicitățile dinamice se adaugă la solicitările obținute din analiza statică în conformitate cu combinațiile de eforturi stabilite.

În ceea ce privește încărcările considerate în calcul, acestea sunt:

- încărcări din zăpadă și vânt
- încărcări hidrologice
- temperatura exterioară

- temperatura mediului ambiant
- temperatura apei de stropire
- nivelele de proiectare seismică SBE și SDE pentru seism orizontal și vertical.

Se recomandă următoarele combinații de încărcări pentru respectarea condițiilor de mai jos:

1 Operare normală + cutremur de bază de amplasament

$$NT = F + D + L + SDE, \quad (5.6.)$$

unde NT- condiția fără întindere la suprafața interioară a betonului anvelopei, la nivelul peliculei de epoxi

F- forța de pretensionare garantată, echivalentă cu forța convențională estimată până la sfârșitul duratei de viață a centralei, multiplicată cu coeficientul  $K_1$ ,

$K_1$ -factorul de reducere a capacității de pretensionare egal cu 0,90

D-încărcările permanente ale structurii

L-încărcările temporare din zăpadă, ploi, vânt, incluzând echipamente, apa de stropire, împingerea pământului dilatarea și contractarea betonului.

SDE- cutremur de proiectare de amplasament.

2 Încercarea de permeabilitate sub presiune:

$$NT = F + D + L + 1,15 P_1 + \Delta T_1, \quad (5.7.)$$

Unde  $P_1$  - presiunea la accidentul de bază de proiectare

$$(124,11 \text{ KPa} = 1,24 \text{ daN/cm}^2)$$

$\Delta T_1$  - diferența maximă de temperatură în structură, anticipată la timpul încercării.

3 Operare normală + Cutremur de proiectare de amplasament + Temperatură

$$NT = F + D + L + \Delta T_0 + SDE, \quad (5.8.)$$

unde  $\Delta T_0$  diferența maximă de temperatură sezonală în structură în condiții normale de operare

4 Accident de bază de proiectare:

$$NC = F + D + L + P_1 + \Delta P + \Delta T_s + Y, \quad (5.9.)$$

unde NC - condiția fără fisurarea suprafețelor interioare ale betonului anvelopei la nivelul peliculei de epoxi.

În cazul acestei condiții efortul de întindere în beton este dat de efortul de întindere la starea limită multiplicat cu coeficientul  $K_2$

$K_2$  - factorul de finisare a betonului care ține cont de modificarea caracteristicilor și proprietăților betonului în timpul punerii în operă precum și de presupunerile ingineresti și este egal cu 0,85.

$\Delta P$ -tranzientul simetric sau asimetric la presiuni la accidentul de bază de proiectare.

$\Delta T_s$ - diferența temperaturii efective în structura anvelopei în cazul accidentului de bază de proiectare.

Y-încărcarea din ruperea țevilor la nivelul  $P_1$

5 Cutremur de bază de proiectare și ruperea neînsemnată a sistemului de transport abur sub presiune (HTS):

$$NC = F + D + L + DBE + P_2 + \Delta T_s$$

Unde DBE - cutremur de bază de proiectare

$P_2$  - presiunea aburului la rupere neînsemnată a HTS

$$(75,85 \text{ KPa} = 0,76 \text{ daN/cm}^2).$$

### 5.1.2.3. Criterii de analiză și proiectare pentru structura internă a clădirii din b.a. a reactorului de tip CANDU-PHWR

Structura internă este definită ca parte a clădirii reactorului, care este inclusă în structura anvelopei. Funcția sa principală este să găzduiască și să suporte sistemele și echipamentele generatoare de aburi nucleari. Structura, ca un tot, este independentă de zidul perimetrului și este legat numai de structura anvelopei prin placa de bază pe care își are fundația.

Structura este nominal circulară în plan cu un diametru de 41 m și o înălțime totală de 40 m. În general, este compusă din următoarele elemente:

a) cinci platforme majore la diferite nivele. Grosimea acestor platforme variază între 0,3m și 2,4m.

b) Pereții și coloanele care suportă platformele superioare, așezate într-un mod iregular, dar simetric cu axa orizontală CR a clădirii.

c) Bolta calandriei care găzduiește ansamblul calandriei. Este o structură în formă de cutie, cu două deschideri largi în care se află ecranele de protecție ale ansamblului calandriei. Partea interioară a zidurilor calandriei este acoperită cu un strat de oțel asigurându-se impermeabilitatea la apă.

d) Zona de transfer a combustibilului folosit este o parte a suprafeței de separație a anvelopei, dar este inclusă în această structură. Zona de transfer a combustibilului folosit este de asemenea o structura care reține apa.

e) Echipamente de structură din oțel, suporturi, platforme, pasarele și scări, în diferite locații.

f) Macarale și monoraiuri.

Acest paragraf descrie pe scurt modul de proiectare pentru elementele structurale majore ale structurii interne și soluțiile pentru problemele de inginerie tehnică asociate.

Planul și datele de încărcare pentru structura internă ale CNE de tip CANDU-PHWR se bazează pe cerințele pentru protecția și amplasarea centralei și sunt la fel cu referințele structurii interne a centralei. Oricum, unele aspecte ale cerințelor sunt unice așezării centralei. De aceea, investigații și proiecte de solicitare sunt cerute în mod specific pentru un anumit amplasament.

Aceste cerințe unice sunt:

a) Spectrul specific de răspuns al terenului pentru un anumit amplasament.

b) Condiția rocii, cu proprietățile ei elastice specifice și cu un profil stratificat.

Analizele sunt făcute în așa fel încât să determine maniera în care solicitarea și forțele care acționează pe amplasament variază de la valorile de referință ale structurii interne a centralei. Solicitățile și forțele de referință din structura internă a centralei sunt ajustate după cerințe. Pentru informare, analizele sunt prezentate mai jos.

Analizele statice existente ale structurii interne de referință a centralei au fost modificate pentru un anumit amplasament. Acestea sunt calcule pentru diferite accelerații și efecte de oscilație ale diferitelor straturi de rocă.

Programul STRUDL pentru computere este folosit pentru analiza statică a elementului finit al structurii interne de referință. Zidurile și platformele structurii interne sunt reprezentate prin elemente de axe și plăci triunghiulare și patrulatere.

Unele statistici ale modelului sunt înșiruite mai jos:

Numărul de noduri 825

Numărul total de elemente 1 650

Numărul total de axe 100

Modelul STRUDL este folosit pentru toate cazurile de încărcare statică. O analiză statică echivalentă se face pentru a se determina efectele solicitării la cutremur. Accelerațiile folosite la determinarea forțelor seismice echivalente sunt obținute folosindu-se modelul bării de masă i resort concentrate, cu interacțiune sol-structură simulate.

În unele părți ale structurii interne, analiza elementelor finite separate este astfel făcută ca să se determine zonele de concentrare locală a solicitării, în jurul deschiderilor largi și unde sunt aplicate pe spații mici sarcini de înaltă magnitudine. Analize tridimensionale ale spațiului construcției sunt de asemenea făcute separat, pentru variate platforme structurale de oțel.

Rezultatele analizei structurii interne de referință a centralei sunt în general aplicabile structurii interne pe un anumit amplasament, exceptând acolo unde forțele interne sunt afectate de cutremur și de traseul rocii. Ca urmare, forțele obținute datorită tuturor celorlalte cazuri, ca temperatura și sarcinile de presiune tranzitorie, sunt aplicabile fără ajustări. Greutatea proprie și cazurile de sarcină seismică cer modificări care sunt descrise mai jos.

Analizele făcute la structura internă de referință a centralei pentru concentrația locală de solicitare și pentru platformele structurale de oțel sunt aplicabile și sunt descrise în acest paragraf separat pentru diferite componente structurale.

Analiza statică pentru greutatea proprie este o importantă condiție de sarcină a structurii interne a unei unități CNE. Având în vedere forma complexă a structurii interne și neuniformitatea proprietăților rocilor conținute, a fost conceput un model tri-dimensional pentru analiza cu surse echivalente în simularea rigidității specifice a rocii, cu scopul de a determina efectele condițiilor de balans ale CNE.

Modelul tridimensional a inclus reprezentări ale structurii interne și ale structurii anvelopei. Rigiditatea combinată a rocii și a plăcilor fundației este încorporată în model. Sunt aduse simplificări machetei care permit rigidității și greutatei structurii interne să fie incluse cu suficientă acuratețe pentru determinarea factorilor conservatori cu care sarcina greutății proprii în pereții interiori poate fi proporționată din structura internă de referință a centralei la observarea efectului de balans.

Elementele finite al modelului sunt analizate de computer prin programul STARDYNE.

Structura internă și anvelopa sunt modelate folosindu-se bucăți de tablă subțiri, patrulaterale, și placa de bază este modelată folosindu-se atât bucăți de tablă subțiri, patrulaterale, cât și triunghiulare. Rigiditatea combinată a rocii și a subsolului este reprezentată prin surse de bază determinate în maniera descrisă în raportul de sarcină al anvelopei.

Modelul STARDYNE este analizat sub sarcinile greutății proprii. În plus, o analiză este făcută pornind de la prezumția că baza modelului este fixă, în scopul de a corela rezultatele analizei STRUDL pentru anvelopa de referință. Forțele la proiectare sunt proporționate din forțele structurii interne de referință folosindu-se formula:

$$T_w = T_r \times F_r \quad (5.11.)$$

unde  $T_w$  = forță în zidul structurii interne

$T_r$  = forță corespunzătoare în zidul structurii interne de referință al centralei, cum a fost determinată de analiza detaliată tridimensională

$F_r$  = un factor de corecție care reprezintă de forțe în zid datorită condițiilor variabile ale rocii la amplasament

Factorul  $F_r$  este amplu determinat prin compararea forțelor din ziduri pentru condițiile bazei elastice și bazei fixe, folosindu-se modelul tridimensional STARDYNE. Diferite valori sunt date factorului pentru diferite nivele și pentru diferite amplasări în plan.

Pentru analiza seismică reglarea forțelor seismice asupra structurii interne de referință a centralei este determinată cu ajutorul:

- unui model al clădirii reactorului unei unități CNE;
- modelul tridimensional STARDYNE folosit pentru determinarea ajustărilor cerute de structura internă de referință sub acțiunea forțelor greutatei proprii.

Modelul bării de masă și resort concentrate este folosit pentru a se obține accelerarea seismică dinamică la diverse nivele ale platformei structurii interne. Modelul este analizat de programul pentru computer STARDYNE. El consistă dintr-o singură bară verticală compusă din 10 elemente axiale care să reprezinte anvelopa, împreună cu o bară de bază și patru ramificații principale formate din 32 de elemente axiale care reprezintă structura internă. Bara anvelopei este atașată centrului plăcii de bază unde bara structurii interne este ușor deviată pentru a reflecta realitatea în machetă. Placa de bază este modelată ca o serie de axe radiale rigide delimitate de un inel exterior, unde sunt localizate bazele fundației care simulează roca neuniformă.

Alimentarea spectrului de răspuns folosit la modelul barei este ca cea dată în datele investigării terenului pentru un anumit amplasament.

Un raport de amortizare a materialului de 5% din nivelul critic este adoptat pentru betonul din structura internă.

Accelerările seismice dinamice obținute din modelul bării sunt aplicate modelului tridimensional STARDYNE ca sarcini statice de inerție echivalente. Două analize sunt făcute pe modelul tridimensional, prima folosindu-se surse care să reprezinte rigiditatea fundației, iar a doua folosindu-se o bază fixă, ca în cazul sarcinii greutatei proprii.

Presiunile în diferite locații din pereții structurii interne vor fi calculate după cum urmează:

$$S_w = S_r \times F_s \times F_r \quad (5.12.)$$

unde  $S_w$  = forță seismică în zidul structurii interne;

$S_r$  = forța corespondentă în zidul structurii interne de referință al centralei, determinată de analiza tridimensională STRUDL;

$F_s$  = factor care ține cont de cel mai mare cutremur în zona amplasamentului, în comparație cu anvelopa de referință

$F_r$  = factor care ține seama de condițiile particulare ale rocii terenului.

Factorul  $F_s$  este determinat prin compararea accelerațiilor obținute de modelul bării cu acelea folosite pentru analiza structurii interne de referință a centralei.

Factorul  $F_r$  este determinat în mod similar cu cel pentru sarcinile greutatei proprii, folosindu-se modelul tridimensional STARDYNE.

Cele cinci platforme luate în considerare sunt:

1) *platforma de la nivelul parterului*. Această placă de beton cu greutate normală acoperă întreaga zonă din plan a clădirii reactorului cu excepția unei mici deschideri pe partea "B", pentru scări, și a alteia pe partea "D", pentru zona de transfer a combustibilului folosit. Platforma este continuă și este suportată de o serie de pereți plasați iregular, dar simetric față de linia centrală orizontală  $C_r$  a clădirii.

Grosimea acestei platforme este de cca. 1,70m, cu excepția centrului boltei calandriei unde este mărită la 2,50m cu o placă de căptușeală din oțel de 6mm, peste boltă, pentru a acționa ca o membrană impermeabilă.

Pentru a se încadra în cerințele de proiectare și de construcție, porțiunea de 2,50m a platformei din bolta calandriei trebuie să fie betonată în trei etape. Partea de jos, de 1,20m trebuie turnată împreună cu platforma principală. Apoi urmează un strat de înălțare de 0,90m care va conține suporturi de ancorare pentru placa de căptușeală. Ultimii 0,30m vor fi turnați după ce canalele necesare pentru suportul plăcilor de căptușeală sunt pregătite în poziție. După ce betonul s-a întărit, plăcile de căptușeală vor fi sudate de acele canale. O deschidere temporară este asigurată în toate trei etapele construcției pentru a permite trecerea macaralei-turm interioare. Platforma este de asemenea proiectată să susțină transportarea echipamentului greu în timpul instalării lui.

2) *platformă la cota cota A.* Această platformă de beton de greutate normală acoperă o jumătate de "CDA" din clădirea reactorului cu excepția deschiderii centrale pentru zona de transfer a combustibilului folosit. Din punct de vedere structural, platforma poate fi definită ca două plăci continue suportate de ziduri, una în fiecare cvadrant, cu o margine circulară liberă să se comporte ca o consolă. Placa este groasă de 1.70m, cu excepția a două zone mici, una pe latura "A" și una pe latura "C", unde grosimea este de 0,50m pentru a forma adâncituri în care se vor afla pompele de răcire.

3) *platformă la cota B.* Această platformă de beton de greutate normală se află în jumătatea "CDA" a clădirii reactorului. Este o placă continuă cu o largă deschidere rectangulară în centru, și se sprijină pe ziduri și coloane din beton. Grosimea plăcii variază între 0.30m și 0.75m, în funcție de cerințele structurale.

4) *platformă la cota C.* Această platformă din agregate grele este situată în jumătatea "ABC" a clădirii reactorului și este compusă din două plăci independente groase de 0.90m, de formă rectangulară. Fiecare placă are două deschideri largi, octogonale care adăpostesc protecția cerută pentru sistemul de pompe de transfer a căldurii primare. Partea de jos a plăcii trebuie să fie prinsă de o placă de oțel groasă de 40 mm în scopuri de protecție. S-a decis să se proiecteze placa ca o secțiune mixtă și sudarea conectorilor forfecăți de placa de oțel.

Platforma este supusă unui număr de sarcini de înaltă magnitudine la mică distanță între ele, în jurul deschiderilor octogonale datorate rupturii accidentale a sistemului de țevi de transport a căldurii primare.

S-a descoperit că aceste sarcini ale rupturii țevilor creează un foarte înalt efort de tensiune în jurul deschiderilor octogonale. Pentru a compensa aceste tensiuni înalte, o bară de oțel sudată este așezată pe marginea deschiderilor octogonale și acționează împreună cu placa de beton cu ajutorul conectorilor.

5) *platformă la cota D.* Această platformă din beton de greutate normală se află în jumătatea "CDA" a clădirii reactorului. Este o placă continuă sprijinită pe o serie de coloane și ziduri. Placa este groasă de 0.90m cu o ridicătură de 0.30m de beton slab conținând o groapă pentru servicii, etc.

Platforma suportă un număr de ziduri forfecate care variază în înălțime de la 3.00m la 8.20m în proiectul platformei, sarcinile de la aceste ziduri vor fi considerate în relație cu consecutivitatea construcției. Se va presupune că pentru ziduri care sunt înalte de 6.10m sau mai mult, doar cele mai mici de 3.5m din greutatea proprie a zidurilor este suportată de placă restul greutateților sunt suportate de zid împreună cu placa formând o grindă în formă de T răsturnată.

Pereții care se iau în considerare sunt:

1) Pereți în axul 23

Acesta este peretele principal în direcția "AC" de la nivelul subsolului la cota D. Conține două deschideri

largi între cotele de 100.00 m și 106.25 m, așezate simetric față de linia centrală "BD" a clădirii. Aceste deschideri vor găzdui ușile de la camera dispozitivului combustibilului. În partea de sus a fiecărei deschideri este o consolă care va suporta podul dispozitivului combustibilului.

Acest perete suportă platformele de la cotele parterului, A, B, C și D.

Peretele va fi proiectat pentru sarcini orizontale prin idealizarea diferitelor porțiuni ale sale ca :

- a) placă susținută pe patru margini ;
- b) placă fixată pe o parte, continuă pe două părți și liberă pe a patra parte.

Rezultatele acestor solutii vor fi verificate împotriva analizei elementului finit a structurii interne complete.

2) Perete în axul 26

Acesta este un perete din partea "B" a clădirii. Peretele începe de la placa de bază și se termină între cotele parterului și cota A, așezat simetric față de axa "AC" a clădirii, cerut în timpul transportării boilerelor, a aparatului de îndepărtare a gazelor și de ermetizare.

Peretele este în general gros de 0.60m, cu excepția următoarelor zone:

- i) între cotele B și C, unde grosimea este de 1.20 m pentru a suporta o forță orizontală de 300 t care acționează la cota B datorată rupturii țevii de tip P.H.T.S.
- ii) între cotele subsolului și liniile Dr și Br, grosimea este de 1.80m pentru a satisface cerințele de protecție.

Grinzile exterioare ale cutiei boilerului sunt două grinzi mărginașe de greutate similară aflate în jumătatea "ABC" a clădirii reactorului, între cotele B și D. Aceste grinzi de perete sunt groase de 0.61 m și capetele lor sunt construite în pereții pe axul 23 și 26. Vârful peretelui este construit într-o grindă de 1.50m x 1.20m. Acești pereți suportă și izolează generatorii de aburi.

Grinda de perete este proiectată pentru sarcini orizontale și o placă izotropică fixată la două capete (axele 23 și 26) și liberă la celelalte două.

Pentru sarcini verticale este tratată ca o grindă adâncă, luându-se în considerare consecutivitatea construcției.

Grinzile interioare ale cutiei boilerului sunt două grinzi de perete similare din beton cu agregate grele aflate în jumătatea "ABC" a clădirii reactorului între cotele C și D. Aceste grinzi de perete sunt susținute pe pereți pe axele 23 și 26. Partea de sus a acestor pereți este construită într-o grindă adâncă de 1.50m x 1.20m. Partea de jos a acestui perete este monolitică cu placa casei pompelor la cota C. Acești pereți susțin generatoarele de abur pe o parte și placa care susține pompele P.H.T.S. pe cealaltă parte. Ei sunt făcuți din beton greu, care ecranează radiațiile.

Peretele este proiectat pentru sarcini orizontale ca o placă izotropică fixată la toate patru marginile. Pentru sarcini verticale peretele este tratat ca o grindă în formă de L format cu placa casei pompelor la cota C, acționând ca o centură. În completare, consolidările consolei sunt făcute în perete pentru a se transfera sarcinile verticale din placă pe partea de sus a peretelui.

Bolta calandriei este o structură în formă de cutie, consolidată normal, aflată în centrul clădirii reactorului, cu două deschideri circulare largi de diametrul 7.90m în pereții "A" și "C" ai boltei pentru capetele scutului ansamblului calandriei. Dimensiunile în plan ale boltei sunt de 12.50m x 7.80m, bolta este înaltă de 16.50m cu baza ei la cota parterului, iar pereții ei sunt groși de 1.20m după cum sunt cerințele pentru protecție. Tavanul boltei are o gaură rectangulară largă pentru a adapta puntea mecanismului de reactivitate. Bolta este căptușită pe dinăuntru cu o placă din oțel groasă de 6 mm.

În structura ei internă, bolta calandriei este analizată pentru diferite combinații de sarcină folosindu-se



programul elementului finit STARDYNE. Cum proiectarea și aplicarea forțelor boltei sunt simetrice cu direcție "BD", numai jumătate din structură a fost machetată. De asemenea, s-a presupus în modelare că pereții boltei sunt fixați la bază într-o placă de beton de 2.45 m la cota parterului.

Pentru a transfera sarcinile de la ecrane la pereții de beton rebarele din beton vor fi ancorate mecanic între plăcile paralele ale inelelor din mortar ale ecranului, folosindu-se bare Dywidag cu plăci de reazem. Betonul din jurul ecranelor este încastrat prin sudarea unor mici bare rectangulare la marginea inelelor din mortar.

De asemenea, cum tensiunile principale maxime sunt în direcție circumferențială în pereții de beton din jurul ecranelor, rebare circulare vor fi așezate în jurul ecranelor pentru a acționa ca principală fixare. Acest aranjament ajută la reducerea numărului de bare care ar trebui ancorate între plăcile paralele ale ecranelor, unde este un spațiu resrâns datorită aglomerării de țevi de răcire, comierelor de rigidizare, etc.

Deschiderile temporare sunt asigurate în pereții de est și de vest ai bolții calandriei pentru a permite ansamblului calandriei să fie transportat și instalat. În peretele "B", o deschidere temporară ca o ușă va fi asigurată pentru accesul personalului de construcție. În plus, din cauza macaralei de construcție cerută pentru a betona structura internă sub 117.45 m, două balamale de construcție vor fi asigurate în peretele "D" pentru ca porțiunea centrală a acestui zid să poată fi betonată după îndepărtarea macaralei.

După instalarea ansamblului calandriei, deschiderea temporală din jurul ecranelor va fi betonată. Aceasta este o operație dificilă, în special la partea de jos a compartimentului suportului garniturii care va fi complet acoperit. În jurul acestei zone este necesar să se pompeze beton sub presiune și să se folosească o valvă ghilotină, pentru a stopa betonul să curgă înapoi după ce pompa a fost scoasă. Cum s-a adăugat un strat de siguranță în jurul ecranelor, conducte cu mortar vor fi introduse în cofraj, prin care laptele de ciment va fi injectat pentru a umple orice gol lăsat în timpul betonării în jurul ecranelor.

Grinda marginală de peste pereții incintei boilerului este o grindă din beton de greutate normală de 1.50m x 1.20m care circulă în jurul părții de sus a zonei incintei boilerului la cota D pentru a forma o cutie rectangulară. Laturile lungi ale acestei cutii rectangulare sunt prinse împreună printr-o grindă de legătură de 2.45m x 1.20m la mijlocul lungimii lor.

Grinda marginală suportă încastrările orizontale ale boilerelor, ancorele cablurilor de precomprimare la ruperea conductelor de abur și sistemul suportului de siguranță (de rezervă) al boilerului.

Grinda va susține de asemenea structura temporară din oțel cerută pentru instalarea boilerelor.

Procedura de instalare pentru boilere este în așa fel încât grinda de legătură de 2.45m x 1.20m nu poate fi betonată pînă cînd boilerele nu sunt așezate la locul lor. Va fi necesar să se bage temporar grinzi de oțel pentru a acționa ca o legătură în timpul instalării boilerelor. Același lucru este valabil pentru perete și pentru partea "D" a grinzii marginale (pe axul 23) în timpul instalării mecanismului de degazare și presurizare.

Grinda marginală este proiectată prin idealizarea ei ca un cadru orizontal și prin rezultate verificate contrar analizei elementului finit al structurii interne.

Zona de transfer a combustibilului uzat este în principiu o structură hidrofilă pentru apa iradiată, dar care de asemenea formează o parte a părții exterioare a anvelopei. Grosimea pereților și a platformelor se ia după cerințele pentru protecție. această zonă este construită atât din beton de greutate normală cât și mare.

Proiectul se bazează pe criteriul tensiunii scăzute conservative pentru a limita extinderea rupturii datorată gradientilor de temperatură. În completare următoarele precauții vor fi luate:

i) măsurile de șpraițuire epoxidică luate asupra calității anvelopei pe partea exterioră cu pastă de etanșare polisulfidă

ii) măsuri de șpălțuire epoxidică întărită cu fibre de sticlă luate asupra calității anvelopei pe partea interioră a traveei combustibilului folosit.

iii) la toate racordurile construcției, tole de etanșare din PVC, potrivite, sunt asigurate cu cel puțin 2 ft de protecție.

Dintre structurile din oțel utilizate în clădirea reactorului, cea mai importantă este structura metalică suport a sistemului de stropire.

Acesta este un antablament orizontal din oțel structural, care acoperă toată zona din plan a clădirii reactorului la cota E, pentru a suporta conductele pentru sistemul de stropire.

Piese structurale principale sunt șase grinzi radiale, fiecare sprijinită la un capăt pe un suport care este bulonat în peretele perimetrului în timp ce celălalt capăt este purtat de tirante care sunt prinse de grinda inelară internă a cupolei inferioare. Aceste tirante au legături bolțuite la ambele capete pentru a permite mișcări radiale ale grinzilor datorită expansiunii termice. Pe capătul peretelui perimetrului, expansiunea termică este permisă prin așezarea unei plăci lubrite de 12mm care să suporte aceste grinzi radiale.

Cele șase grinzi radiale sunt construite din două secțiuni I la distanță una de alta de 0.80m și îmbinate între ele, pentru a forma baza pentru platforma de lucru.

Pentru structura internă de referință a centralei antablamentul din oțel a fost studiat folosindu-se analize statice tridimensionale. Numai jumătate din structură a fost modelată după cum organizarea și aplicarea forțelor sunt simetrice față de axa centrală.

Alte structuri metalice utilizate în clădirea reactorului sunt:

- structura suport a podului rulant de 60 T<sub>o</sub> la cota D;
- piesele încastrate necesare conectării elementelor de construcție metalică la pereții de beton;
- diferite platforme de serviciu

#### 5.1.2.4. DEPLASĂRI ȘI DEFORMĂRI LA CLĂDIREA REACTORULUI TIP CANDU PHWR

Datele descrise în acest paragraf se referă numai la variațiile structurilor de beton ale clădirii reactorului de tip CANDU- PHWR sub variate condiții de încărcare stabilite pentru ipotezele de calcul ale combinațiilor de sarcină date în ghidurile de proiectare pentru un anumit amplasament.

Aceste date sunt aproximative și nu sunt destinate folosirii lor pentru proiectele structurale ale clădirii reactorului. Ele sunt furnizate pentru a fi folosite de către proiectanții de structură și de cei de sisteme de procesare și întreținere, când consideră să ia orice măsuri pentru mișcări între:

- structura internă și structura externă a învelișului de beton a clădirii reactorului, dar fără să includă subsolul reactorului
- clădirea reactorului și clădirea serviciilor auxiliare
- clădirea reactorului și terenul pe care este construită.

Sunt prezentate deviațiile datorate următoarelor cauze: accident la suprapresiune (fig. 1), variațiile de temperatură în funcție de anotimp (fig. 2.), principiile de proiectare la seism (fig. 3) și tasarea terenului construcției (fig. 4).

Efectele datorate altor cauze cum sunt contracția și cedarea betonului, nu au fost incluse.

Fig. 1 arată care sunt deformațiile structurii anvelopei datorate unei presiuni interne de 117,2 Kpa (g). Testul de impermeabilitate sub presiune este de 1,15 ori mai mare decât valoarea proiectată. Aceste deformă

ri au fost estimate prin ajustări rezultate din experiențe la deformațiile clădirii reactorului CNE GENTILLY 1 (CANADA).

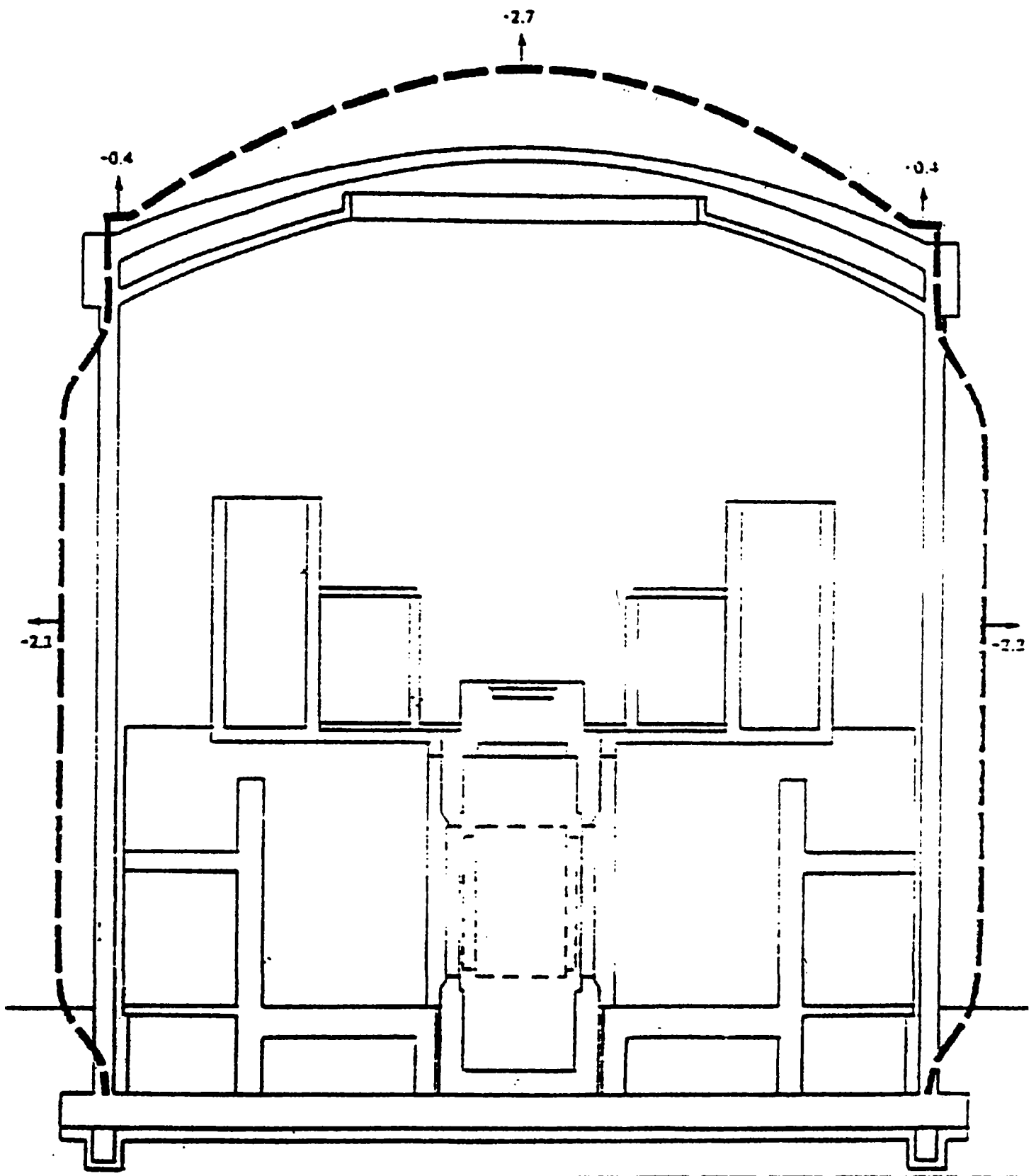
Fig. 2 arată deformațiile datorate unei presupuse variații între  $17^{\circ}\text{C}$  și  $38^{\circ}\text{C}$  ( $21^{\circ}\text{C}$  deasupra și  $34^{\circ}\text{C}$  sub valoarea nominală de  $17^{\circ}\text{C}$ ) din temperatura medie a structurii anvelopei de beton. Posibilele efecte ale deviațiilor datorate gradientilor de temperatură sunt ignorate.

Deviațiile modale calculate pentru clădirea reactorului, inclusiv interacțiunea structurii solului, în cazul unui seism pentru cazul CNE WOLSUNG (COREEA DE SUD), au fost combinate prin metodele SRSS pentru a da deviații ciclice ale structurii, după cum urmează:

- deviații ale structurii anvelopei în raport cu baza sa (fig. 3)
- deviații ale structurii interne în raport cu structurile adiacente și cu pământul prin tratarea efectivă a clădirii reactorului și a structurilor ei interne ca un singur corp rigid (fig. 4. ).

Deflecția ciclică totală la orice punct este obținută prin însumarea componentelor relevante din figurile 3 și 4.

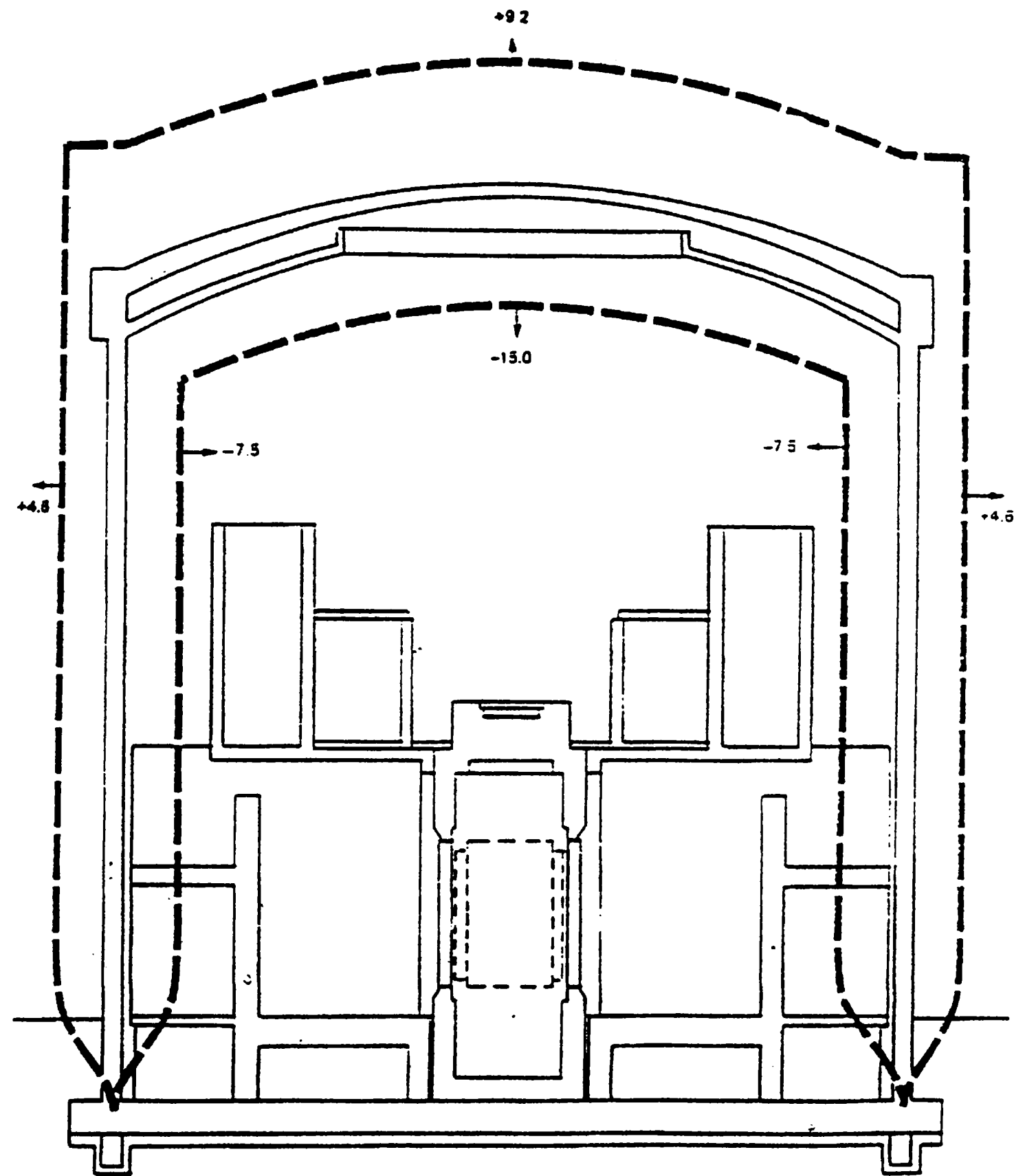
Tasarea totală a clădirii reactorului se consideră a fi în jur de 4mm, aceasta fiind datorată unor efecte statice, nefiind de așteptat tasări semnificative pe termen lung.



**Fig. 1 CLĂDIREA REACTORULUI TIP CANDU - PHWR**

Deformația aproximativă a anvelopei în mm, datorată presiunii interne de 117,2 KPag ( 1,17 daN/cm<sup>2</sup>)

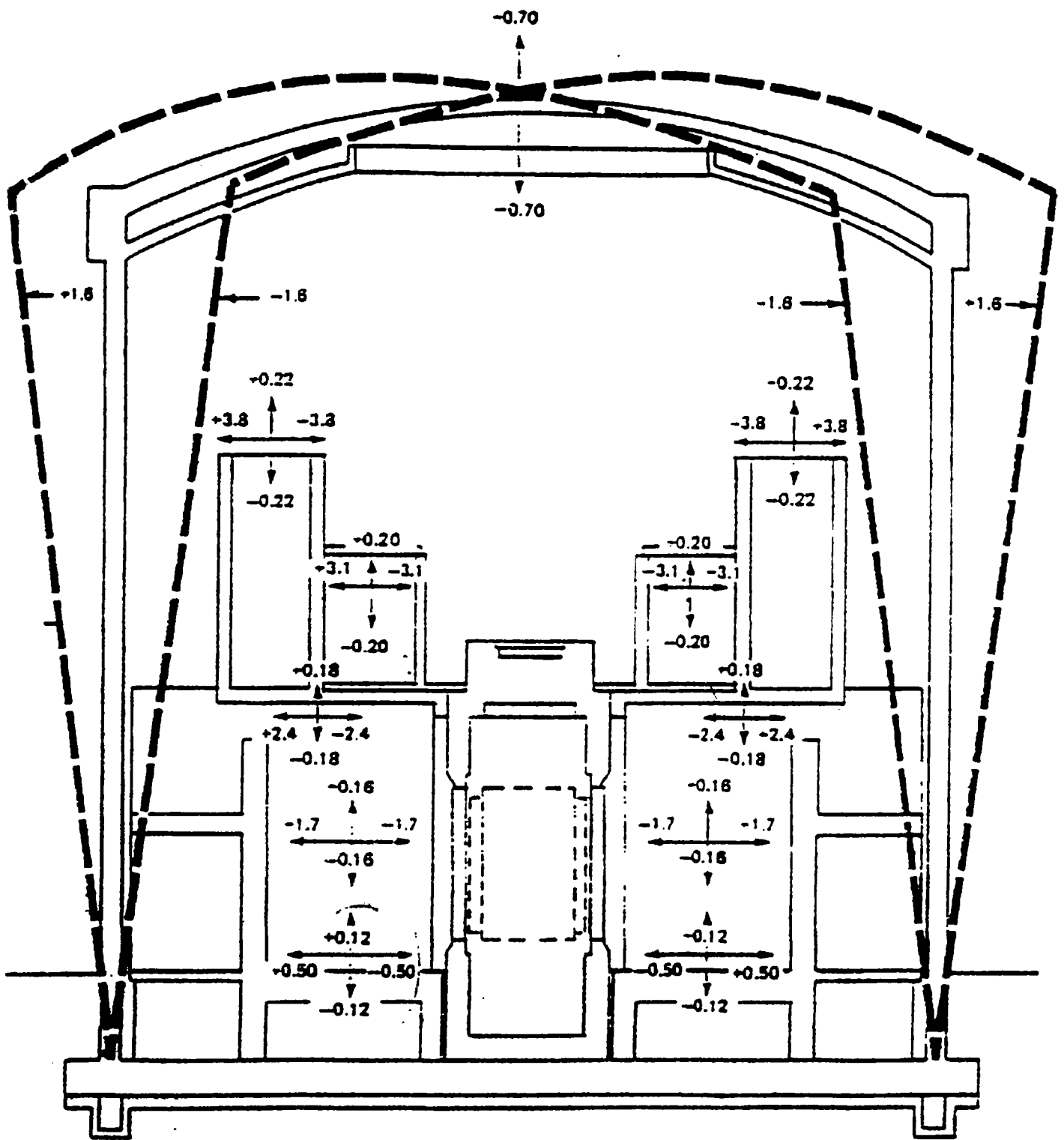
Cifrele indică deviațiile în mm, pozitive, în exterior și în sus.



**FIG. 2 CLĂDIREA REACTORULUI CANDU - PHWR**

Deformația aproximativă a anvelopei în mm, datorate variației medii de temperatură a betonului între  $-17^{\circ}\text{C}$  și  $+38^{\circ}\text{C}$

Cifrele indică deviațiile în mm, pozitive, în exterior și în sus.



**FIG. 3 CLĂDIREA REACTORULUI CANDU - PHWR**

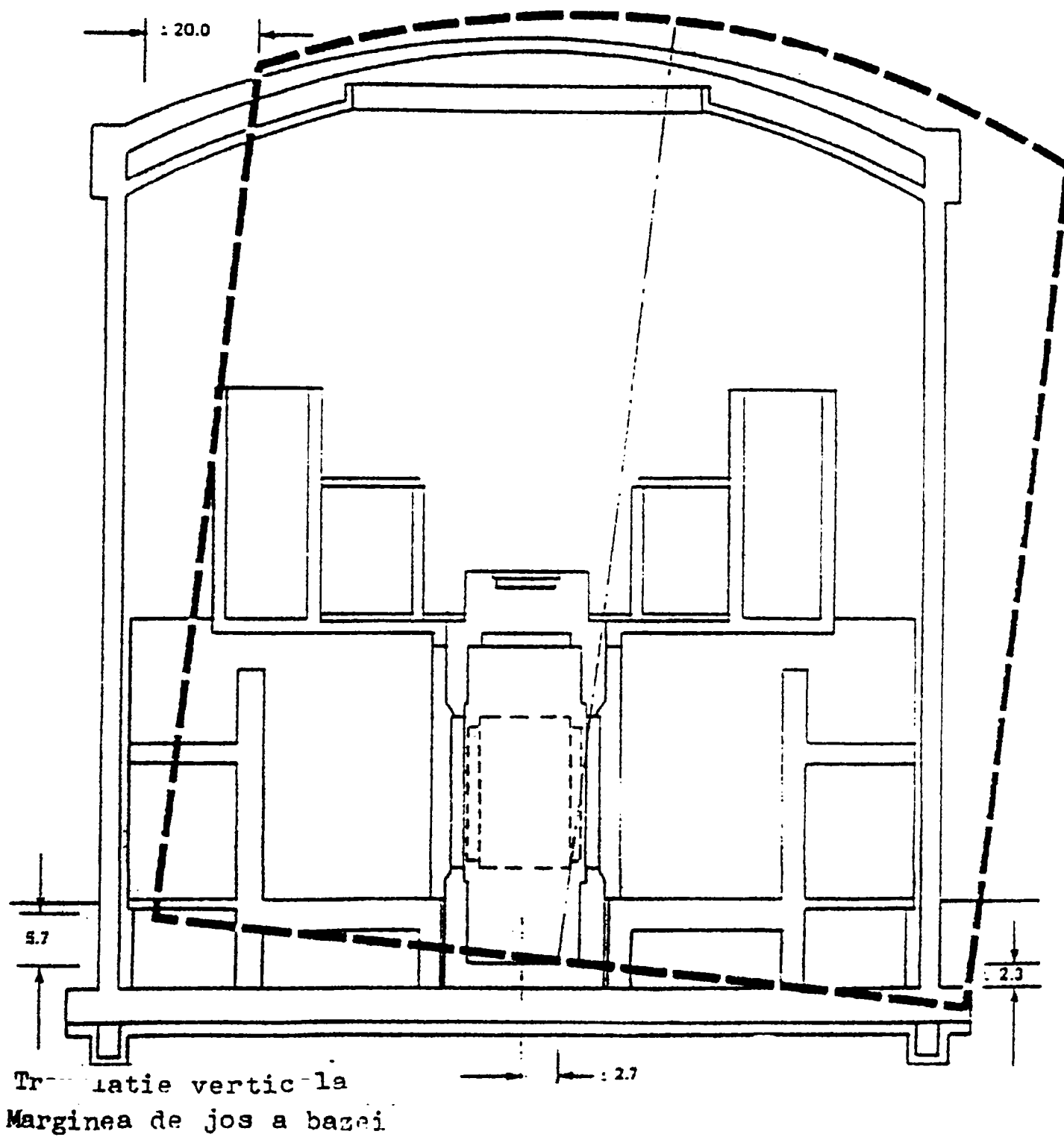
Deformațiile aproximative de înclinare ale anvelopei și ale structurii interne, datorate principiilor de proiectare la seism, în mm.

Cifrele indică deviațiile în mm, pozitive, în exterior și în sus.

FIG. 4 CLĂDIREA REACTORULUI CANDU - PHWR

Partea de sus a peretelui

Translatie orizontala



Defomațiile în mm, datorate interacțiunii structurii fundației ( anexa la fig. 3 ).

Cifrele indică deviațiile în mm, pozitive, în exterior și în sus.

## 5.2. SOLUȚIA I:

### SISTEME DE ANVELOPARE CU DUBLĂ ETANȘARE DIN BETON ȘI OȚEL

#### 5.2.1. ALCĂȚUIRE

La CNE tip CANDU PHWR, clădirea propriu-zisă a reactorului o formează anvelopa, care este o clădire din beton masiv ce constituie una din barierele defensive realizate pentru a împiedica scăpările de radioactivitate din interior spre exterior.

Construcțiile metalice sunt amplasate în interiorul anvelopei din beton, fiind constituite din stâlpi, grinzi și contravânturi ale unor planșee sau suportți, scări și platforme tehnologice, grinzi de monorai sau căi de rulare pentru poduri rulante, plăci de ecranare, toate acestea amplasate la diferite cote, funcție de utilitățile pe care le deserveșc (vezi fig. 5.1.)

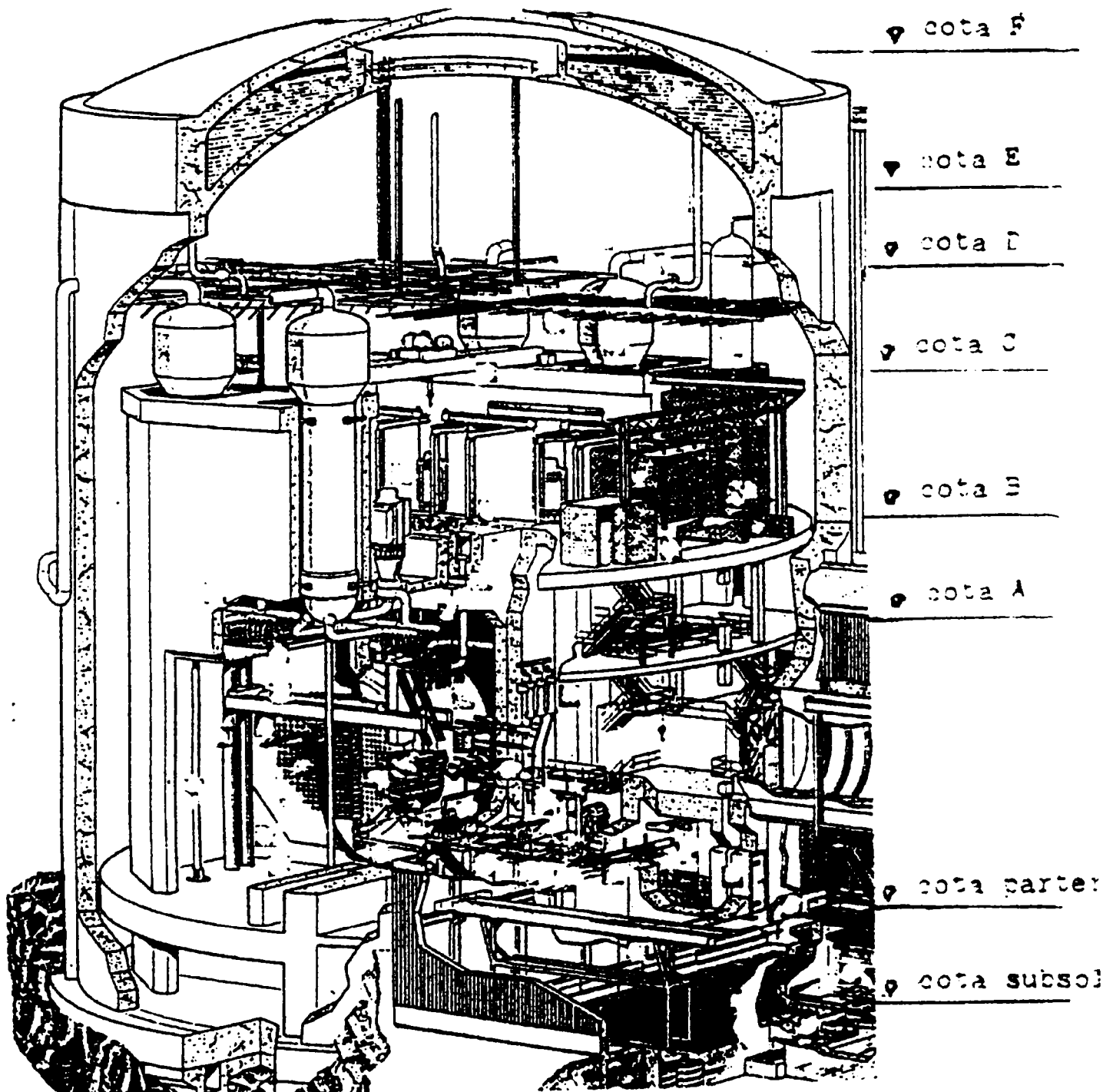


FIG. 51 - Clădirea reactorului la CNE

Astfel la subsolul clădirii, sub cota parterului (în cazul CNE cota 0,00 este considerată nivelul mării, cotarea făcându-se față de acest nivel de referință), sunt amplasate diferite platforme și suportți pentru pompe și



conducte transfer căldură sau pentru ventilatoarele de răcire, legate prin diferite scări de acces.

Peste cota A, construcțiile metalice se regăsesc în diferiți suporti pentru conducte, monoraiuri sub planșee de diferite cote și încăperi, ecrane de protecție, platforme, scări, balustrade, și grătare metalice zincate. La cotele B și C sunt amplasate platforme de circulație agățate de platforma cea mai sofisticată a anvelopei, cea de la cota D care susține și sistemul de stropire adițional în caz de urgență. Această platformă, cea mai reprezentativă construcție metalică din interiorul clădirii reactorului are o deschidere de 41,45 m, având grinzile principale dispuse radial la  $30^\circ$ , alternând grinzi dublu T singulare cu dubli T dublate solidarizate prin zăbrele. Între grinzile principale sunt dispuse o serie de grinzi secundare, pe care sunt montate ramificațiile sistemului de stropire. Atât grinzile principale cât și grinzile secundare preiau pe lângă eforturile normale și eforturi din forțe axiale () rezultate din acțiunea seismică. Platforma reazemă prin grinzile principale pe cele 12 scaune fixate de piesele înglobate din peretele perimetral al clădirii reactorului cu SIRP.

Reazemele sunt fixe, tip placă lubrită (antifricțiune), între capetele grinzilor principale și piesele înglobate de pe peretele perimetral fiind dispuse tampoane din plăci de cauciuc care au rol de limitatori seismici în cazul deplasării platformei spre peretele perimetral în timpul cutremurelor. De asemenea platforma este prinsă de cupola inferioară de beton armat prin tiranți verticali articulați la ambele capete.

Tot de cupolă se prinde prin intermediul tiranților și platforma de vizitare a generatoarelor de abur, de la cota E. La cota cea mai înaltă de acces în clădirea reactorului se află confecția metalică din aluminiu, pentru închiderea etanșă a bazinului de stropire (cota F). Soluția constructivă constă dintr-un caroiaj de corniere verticale dispuse la o anumită distanță interax și u o anumită înălțime, pe care se aplică o țesătură poliiolefină de culoare portocalie care se sparge în caz de suprapresiune în anvelopă, acționând astfel sistemul de stropire la avarie. Din punct de vedere constructiv, elementele de construcție metalică din interiorul anvelopei reactorului sunt alcătuite din profile dublu T sudate sau din profile laminate de diferite dimensiuni. Îmbinările elementelor structurilor metalice sunt realizate fie prin sudură de atelier, fie prin șuruburi de înaltă rezistență realizate la montaj, sudura pe șantier fiind pe cât este posibil limitată.

Fixarea construcțiilor metalice în elementele de beton armat se realizează prin buloane de montaj, ancore tip Richmond sau Phillips tip prezoane sau autoforante prezentate în lucrare.

Protecția anticorozivă finală a construcțiilor metalice din clădirea reactorului se realizează de regulă cu email alchidic lucios, care se comportă bine la decontaminare fiind aplicat în diferite culori (gri pe ambele fețe ale tablelor striate, albastru închis pe elementele metalice de structură și la balustrade fixe, galben protecție pe mâna curentă)

Materialul cel mai utilizat pentru structurile de rezistență este oțelul slab aliat, marca OL 52.2K, standardizat, cu unele cerințe suplimentare pentru garantarea sudabilității, așa cum s-a precizat în lucrare. Alte mărci de oțeluri utilizate sunt: OL 34 pentru tabla zincată, OL 44 pentru tabla striată, OLT 45 pentru țevi și OL 60 pentru țagle și oțel pătrat. La sudură se folosesc electrozi bazici, iar pentru SIRP se utilizează oțelul aliat, pentru tratamente termice 41 MoC11 la șuruburi și șaibe și 33 MoC11 la piulițe.

După cum s-a precizat și în capitolul anterior, spațiile dintre planșeele metalice și peretele perimetral al anvelopei se umplu cu lână de plumb iar zonele puternic radioactive din jurul vasului Calandriei și al canalelor circuitului primar se căptușesc cu cărămizi de plumb sau casete metalice umplute cu plumb turnat, pentru împiedicarea propagărilor radioactive dintr-o zonă în alta în condiții de accident. De asemenea zonele de fixare a construcțiilor metalice de piesele înglobate în b. a. Se etanșează cu Thiocol, un chit cu proprietăți bune de

etanșare și rezistent la decontaminare.

Am făcut aceste precizări la structurile metalice din interiorul anvelopei clădirii reactorului la o centrală nuclearo-electrică de tip CANDU-PHWR asimilată și de țara noastră, pentru a înțelege mai bine rolul și locul structurilor metalice în contextul soluției de îmbunătățire care se propune în continuare.

Această soluție propusă în varianta oțel (I) este menită să conducă la îmbunătățirea sistemului de anvelopare la CNE tip CANDU-PHWR prin căptușirea la interior a anvelopei din beton armat cu manta din oțel și

realizarea sau nu a unei depresiuni sau vid între cei doi pereți, ca în fig. 5.2.

SECȚIUNE PRIN CLADIREA REACTORULUI

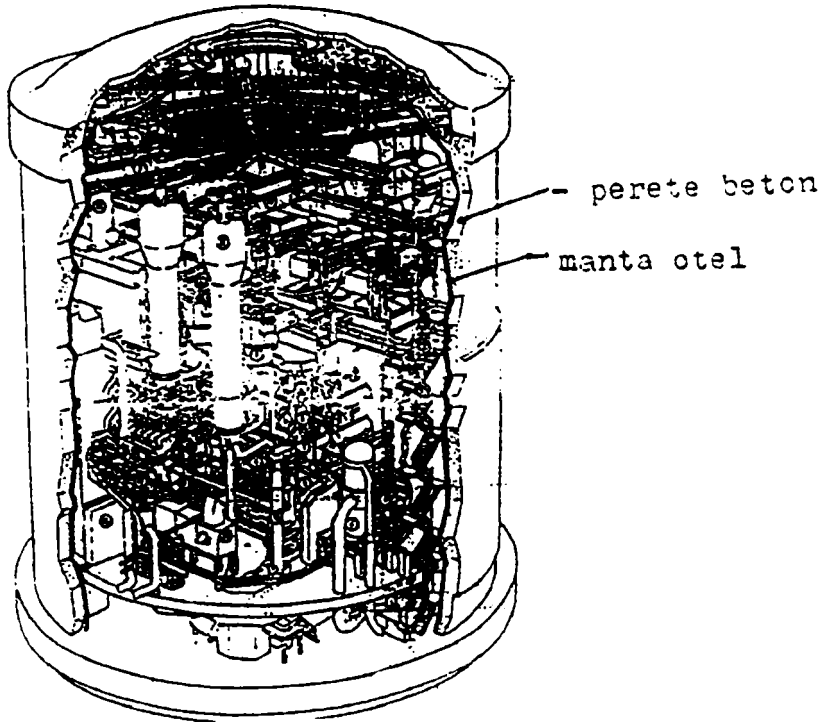


Fig. 5.2. Soluția I:

Sistem cu dublă etanșare din beton și oțel propusă a se realiza pentru reactoarele tip CANDU-PHWR

Fig. 5.3. Soluția I

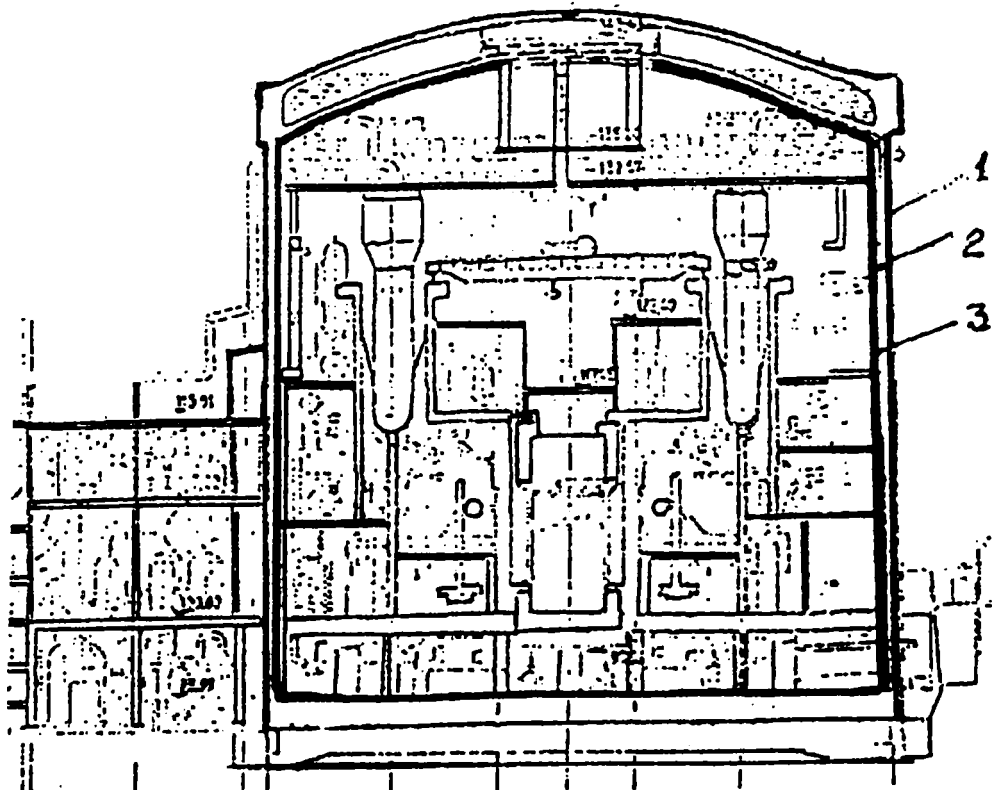
a) Propunere de realizare

Sistem cu dublă etanșare din beton și oțel, fără spațiu între ele.

1 - clădire reactor CANDU

2 - perete din beton

3 - manta de oțel



Soluția I de căptușire la interior a anvelopei din beton cu o manta de oțel, menită să asigure pierderi mult mai mici la anvelopele CNE tip CANDU-PHWR poate fi realizată în mai multe variante, fiecare cu avantajele și dezavantajele ei, și anume:

a) subvarianta aplicării directe a mantalelor de oțel pe suprafața de beton a anvelopei fără spațiu între ele ca în fig. 5.3.

Această soluție are următoarele avantaje:

- asigură scăpări mai mici de 1 % / zi
- este mai economică, fără instalații auxiliare de depresurizare și absorbție, evacuare și filtrare
- se realizează într-un timp mai scurt
- nu necesită elemente suplimentare de rigidizare, fixarea de beton făcându-se fie prin sudare sau cu ancore Richmond de piesele înglobate existente, fie prin ancore Phillips thiocolate.

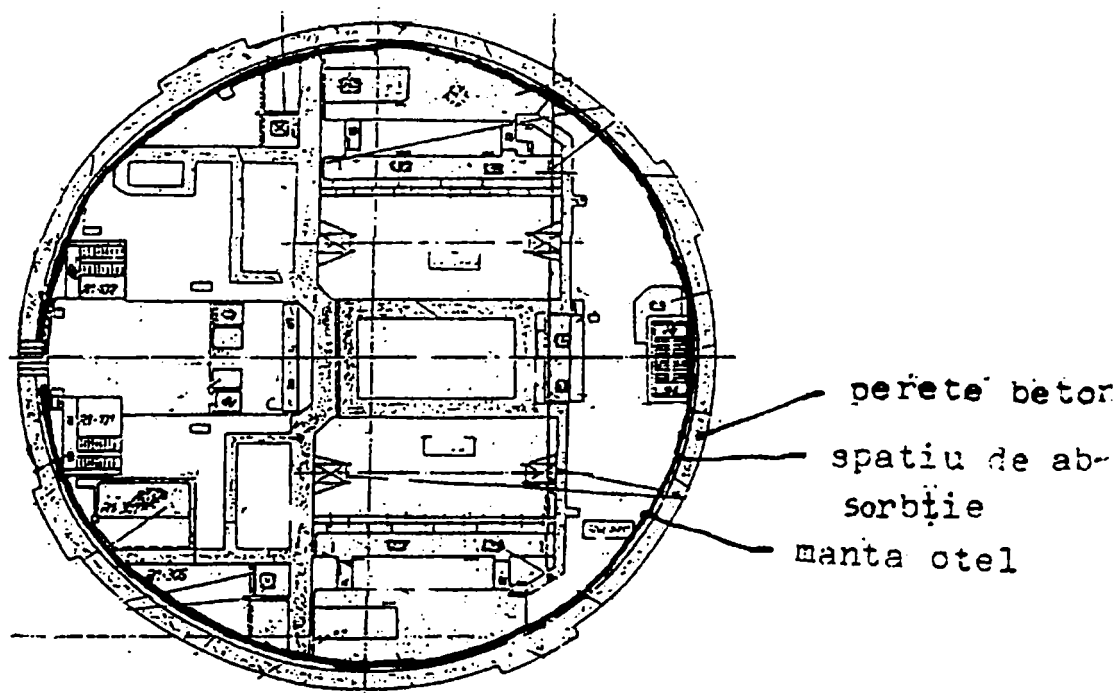
Ca dezavantaje se poate reține faptul că la fel ca și la soluția anterioară nu există un control al scăpărilor radioactive.

b) subvarianta căptușirii anvelopei din beton cu o manta de oțel, între peretele din beton și mantaua de oțel, păstrându-se un spațiu în care pot să existe alte câteva soluții de realizare și anume:

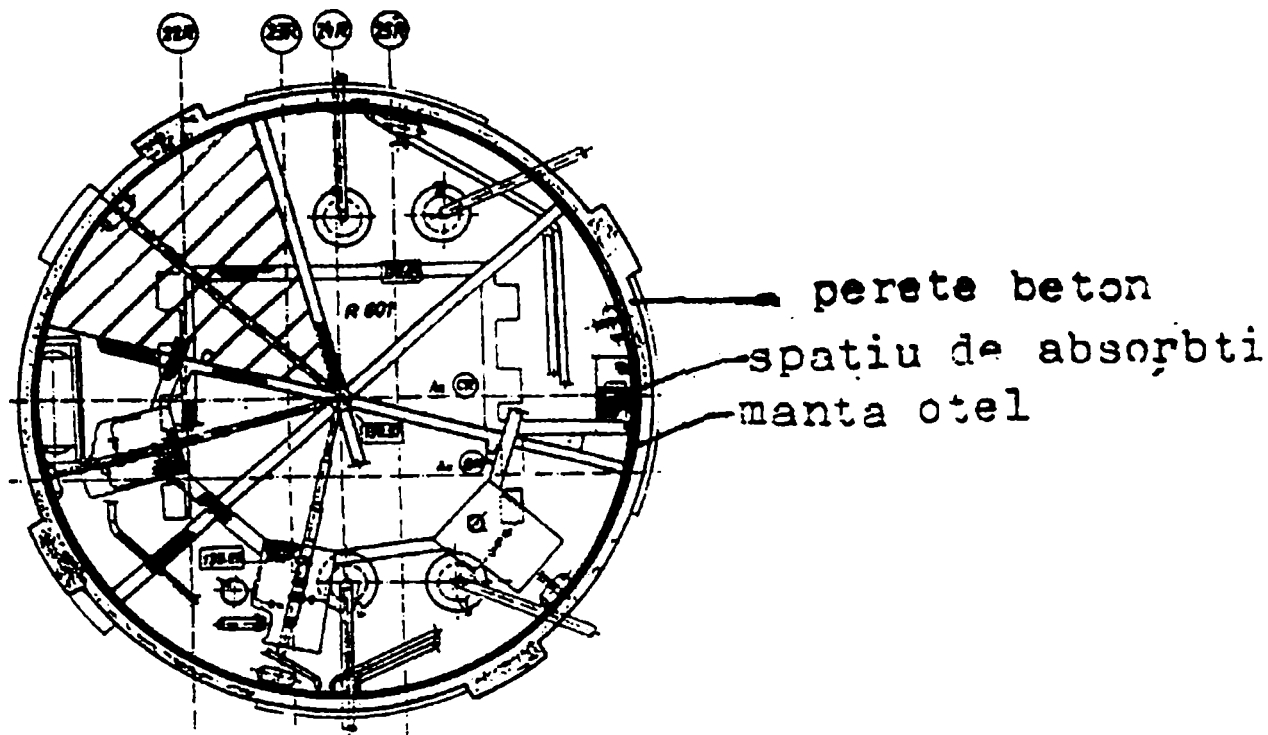
- 1) umplerea spațiului cu lână de plumb compactă
- 2) crearea unei depresiuni față de incinta anvelopei reactorului
- 3) crearea unui vid în acest spațiu
- 4) umplerea cu lână de plumb și crearea depresiunii sau vidului

Subvarianta I b1) reprezintă o soluție îmbunătățită a subvariantei I a), având avantajul unei protecții sporite la scăpările radioactive, în schimb cu dezavantajul unui preț ce cost mai mare datorită lânei de plumb.

Subvariantele Ib2) și b3) sunt apropiate ca principiu de realizare și funcționare, iar subvarianta Ib4) reprezintă o soluție îmbunătățită a celorlalte trei (vezi fig. 5.4. și 5.5., cu secțiuni realizate la cotele 100 112. 10, respectiv 126 135. 50. din clădirea reactorului):



**Figura 5.4. Soluția I b 2 4): Sistem cu dublă etanșare din beton și oțel cu spații de absorbție în clădirea reactorului la cotele 100 112. 10 m.**



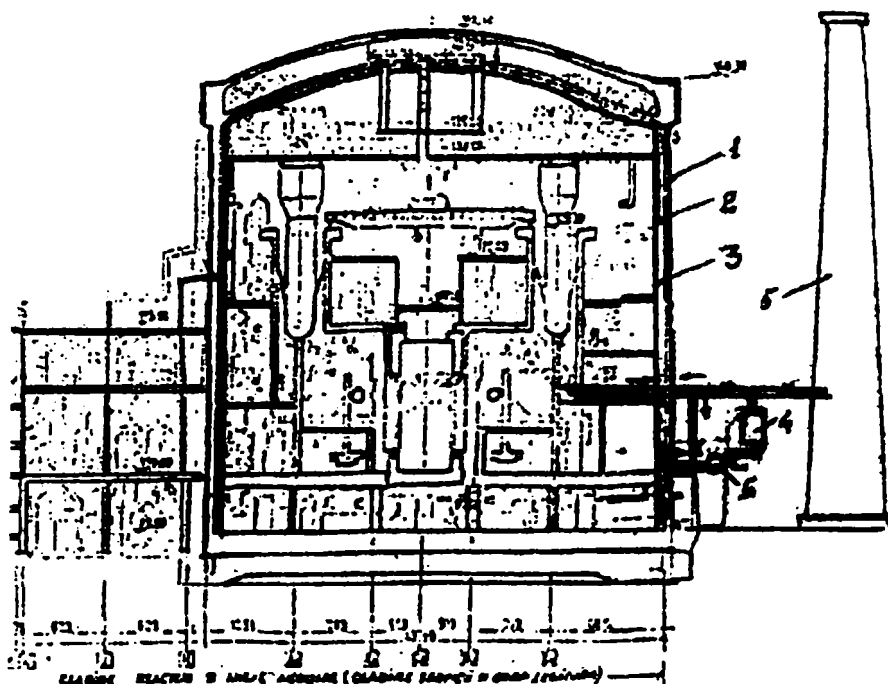
**Figura 5.5. Soluția I b 2 4): Sistem cu dublă etanșare din beton și oțel cu spațiu de absorbtie în clădirea reactorului la cotele 126 135. 50 m.**

Printre avantajele acestei soluții cu spațiu de absorbtie, se remarcă:

- asigurarea unor scăpări mai mici de 0,2..0,25 % /zi
- degajările de aburi și gaze care pot pătrunde prin neetanșeitățile mantalei de oțel, pot fi reținute în spațiul dintre cei doi pereți, de unde sunt aspirate și trimise la o instalație de filtrare, apoi evacuate în atmosferă
- se pretează la automatizarea sistemului de control al acestor scăpări prin montarea unor senzori care să declanșeze automat sistemul de absorbtie în cazul modificării stării inițiale.

Dezavantajul principal al acestor soluții îl reprezintă ridicarea prețului de cost și prin construirea instalațiilor auxiliare de depresurizare și absorbtie precum și de evacuare și filtrare (veri fig. 5. 6.)

1-perete beton



- 2- spațiu de absorbtie
- 3- manta oțel
- 4- filtru
- 5- coș evacuare
- 6- ventilatoare

**Figura 5.6. Soluția I b 2 4):Sistem cu dublă etanșare din beton și oțel cu spații de absorbtie și instalații de depresurizare, absorbtie, filtrare și evacuare a gazelor radioactive.**

Dar, dezavantaj mai mare decât afectarea stării de sănătate a oamenilor și a contaminării mediului înconjurător nu poate exista la CNE, așa că prețul de cost rămâne nesemnificativ față de acestea.

### **5.2.2. Particularități ale calcului de rezistență**

#### **5.2.2.1. Încărcări**

Încărcările la care sunt supuși pereții cilindrici din metal ai clădirii reactorului, în cazul căptușirii la interior cu o manta de oțel sunt:

- greutatea proprie a construcției metalice .
- depresiunea (vacuumul), creată în condiții normale de exploatare care poate fi de 0,7..1,5 da N/cm<sup>2</sup>
- suprapresiunea care se poate produce în cazul unui accident maxim posibil și care poate avea valoride până la 3..5 da N/cm<sup>2</sup> , în cazul refuzului de a intra imediat în funcțiune instalațiile de stropire în caz de avarie
- presiunea dată de apă în cazul inundării reactorului la avarie
- efectele variațiilor de temperatură sau a încălzirii inegale a diferitelor părți ale clădirii
- efectul acțiunii seismice asupra clădirii reactorului.
- 

#### **5.2.2.2. Determinarea eforturilor de calcul (stadiul de membrană)**

În cazul unei clădiri a reactorului de formă cilindrică așa cum este clădirea reactorului de tip CANDU PHWR se poate considera că pereții sunt în formă de suprafață de revoluție obținută prin rotirea unei curbe plane în jurul unei axe situată în planul curbei.

Grosimea peretelui fiind mică în raport cu dimensiunile clădirii reactorului, mantaua se consideră ca o membrană a cărei formă este determinată de suprafața mediană. În acest stadiu de membrană, efortul unitar normal pe suprafața mediană, de natura forțelor tăietoare, precum și momentele încovoietoare, se pot neglija. De asemenea se pot neglija deformațiile care sunt mici în raport cu grosimea pereților , ceea ce permite scrierea ecuațiilor de echilibru pentru starea nedeformată a pânzei.

Rezulta doua relații date în literatura de specialitate /19/, /22/, care se aplică la calcul eforturilor în pereții metalici ai clădirii reactorului, cu excepția unor zone limitate la legăturile dintre perete și fund, respectiv între perete și cupolă sau lângă rigidizări și prinderi. În aceste zone datorită împiedicării deformațiilor, se nasc solicitări suplimentare de încovoiere.

Relaiile de calcul ale eforturilor și deformațiilor în stare de membrană pentru pânza cilindrică după /19/, /22/, date în tabele, sunt funcție de încărcare.

#### **5.2.2.3. Efecte de legătură (stadiul de încovoiere)**

Am precizat în paragraful anterior că eforturile în stadiul de membrană sunt perturbate atunci când deformarea liberă a pereților nu se poate produce.

Astfel de cazuri apar la prinderi și legături. Peretele mantalei cilindrice se deformează alungindu-se proporțional cu efortul și invers proporțional cu grosimea virolei. Pe o zonă în apropierea prinderilor deformațiile corespunzătoare stării de membrană sunt împiedicate să se producă datorită legăturilor.

Această împiedicare a deformațiilor generează apariția unor eforturi suplimentare momente și forțe tăietoare. Determinarea acestora se poate efectua punând condiția ca la legături, deformațiile să fie aceleași.

Având în vedere că unele deformații plastice parțiale și locale nu sunt periculoase, se poate admite o depășire cu 20 % a rezistenței admisibile din oțel, iar la o grosime a cordoanelor de sudură de 0,7t min, verificarea suplimentară a acestora nu mai este necesară.

### 5.2.3. Particularități ale calculului de fiabilitate

Cunoscând caracteristicile de fiabilitate ale elementelor constitutive determinate experimental sau prin calcul așa cum s-a precizat în lucrare, se pot stabili și caracteristicile de fiabilitate ale sistemelor de anvelopare ale CNE tip CANDU PHWR, propus la acest capitol.

De regulă, considerând că degradările au un caracter independent, un sistem reprezintă, din punct de vedere al fiabilității, o înlanțuire (schemă) de tip serie, conform fig. 5. 7. a, pentru care probabilitatea de bună funcționare se exprimă:

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (5.13)$$

Unde  $R_s(t)$  = fiabilitatea sistemului,  $R_i(t)$  = fiabilitatea cunoscută a elementului component  $i$ , fiind simbolul produsului.

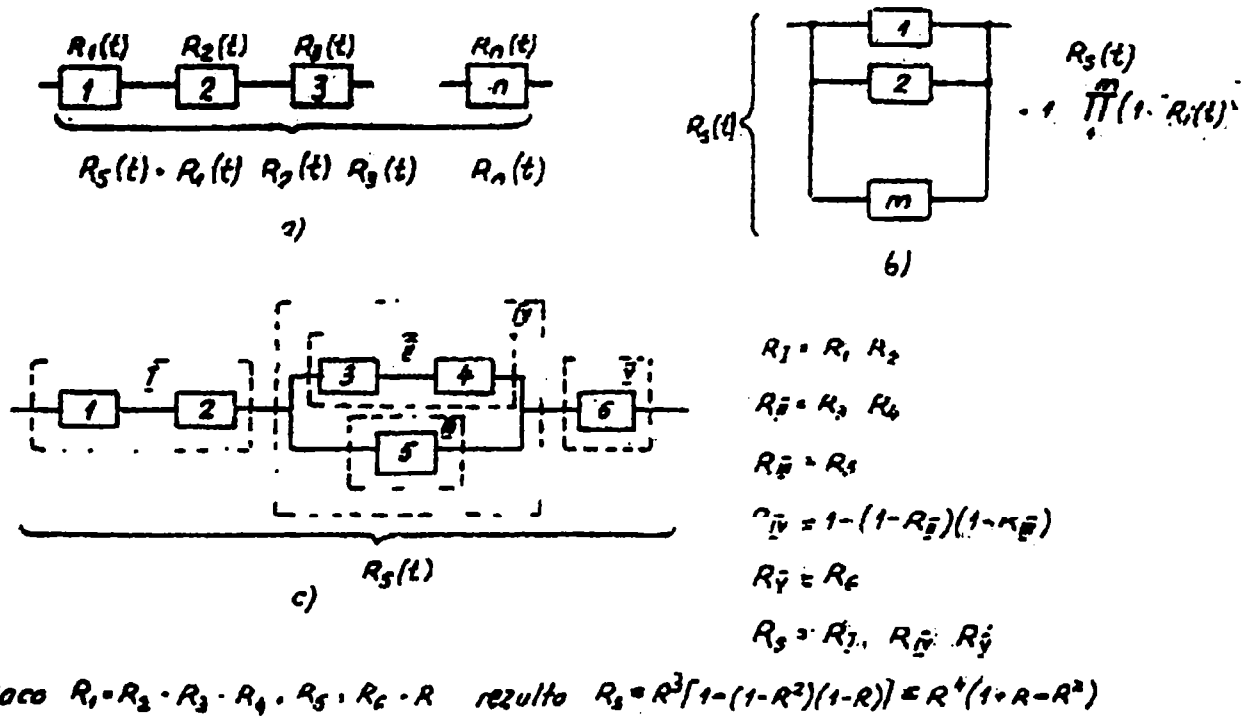


Fig5.7. Scheme logice de fiabilitate pentru sisteme

Se remarcă faptul că produsul unor exponențiale are drept rezultat o exponențială de forma:

$$\exp(-A_s t) = \exp(-\sum \Lambda_i t) \quad (5.14)$$

unde:  $A_s = \sum \Lambda_i$  este rata de degradare a sistemului.

De asemenea rezultă că, cu cât un sistem este mai complex, cu atât fiabilitatea sa este mai scăzută, valoarea indicatorului  $A_s$  crescând cu atât mai mult cu cât termenii sumei constitutive sunt în număr mai mare.

Sunt cazuri în care schema de fiabilitate este de tip paralel ca în figura 5.7.b., pentru care probabilitatea de defectare se scrie:

$$F_s(t) = F_i(t) \quad (5.15)$$

unde:  $F_s(t)$  = probabilitatea de degradare a sistemului

$F_i(t)$  = probabilitatea cunoscuta de degradare a elementului component „i”.

Probabilitatea de buna funcționare, în siguranță, va avea expresia

$$R_s(t) = 1 - F_s(t) = 1 - (1 - R_i(t)) \quad (5.16.)$$

O astfel de schemă se mai numește și redundantă, fiind folosită în situațiile un care un element al schemei este rezervat prin alt element identic.

În practică, așa cum este cazul și la sistemele de anvelopare la CNE, pot exista și scheme mixte, ca în figura 5.7.c. a căror rezolvare se realizează conform figurii, prin secționarea schemei în subscheme cu modul de rezolvare descris mai înainte.

Din cele expuse, rezultă și faptul că ansamblele și subansamblele de construcții metalice, propuse, reprezintă sisteme tehnice a căror schemă urmează unul din exemplele din figura 5.7.. Pentru asigurarea unei scheme cu nivel ridicat de fiabilitate, rezultă aplicarea concomitentă a unora dintre căile indicate mai jos:

-evitarea unui număr mare de elemente componente în structura unui sistem, dacă, cu o structură mai simplă se poate asigura o funcționalitate corespunzătoare

-utilizarea unor elemente componente de fiabilitate cât mai ridicată, scop ce se poate obține prin proiectare și tehnologie cât mai îngrijite, materiale cu performanțe ridicate, control executat corespunzător și eventual prin selecție pentru nivelul de performanțe.

-utilizarea de elemente cu redundanță

-asigurarea unor tehnologii de îmbinare și asamblare a elementelor componente, care să nu introducă puncte slabe în siguranța ansamblului

- încercări corecte (probe) ale sistemului în ansamblu, pentru depistarea în înlăturarea oricăror defecțiuni, utilizându-se regimuri de încercare capabile să evidențieze orice erori de concepție sau de execuție. Se va avea în vedere, de asemenea și omul, executant sau monteur al elementelor construcției, dat fiind că și acesta poate greși fie din oboseală și neatenție, fie din insuficienta pregătire și instruire profesională, cauze care trebui înlăturate.

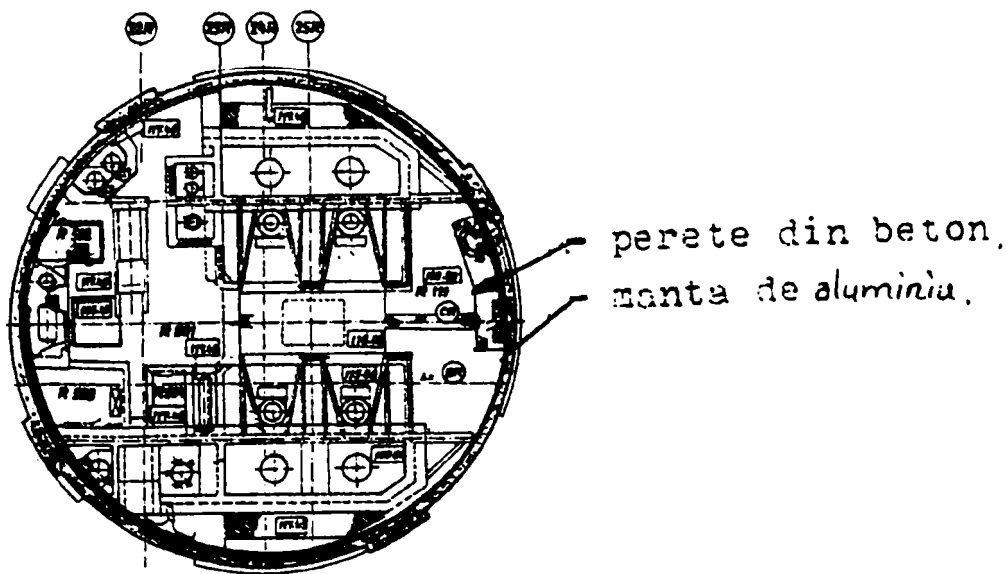
## 5.3.SOLUȚIA II: SISTEME DE ANVELOPARE CU DUBLĂ ETANȘARE DIN BETON ȘI ALUMINIU

### 5.3.1. Alcătuire

Așa cum am arătat și în paragraful 5.1., o variantă a soluției precedente, de căptușire a clădirii reactorului tip CANDU PHWR la interior cu manta de oțel, ar putea fi căptușită cu aluminiu, cu comportare bună la radiații și decontaminare, fără protecție, dar nesatisfăcătoare în zonele cu pericol la temperaturi înalte (vezi figura. 5.8.)

Inconvenientul comportării dezastruoase a aluminiului la temperaturi înalte, ar putea fi îmbunătățit prin utilizarea aliajelor de aluminiu cu cupru, nichel, fier, magneziu și siliciu, fie prin protejarea cu vopsele rezistente la temperaturi ridicate, soluție descrisă la capitolul IV.

Ca alcătuire, în acest caz, pot fi adoptate aceleași soluții ca cele descrise la paragraful 5.2. pentru căptușirea cu manta de oțel.

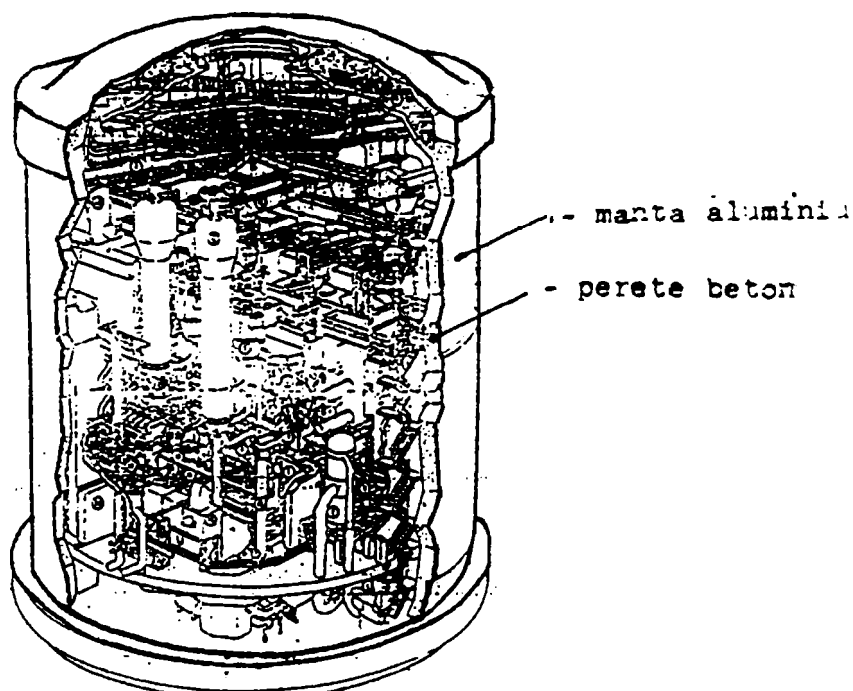


**Figura 5.8.**

**Sistem cu dublă etanșare din beton (exterior) și aluminiu (interior) la reactoarele tip CANDU PHWR.**

Ca o particularitate a acestei a acestei soluții, pot fi utilizate de asemenea mai multe variante și anume:

-varianta aplicării directe a mantalei de aluminiu pe suprafața betonului anvelopei, fără spațiu între ele (vezi figura 5.9.)



**Figura 5.9.**

**Sistem cu dublă etanșare din beton și aluminiu, varianta fără spațiu între ele.**

Această soluție, pe lângă avantajele cum sunt: scăpări radioactive mai mici de 1 % pe zi, realizare rapidă, fără elemente suplimentare de rigidizare etc., are dezavantajul lipsei controlului asupra scăpărilor radioactive.

-varianta captușirii anvelopei din beton, la exterior cu o mantă din aluminiu, între peretele din beton și manta păstrându-se un spațiu care la rândul lui poate fi umplut sau nu cu lână de plumb și în care poate fi creat fie o depresiune, fie un vid, pentru controlul scăpărilor radioactive (vezi figura 5.10.)

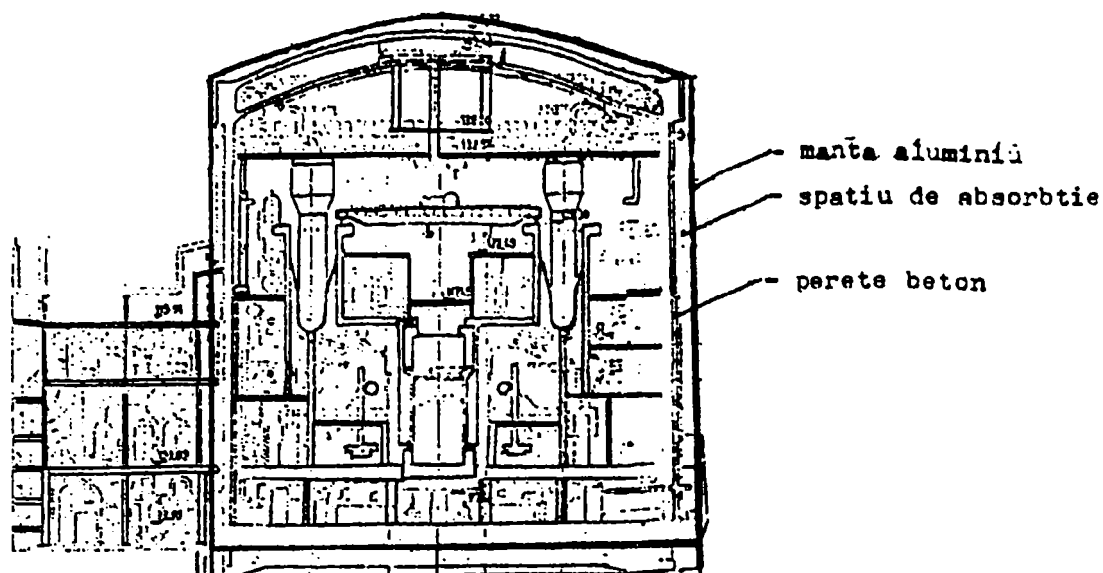
Ca avantajele ale acestei soluții sunt:

-scăpări radioactive mai mici de 0,2% /zi

-degajările de gaze care pot scăpa prin microfisiunile anvelopei din beton ar putea fi reținute în spațiul de absorbție de unde pot fi aspirate și trimise la o instalație de filtrare, apoi evacuate în atmosferă



-posibilitatea automatizării sistemului de control.



*Figura 5.10. Sistem cu dublă etanșare din beton și aluminiu, varianta cu spațiu de absorbție.*

Cel mai mare dezavantaj al soluției îl reprezintă prețul de cost ridicat, atât datorită instalațiilor auxiliare de depresurizare și absorbție, cât și a celor de filtrare și evacuare.

Dar, așa cum am precizat de atâtea ori pe parcursul lucrării, nu există un dezavantaj mai mare decât afectarea stării de sănătate a oamenilor și contaminarea mediului înconjurător, ceea ce face ca prețul vieții să aibă prioritate față de prețul de cost al lucrărilor de asigurare a acestora.

### 5.3.2. Particularități ale calculului de rezistență

Încărcările la care pot fi supuși pereții cilindrici din aluminiu ai clădirii reactorului, în cazul căptușirii la exterior, sunt:

- greutatea proprie a mantalei metalice
- depresiunea (vacuumul) creată cu scopul detectării scăpărilor
- efectele variațiilor de temperatură
- încărcarea cu zăpadă
- încărcarea produsă de acțiunea dinamică a vântului
- efectul acțiunii seismice

Determinarea eforturilor de calcul (stadiul de membrană), efectele de legătură (stadiul de încovoiere), precum și calculul pereților verticali se efectuează și se conduce la fel ca în cazul căptușirii la interior a pereților clădirii reactorului cu o manta de oțel.

Ca o particularitate a căptușirii cu o manta de aluminiu la exterior a clădirii reactoarelor tip CANDU PHWR, ar reprezenta-o capacul care în afară de funcția de acoperiș, trebuie să realizeze și o închidere etanșă. Aceasta se execută dintr-o manta de tablă de aluminiu care formează o învelitoare și care este susținută de forme sau grinzi curbe sau care poate să formeze o pânză autoportantă.

În primul caz învelitoarea se dimensionează ca o placă dreptunghiulară rezemată pe două sau patru laturi, după sistemul dispozitivului de susținere, grosimea tablei fiind stabilită din condiții de rezistență și săgeată, în funcție de mărimea deschiderilor.

În al doilea caz învelitoarea se calculează ca o pânză de revoluție în stadiul de membrană, cu excepția zonei de pe margine pentru care se ia în considerare și efectul marginal.

Așa cum am precizat mai sus la calculul acoperișului, în afara greutateii proprii și a încărcării cu zăpadă, vânt sau variații de temperatură, se ține seama și de efectul vacuumului care în acest caz reprezintă o încărcare de cca. 0,002 daN/cm<sup>2</sup>.

În cazul rezemării pe ferme, forma acoperișului se ia de obicei conică cu o înclinație redusă (1:15 + 1:20), iar în cazul rezemării pe rigle curbe, forma acoperișului este de obicei calotă sferică.

Atunci când învelitoarea formează o pânză portantă, formele obișnuite sunt: conică, sferică, elipsoid de revoluție, etc.

Etanșeitățile îmbinării dintre peretele lateral și învelitoare se asigură printr-o cornieră de centură sudată pe mantaua cilindrică și de care se sudează învelitoare prin cordoane continue.

După modul de așezare al elementelor de susținere al învelitorii se deosebesc următoarele două sisteme, date în literatura de specialitate /19/, /22/;

- 1) Sistemul cu ferme, pene, și căpriori
- 2) Sistemul cu bare curbe

Se recomandă cel de-al doilea sistem, în care fermele cu zăbrele sunt înlocuite cu bare curbe care împreună cu legături inelare și contra-vânturi formează sistemul unei cupole. După cum prinderile legăturilor inelare la barele curbe vor fi articulații sau încastrări vom avea un sistem spațial cu zăbrele sau un cadru spațial, învelitoare rezemând pe barele curbe care au rolul căpriorilor și pe barele inelare.

Împingerea orizontală a barelor curbe radiale, poate fi preluată de o grindă inelară fixată pe mantaua cilindrică, sau de titranții orizontali, așezați în planul vertical al fiecărei grinzi. Pentru reducerea săgeții din greutatea proprie, titranții sunt susținuți din loc în loc cu montanți verticali.

La soluția la care nu sunt folosiți titranți orizontali, pentru preluarea împingerii orizontale, efortul în grinda inelară rezultă din condițiile de echilibru, date în literatura de specialitate menționată mai sus.

#### 5.4. Scurte aplicații numerice ale calculului de fiabilitate

Ca o particularitate a calculului de fiabilitate descris la paragraful 5.2.3. se pot da următoarele exemple:

- 1) Fie sistemul alcătuit din  $i = 4$  elemente, pentru care ratele de degradare cunoscute sunt:

$$\Lambda_1 = 0,1 \cdot 10^{-6}; \Lambda_2 = 0,2 \cdot 10^{-6}; \Lambda_3 = \Lambda_4 = \Lambda_1 = 0,5 \cdot 10^{-6},$$

distribuția fiind considerată exponențială, rezultă:

$$R_s(t) = \exp(-0,1 \cdot 10^{-6} \cdot t) \cdot \exp(-0,2 \cdot 10^{-6} \cdot t) \cdot \exp(-0,5 \cdot 10^{-6} \cdot t) \cdot \exp(-0,5 \cdot 10^{-6} \cdot t) \\ = \exp(-1,3 \cdot 10^{-6} \cdot t)$$

Dacă se consideră un timp de utilizare de 100.000 h, rezultă:

$$R_s(100.000) = \exp(-1,3) = 0,2725$$

Pentru  $t = 10.000$  h, rezultă:

$$R_s(100.000) = \exp(-0,13) = 0,871,$$

adică o valoare mult mai mare.

Este evident faptul că  $R_s(0) = 1$  și  $R_s(\infty) = 0$

- 2) Pentru o schemă redundantă ca în fig. 5.9.b cu două elemente în paralel, elementul 1 cu fiabilitatea  $R_1(t) = 0,8$ , la degradare este înlocuit de rezerva sa, elementul 2 cu o fiabilitate  $R_2(t) = 0,9$ .

Fiabilitatea ansamblului celor două elemente este mai bună, decât aceea a unui singur element, deoarece:

$$R_s(t) = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) = 1 - (1 - 0,8)(1 - 0,9) = 1 - 0,02 = 0,98 > 0,9.$$

# CAPITOLUL VI. ÎMBUNĂTĂȚIREA FIABILITĂȚII GENERALE A CNE PRIN ADOPTAREA UNOR SOLUȚII NOI DE ANVELOPARE ÎN STRUCTURA METALICĂ

## 6.1. Prezentare generală

Așa cum am arătat și în capitolele anterioare, sistemul de anvelopare a reactorului și a instalațiilor aferente este unul din cele trei sisteme auxiliare care are o importanță deosebită și condiționează direct securitatea nucleară a centralei.

În acest capitol îmi propun să redau una din contribuțiile originale asupra sistemelor de anvelopare ale reactoarelor energetice utilizate azi în lume, inclusiv al celor de tip CANDU PHWR, prin analizarea unei soluții tehnice noi de reanalizare a anvelopei, care să asigure un grad mare de securitate.

Din punctul de vedere al cantității totale de produse de fisiune eliberat în atmosferă, de fiecare sistem de anvelopare în parte, la accidentul maxim posibil, printre cele mai eficiente sisteme de izolare de siguranță, sunt anvelopele duble cu spații de absorbție, care eliberează aproximativ 13,4 Ci, față de 64,4 Ci la cele cu depresiune și sisteme de reducere a presiunii sau 465 Ci la cele calculate la presiune maximă.

Cu toate caracteristicile de siguranță luate în calcul la stabilirea riscurilor, problemele structurale și tehnice apărute atât la execuția anvelopelor din beton ale clădirii reactorului cât mai ales la probe și exploatare, impun reanalizarea soluțiilor în vederea îmbunătățirii soluțiilor de anvelopare.

Astfel, în acest capitol se propune realizarea unei noi soluții de anvelopare cu dublă etanșare și spații de absorbție în construcție metalică de formă sferică (vezi fig. 6.1.) executată în două variante și anume:

- I Anvelopa în soluție metalică din tablă tip rezervor sferic;
- II Anvelopa cu structura metalică reticulară sferică.

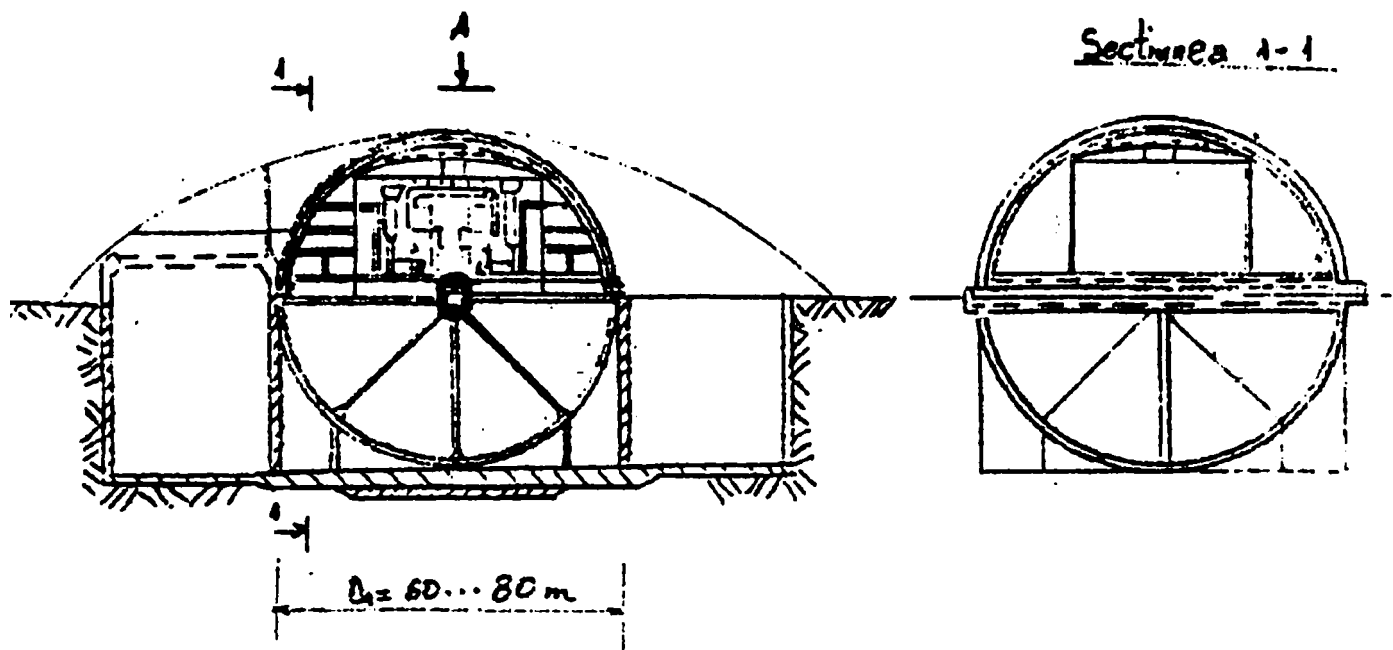
Ambele variante propuse pot fi realizate la rândul lor în două subvariante constructive, funcție de modul de dezafectare al centralei sau al clădirii reactorului, la sfârșitul perioadei de utilizare normală de cca. 30 de ani, după /1/. Astfel, una din subvariante este realizarea a două semisfere metalice prinse articulat pe un ax central care să permită printr-o rotație de  $180^\circ$ , scufundarea părții superioare care include și reactorul propriu-zis (callandria) în bazinul cu apă al părții inferioare ce reprezintă pe timpul funcționării centralei și bazinul pentru depozitarea temporară a combustibilului uzat (vezi fig. 6.1.). Acest lucru se va întâmpla după expirarea perioadei de utilizare normală a CNE.

Semisfera inferioară poate rămâne pe loc, fiind executată cu un diametru mai mare decât cea superioare sau poate fi scoasă suprafață prin rotația de  $180^\circ$  când cele două semisfere formează un corp comun, aceasta din urmă constituind cea de-a doua subvariantă de realizare a anvelopelor sferice.

Spațiul eliberat la suprafață poate servi pentru construcția unui nou reactor energetic nuclear care să utilizeze echipamentele clasice din sala mașinilor și clădirii serviciilor auxiliare ale vechiului reactor, sau poate fi dezafectat.

Din punct de vedere constructiv și al schemelor de calcul anvelopa de oțel poate fi considerată ca un rezervor sferic și gazometru sferic în prima variantă, sau ca o cupolă reticulară în cea de a doua variantă, la care eforturile principale sunt determinate atât de depresiunea creată cât și de suprapresiunea care a-ar produce în cazul unui accident maxim posibil.

Alte încercări la care pot fi supuse în aceste cazuri anvelopele sferice sunt: greutatea proprie a construcției metalice (inclusiv greutatea izolațiilor biologice cu lână de plumb atunci când ele sunt prevăzute),



Vederea din A

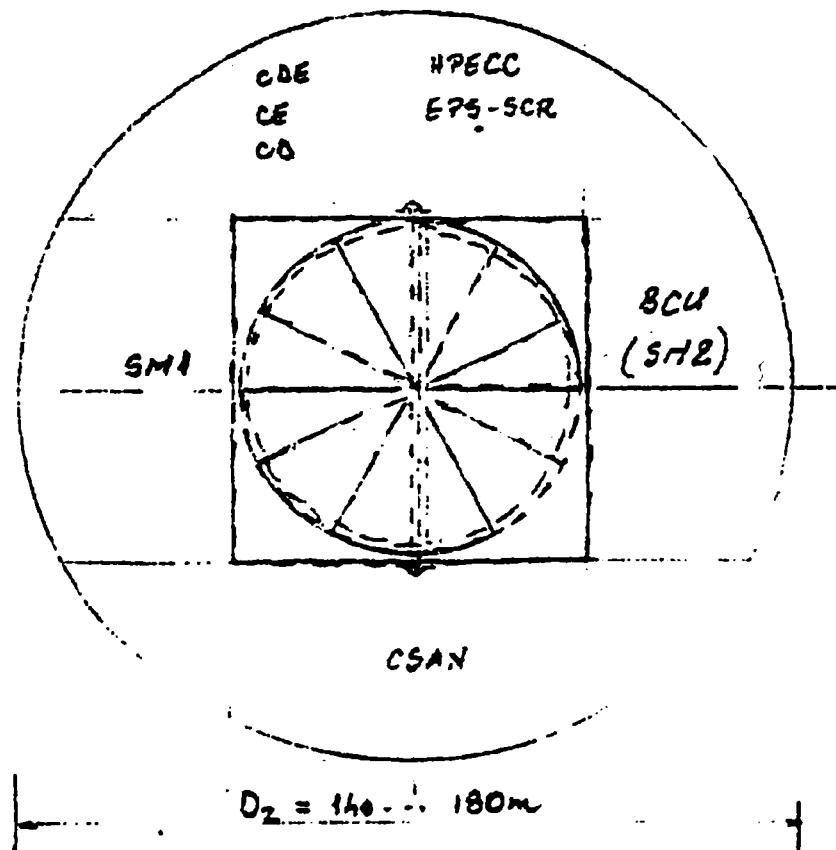


Fig. 6.1.

Soluție de anvelopare a CNE tip CANDU PHWR în construcție metalică de formă sferică.

încercarea utilă cu eventualele instalații susținute de construcția metalică, efectul acțiunii seismice și încărcarea din zăpadă și vânt. Acestea din urmă pot fi anulate, dacă sunt preluate de acoperișul construcțiilor auxiliare care se poate prelungi și peste anvelopă (vezi figura 6.1.).

La anvelopele sferice din tablă, grosimea peretelui fiind mică în raport cu dimensiunile anvelopei, mantaua se consideră ca o membrană a cărei formă este determinată de suprafața mediană.

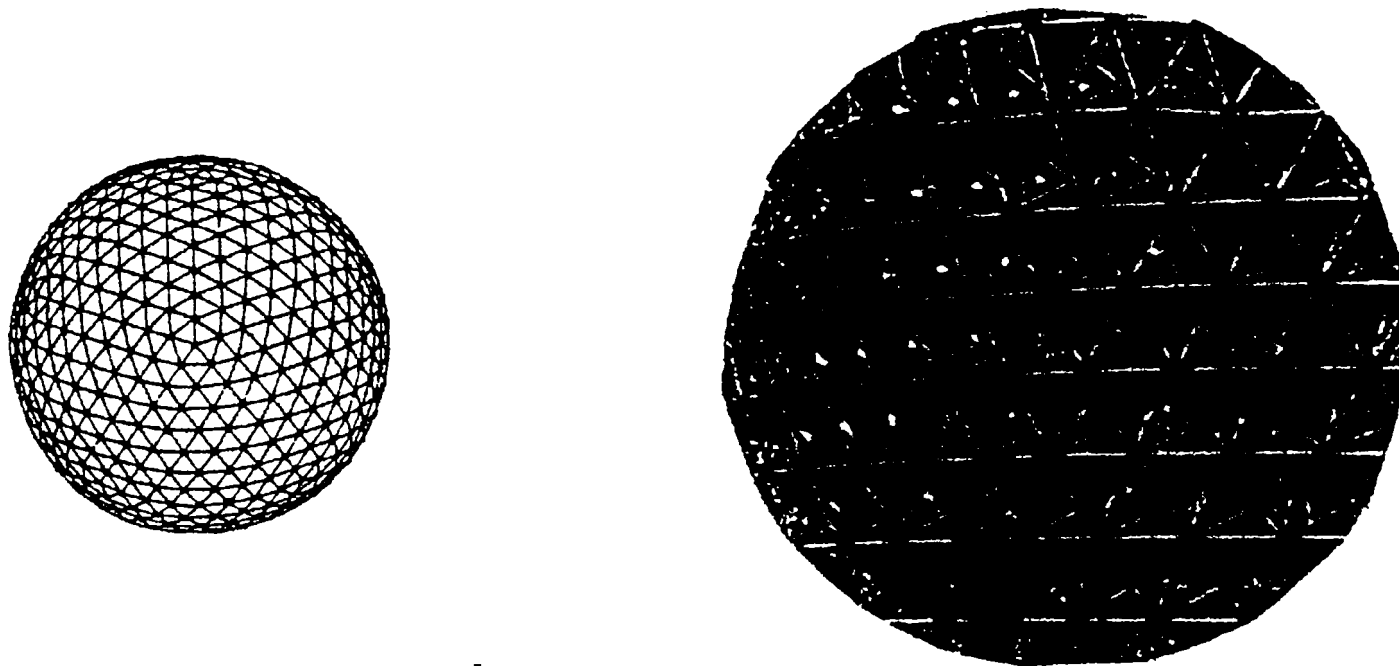
În aceste cazuri, anvelopa fiind supusă la presiuni interne mari în cazul accidentului maxim posibil, este rațional să fie executată din oțel slab aliat, fenomenul de voalare, mai puțin influențat de caracteristicile de rezistență ale oțelului, limitând folosirea unor oțeluri cu rezistențe prea ridicate.

Când rezemarea anvelopei sferice se realizează pe picioarele metalice fixate tangențial de corpul

anvelopei, stâlpii se realizează suficient de elastici astfel încât să nu împiedice deformarea peretelui anvelopei sub acțiunea solicitărilor și a efectelor temperaturii.

În cazul în care suprafața exterioară a anvelopei vine în contact direct cu mediul exterior, pentru a limita efectul variațiilor de temperatură, anvelopa se acoperă cu o izolație termică protejată de o cămașă metalică subțire de culoare deschisă, reflectorizantă.

În ceea ce privește anvelopa în structura reticulară, acesta este un sistem spațial având elementele componente dispuse în rețele fiind realizată sub formă de cupolă geodezică (vezi fig. 6.2.). Acest gen de structură este bine apreciat datorită atât configurației arhitecturale avantajoase cât și modului eficient de preluare și transmitere a diverselor acțiuni la care sunt supuse.



**Figura 6.2. Cupola reticulară geodezică.**

Deși ca sistem constructiv structurile reticulare au o vechime de peste un secol, în ultimele două decenii s-au creat numeroase sisteme în diverse forme cărora li s-au adus continue perfecționări prin utilizarea mijloacelor moderne de calcul și a diferitelor programe dezvoltate pe computere.

Acest fapt a contribuit la impunerea folosirii structurilor reticulare pe o scară tot mai largă, iar progresele obținute au condus la sporirea interesului proiectanților față de aceste sisteme constructive, realizându-se azi în lume un mare număr de construcții remarcabile, cum sunt domurile geodezice ale centrului comercial din Stockholm (Suedia) sau cel al expoziției universale din Montreal (Canada)

Față de sistemele constructive clasice, structura reticulară se bucură de următoarele avantaje:

- economie de material datorită greutatei proprii mici a construcției consecință a comportării spațiale a structurii (indicii de consum sunt foarte favorabili în cazul folosirii unor învelitori ușoare)
- este posibilă utilizarea unor elemente asemenea ceea ce ușurează execuția și montajul
- posibilitatea realizării unor deschideri foarte mari
- construcția are o mare rigiditate, deformațiile fiind reduse
- prezintă o mare siguranță în exploatare.

## 6.2. Formă și alcătuire

### 6.2.1. Anvelopa în construcție metalică din tablă, tip rezervor (gazometru) sferic (varianta I)

Forma rațională a unei astfel de anvelope se obține plecând de la ecuația diferențială a rezervoarelor sferice pentru lichide, care satisface condiția ca grosimea peretelui anvelopei să rămână constantă, ceea ce înseamnă că, curba meridian este un cerc și deci forma anvelopei cea mai rațională este cea sferică.

Având în vedere solicitările biaxiale mari precum și variațiile mari de temperatură, anvelopele sferice din tablă se execută din oțeluri slab aliate cu granulație fină.

Anvelopele sferice pot fi realizate din table tăiate sub diferite forme, cu rosturi decalate.

Tablele groase se deformează la cald în laminoare sau cu prese speciale, pe când tablele subțiri se pot deforma și la rece.

Sudarea în uzină a segmentelor mantalei anvelopei se face pe instalații speciale care se rotesc, permițându-se astfel sudarea în poziție orizontală cu ajutorul mașinilor automate de sudare, la montajul în șantier putându-se utiliza și coloane roboți.

### 6.2.2. Anvelopa în structura metalică, reticulată sferică (varianta II)

O structură reticulată este considerată ca un ansamblu de „n<sub>0</sub>” bare legate între ele prin intermediul a „n<sub>1</sub>” noduri, realizate din piese speciale.

Varianta propusă în acest paragraf, pentru o anvelopă a unei CNE de tip PHWR, este o cupolă reticulară geodezică, ținând cont de natura suprafețelor pe care se află nodurile rețelei.

În lume la ora actuală se utilizează o mare varietate de sisteme constructive, dar numai unele își găsesc o mai largă utilizare în cadrul cupolelor geodezice.

Astfel, în Canada se utilizează sistemul TRIODETIC cu bare alcătuite din țevi de oțel sau aliaje de aluminiu aplatizate la capete, fixarea lor în nod realizându-se prin intermediul a două șaibe asamblate cu un singur șurub. În Anglia și-a găsit o largă utilizare sistemul SPACE DECK, la care elementul de bază este realizat în formă de piramidă având baza pătrată din comiere și dispusă la fața superioară a plăcii reticulate, vârfurile piramidei reprezentând nodurile feței inferioare, în care se prind prin înșurubare barele întinse ale structurii, care au capetele filetate. Tot în Anglia se mai utilizează sistemele UNIMAT și NODUS.

În Germania, cât și într-un mare număr de alte țări de folosește sistemul NERO care este unul din cele mai vechi sisteme constructive utilizate în realizarea structurilor reticulare. Este un sistem simplu, într-un nod permițându-se prinderea unui mare număr de bare (până la 18) barele sunt țevi de secțiune circulară sau pătrată, prinderea lor în noduri realizându-se cu șuruburi de înaltă rezistență. Tot în Germania se mai utilizează și sistemul OKTAPLATTE.

În SUA a fost realizat sistemul UNISTRUT având nodurile realizate dintr-un gușeu din tablă presată, în fiecare nod putându-se prinde un număr de 8 bare care sunt în formă de secțiune „U”, laminate la cald sau din profile cu pereți subțiri formate a rece.

În Franța se utilizează sistemele PIRAMITEC, TUBACCORD, SDC și TRIDIMATEC.

În cazul anvelopei executate în construcție metalică sferică, structura reticulară poate fi realizată cu

barele articulate sau încastrate în noduri.

La alcătuirea structurii articulate spațiale, este necesară prinderea unui număr suficient de bare pentru a se obține un sistem interformabil, în ipoteza că nodurile în care sunt prinse barele sunt articulații sferice perfecte.

Poziția unui nod trebuie să fie invariabilă în raport cu celelalte, atâta timp cât lungimea barelor se consideră invariabilă.

Se pot distinge două situații pentru condiția indeformabilitate geometrică a structurii spațiale reticulate:

-indeformabilitatea geometrică rezultată din considerarea sistemului împreună cu bara de sprijinire, adică împreună cu legăturile care-l fixează pe baza de sprijin;

-structura are asigurată indeformabilitatea geometrică proprie, independent de baza de sprijin pe care va fi fixată.

În primul caz, condiția de indeformabilitate se exprimă sub forma:

$$n_b - 3n_n + n_r = 0 \quad (6.1.)$$

în care  $n_b$  este numărul de bare ale structurii  $n_n$  - numărul de noduri, iar  $n_r$  numărul de bare de legătură cu baza de sprijin.

În cea de-a doua situație, este suficient un număr de 6 bare de legătură cu planul rigid, respectiv cu terenul de fundație, adică  $n_r = 6$ .

În cazul anvelopei unei CNE tip PHWR, executată în construcție metalică, datorită dimensiunilor mari ale cupolei ( $D = 40 + 60$  m), din punct de vedere constructiv suprafața acesteia se poate asimila cu o structură reticulată plană, ce are un număr de bare la fața superioară  $n_{bs}$ , la fața inferioară  $n_{bi}$  și un număr de bare diagonale  $n_{bd}$ , care leagă noduri de la fața superioară  $n_{bs}$ , la fața inferioară  $n_{bi}$  și un număr de bare diagonale  $n_{bd}$ , care leagă noduri de la fața superioară cu noduri de la fața inferioară.

Numărul total de bare este:

$$n_b = n_{bs} + n_{bi} + n_{bd} \quad (6.2.)$$

În bare se consideră că se produc numai eforturi axiale de întindere sau compresiune.

Lungimea de flambaj a barelor comprimate se consideră distanța dintre secțiunile de prindere și zveltețea lor alegându-se astfel încât să nu rezulte coeficienții de flambaj a căror valoare să fie prea mică; barele se realizează din țevi rotunde sau pătrate din oțel carbon obișnuit de construcții sau chiar mai slab aliat.

La noi în țară, pentru prinderea barelor în noduri se folosesc elementele sferice, rezultate fie din sudarea a două semisfere executate prin deformare la cald sau la rece, fie din elemente din țeava ambutisată sau închise la capete cu semisfere.

Deformarea se realizează cu ajutorul unor matrițe speciale.

Grosimea sferelor, grosimea peretelui și diametrul lor sunt stabilite pe bază de încercări experimentale efectuate asupra unor sfere complete cât și cu găuri, o metodă analitică de dimensionare nefiind încă definitivată. Pentru alegerea peretelui sferei „t”, se pot folosi grafice determinate experimental, date în literatura de specialitate /19/ /22/, în funcție de anumiți parametri.

## 6.3. Particularități ale calculelor de rezistență

### 6.3.1. Calculul anvelopei

#### 6.3.1.1. Calculul anvelopei în varianta structurii metalice din tablă tip rezervor sferic (varianta I)

Ținând cont de particularitățile specifice ale anvelopei unui reactor nuclear-energetic, prezentate anterior în lucrare, la calculul aceste trebuie luate în considerare următoarele încărcări la care este supusă structura metalică a anvelopei:

- încărcări exterioare din: vânt, zăpadă, seism
- încărcări din greutatea proprie sau a unor elemente susținute de anvelopă
- încărcări tehnologice (platforme, instalații, etc.)
- încărcări din vacuumul creat în condiții normale de exploatare
- încărcări din suprapresiunea creată la accidentul maxim posibil
- încărcări din greutatea proprie, tehnologice și din vacuum, ca acțiuni permanente.

Încercările exterioare sunt considerate ca acțiuni temporare, iar încercările din greutate proprie, tehnologice și din vacuum, ca acțiuni permanente.

Încercările apărute ca urmare a accidentului maxim posibil, definit în lucrare, sunt considerate acțiuni excepționale.

Stabilirea acțiunilor care intră în diferitele grupări pentru stările limite ale capacității portante și respectiv ale exploatării normale, se stabilesc ținând cont de importanța construcției care reflectă interesul pentru siguranța oamenilor precum și consecințele pentru economia națională, în cazul ieșirii parțiale sau totale din funcțiune.

Pentru a ține seama de consecințele pe care le au eventualele depășiri ale stărilor limită, se vor utiliza coeficienții speciali de asigurare, care afectează de regulă valorile de calcul ale parametrilor corespunzători acțiunilor.

Acești coeficienți se definesc drept coeficienți ai încercărilor și fac legătura între valorile normate și valorile de calcul ale unor parametri care intervin în schemele de încărcare, considerând abaterile întâmplătoare posibile în sens favorabil față de valorile normate.

În afara coeficienților de încărcare, la alcătuirea grupărilor de încărcări se vor folosi și coeficienți de grupare care efectuează o valoare de calcul pentru o acțiune considerată într-o grupare, astfel încât efectele acestei grupări să corespundă unei grupări raționale.

Se evidențiază două cazuri de calcul al anvelopei sferice alcătuite din tablă și anume:

-cazul în care la accidentul maxim posibil în incinta anvelopei s-a creat o suprapresiune de gaze iar instalația de răcire cu apă nu a intrat încă în funcțiune

-cazul în care la accidentul maxim posibil, instalația de răcire cu apă funcționează și incinta anvelopei și implicit a reactorului sunt inundate.

În primul caz anvelopa poate fi verificată (fără a ține seama de greutatea proprie a cupolei) simplificat în stadiul de membrană, unde relațiile de calcul se aplică la calculul eforturilor în pereții anvelopei sferice, cu excepția unor zone limitate la legăturile între pereți și platforme, respectiv dintre pereți



și capac sau lângă rigidizări. În aceste zone datorită împiedicării deformațiilor se nasc solicitări suplimentare de încovoiere.

Efortul unitar determinat nu va depăși rezistența de calcul a secțiunii celei mai slabe și care în acest caz se consideră că este îmbinarea sudată (se acceptă o reducere a rezistenței cu 5 + 10 %. De asemenea se obișnuiește să se prevadă un spor de grosime de 1 + 2 mm, care să țină seama de reduceri ale secțiunii prin deformare la cald sau prin coroziune.

Acțiunea vacuumului creat în timpul funcționării normale conduce la necesitatea verificării pereților la voalare.

În cel de al doilea caz, considerând și că anvelopa este și rezemată pe un inel circular susținut de stâlpi, distribuția eforturilor unitare din mantaua anvelopei se modifică din cauza modului de solicitare și rezemare.

Așa cum rezultă din diagrame, în regiunea rezemării, stadiul de membrană este tulburat. Vor apărea în această regiune momente și forțe tăietoare care, modificând variația solicitărilor din stadiul de membrană vor duce la o egalizare a deformațiilor pânzei la nivelul de rezemare, condiție impusă de continuitatea pânzei după /6/, /22/.

Din considerente tehnice și de siguranță rezultă că pentru cupolele sferice cu dimensiuni mari cu diametre cuprinse între 40 și 60 m apar raționale la partea superioară a anvelopei în zona bazinului cu apa la avarie, capace în formă de segment sferic realizat dintr-o învelitoare din tablă subțire (4 + 5 mm) rezemată pe căpriori sub formă de semiarce radiale din profile I sau U. Căpriorii reazemă (articulat sau încastrat) pe un inel de reazem și un inel (rozetă) central.

În scopul susținerii și rigidizării învelitorii din tablă, capacul se prevede cu cel puțin o nervură inelară poligonală (legată rigid de căpriori) și se completează cu nervuri inelare, secundare. Legătura dintre tablă și elementele de susținere se realizează prin cordoane de sudură care asigură conlucrarea dintre aceste elemente.

Se consideră că în ansamblu, capacul lucrează ca o cupolă sferică formată din placă și nervurile de rigidizare. Se admite că tabla lucrează în domeniul post-critic, adică este capabilă să preia ca pânză autoportantă (cupola sferică cu rigidizări) o parte din încărcare în limita celei care ar produce valoarea (încărcarea normată afectată de un coeficient de siguranță adecvat).

Restul încărcării se consideră preluat de rețeaua formată de semiarce și nervurile de rigidizare, în aceste elemente apar atât forțe axiale cât și momente încovoietoare. Ținând seama că elementele de rigidizare sunt foarte elastice, conducând la deformații importante, apare necesară efectuarea unui calcul de rezistență de ordinul II luând în considerare sporul de moment produs de forța axială pe bara deformată.

Repartizarea încărcărilor pe capacul se face după /6/, astfel: o parte din încărcări acționează după verticală iar altele normal pe suprafața capacului.

Pentru simplificarea calculelor, datorită pleoștirii mari a capacului ( $15^\circ$ ) se poate considera că toate sarcinile acționează pe verticală.

Încărcarea dată de greutatea proprie a construcției capacului „g” este compusă din greutatea învelitorii, a elementelor de rigidizare (semiarce, inele, etc.) și eventuala încărcare echivalentă dată de echipamentele anexe, dacă această încărcare poate fi asimilată cu o încărcare uniform distribuită pe orizontală. În caz contrar, încărcările date de echipamente anexe se vor considera ca forțe concentrate, adoptându-se relația corespunzătoare pentru determinarea eforturilor în elementele construcției.

Pe lângă încărcările date, după caz se va ține seama și de eventualele suprapresiuni „p” sau subpresiuni

(vacuum  $p_{vac}$ ) care pot acționa asupra construcției în timpul exploatării anvelopei.

Încărcarea critică ce produce valoarea plăcii se determină pentru o calotă sferică convențională cu deschiderea „I” care se încadrează în panoul trapezoidal de dimensiuni maxime, delimitat de semiarce și de nervurile inelare.

În cazul în care nervurile de rigidizare sunt prinse articulat de căpriori, acestea lucrează ca arce articulate în inelul de reazem și rozetă, fiind încărcate cu sarcinile de pe zonele eferente de palcă (zone triunghiulare). În cazul nervurilor legate rigid de semiarce (căpriori), momentele încovoietoare ale acestora se reduc, datorită efectului favorabil al nervurilor inelare.

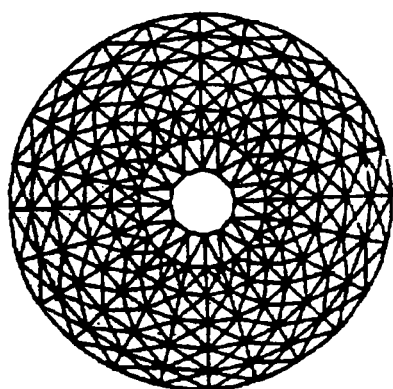
Momentele încovoietoare în căpriori se determină în două etape: momentele în starea nedeformată (de ordinul I) și momentele în starea deformată (de ordinul II).

Valorile eforturilor secționare din căpriori, corespunzătoare stării nedeformate (ordinul I) sunt date pentru cele două moduri de prindere a nervurilor inelare în tabele. Prevederea de inele legate rigid de căpriori, la anumite distanțe are drept consecință reducerea momentelor încovoietoare.

La verificarea căpriorilor și a rigidizărilor inelare legate solidar cu placa învelitorii, efectul conlucrării se pune în evidență prin luarea unei lățimi active din suprafața plăcii egală cu 16 tp pe fiecare parte a tălpii.

### 6.3.1.2. Calculul anvelopei în varianta structurii metalice reticulare, sferice (varianta II)

Considerând că asupra structurii acționează aceleași încărcări ca și în cazul precedent (paragraful 6.3.1.1.), în calculul static al anvelopei cu structura reticulară sferică, ca în figura 6.14, cu barele articulate în noduri, se iau în considerare următoarele ipoteze:



*Figura 6.14. Cupola anvelopei cu structura reticulară sferică, în rețea triunghiulară, dublu strat.*

-nodurile sunt articulații sferice perfecte, astfel încât la capetele barelor nu pot să apară momente încovoietoare sau de tensiune;

-barele sunt perfect axate în nodul teoretic;

-încărcările sunt concentrate și eficiente numai în noduri.

Determinarea eforturilor în barele sistemului se poate efectua cu metoda deplasărilor, generalizată. Se mai poate folosi și metoda diferențelor finite precum și metode bazate pe asimilarea structurii reticulate sferice cu medii continue echivalente.

În metoda de calcul a deplasărilor se determină deplasările necunoscute ale nodurilor, exprimând matricial ca produsul dintre matricea asamblată a rigidității structurii reticulate, (K) și vectorul deplasărilor necunoscute ale nodurilor )D=, în raport cu un sistem general de axe coordonate (x,y,z), este egal cu vectorul sau matricea încărcărilor aplicate nodurilor structurii adică:

$$(K) \cdot (D) = (P) \quad (6.3.)$$

Ca metodă algebrică de rezolvare a acestui sistem de ecuații, se utilizează în mod obișnuit metoda de eliminare a lui Gauss, dată în literatura de specialitate /19/, /22/.

## 6.3.2. Calculul platformelor din clădirea reactorului

### 6.3.2.1. Principii generale de calcul

Calculul structurilor metalice ale clădirilor reactoarelor CNE de tip CANDU (PHWR) s-a făcut până în 1984 de către licențiator, după metoda rezistențelor admisibile utilizându-se numai unități britanice de măsurare) deci și pentru CNE Cemavodă), iar de la adoptarea în 1984 în Canada a noilor standarde de construcții metalice /C7/, s-a aplicat metoda stărilor limită, utilizându-se în paralel unități de măsură în sistem internațional și unități britanice. Verificările proiectelor mai vechi de 1984 s-au efectuat și în metoda stărilor limită după /B5/. Pentru a exemplifica, se prezintă în continuare câteva particularități de calcul ale principalelor tipuri de îmbinări utilizate la realizarea platformelor metalice din clădirea reactorului: îmbinări cu șuruburi și îmbinări sudate.

### 6.3.2.2. Calculul îmbinărilor cu șuruburi (particularități)

Șuruburile utilizate la platformele din clădirea reactorului sunt de două tipuri:

-șuruburi de înaltă rezistență, la prinderea grinzilor și tamponelor antiseismice

-șuruburi înfiletate în ancore tip Richmond; la prinderea scaunelor de piesele înglobate, în peretele perimetral al anvelopei din beton armat.

În ambele cazuri în conformitate cu normele nord americane /C7/ trebuie satisfăcută relația:

$$V/T + 1,9 T/n_v \cdot F_u = 1,0; V_s = 0,26 \cdot \mu m \cdot Ab F_u \quad (6.4.)$$

unde,

V = forța de întindere,

V<sub>s</sub> = rezistența la alunecare,

T = forța de forfecare,

Ab = aria brută a unui șurub,

F = rezistența specifică minimă la întindere,

$\mu$  = coeficient de frecare (funcție de calitatea oțelului și pregătirea suprafeței acestuia)

m = numărul suprafețelor de forfecare; egal cu 1 pentru bolțuri cu o singură forfecare și cu 2 pentru bolțuri cu 2 suprafețe de forfecare.

Tot ca o particularitate a acestor îmbinări este și calculul cuplurilor de strângere, care în primul caz se face cu relația:

$$M = 0,2 \cdot N \cdot d \text{ sau } M = 0,14 T_c \cdot A_{nom} \cdot d, \quad (6.5.)$$

unde: 0,2 = coeficientul de frecare între șurub și piuliță,

N = 0,7 A<sub>nom</sub> · T<sub>c</sub> este forța de precomprimare în șurub,

T<sub>c</sub> limita de curgere minimă garantată a materialului șurubului,

d diametrul nominal al șurubului,

iar în cel de-al doilea caz cu relația :

$$M_s = K A_c N_p d, \text{ unde:} \quad (6.6.)$$

$K$  = coeficient de frecare între șurub și piuliță ( $K = 0,2$ )

$d$  = diametrul nominal al șurubului

$N_p$  = forța de preîntindere în șurub

$$(N_p = A_c T_p)$$

$A_c$  = aria de calcul ( $A_c = 3,14 d/2; d_0 = 0,89d$ )

$c$  = efortul de pretensionare al șurubului

$$(T_p = 0,25 T_c)$$

$T_c$  = limita de curgere

$T_p = 1000 \text{ daN/cm}^2 \text{ pt. gr.5.8}$

$= 1600 \text{ daN/cm}^2 \text{ pt. gr.8.8}$

### 6.3.2.3. Calculul îmbinărilor sudate (particularități)

Rezistențele de calcul pentru îmbinările sudate ale platformelor metalice din clădirea reactorului au fost determinate în conformitate cu cele prezentate în tabelul 1.6. de maijos.

Tabelul 1.6.

Tipul sudurii	Solicitarea (încărcarea)	Rezistențe de calcul
Îmbinare sudată cu margini prelucrate; total pătrunsă	Întindere sau compresiune paralelă cu axa sudurii. Compresiune normală pe axa sudurii Întindere normală pe axa sudurii	La fel ca și cea calculată pentru materialul de bază
	Forfecare	A) metal de bază $V_r = 0,67 \phi F_y A_n$ b) metalul depus $V_r = 0,67 \phi_w X_u A_w$ $X_u$ = conform standard de electroni, utilizat
Îmbinare sudată cu margini prelucrate; parțial pătrunsă	Întindere sau compresiune paralelă cu axa sudurii.	La fel ca și cea calculată pentru metalul de bază
	Compresiune normală pe axa sudurii	Idem, cu observația că $A = A_n$ = aria metalului de bază în contact de apăsare (peste 75%)
	Întindere normală pe axa sudurii	a) metal de bază (1) $T_r = \phi F_y A_n$ (2) $T_r = 0,85 \phi F_u A_n$ b) metalul depus $V_r = 0,67 \phi_w X_u A_w$ $X_u$ = conform standard de electrozi, utilizat
	Forfecare	a) metal de bază $V_r = 0,67 \phi F_y A_n$ b) metalul depus $V_r = 0,67 \phi_w X_u A_w$ $X_u$ = conform standard de electrozi, utilizat
Suduri de colț	Întindere sau compresiune paralele cu axa sudurii	La fel ca și cea calculată pentru metalul de bază.
	Întindere sau compresiune normală pe axa sudurii	La fel ca și cea calculată pentru metalul de bază.
	Forfecare	a) metal de bază $V_r = 0,67 \phi F_y A_n$
Suduri în gaura de nit și cusături în șanț	Forfecare	$V_r = 0,67 \phi_w X_u A_w$

Semnificația simbolurilor utilizate în tabel este următoarea:

$A_w$  = a) pentru toate tipurile de sudură exceptând pe cele în gaura de nit și cusăturile în șanț.

$A_w$  = mărimea efectivă a rostului sudurii ori lungimea sudurii

b) pentru sudurile în gaură de nit și cusăturile în șanț;

$A_w$  = aria suprafeței de etanșare

a) pentru suduri de colț:  $A_m$  = mărimea efectivă x lungimea sudurii

b) pentru suduri cu margini prelucrate, total pătrunse,

(1) îmbinări cap la cap:  $A_m$  = grosimea met de bază x lungimea sudurii

(2) pentru îmbinări în T:  $A_m$  = mărimea suprafeței exterioare topite în metalul de bază x lungimea sudurii

c) pentru sudurile cu margini prelucrate, parțial pătrunse

$A_m$  = mărimea suprafeței exterior topite în metalul de bază x lungimea sudurii, cu condiția:  $A_m$  grosimea metalului de bază x lungimea sudurii

b) pentru suduri în gaură de nit și cusături în șanț,

$A_m$  = aria suprafeței topite

$A_n$  = aria aplicabilă a met. De bază normală pe solicitarea de întindere pentru îmbinările întinse folosite la sudurile cu prelucrări, parțial pătrunse

$F_u$  = rezistența de rupere la întindere în metalul de bază

$F_y$  = efortul specific minim de curgere, limita de curgere, punctul de rupere în metalul de bază.

$V_r$  = rezistența de calcul la forfecare

$X_u$  = rezistența de rupere a electrodului

$\alpha$  = coeficient de siguranță = 0,07 pentru metalul de bază

## 6.4. Particularități ale calcului seismic

### 6.4.1. Ipoteze de încărcare pa ansamblul clădirii reactorului

- ipoteza I)  $D + L + L^* + F + G + Q + S + \frac{W}{\gamma_s} = 0,6\bar{\xi}$

- ipoteza II)  $D + 0,75 + 0,38L^* + F + G + Q + S + SDE(w) < 1,33\bar{\xi} = 0,79\bar{\xi}$

- ipoteza III)  $D + 0,5L + 0,25L^* + F + G + Q + S + DBE \leq 1,5\bar{\xi} = 0,9\bar{\xi}$  în care:

D = sarcini moarte; L = sarcini utile; L\* = zăpada; Q = echipamente; S = contracție, curgere lentă și temperatura; F = presiunea pământului; G = presiunea apei freactice; W = vânt; SDE = cutremur la 100 de ani; DBE = cutremur la 1000 de ani;

### 6.4.2. Cutremurele considerate la proiectare

Centralele generatoare de energie nucleară trebuie să demonstreze integritatea lor structurală și să dea asigurări împotriva evacuărilor accidentale ale cantităților potențial nocive de substanțe radioactive în mediu, în urma cutremurelor. Cele trei niveluri ale cutremurelor considerate în proiectare sunt folosite la proiectarea seismică a CNE pentru a da asigurări, astfel

a) Sistemele și structurile clasificate ca având funcții legate de securitate sunt pentru a rezista la cutremure mai severe, însă mai puțin probabile pentru a da o asigurare suplimentară. S-au elaborat astfel două

nivele pentru sistemele și structurile legate de securitate, denumite Cutremur de bază de proiectare (DBE) și Cutremur de proiectare de amplasament (SDE) experimentate sub formă de spectre de răspuns (vezi figura 6.4.1)

b) Anumite sisteme și structuri calificate ca nelegate de securitate, sunt proiectate la un cutremur de nivel mai scăzut, similar cu cel adoptat pentru instalațiile industriale normale și clădirile publice. Acest nivel de cutremur este denumit Cutremur General de Proiectare (GDE).

Cutremurele de proiectare pentru CNE se aplică la modelul dinamic al structurii împreună cu orice efect al interacțiunii sol-structură.

Fiecare structură sau sistem este clasificat numai la unul din nivelele indicate în figura 6.4.2.

Spectrele de răspuns orizontale (DBE) ale terenului pentru un anumit amplasament și mișcările DBE din figura 6.4.1. sunt redate în tabelele 7.6. și 6.6..

De exemplu, pentru amplasamentul CNE Cernavodă spectrul SDE reprezintă " din spectrele DBE, iar spectrele de răspuns pentru GDE reprezintă L' din spectrul DBE.

Spectrele verticale de răspuns ale terenului pentru nivelele DBE, SDE, și GDE reprezintă 2/3 din spectrele respective orizontale de răspuns.

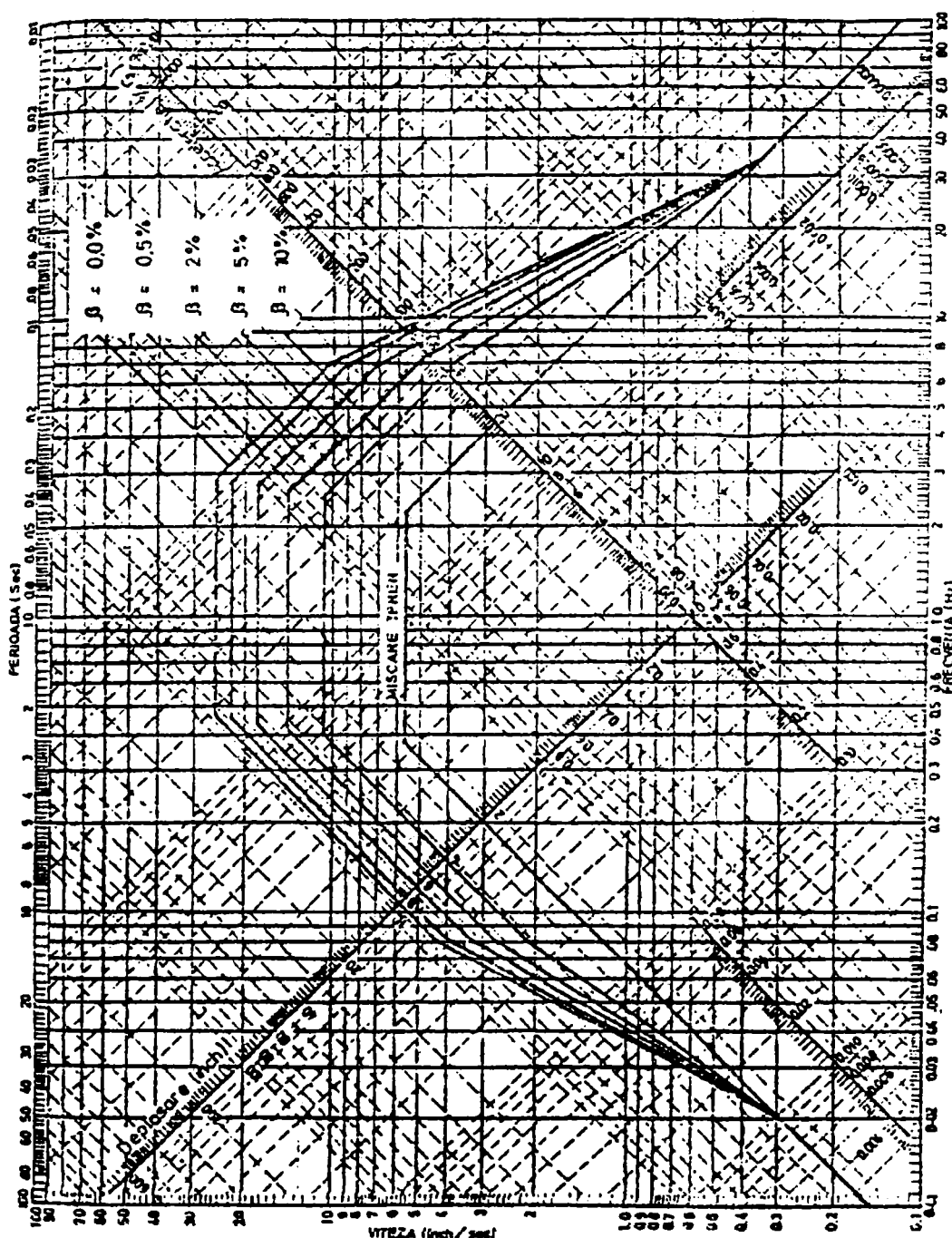


Fig. 6.4.1. Cutremur de bază de proiectare. Spectrul de răspuns



Valorile accelerației de vârf a terenului pentru nivelele DBE, SDE și GDE sunt indicate de asemenea în tabele, ca de altfel și valorile de amortizare recomandate pentru structurile nucleare, echipamente și conducte (vezi tabelul 5.6. și tabelul 8.6.)

**Tabelul 5.6.**

**Valorile de vârf ale accelerației terenului pentru cutremurele considerate în proiectare:**

Cutremur considerat în proiectare	DIRECȚIA	
	Orizontală(1)	Verticală
Cutremur de Bază de Proiectare (DEE)	0,2 g	0,13 g
Cutremur de Proiectare de Amplasament(SDE)	0,1 g	0,067 g
Cutremur General de Proiectare(GDE)	0,05 g	0,033 g

(1) Pentru oricare din cele două direcții perpendiculare

**Tabelul 6.6.**

**Mișcările DEE pentru CNE**

MIȘCĂRILE DEE PENTRU CNE		
MIȘCAREA TERENULUI		
Deplasarea Inch (mm)	Viteza Inch./sec (mm/sec)	Accelerația % din g
2,48 (61,00)	5,6 (142,24)	20

**Tabelul 7.6.**

RĂSPUNSUL			
Amortizare $\beta$ în %	Deplasarea In(cm)	Viteza In/sec/(cm/sec)	Accelerația % din g
0,0	8,74(22,20)	25,09(63,73)	116,6
0,5	7,89(20,0)	22,12(56,178)	99,6
1	7,40(18,8)	20,38(51,77)	90,4
2	6,67(16,94)	18,09(45,95)	78,0
3	6,19(15,72)	16,41(41,68)	69,6
5	5,43(13,79)	14,11(35,84)	58,4
7	4,87(12,37)	12,60(32,00)	51,2
10	4,28(10,87)	10,86(27,58)	43,6
20	3,21(8,15)	7,95(20,19)	30,4

\*(Răspunsurile pentru valorile intermediare de amortizare pot fi obținute prin interpolare liniară.)



**Tabelul 8.6.****VALORI DE AMORTIZARE RECOMANDATE  $\beta^*$** **( $\beta^*$  = AMORTIZAREA CRITICĂ ÎN PROCENTE)**

Structură sau componente	$\beta^*$
1. Vase sub presiune din oțel sudat cu diametrul mare sau conducte cu diametrul de 20 de țoli (508 mm) sau mai mare	3
2. Conducte cu diametrul mai mare de 12" (305 mm) sau mai mic de 20" (508 mm)	2
3. Conducte cu diametrul între 2" și 12" ( 51-305 mm)	1
4. Conducte cu diametrul mic, tuburși conducte cu diametrul sub 2" (51 mm) suportți ficși) (suportți liberi la intervale mici permițând viobrații)	2
5. Structuri din oțel sudat	2
6. Componente rigide (oțel sudat sau turnat) adică pompe sau vane	2
7. Structuri din oțel îmbinat cu buloane	4
8. Structuri din beton precomprimat (adică anvelopa din beton)	2
9. Beton puternic armat (fără fisurare)	2
10. Structuri din beton armat (unele fisuri)	4
11. Teren moale (roci sedimentare sau fisurate)	7
12. Rocă corespunzătoare (granit)	3

**NOTĂ**

- a) Amortizarea compusă pentru structurile din beton: se folosesc valorile medii de amortizare ale terenului și betonului, sau se va stabili din răspunsul relativ folosind metoda deformație specifică energie sau o metodă similară.
- b) Valorile de amortizare de mai sus se bazează pe excitațiile seismice care conduc la eforturile unitare de încovoieră până la 50 % din rezistența la curgere. Pentru eforturile mai mari induse seismic, valorile de amortizare mai mari pot fi folosite dacă se justifică.
- c) Pot fi folosite valori mai mari de amortizare cu condiția ca acestea să fie complet justificate prin experiențe sau când ne bazăm pe măsurătorile actuale luate din structurile comparabile sau componentele supuse condițiilor echivalente de vibrație, sau valorile de amortizare dependente de răspuns, determinate analitic.

## 6.5. Particularități ale calculului de fiabilitate

În practică sunt numeroase situații când există un anumit grad de incertitudine referitor la datele inițiale de efectuare a calculelor de fiabilitate ale unui sistem cum ar fi sistemul de anvelopare la CNE ceea ce afectează precizia acestor calcule, respectiv conformitatea lor cu realitatea tehnică. Incertitudinea provine de la informații incomplete asupra fiabilității elementelor, cât și din existența unor surse eterogene pentru calculul datelor inițiale. De aceea, a fost elaborată o metodă /F1/ care ține seama de natura prezentă a datelor inițiale.

Se pleacă în primul rând, similar cu metoda clasică de calcule pentru fiabilitatea previzională de la ipoteza că timpul de funcționare fără degradare a fiecărei componente este distribuit după legea exponențială. Ipoteza este justificată din următoarele considerente:

a. Legea exponențială este adecvată perioadei utile de funcționare a sistemelor complexe și a unor anumite tipuri de ansamble și subansamble.

b. Orice lege de distribuție poate fi aproximată suficient de precis de o secvență de funcții exponențiale, având parametri diferiți.

În al doilea rând, se presupune că informația disponibilă privind fiabilitatea unei componente poate fi exprimată printr-o distribuție asociată unui indicator, ce caracterizează fiabilitatea componente respective.

În al treilea rând, se presupune că informația disponibilă privind fiabilitatea unei componente poate fi exprimată printr-o distribuție asociată unui indicator, ce caracterizează fiabilitatea componente respective.

Dispersia relativă a acestei distribuții este o măsură a certitudinii privind valoarea indicatorului de fiabilitate.

Cu cât informațiile disponibile sunt mai ample, cu atât dispersia relativă a distribuției asociate este la rândul ei mai mică. Distribuția poate fi modificată prin acumularea succesivă a unor informații, utilizându-se ecuația lui Bayes, astfel încât fiabilitatea unei componente este descrisă în conformitate cu cele mai noi rezultate experimentale.

Se asociază ratei de degradare a unui element component o distribuție de tip gamma, având expresia:

$$f(\lambda) = b(b\lambda)^{a-1} e^{-b\lambda} / \Gamma(a) \quad (6.7.)$$

Distribuția gamma este adoptată din următoarele considerente:

a) Este definiția pentru valori pozitive ale variabilei aleatoare, ceea ce corespunde sensului fizic al parametrului.

b) Are o formă flexibilă, datorită dependenței de doi parametri, fiind astfel adaptabilă unei varietăți de situații concrete.

c) Este conjugată față de distribuția exponențială, ceea ce conduce la simplitatea ajustării ei pe măsura apariției unor date.

Estimația punctuală a ratei de degradare a unei componente este dată de valoarea medie a distribuției din relația de mai sus:

$$\lambda = M_\lambda = a/b \quad (6.8.)$$

Incetitudinea asociată valorii ratei de degradare este exprimată de dispersia relativă:

$$D\lambda / M\lambda = a/b^2 \times b/a = 1/b \quad (6.9.)$$

Valorile a și b sunt caracterizate astfel complet fiabilitatea unei componente cu un grad de certitudine măsurabil.

În ipotezele menționate, fiabilitatea unui sistem neredondat cum este anvelopa reactorului, propusă la acest capitol, este descrisă complet de rata de degradare a sistemului.

Dacă  $(\lambda_i; i = 1, 2, \dots, k)$  sunt ratele de degradare a elementelor sistemului și  $n$  este numărul total de elemente, atunci:

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^k n_i \lambda_i \quad \sum_{i=1}^k n_i = n \quad (6.10)$$

Estimația punctuală a lui  $\lambda_s$ , se poate calcula mediind relația (6.54) de mai sus și ținând seama de relația lui  $\lambda$ , (6.8)

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^k n_i \hat{\lambda}_i = \sum_{i=1}^k \frac{p_i}{b_i}, \quad p_i = n_i a_i \quad (6.11)$$

Estimația punctuală calculată cu ajutorul acestei relații este utilă pentru compararea performanțelor diferitelor variante ale proiectului, dar nu poate caracteriza complet sistemul, deoarece nu indică o măsură a certitudinii privind rezultatul obținut.

Estimația cu interval de încredere constă din construcția unui interval, care să conțină valoarea indicatorului de fiabilitate cu probabilitatea impusă  $1 - \alpha$ . Pentru construcția intervalului este necesar să se construiască distribuția  $f_s(\lambda)$  asociată ratei de degradare a sistemului. În acest scop, se ține seama de faptul că densitatea de probabilitate a unei sume de variabile aleatoare este produsul densităților de probabilitate ale variabilelor însumate:

$$f_s(\lambda) = f_1(\lambda) f_2(\lambda) \dots f_n(\lambda) \quad (6.12)$$

Aplicând transformata LAPLACE relației de mai sus și ținând seama de relația lui  $f(\lambda)$ , (6.7) rezultă:

$$L f_s(\lambda) = f^*_s(s) = \prod_{i=1}^n f^*_i(s) = \prod_{i=1}^k [f^*_i(s)]^{p_i} \quad (6.13)$$

Transformata Laplace a distribuției gamma  $f_i(\lambda)$ , este pentru  $a_i$  întreg:

$$f_i(s) = \left( \frac{b_i}{s + b_i} \right)^{a_i}; \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (6.14)$$

Înlocuind relația de mai sus (6.14) în precedenta (6.13), rezultă :

$$f^*_s(s) = \prod_{i=1}^k \left( \frac{b_i}{s + b_j} \right)^{p_i} \quad (6.15)$$

Deoarece  $p_i = m_i$  = întreg, relația (6.13) se poate descompune astfel:

$$f_s(s) = \sum_{i=1}^k \frac{k_j}{(s + b_i)^{m_i-j}}, \quad (6.16)$$

$$k_j = \frac{1}{j!} \frac{d^j}{ds^j} [(a + b_i)^m \cdot f^*_s(s)] / s = -b_i, \quad (6.17)$$

Transformata inversă Laplace a funcției  $f^*_s(s)$  se obține direct:

$$f_s(\lambda) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=0}^{m_i-1} \frac{k_{ij} m_i - j - 1}{(m_i - j - 1)} e^{-b_i \lambda} \quad (6.18)$$

Intervalul de încredere unilateral se obține introducând expresia de mai sus (6.18) în relația:

$$\int_0^{\lambda_{\text{sup}}} f_s(\lambda) d\lambda = 1 - \alpha, \quad (6.19)$$

Intervalul de încredere bilateral simetric se obține introducând expresia (6.18) și în relațiile:

$$\int_0^{\lambda_{\text{inf}}} f_s(\lambda) d\lambda = \frac{\alpha}{2} \quad (6.20)$$

$$\int_{\lambda_{\text{sup}}}^{\infty} f_s(\lambda) d\lambda = \frac{\alpha}{2} \quad (6.21)$$

Pentru rezolvarea ecuațiilor de mai sus (6.19), (6.20), (6.21) se calculează funcția de repartiție definită de:

$$F_s(\lambda) = \int_0^{\lambda} f_s(u) du, \quad (6.22)$$

Introducând expresia  $f_s(\lambda)$  în  $F_s(\lambda)$  rezultă:

$$F_s(\lambda) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=0}^{m_i-1} k_{ij} \left[ b_i^{j-m_i} - e^{-b_i \lambda} \sum_{i=0}^{m_i-j-1} \frac{1}{i!} \right] b_i^{j+1-m_i} \quad (6.23)$$

Pentru calculul intervalelor de încredere cu orice nivel de încredere impus, este suficient să se tabeleze funcția obținută (6.23).

Limita superioară a intervalului unilateral reiese din egalitatea:

$$F_s(\lambda_{\text{sup}}) = 1 - \alpha \quad (6.24)$$

Limitele intervalului bilateral simetric se obțin din ecuațiile:

$$F_s(\lambda_{\text{inf}}) = \frac{\alpha}{2}, \quad (6.25)$$

$$F_s(\lambda_{\text{sup}}) = 1 - \frac{\alpha}{2}, \quad (6.26)$$

Dacă numărul de categorii de componente, distincte din punct de vedere al fiabilității este mic, tabelarea funcției (6.23) se poate efectua cu ajutorul unui calculator de birou. În caz contrar, se utilizează un program de calcul a cărui organigramă este prezentată în fig. 6.5.1.

Datele inițiale ale programului sunt perechile de valori  $(p_i, b_i, i = 1, 2, \dots, k)$ , care caracterizează fiabilitatea elementelor componente. Valorile  $b_i$  trebuie exprimate în  $10^3$  ore. Se calculează transformata Laplace  $F_s^*(s)$  a funcției de repartiție  $F_s(\lambda)$ , pentru  $s=1, 2, \dots, 9$ . Valorile lui  $s$ , pentru care s-a calculat funcția, sunt impuse de subrutina de inversare F P L A P I (F, T, U), care a fost utilizată pentru calculul originalului.

Subrutina dă valorile funcției  $F_s(\lambda)$  pentru nouă valori ale argumentului  $\lambda$ , (exprimat în %/ ore): 0,016; 0,0855; 0,2148; 0,4123; 0,6931; 1,085; 1,634; 2,501; 4,140.

Astfel, funcția  $F_s(\lambda)$  este tabelată. Pot interveni însă două situații:

- a) Valorile  $F_s(\lambda)$  nu epuizează domeniul de variație a funcției fiind concentrate în jurul uneia din limitele intervalului (0,1);
- b) Valorile  $F_s(\lambda)$  sunt rare în zona care prezintă interes maxim pentru interpolare (0,2...0,9). În aceste situații, se recurge fie la o extindere, fie la o detaliere a domeniului de valori, alegând convenabil o constantă de multiplicare c. Într-adevăr, se știe că :

$$\alpha^0 f_s(c\lambda) = \frac{1}{c} F_s^* \left( \frac{s}{c} \right), \quad (6.27)$$

Astfel, pentru  $c > 1$  se va realiza extinderea, iar pentru  $c < 1$  detalierea domeniului de valori.

Pentru tabelarea funcției  $F_s(C\lambda)$  este necesar să se recalculeze transformata Laplace, creându-se bucla de reacție a programului.

Dacă domeniul valorilor lui  $F_s(\lambda)$  este suficient de larg și de detaliat, se tipăresc perechile de valori  $[\lambda, F_s(\lambda)]$  sub formă de tabel și de grafic. Prin interpolare, se obțin intervale de încredere de orice nivel impus.

Metoda elaborată după /F<sub>1</sub>/, are următoarele avantaje față de alte metode:

- a) Distribuția care conține informația privind fiabilitatea elementelor componente este asociată ratei de degradare și nu funcției de fiabilitate. De aceea, datele inițiale nu trebuie recalculat de câte ori se modifică durata misiunii sistemului.
- b) Programul este conceput astfel încât să fie capabil să analizeze și situațiile în care mărimile p, nu sunt numere întregi.

Aplicarea metodei de mai sus la calculul indicatorilor de fiabilitate impune elaborarea unei metodologii de calcul a parametrilor (a<sub>i</sub>, b<sub>j</sub>) care caracterizează elementele componente, ținând seama de toate sursele de informații disponibile. Acestea sunt :

- date de catalog ale componentelor sau ale unor componente similare ;
- rezultatele încercărilor de fiabilitate ;
- rezultate de exploatare.

Pentru un anumit element component pot exista mai multe surse de informații privind fiabilitatea acestuia. În scopul utilizării eficiente a întregii informații disponibile, este necesar ca în calculul parametrilor a și b să se țină seama de totalitatea acestor surse și date. Mai mult decât atât, trebuie să existe posibilitatea corecției valorilor acestor parametri, pe măsură ce devin disponibile noi date privind fiabilitatea elementului component.

Aceste cerințe pot fi ușor îndeplinite datorită proprietății distribuției gamma de a fi conjugată față de distribuția exponențială a rezultatelor experimentale. Presupunând că, inițial, informațiile disponibile constau doar în valoarea estimată punctual a ratei de degradare  $\hat{\lambda}$ , indicată în catalog, se calculează o primă aproximație (a<sub>0</sub>, b<sub>0</sub>) a valorilor (a, b), utilizând relațiile descrise mai înainte, astfel: se adoptă pentru b<sub>0</sub> o valoare invers proporțională cu incertitudinea relativă asociată valorii ratei de degradare și se calculează a<sub>0</sub> din relația (6.8).

Dacă în catalog se indică rezultatele cumulate ale încercărilor de fiabilitate efectuate asupra componentei respective – volumul încercărilor T<sub>x</sub> și numărul de degradări r – atunci parametrii se calculează cu relațiile:

$$a_0 = Kr, \quad (6.28)$$

$$b_0 = kT\varepsilon, \quad (6.29)$$

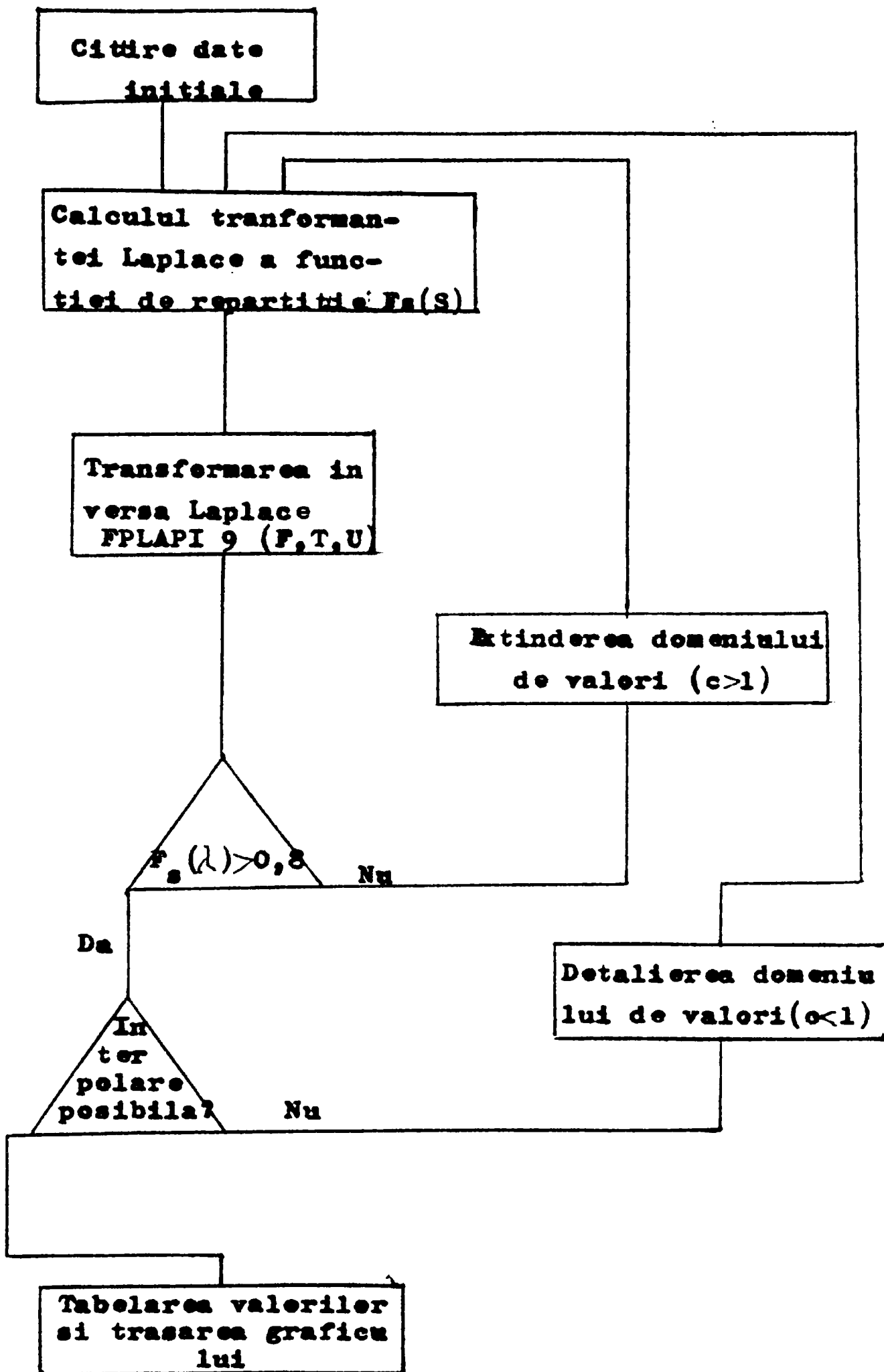


Fig. 6.5.1. Organigrama pentru tabelarea functiei  $F_s(\lambda)$ .

**Tabelul 9.6 –Valorile coeficientului k**

k	Aria informațiilor
0,1	Componente similare, aplicații similare
0,3	Componente identice, aplicații similare
0,5	Componente similare, aplicații identice
1	Componente identice, aplicații identice

Informațiile inițiale pot fi mai ample, provenind în urma unor încercări de fiabilitate (de obicei trunchiate) și/sau a urmării unor eșantioane de componente în exploatare.

În ambele cazuri, informațiile constau în numărul de degradări apărute într-o perioadă considerată  $r$  și în durata cumulată de funcționare a componentelor  $T\Sigma$ .

Considerând un număr de  $N_1$  eșantioane supuse unor încercări trunchiate de același volum  $T\Sigma$  și  $N_2$  eșantioane urmărite în exploatare, toate omogene între ele, parametrii  $a_0$  și  $b_0$  se calculează cu ajutorul relațiilor:

$$b_0 = \frac{\bar{r}T\Sigma}{r^2 - (\bar{r})^2 - r}, \quad (6.30)$$

$$a_0 = \frac{b\bar{r}}{T\Sigma_{N_1+N_2}}, \quad (6.31)$$

unde:

$$\bar{r}^2 = \frac{\sum_{i=1} r_i^2}{N_1 + N_2}, \quad (6.32)$$

$$\bar{r} = \frac{\sum_{i=1} r_i}{N_1 + N_2}, \quad (6.33)$$

Dacă sunt observate  $N$  eșantioane eterogene între ele, din punct de vedere al compoziției,  $a_0$  și  $b_0$  se calculează cu ajutorul relațiilor:

$$a_0 = \sum_{i=1}^N k_i r_i, \quad (6.34)$$

$$b_0 = \sum_{i=1}^N k_i T_{\Sigma i} \quad (6.35)$$

Coeficienții  $k_i$  au valorile cuprinse între 0 și 1 și se aleg în funcție de corespondența dintre eșantionul  $i$  și componența care trebuie caracterizată.

Ulterior, după calculul lui  $a_0$  și  $b_0$ , efectuat conform ecuațiilor descrise mai înainte, pot apărea noi date exprimate prin  $M$  numere de degradări  $r_i$  și durate cumulate de funcționare  $T\Sigma_i$ . Ținând seama de proprietatea distribuției gamma de a fi față de distribuția exponențială, rezultă formulele de corecție:

$$a = a_0 + \sum_{i=1}^M K_i r_i, \quad (6.36)$$

$$b = b_0 + \sum_{i=1}^M K_i T_{\Sigma i}, \quad (6.37)$$

Semnificația coeficienților  $k_i$  din relațiile de mai sus (6.36), (6.37), este aceeași cu cea a coeficienților din relațiile precedente (6.34), (6.35). de multe ori, necesitatea de a cumula informațiilor provenite din surse de date diferite conduce la considerarea unor eșantioane eterogene din punct de vedere al condițiilor de funcționare.

Înainte de cumularea informațiilor obținute de aceste eșantioane este necesar să se efectueze o corelație a datelor în vederea omogenizării eșantioanelor. corecția se face utilizând curbele care indică valorile  $\lambda \setminus \lambda_0$ , în funcție de solicitarea relativă și temperatura ambiantă,  $\lambda_0$ , reprezentând rata de degradare la solicitare nominală și temperatura ambiantă. Ținând seama de faptul că în estimarea clasică  $\lambda = r / T\Sigma$ , se observă că este suficient să se corecteze valoarea lui  $r$ .

Valoarea lui  $T\Sigma$ , nu se corectează, pentru a nu schimba în mod artificial incertitudinea asociată valorii ratei de degradare.

O corecție similară se aplică valorilor  $a_i$ , calculate în condiții de obicei accelerate, în conformitate cu condițiile reale de funcționare a componentei în cadrul sistemului. Nu se corectează valorile  $b_i$ , din motivul arătat mai sus.

Avantajul metodei expuse apare în cazurile frecvente, în care nu există date explicite privind fiabilitatea componentelor și este necesar să se ia în considerație toate sursele de informații posibile. Rezultatele obținute în urma aplicării metodei sunt mai realiste, deoarece permit să se evidențieze concluzii, pornind de la informații eterogene și vagi.

Un alt avantaj constă în faptul că, în urma aplicării programului, se pot obține intervale de încredere de orice nivel. Înainte de utilizarea programului, se impune un calcul al valorilor  $a_i$ ,  $b_i$  pe baza întregii informații disponibile privind fiabilitatea componentelor.

## 6.6. APLICAȚII NUMERICE

### 6.6.1. Calculul platformei de susținere a sistemului de stropire

#### 6.6.1.1 Evaluare încărcări

##### a) Platforma de stropire

- structura metalică = 246 to
- organe de asamblare = 33 to
- grătare și balustrăzi = 11 to

---

290 to

Sarcina utilă: suprafața =  $6 \times 20,727 \times 0,812 = 100,1 \text{ m}^2$

$p = 500 \text{ kg/m}^2$  rezultă  $P = 100 \times 0,5 = 59 \text{ to}$

##### b) Platforma de acces



- structura metalică = 46 to

- grătare – balustrăzi = 12 to

58 to (60)

Sarcina utilă: suprafața =  $[22,7 \times 3,62 + 2 \times 8,415 \times 0,914] \times 2 = 197 \text{ m}^2 \cong 200 \text{ m}^2$

Rezultă  $P = 200 \times 0,5 = 100 \text{ to}$

c) Sistem de stropire plin cu apă: 200 to

d) Total greutate proprie:  $G = 290 + 60 + 200 \text{ to} = 550 \text{ to}$

e) Total sarcină utilă:  $P = 50 + 100 = 150 \text{ to}$

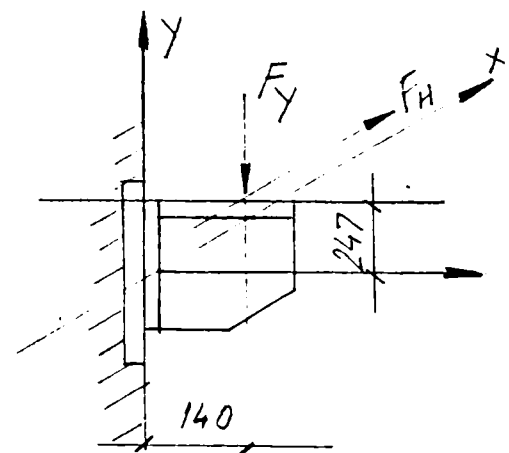
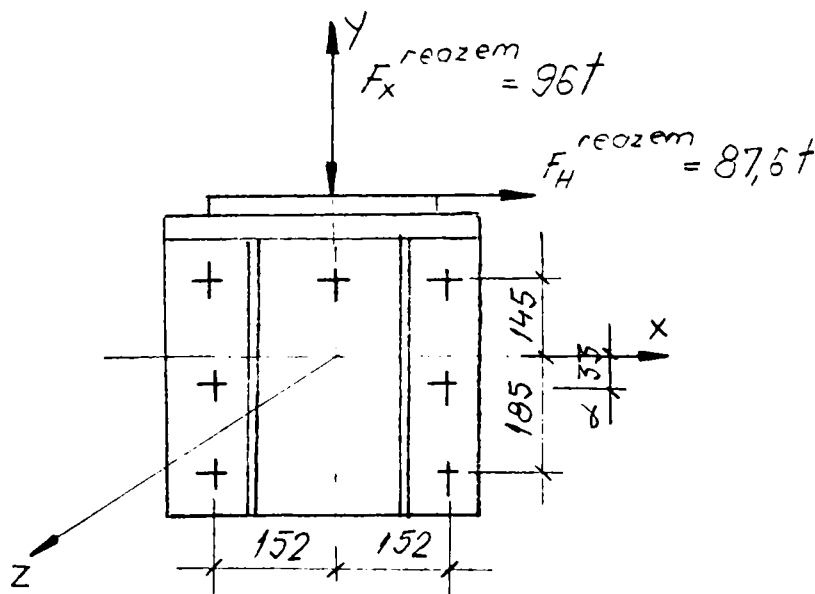
f) Ipoteza D B E:  $G + 0,5 P = 550 + 0,5 \times 150 = 625 \text{ to}$ .

### 6.6.1.2. Calculul prinderilor de reazem

$$F_{v,total} = 625 \text{ to} \begin{cases} a_h = 0,70g, & F_{h,total} = 0,7 \times 625 = 438t \\ a_v = 0,84, & F_{v,total} = 1,84 \times 625 = 1150t \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_{v,rezem} = \frac{1150}{12} = 96 \text{ to} \\ F_{h,rezem} = \frac{438}{10 \cos 60^\circ} = 87,6 \text{ to} \end{cases} \begin{cases} F_x = 87,6 \text{ to} \\ F_y = 96,0 \text{ to} \\ F_z = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_x = 96 \times 0,14 = 13,44 \text{ tm} \\ M_y = 87,6 \times 0,14 = 12,30 \text{ tm} \\ M_z = 87,6 \times 0,247 = 21,64 \text{ tm} \end{cases}$$



$$E_y^2 = 3 \times 14,5^2 + 2 \times 3,3^2 + 2 \times 18,5^2 = 1337,03 \text{ cm}^2$$

$$E_x^2 = 2 \times 3 \times 15,2^2 = 1386,24 \text{ cm}^2$$

$$E_{ri}^2 = 1337,03^2 + 1386,24^2 = 2723,27 \text{ cm}^2$$

$$\left\{ \begin{aligned} F_{lx} MZ &= \frac{M_z}{E_{ri}^2} \cdot y_{\max} = \frac{21,64 \times 10^2 \times 18,5}{2723,27} = 14,74 \text{ tf / bulon} \\ F_{ly} MZ &= \frac{M_z}{E_{ri}^2} \cdot x_{\max} = \frac{21,64 \times 10^2 \times 15,2}{2723,27} = 12,07 \text{ tf / bulon} \\ F_{lx} M &= \frac{M_x}{E_{yi}^2} \cdot y_{\max} + \frac{M_y}{E_{xi}^2} \cdot x_{\max} = \frac{13,44 \times 10^2 \times 18,5}{1337,03} + \frac{12,3 \times 10^2 \times 15,2}{1386,24} = 32,1 \text{ tf / bulon} \end{aligned} \right.$$

$$F_{lx} = 12,5 + 14,7 = 27,2 \text{ tf / bulon}$$

$$F_{ly} = 13,7 + 12,07 = 25,77 \text{ tf / bulon}$$

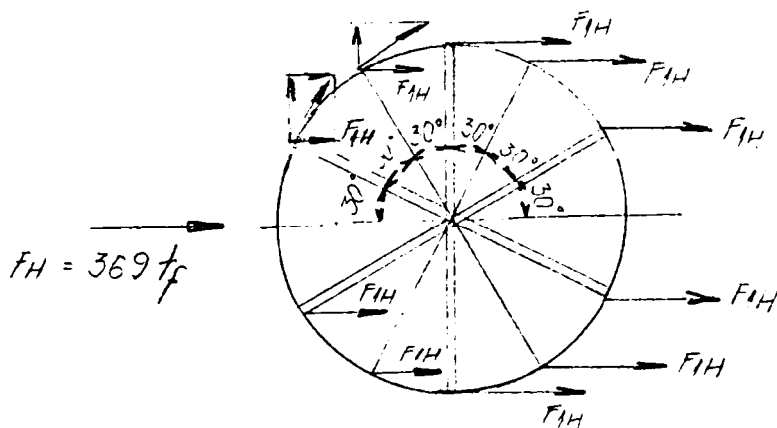
$$F_{lx} = 32,1 \text{ tf / bulon}$$

$$F_{\text{forfecare}} = \sqrt{F_{lx}^2 + F_{ly}^2} = \sqrt{27,2^2 + 25,77^2} = 37,47 \text{ tf / bulon}$$

$$F_{\text{tensiune}} = F_{ly} = 32,1 \text{ tf / bulon}$$

Bulonul solicitat concomitent la întindere și la forfecare se verifică separat la întindere în zona filetată și la forfecare în zona corespunzătoare planului de alunecare.

### 6.6.1.3. Verificare opritori seismici

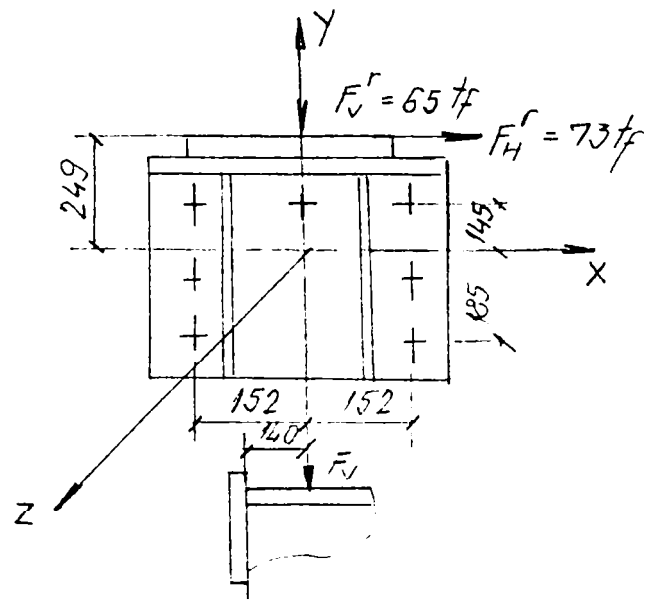


$$F_{v, \text{total}} = 32 \times 12 + 17 \times 6 \cong 520 \text{ to}$$

$$\begin{cases} a_h = 0,70 \text{ g} & F_{v, \text{reazem}} = 1,84 \times 35 = 65 \text{ tf} \\ a_v = 0,84 \text{ g} & F_{h, \text{total}} = 0,7 \times F_{v, \text{total}} = 365 \text{ tf} \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_{v, \text{reazem}} = 65 \text{ tf} \\ F_{h, \text{reazem}} = \frac{365}{10 \cos 60^\circ} = 73 \text{ tf} \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_x = 73 \text{ tf} & M_x = 65 \times 0,14 = 9,1 \\ F_y = 65 \text{ Tf} & M_y = 73 \times 0,14 = 10,8 \\ F_z = 0 & M_z = 73 \times 0,247 = 18,0 \end{cases}$$



$$\begin{cases} E_{xi}^2 = 1386,24 \text{ cm}^2 \\ E_{yi}^2 = 1337,03 \text{ cm}^2 \\ E_{zi}^2 = 2723,27 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_{lx}^F = \frac{73}{7} = 10,4 \text{ tf / bulon} \\ F_{ly}^F = \frac{65}{7} = 9,3 \text{ tf / bulon} \\ F_{lz}^F = 0 \end{cases}$$

$$F_{lx}^{Mz} = \frac{Mz}{E_{zi}^2} \cdot y_{\max} = \frac{18,0 \times 10^2 \times 18,5}{2723,27} = 12,2 \text{ tf / bulon}$$

$$F_{ly}^{Mz} = \frac{Mz}{E_{zi}^2} \cdot x_{\max} = \frac{18,0 \times 10^2 \times 15,2}{2723,27} = 10,0 \text{ tf / bulon}$$

$$F_{lz}^M = \frac{Mx}{E_{yi}^2} \cdot y_{\max} + \frac{My}{E_{xi}^2} \cdot x_{\max} = \frac{9,1 \times 10^2 \times 18,5}{1337,03} + \frac{10,2 \times 10^2 \times 15}{1386,27} = 23,8 \text{ tf / bulon}$$

$$F_{lx} = 10,4 + 12,2 = 22,6 \text{ tf / bulon}$$

$$F_{ly} = 9,3 + 10,0 = 19,3 \text{ tf / bulon}$$

$$F_{lz} = 23,8 \text{ tf / bulon}$$

$$F_{\text{forfecare}} = \sqrt{F_{lx}^2 + F_{ly}^2} = 29,70 \text{ tf / bulon}$$

$$F_{\text{tensione}} = 23,8 \text{ tf / bulon}$$

$$F_{\text{cap}}^{\text{for / bulon}} = 55 \text{ tf / bulon}$$

$$F_{\text{cap / bulon}}^{\text{tens}} = 61,4 / \text{bulon} (26,3 \text{ tf} - \text{piulita})$$

$$\text{Tech} = \frac{F}{A}$$



$$\left\{ \begin{array}{l} F_{lx}^F = \frac{Fx}{nS} = \frac{22}{7} = 3,2tf / surub \\ F_{ly}^F = \frac{Fy}{ns} = \frac{59}{7} = 8,43tf / surub \\ F_{lz} = 0 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \Sigma_{xi}^2 = 1386,24cm^2 \\ \Sigma_{yi}^2 = 1337,03cm^2 \\ \Sigma_{zi}^2 = 2723,27cm^2 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{lx}^M = \frac{Mx}{Eyi^2} \cdot y \max + \frac{my}{Exi^2} \cdot x \max = \frac{8,3 \times 10^2 \times 18,5}{1337,03} + \frac{31 \times 10^2 \times 15,2}{1356,24} = 14,88tf / surub \\ F_{ly}^Mz = \frac{Mz}{Eri^2} \cdot y \max = \frac{5,4 \times 10^2 \times 18,5}{2723,27} = 3,67tf / surub \\ F_{ly}^Mz = \frac{Mz}{Eri^2} \cdot x \max = \frac{5,4 \times 10^2 \times 15,2}{2723,27} = 3,01tf / surub \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Fx / surub = 3,2 + 3,67 = 6,87tf / surub \\ Fy / surub = 8,43 + 3,01 = 11,44tf / surub \\ Fz / surub = 14,88tf / surub \end{array} \right.$$

$$\tau_s = \frac{FA}{AS} = \frac{\sqrt{Fx^2/s + Fy^2/s}}{AS} = \frac{\sqrt{6,87^2 + 11,44^2}}{9,55} = 1,397tf / cm^2$$

$$As = 9,55cm^2 \quad \tau_{a/s} = 1,022 \times 1,5 = 1,53tf / cm^2$$

$$\sigma_{a/s} = 2,728tf / cm^2 \times 1,5 = 4,09tf / cm^2$$

$$\tau_s = 1,397tf / cm^2 < \tau_{a/s} = 1,53tf / cm^2$$

$$Ts = \frac{Fz}{AS} = \frac{14,88}{9,55} = 1,56tf / cm^2 \ll 4,09tf / cm^2$$

### 7.1. Concluzii generale

Dezvoltarea și perfecționarea rapidă a CNE, cu un rol tot mai important în echilibrarea balanțelor energetice și atingerea competitivității cu centralele electrice clasice, au contribuit la creșterea interesului pentru problemele lor economice.

Se constată totuși o tendință de stabilizare a principalilor indicatori economici, a căror corelare riguroasă cu caracteristicile tehnice ale CNE nu este totdeauna posibilă din următoarele motive: sistemele economice diferite ale țărilor care abordează energia nucleară fac ca modul de calcul și conținutul indicatorilor economici să fie diferențiat; diferențele și variațiile mari în timp ale costurilor specifice ale materialelor, salariilor, taxelor financiare, perioadelor de amortizare, duratelor de calcul ale vieții CNE în diferite țări; lipsa experienței îndelungate în exploatarea CNE; interesele comerciale ale unor firme constructoare ca și tendința de protejare a cercetărilor și realizărilor tehnologice proprii pe plan național și internațional care impun o anumită prudență chiar în utilizarea unor date publicate.

Investițiile necesare pentru realizarea unei CNE sunt formate în general din aceleași categorii de cheltuieli ca și la CTE clasice, putând fi clasificate în:

- investiții directe: construcții-montaj, echipamente (din țară și din import), alte cheltuieli pentru import (licențe, documentare, asistență tehnică, pregătire personal, piese de schimb, materiale), considerându-se în plus, în unele cazuri, și valoarea primei încărcături de combustibil nuclear și de apă grea;
- investiții indirecte: cheltuieli de proiectare, contractare, pornire, amortizarea investițiilor directe pe perioada construcției, neprevăzute.

Structura investiției CNE în comparație cu CTE clasice este arătată după /8/ în fig. 7.1.

Investiția specifică este la CNE mai mare decât la CTE clasice datorită costului mai ridicat al unor echipamente clasice (turbine, instalații de răcire), dar mai ales a echipamentelor nucleare.

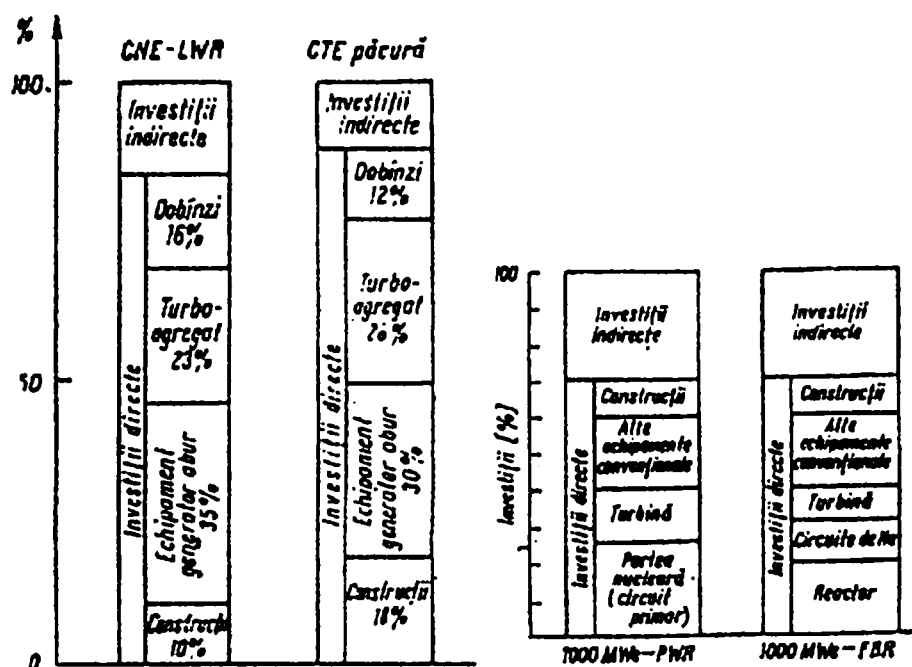


Figura 7. 1. Structura investiției la CNE și CTE.

Existența radioactivității, specifice CNE, impune măsuri speciale scumpe, cum sunt:

- sistemele de securitate nucleară (anvelope, instalații de pulverizare, centrale electrice de avarie);
- protecțiile biologice (din beton sau plumb);
- instalațiile de tratare a deșeurilor radioactive;
- ventilații speciale;
- bazinele de calmare și depozitare a combustibilului nuclear uzat.

De asemenea perioada mai mare de la adoptarea deciziei de începere a lucrărilor și până la punerea în funcțiune a CNE (4 – 6 ani) comparativ cu CTE clasice, contribuie la o creștere a investiției prin dobânzile asupra creditelor bancare blocate o perioadă mai îndelungată.

Un factor important care influențează mărimea amortizării cheltuielilor de investiție este durata de viață a CNE. Referitor la această noțiune trebuie făcută distincția între „durata fizică” de viață, definită ca perioadă după care CNE este atât de uzată încât exploatarea devine imposibilă în condiții de securitate, „durata economică” de viață, definită ca perioada după care este mai economică dezafectarea unei CNE la un moment dat și înlocuirea ei cu una nouă și „durata nominală” de viață, utilizată în calculele economice cuprinsă între 20 și 35 de ani.

Perfecționarea continuă a tehnologiilor nucleare și progresul tehnic se reflectă într-o scădere a investiției specifice în timp (vezi figura 7.2.), după /8/:

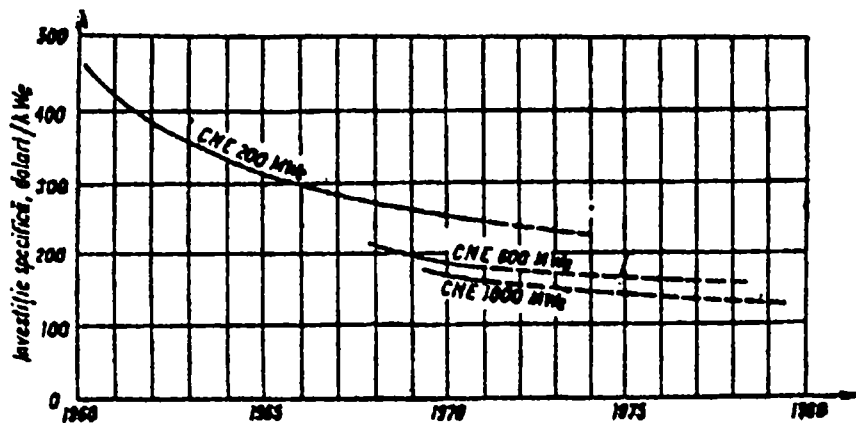


Figura 7. 2. variația în timp a investiției specifice CNE.

Căile de reducere a investiției specifice a CNE sunt:

- creșterea puterii unitare a grupurilor;
- instalarea la aceeași CNE a mai multor grupuri prin extindere;
- alegerea unor dispoziții compacte a instalațiilor în clădiri (soluții de clădiri integrate) și a clădirilor pe amplasament.

Pentru dezvoltarea corectă a unui grup energetic nuclear, prezintă o importanță deosebită prognoza pe termen lung, fundamentată științific, care să permită adaptarea deciziilor optime, considerând totodată consecințele mai îndepărtate ale acestora.

Experiența studiilor de prognoză efectuate în diferite țări a impus un interval mediu de prognoză necesar pentru energia nucleară, de 25 – 30 de ani.

În contextul prognozelor, o importanță deosebită o are modelarea matematică, de analiză a dezvoltării unor sisteme complexe cum sunt grupurile energetice nucleare ale unei CNE din cadrul sistemului energetic nuclear.

Experiența întocmirii modelelor matematice permite să se considere rațională construirea lor după principii ierarhice ca în figura 7. 3., de mai jos, după /8/:

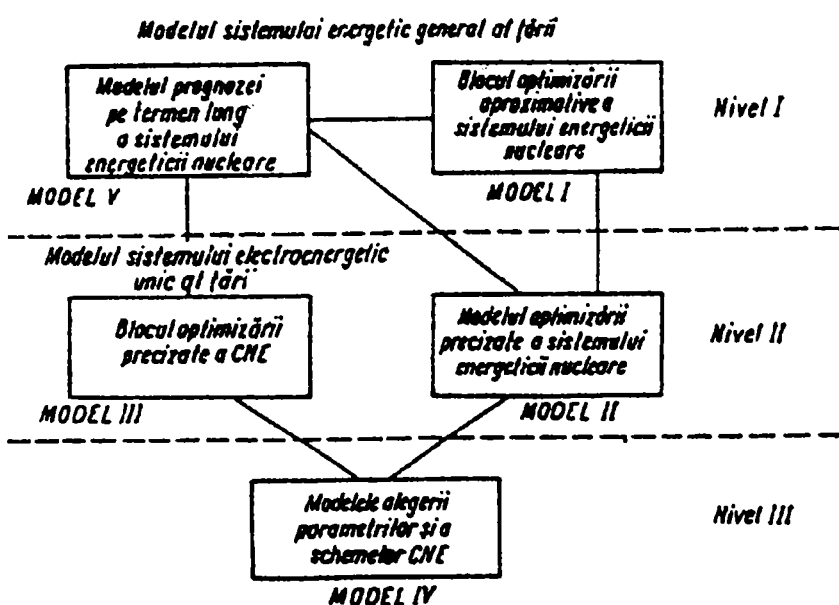


Fig. 7.3. Schema complexului de modele matematice pentru optimizarea și prognoza dezvoltării CNE în cadrul sistemului energetic nuclear.

Un exemplu de model matematic de tipul I este dat în figura 7.4., după /8/:



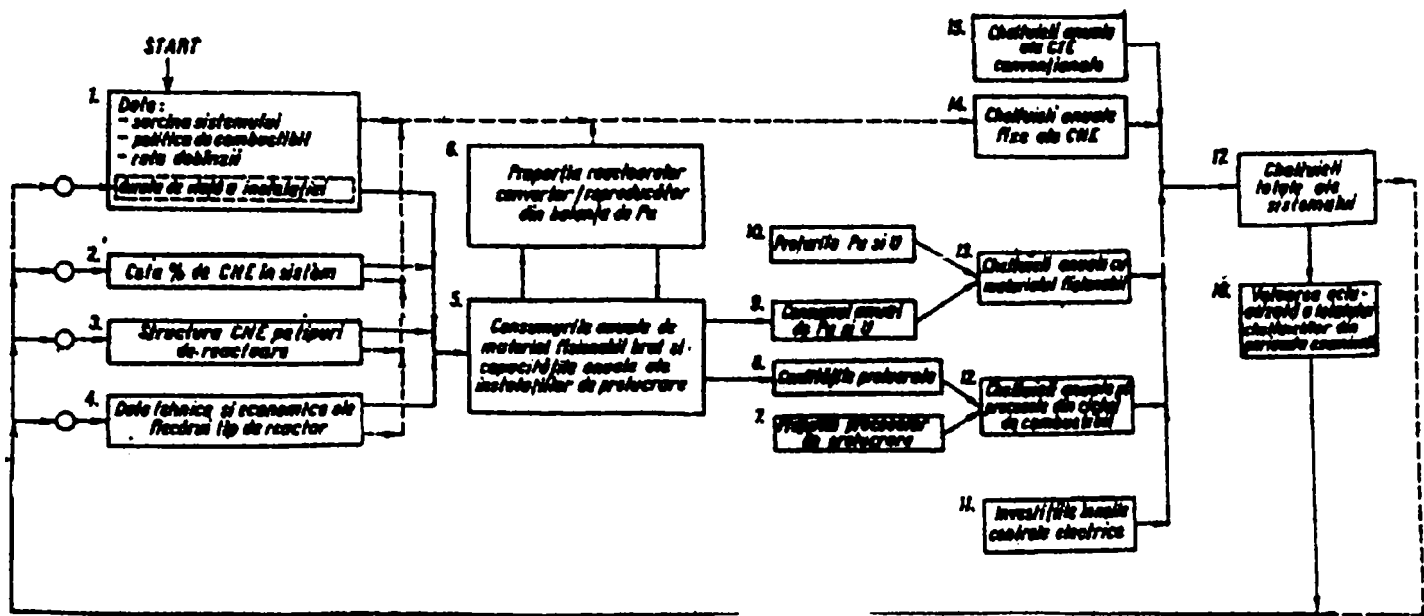


Fig. 7. 4. Schema logică a unui model matematic pentru determinarea strategiilor optime de dezvoltare a CNE.

Ținând cont de strategia de dezvoltare a energiei nucleare pe plan mondial și în contextul unor crize politice care afectează în special zonele producătoare de petrol, se impune necesitatea dezvoltării programelor CNE de construire de unități noi și îmbunătățire a celor existente sau aflate în construcție, cum este și cazul României care deține cantități însemnate de uraniu natural și apă grea luând în considerare și faptul că, costul stocării petrolului.

Teza de doctorat a prezentat numai câteva din problemele specifice ale CNE, privite prin prisma îmbunătățirii siguranței și fiabilității construcțiilor metalice, aflate în componența diferitelor sisteme complexe ale unor unități sau grupuri de unități nucleare-energetice, și în mod special ale sistemului de anvelopare.

După o scurtă a scopului și definire a domeniului, în teză au fost prezentate câteva probleme teoretice legate de fiabilitatea generală a CNE și în particular de securitatea acestora.

După prezentarea criteriului fiabilității și a structurii analizelor de fiabilitate a diferitelor sisteme tehnice, în teză au fost prezentați indicatori de siguranță și principalele legi de distribuție a fiabilității.

Numeroși specialiști în domeniu, /1/, /8/, /12/, /13/, /24/, /25/, etc., consideră că dezvoltarea teoriei fiabilității, încurajată prin crearea unui cadru organizatoric adecvat, influențează în mod pozitiv calitatea și prețul de cost al sistemelor.

În acest sens rezultă importanța tot mai mare a fiabilității sistemelor tehnice, fiabilitatea constituind un aspect al calității. Studiul fiabilității, însă, nu se oprește aici, el implicând și conceptul de mentenabilitate, care reprezintă aptitudinea sistemelor exprimată calitativ și calitativ de a fi reparate și repuse în funcțiune în caz de degradare, prin acțiuni de mentenanță.

Ansamblul conceptelor de fiabilitate și mentenabilitate reprezintă la rândul lui conceptul de disponibilitate. Disponibilitatea, securitatea, elementele economice și ergonomice, conduc, în ansamblu, la un concept mai larg, acela de eficiență a unui produs, element, sistem etc., noțiunea calității căpătând noi sensuri, mult mai largi, în societatea, tehnica și știința contemporană.

Tocmai de aceea un capitol aparte al tezei de doctorat l-au reprezentat problemele specifice de asigurarea calității cu referire directă la construcțiile metalice destinate CNE.

Au fost evidențiați aici cei trei factori care influențează sistemul asigurării calității atât la execuția, cât și la montajul structurilor metalice pentru CNE:

- cerințele sistemului;
- funcțiile sistemului;
- implementarea sistemului.

De asemenea, pe parcursul a trei capitole au fost prezentate câteva dintre contribuțiile originale ale autorului pentru îmbunătățirea fiabilității generale a CNE prin:

- mărirea fiabilității elementelor structurilor metalice;
- adoptarea unor soluții constructive îmbunătățite în varianta structurilor metalice;
- adoptarea unor situații noi de anvelopare în soluție metalică.

## 7.2. CONTRIBUȚII ORIGINALE

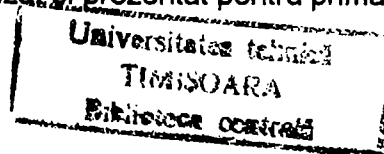
Teza de doctorat prezintă sinteza studiilor, cercetărilor și observațiilor efectuate de autor pe parcursul a peste 20 de ani de activitate inginerescă numai în domeniul construcțiilor metalice, din care peste 15 ani în domeniul execuției și montajului structurilor metalice destinate CNE Cernavodă.

Studiile, cercetările și observațiile prezentate în teza de doctorat au avut ca scop găsirea unor soluții care să ducă la îmbunătățirea siguranței și fiabilității construcțiilor metalice ale CNE, în general și ale CNE tip CANDU – PHWR, în particular.

În acest sens au fost analizate un număr însemnat de surse bibliografice din domeniu, s-a participat la seminarii, conferințe, studii teoretice și cercetări practice pentru a putea defini sub toate aspectele domeniul studiat, așa cum rezultă și din conținutul lucrării de față.

Pe baza acestor preocupări, prezentate pe larg în capitolele anterioare, se desprind o parte dintre contribuțiile originale ale autorului, după cum urmează:

- a) Ca urmare a unei activități de pionierat în domeniu, conceptul de asigurare a calității pentru structurile metalice ale clădirilor CNE, este analizat și prezentat pentru prima dată



într-o teză de doctorat ca o ramură a conceptului de fiabilitate. Lucrarea cuprinde, în vederea diferențierii nivelului de asigurarea calității, încadrarea în categorii de asigurarea calității a construcțiilor metalice destinate CNE. Întregul concept de asigurare a calității pentru CNE a fost dezvoltat și implementat de autor după 1980, cu ocazia construirii în România a primei Centrale Nucleare - Electrice de tip CANDU – PHWR, aceasta constituind totodată și suportul pentru dezvoltarea și implementarea în ultimii ani (după 1990) a sistemului de asigurarea calității după normele internaționale (ISO) care stă la baza acreditărilor societăților comerciale în domeniul calității pentru execuția și montajul construcțiilor metalice.

b) Având în vedere unele dificultăți apărute la proiectarea, execuția și montajul unor elemente de construcție metalică ale clădirilor CNE Cernavodă, se propun soluții noi privind:

- forma și alcătuirea elementelor atât pentru ușurarea execuției și montării, cât și pentru asigurarea decontaminării în caz de accident;
- protecția anticorozivă la temperaturi ridicate cu vopsele speciale pe bază de silicați de litiu sau fitanați de butil;
- protecția la radiații, prin utilizarea oțelurilor de construcții protejate cu vopsele rezistente la radiații sau a unor oțeluri inoxidabile sau speciale.

c) Pentru prima dată este abordată și prezentată în lucrare o metodă de îmbunătățire a fiabilității generale a CNE tip CANU – PHWR prin adoptarea unor soluții constructive în varianta structurilor metalice în cazul sistemelor de anvelopare. Sunt prezentate două soluții de îmbunătățire care asigură în caz de accident, scăpări radioactive sub 1 % pe zi și anume:

- sisteme de anvelopare cu dublă etanșare din beton și oțel prin căptușirea în mai multe variante a peretelui din beton armat al anvelopei cu o manta din oțel;
- sisteme de anvelopare cu dublă etanșare din beton și aluminiu, prin căptușirea la exterior a anvelopei din beton armat cu o manta din aliaje de aluminiu.

d) tot pentru prima dată este abordată și prezentată în lucrare o altă metodă de îmbunătățire a fiabilității generale a CNE tip CANDU – PHWR, prin adoptarea unor soluții noi de anvelopare în structura metalică

Este cazul unei soluții cu totul originale care nu a mai fost aplicată nicidecum în lume și care poate constitui subiect de studiu și cercetare mai amănunțită.

Această soluție propune realizarea unei anvelope cu dublă etanșare și spații de absorbție cu structura metalică de formă sferică, executată în două variante:

- varianta I, în soluție metalică din tablă, tip rezervor sferic;
- varianta II, în soluție metalică, reticulară sferică.

La toate soluțiile propuse s-au tratat atât particularitățile calcului de rezistență metodele semiprobabilistice cunoscute cât și particularitățile calcului de fiabilitate prin metode statico-matematice.

La sfârșitul fiecărui capitol s-au prezentat câteva aplicații numerice pentru o mai bună înțelegere a studiului teoretic mai laborios. Tot pentru înțelegerea mai bună a noii soluții de anvelopare s-a efectuat animarea pe computer și prezentarea acesteia pe monitor, odată cu susținerea lucrării.

## 8.1. DOCUMENTE NORMATIVE

### A. ACTE NORMATIVE

- 1\*\*\*Legea 6/1982 - Legea asigurării calității produselor și serviciilor destinate obiectivelor nucleare
- 2\*\*\*NRAC AQ-04/1983 - Normativ republican de asigurarea calității-Cerințe de asigurarea calității pentru produsele și serviciile destinate obiectivelor și instalațiilor nucleare
- 3\*\*\*NRAC AQ-05/1983 - Normativ republican de asigurarea calității-Cerințe de asigurarea calității pentru lucrările de construcții montaj destinate obiectivelor și instalațiilor nucleare
- 4\*\*\*NGF-01/1986 - Ghid normativ pentru elaborarea și aplicarea programelor de fiabilitate și mentenabilitate a produselor
- 5\*\*\*NF-03/1986 - Normativ privind analiza și calculul fiabilității sistemelor prin metoda diagramelor de fiabilitate
- 6\*\*\*NF-04/1986 - Normativ privind prezentarea previziunilor caracteristicilor de fiabilitate, mentenabilitate și disponibilitate

### B. STANDARDE DE STAT

- 1\*\*\*STAS 8174/1,2,3/1997 - Fiabilitate, mentenabilitate și disponibilitate. Terminologie
- 2\*\*\*STAS 10307/1975 - Fiabilitatea produselor industriale. Indicatori de fiabilitate
- 3\*\*\*STAS 10911/1977 - Fiabilitate, mentenabilitate și disponibilitate. Culegerea datelor privind comportarea în exploatare a produselor industriale
- 4\*\*\*STAS 2631/1982 - Termeni de teoria probabilității și statistică generală
- 5\*\*\*STAS 10108/0/1978 - Construcții civile, industriale și agricole. Calculul elementelor din oțel

### C. STANDARDE STĂINE

- 1\*\*\*BS 5760/1/1979 - Reliability of systems, equipments and components. Guide to reability programme management

- 2\*\*\*BS 5760/2/1981 - Reliability of systems, equipments and components. Guide to assessment of reability
- 3\*\*\*BS 5760/3/1982 - Reliability of systems, equipments and components. Guide to reliability practices: examples
- 4\*\*\*BS 4778/1983 - Glossary of terms used in quality assurance, including reability and maintainability terms
- 5\*\*\*IEEE-STD-577/1976 - Requirements for reability analysis in design and operation of safety systems for nuclear power generating stations
- 6\*\*\*IEE-STD-500/1977 - Guide for general principles of reability analisis of nuclear power generating stationprotection systems
- 7\*\*\*CAN 3.S 1.6.1/1984 - Steel Structures for Buildings
- 8\*\*\*LSA W 59/1977 - Welding of steel structures

## **D. DOCUMENTE CEI**

- 1\*\*\*CEI 605-1/1978 - Essai de fiabilite des equipaments. Prescriptions generales
- 2\*\*\*CEI 605-5/1982 - Essai de fiabilite des equipaments. Plans d'essai de conformite pour une proportion de succes
- 3\*\*\*CEI 706/1/1982 - Guide de maintenabilite de materiel. Introduction exigences et programme de maintenabilite
- 4\*\*\*CEI 300/1984 - Reliability and maintainability management
- 5\*\*\*CEI 863/1986 - Presentations des resultats de la prevision des caracteristiques de fiabilite, maintenabilite et disponibilite

## **E. SPECIFICAȚII TEHNICE**

- 1\*\*\*TS-0079-21500-01 - Techical specifications for fabrication and erection of structural steel for reactor building, CANATOM, 1981
- 2\*\*\*TS-0079-21905-01 - Techical specifications for fabrication and erection of structural steel for cooling water system of reactor building, CANATOM, 1981
- 3\*\*\*DM-0079-21000-01 - Design Mannual for Reactor Building Civil Works, CANATOM, 1981

## **F. CULEGERI**

- 1\*\*\*IGSCCP-MIE - Elemente de teorie și culegere de probleme de fiabilitate, mentenabilitate, disponibilitate, vol. I și II, ICPIE-OID 1988

## G. REVISTE ȘI PUBLICATII DE SPECIALITATE

- 1\*\*\*\*"ȘTIRI NUCLEARE" - Editată de Asociația Română "Energia nucleară" (AREN), 1995-1996
- 2\*\*\*\*"NUCNET" - Editată de Societatea Nucleară Europeană (ENS) 1994-1996
- 3\*\*\*\*"NUCLEAR EUROPE  
WORLDSCAN" - Editată de ENS, 1996

## 8.2. BIBLIOGRAFIE

### Tratate, cursuri, manuale

1. Anderson, R., T. - Reliability design handbook: RADC, Griffiss Air Force, NY 13441-1976
2. Bloodgett, O., W. - Design of Welded structures, USA, 1975
- 3\*\*\*BSI - Handbook quality assurance – 1983
- 4\*\*\*CISC - Handbook of steel construction – 1989
- 5 Chesau, E., Coveianu, M. - Influența contravânturilor radiale asupra comportării la încercări seismice a structurilor metalice de rezistență ca arce pentru cupolele sferice. A VI-a Conferință de construcții metalice, Timișoara, 1991, vol. 2
6. Dalban, C., Juncan, N. - Construcții metalice, EDP, 1976
7. Dalban, C., Patranichea, N., - Cupolă metalică din aliaje din aluminiu pentru o sală de sport de 67,1 m deschidere. A VI-a Conferință de Construcții metalice, Timișoara, 1991, vol. 2
8. Dănilă, I. - Centrale nucleare electrice, ET, 1976
9. Dubină, A., Pacoste, C. - New system for double-layer grids. The 6<sup>th</sup> Conference of metal structures, Timișoara, 1991, vol. 2
10. Georgescu, Dr. - Construcții cu structură metalică, ICB, 1974
11. Georgescu, Dr. Frangopol, D. - Analiza siguranței structurilor metalice, ICB, 1978
12. Ghiocel, D., Lungu, D. - Siguranța construcțiilor, Institutul de Construcții București, 1973
13. Ierson, Gw. - Reability handbook, McGraw Hill Book, NY, 1968
14. Guran, J., Gryna, F. Jr. - Calitatea produselor, bucurești, ET, 1973
15. Larrieu, J. - Gestion de la qualite, Ed. Dunod, Paris, 1970
16. Haynard, B., H. - Manual de inginerie industrială, vol. 2, București, Et, 1976
17. Maniu, Gr. - Prevenirea coroziunii prin evitarea defectelor de vopsire, ET, 1987

18. Marinescu, G. - Studiul geometric comparativ asupra structurilor reticulate planare. A V-a Conferință de construcții metalice, Timișoara, 1988, vol. 2
19. Mateescu, D. - Construcții metalice speciale, ET, 1962
20. Mateescu, D., Roșu, D. Caraba, I. - Construcții metalice, exemple de calcul – EDP, 1972
21. Mateescu, D., Caraba, I. - Construcții metalice. Calculul și proiectarea elementelor din oțel, ET, 1980
22. Mateescu, D., Caraba, I. - Construcții metalice, IPT, 1976
23. Nițu, V. - Fiabilitatea instalațiilor energetice, EA, 1973
24. Nițu, V., Gherasi, A. - Fiabilitatea centralelor nucleare-electrice. Probleme specifice și metode de calcul. St. Cerc. Energ. Electr., 3, 1972
25. Nixon, F. - Quality and reliability engngmans responsibility in: Quality progress, no. 10, 1970, pp. 26-20
26. Peyret, B. - La fiabilite industrielle, Paris 1969
27. pollard, A., Rivoirec - Fiabilite et statistiques previsionele. La methode de Weibull, Paris, 1971
28. Ryabinin, I. - Reliability of engineering systems, Mir publishers, 1976
29. Schwolb, M., Peyroche, G. - Traite de fiabilite, Paris, 1969
30. Shooman, M. - Probabilistic reliability and engineering aproach, NY, 1972
31. Schultz, M., A. - Reliability of reactor safety systems, Rev. Power eing, ianuarie 1970
32. Soare, M.V., Răduică, N. - Proiectarea structurală a unor noi tipuri de cupole reticulate. A v-a Conferință de construcții metalice, Timișoara , 1988
33. Soare, M.V., Răduică, N. - Studii privind optimizarea cupolelor optimizate. A VI-a Conferință de construcții metalice, Timișoara, 1991
34. Stoichițoiu, D. - Proiectarea fiabilității sistemelor, vol. 3, IPB 1982
35. Stoichițoiu, D. - Standardizarea internațională în domeniul fiabilității INID, seria C, vol. 3, 1981
36. Tabet, D. - pratique de la fiabilite dans l'elaboration d'un project spatial, AFCIQ 7 nr. 1, 1971, pp 44-48
37. Teste, J. - La fiabilite, Rev. Tehnique, nr. 54, 1972, pp 6-15
38. Thuries, E. - Le constructeur face a al fiabilite, RGE T. 80, nr. 4, 1971
39. Weibull, W. - A statistical theory of the strengh of materials, IVA, Stockholm, nr. 151, 1939
40. Weber, G.,G. - State of reliability in Europe, IEEE R23, nr. 3, 1974
41. Weiner, U.,E., Vodă, V. - Aplicații ale rețelelor probabilistice în tehnică, ET, 1983
42. Segan, P. - Complexul atomic, ET, 1982

### 8.3. REFERINȚE ALE AUTORULUI

1. Ion, Petru - Clădiri principale și auxiliare în centralele nucleare, Fac. De Construcții, Timișoara, decembrie 1992



2. Ion, Petru - Soluții de rezolvare a legăturilor și prinderilor în construcția metalică a centralei nucleare, Fac. De Construcții, Timișoara, aprilie 1993
3. Ion, Petru - Asigurarea calității la execuția și montajul construcțiilor metalice ale clădirii CNE, Fac. De Construcții, Timișoara, iunie 1993
4. Ion, Petru - Calculul și alcătuirea platformelor din clădirea reactorului, Fac. De Construcții, Timișoara, septembrie 1993
5. Ion, Petru - Des considerations sur le project, l'execution et le mantaje des structures metaliques des batisses de la centrale nucleaire-electrique de Cernavodă, SIEN 93, bucurești, 3-4 dec. 1993
6. Ion, Petru - Considerații privind îmbunătățirea sistemului de anvelopare la CNE – tip CANDU, utilizate la Cernavodă. Propuneri de noi soluții tehnice de realizare a anvelopei pentru asigurarea securității nucleare a reactoarelor energetice, CNE 94, Neptun, 13-16 iunie 1994.