

CAPITOLUL 2

INGINERIA RISCULUI

Riscul de avarie al unei componente industriale este definit ca fiind potențialul de cedare a componentei (de regulă prin rupere sau deformare excesivă) și *consecințele* unei astfel de cedări, [15].

Potențialul de rupere a componentei este în strânsă legătură cu *rata de cedare* sau frecvența de realizare a cedării componentei.

Consecințele cedării sunt legate de probabilitatea condițională a unui *accident grav* dată fiind producerea cedării.

$$\text{RISCUL} \left(\frac{\text{Consecinta}}{\text{Timpul} - \text{unitar}} \right) = \text{Frecventa} \left(\frac{\text{Evenimentul}}{\text{Timpul} - \text{unitar}} \right) \times \text{Severitatea} \left(\frac{\text{Consecinta}}{\text{Timpul} - \text{unitar}} \right)$$

Evaluarea *frecvenței riscului* se face pe baza:

- **inferenței (deducției) statistice** asupra acțiunilor trecute (o analiză *aposteriori*);
- **predicții probabiliste** (analiza *apriori*).

Severitățile pot fi de natură economică, socială, de mediu și politică. O modalitate de a reduce *probabilitatea de cedare* a instalațiilor este de a *inspecta* în mod periodic instalațiile și de a *repara* sau *înlocui* componente care prezintă semne de *deteriorare și degradare*.

2.1. Surse de risc principale

Un din sursele de risc o poate constitui incapacitatea noastră de a prezice cu exactitate ce ne rezervă viitorul în privința cedării sau noncedării unei componente. Acest lucru se datorează în principal *variabilității și incertitudinii* (V&I).

VARIABILITATEA reprezintă efectul șansei și depinde de sistem.

Variabilitatea reprezintă obiectul deoarece este proprie naturii legilor fizice implicate:

- nu se poate reduce nici prin studiu și nici prin măsurători detaliate;
- se poate reduce prin schimbarea sistemului.

INCERTITUDINEA reprezintă lipsa de cunoștințe a evaluatorului despre:

- legile fizicii;
- parametrii ce caracterizează sistemul fizic;
- semanticile.

Incertitudinea poate fi redusă prin experimente și studii viitoare.

Gradul de certitudine (nivelul de încredere) reprezintă măsura în care credem că ceva este adevărat. În practică, certitudinea este validată de experimente pozitive (confirmări).

Variabilitatea și incertitudinea acționează împreună pentru a limita capacitatea noastră de a prezice comportamentul viitor al sistemului. Acestea sunt elementele componente ce trebuie cuantificate în *evaluarea cantitativă a RISCULUI*.

VARIABILITATEA ȘI INCERTITUDINEA sunt cuantificate prin metode ce țin de:

- statistica aplicată;
- teoria probabilității;
- logica fuzzy;
- rețele neuronale;
- solicitarea opiniilor experților.

2.2. Modele probabiliste (MP) pentru evaluarea riscului

Modelele cantitative MP sunt construite pe baza *teoriei bazate pe procesele fizice*.

Modelele probabilistice pure introduc descrierea parametrilor modelului și interacțiunea acestora prin *variabile aleatorii* (VA).

Principalele metode de a construi MP-uri sunt:

- abordarea distribuirii complete (convoluție multiplă integrală);
- lanțurile Markov;
- inferența Bayesian;
- simularea stochastică Monte Carlo;

Modelele fizice, inclusiv MP-urile, reprezintă idealizări ale realității. Așadar, *toate modelele sunt false*. Cu toate acestea, prin îmbunătățiri, modelele se pot apropia de realitate cât mai mult posibil.

O modalitate de a reduce probabilitatea apariției cedării instalațiilor este de a le *inspecta în mod periodic* și de a repara sau înlocui componentele care prezintă semne de deteriorare și degradare, [30]. Astfel de *inspecții in-service* sunt ceva obișnuit pentru recipientele sub presiune, conductele și sudurile asociate, precum și pentru structurile aviatice.

În trecut, intervalele de inspecție aveau la bază experiența istorică și judecata inginerească. În ultimii ani s-au dezvoltat metode pentru a determina locațiile și intervalele pentru inspecția pe baza *cunoașterii riscului*. Aceasta s-a transformat într-o nouă metodologie inginerească, cunoscută sub numele de *inspecție in-service* (ISI) bazată pe risc sau pe risc informat (cunoscut).

Fiabilitatea structurală (FS) și/sau Mecanica Rupării Probabiliste (MRP) este folosită la estimarea probabilității de cedare a structurilor portante, iar metodologia de evaluare a riscului în sistem este folosită pentru a determina efectul cedării structurii asupra întregului sistem.

Aceste estimări ale riscului se folosesc pentru a ordona sau grupa componentele instalațiilor și instalațiile ca entități în cadrul sistemului global, în funcție de contribuția lor la risc. Componentele sau instalațiile cu un nivel de risc mai ridicat sunt inspectate mai des și cu mai mare atenție. Ordonarea în funcție de potențialul de rupere reprezintă elementul cheie în strategiile ISI moderne.

2.3. Organizare și surse

O instalație sau o componentă structurală poate ceda din diferite cauze, în diferite locații și în diferite momente. Strategia ISI trebuie să se bazeze pe un eșantion reprezentativ a locațiilor de examinat și o sincronizare aleatoare a examinării.

Locațiile de inspecție se definesc pe baza înțelegerii mecanismelor de degradare sau deteriorare a materialelor active sub solicitarea operațională a mediului.

American Society of Mechanical Engineers (Societatea Americană a Inginerilor Mecanici), grupul operativ pentru energia nucleară și cea pe bază de combustibil fosil pentru industria petrochimică, aerospațială și de asigurări, a dezvoltat un ghid general pentru inspecțiile bazate pe risc, [15].

În SUA s-au desfășurat studii pentru inspecțiile bazate pe risc la sistemele de conducte.

În cadrul Grupului de lucru Nuclear Regulators există un grup operativ activ. În cadrul acestui grup s-au dezvoltat metodologii de predicție a *riscului cedării*, pentru a se combina cu analiza statistică ISI - *post-factum*. Scopul ISI pe bază de risc este de a reduce sarcina industriei și a reglementărilor asociate cu inspecția *in-service* în timp, pentru a menține nivele de siguranță înalte.

2.4. Inspecția in-service. Variabilitate și incertitudine. Moduri de abordare

Există o incertitudine și o variabilitate semnificativă, asociată cu orice estimare pe bază de calcul a riscului de cedare a componentelor, după cum a demonstrat experiența de serviciu, deoarece sunt evenimente care apar foarte rar.

Pentru a aborda această problemă s-au urmat două căi în cuantificarea probabilităților de rupere și frecvenței acestora:

- analiza datelor pentru service de cedare (experiență anterioară) prin estimări statistice și corelații cu factorii cheie (raționale ISI);
- evaluare (predicția) prospectivă a riscului de cedare prin analize structurale probabiliste (ASP) [66], în special prin Mecanica Ruperii Probabiliste (MRP).

Metodele ASP și MRP sunt delimitate de o abordare mai amplă, cunoscută sub numele de Analiza Probabilistă a Riscului (APR) sau Analiza Cantitativă a Riscului (ACR). ASP și MRP sunt instrumente esențiale în *managementul luării deciziilor*, formând noul domeniu de abordare denumit *managementul riscului* (MR).

2.5. Matricea de risc

Rezultatul de bază al unei *evaluări de risc*, bazat pe evaluările ISI referitoare la o componentă industrială, se poate exprima în termenii unei matrice de risc [15].

O matrice de risc pentru un reactor al centralei electrice nucleare [66] este următoarea:

Matricea de risc		Categorია de consecințe Potențialul de topire a nucleului			
		Fără	Scăzut	Mediu	Ridicat
Categoria degradare	Înalt	RS	RM	RR	RR
Potențial sever de spargere/ruptura	Mediu	RS	RS	RM	RR
	Scăzut	RS	RS	RS	RM

RR- Risc Ridicat; RM-Risc Mediu; RS - Risc Scăzut

Matricea de risc definește:

- 3 categorii bazate pe **experiența anterioară** a potențialului relativ de cedare, care derivă dintr-o cuantificare fundamentală a frecvențelor de cedare ale componentei;

- 4 categorii bazate pe **predicția** potențialului relativ de cedare, care derivă dintr-o cuantificare fundamentală a probabilităților condiționate ale unei degradări severe, dacă se produce o cedare a componentei postulate.

Matricea de risc - exemplu de ierarhizare a riscurilor pentru un segment de conductă într-o uzină electrică nucleară, bazat pe experiența anterioară:

Potențial de rupere a conductei	Condiții de scurgere	Mecanism de degradare
MARE	Mari	Vibrații pol ciclice (cu frecvență înaltă), Oboseală, Eroziune, Coroziune, Cavitație, Lovitură de berbec
MEDIU	Mici	Oboseală termică, Fisurare corozivă sub tensiune, Oboseală corozivă, Coroziune (orice formă), Eroziune sau Cavitație
REDUS	Fără	Nu este prezent nici un mecanism de degradare

Potențialul de rupere a unui segment de conductă prin mecanisme de degradare combinate care conduc la rupere:

Mare: rata ruperilor de ordinul $10^{-2}/\text{an}$;

Mediu: rata ruperilor mai mică de $20^{-3}/\text{an}$;

Fără: doar când nu se îndeplinește nici una dintre condițiile necesare ruperii ce rezultă din orice tip de mecanism de degradare prezent în serviciu.

Matricea de risc ierarhizată, prezentată mai sus, se bazează pe date preluate de pe teren. Predicția *potențialului de cedare* în matricea de risc generală se face prin metodele fiabilității structurale.

Un *sistem industrial* reprezintă un aranjament ordonat al componentelor ce interacționează între ele și cu alte componente externe, cu alte sisteme, operatori umani și mediu pentru a efectua anumite funcții specifice. Un sistem industrial constă din componente structurale care suportă sarcini sau alte acțiuni (de ex. radiații, acțiuni chimice, etc.), precum și din componente nestructurale, cum ar fi echipamentele electrice sau electronice.

Cele două metode obișnuite de analiză a riscului de cedare în sisteme complexe sunt *fault tree* (FT=arborele de defectare) și *event tree* (ET=arborele de evenimente).

a) Metodologia *fault tree* (arborele de defectare)

Metodologia FT face analiza de la efect la cauză, [11]. Ea începe cu cedarea sistemului (acțiunea cea mai importantă) și merge înapoi pentru a deduce care cedare de componentă (evenimentele primare) ar putea cauza cedarea sistemului. este arborele de defectare. Așadar, FT este o metodă grafică de prezentare a modului în care cedarea sistemului poate proveni din cedarea componentelor.

b) Metodologia *event tree* (arborele de evenimente)

Metodologia ET este folosită în special pentru analizarea situațiilor de urgență. Analiza se desfășoară de la cauză la efect. Se identifică evenimentul de inițiere (sau stimul) și se observă modul în care răspunde sistemul.

Metodele FT și ET se folosesc de argumente probalistice și ambele încearcă să lege evenimentele improbabile ale sistemului cu evenimente mai probabile ale componentelor. Algorimii ambelor abordări se bazează pe teoria probabilității și pe algebra booleană standard.

2.6. Evaluarea riscului cedării prin metodele fiabilității structurale

2.6.1. Metodologia „*fault tree*” - arbore de defectare

În *figura 2.1* este prezentată schema pentru un arbore de defectare extrem de simplificat, [15].

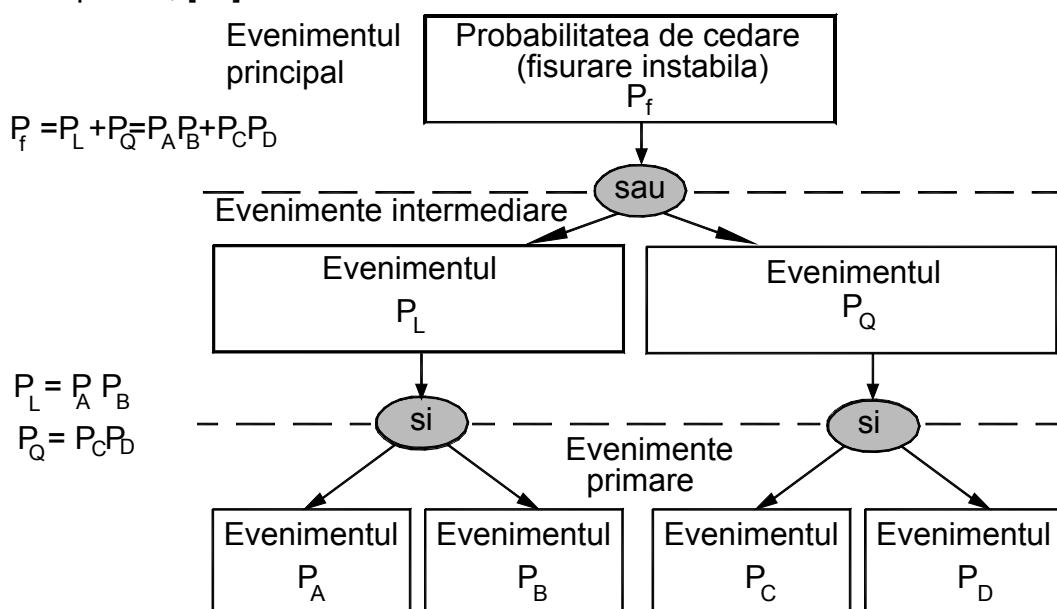


Fig. 2.1. Arbore de defectare

Sunt incluse numai defectele, mai precis este exclusă non-cedarea.

Într-o construcție **FT**, porțile **AND** și **OR** (**ȘI** și **SAU**) reprezintă "instrumentele" de legătură dintre *evenimente*. O poartă **ȘI** implică faptul că acțiunile de deasupra porții vor apărea doar dacă se produc toate evenimentele de intrare de dedesubt. O poartă **SAU** implică faptul că oricare dintre evenimentele de dedesubt poate declanșa evenimentele de deasupra porții. Trecerea printr-o poartă **ȘI** implică regula multiplicării pentru probabilitățile evenimentelor asociate. Trecerea printr-o poartă **SAU** implică adunarea probabilităților (evenimentele sunt presupuse a fi independente).

Poate fi inclusă dependența de timp deoarece cedările nu sunt neapărat imediate. În astfel de cazuri evaluarea secvențială ("secțiuni în timp") se face cu probabilitățile de cedare ale componentelor corespunzătoare, dependente de timp.

Limitele metodelor *arborilor de defectare* sunt parțial intrinseci și parțial de natură practică. Algoritmii FT se bazează pe presupunerea că, o componentă fie funcționează fie cedează și întotdeauna se află într-una dintre aceste două stări. Posibilelor cazuri intermediare nu li se aplică tratament specific. Se presupune că evenimentele primare care contribuie la cedare sunt independente, ceea ce nu este întotdeauna cazul. Din punct de vedere practic, plenitudinea este greu de obținut, și dacă totuși se întâmplă acest lucru rezultatul poate fi prea complex pentru a putea fi interpretat într-o manieră directă și ca urmare poate rezulta estimarea inexactă a riscului de cedare.

În practică apar arbori de evenimente formate din sute de elemente (evenimente primare și intermediare).

Un exemplu privind utilizarea metodologiei *arborelui de defectare* este prezentat în *figura 2.2*.

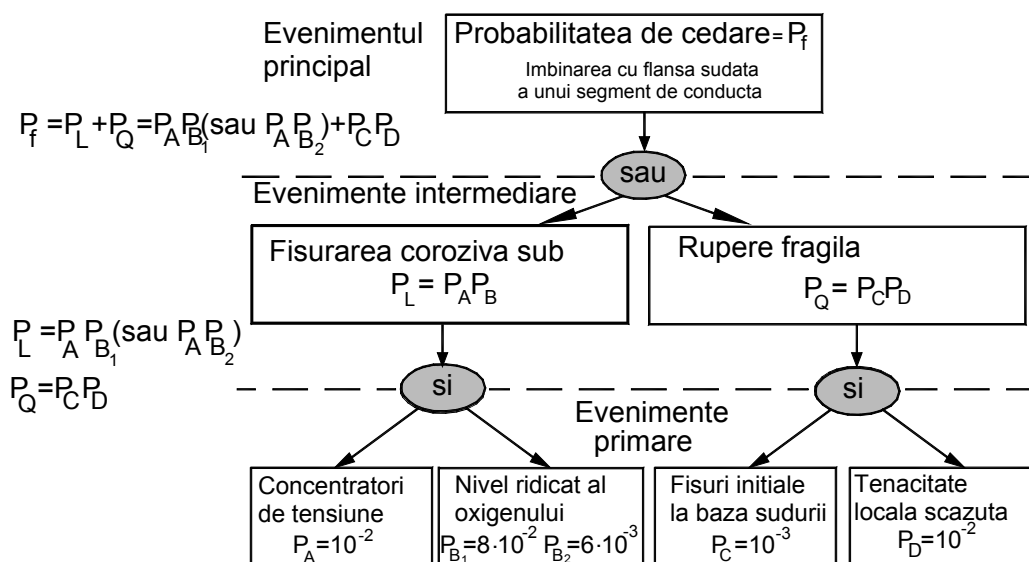


Fig. 2.2. Arbore de defectare - exemplu

Figura 2.2 ilustrează un arbore de defectare construit pentru a exemplifica analiza riscului cedării din îmbinarea cu flanșă sudată a unui segment de conductă sub presiune într-o centrală electrică nucleară. Se presupune că cedarea se produce la îmbinarea sudată de colț, circumferențială.

Dacă momentul evaluării este fixat la $T = 1$ an și $T = 10$ ani, presupunând baza de cedare pentru evenimente primare prin datele de serviciu, probabilitatea evenimentului de la vârf (cedării) este:

-Probabilitatea cedării într-un an: $P_f = [10^{-2} \times (1 \times 8 \times 10^{-2})] + [10^{-3} \times 10^{-2}] = 8.1 \times 10^{-4}$

-Probabilitatea ruperii într-un an: $P_f = [10^{-2} \times (1 \times 6 \times 10^{-3})] + [10^{-3} \times 10^{-2}] = 7 \times 10^{-5}$

-Probabilitatea cedării în 10 ani: $P_f = [10^{-2} \times (10 \times 8 \times 10^{-2})] + [10^{-3} \times 10^{-2}] = 8.01 \times 10^{-3}$

-Probabilitatea ruperii în 10 ani; $P_f = [10^{-2} \times (10 \times 6 \times 10^{-3})] + [10^{-3} \times 10^{-2}] = 6.1 \times 10^{-4}$

Nivelul ridicat de oxigen poate conduce atât la **cedarea prin oxidare** cât și la ruperea prin slăbirea **tenacității la rupere** a materialului sau la creșterea cu predilecție către **fisurarea corozivă sub tensiune** și la creșterea **fisurării prin oboseală**.

2.6.2. Metodologia „event tree” - arbore de evenimente

În figura 2.3. este prezentată o schemă privind arborele de evenimente.

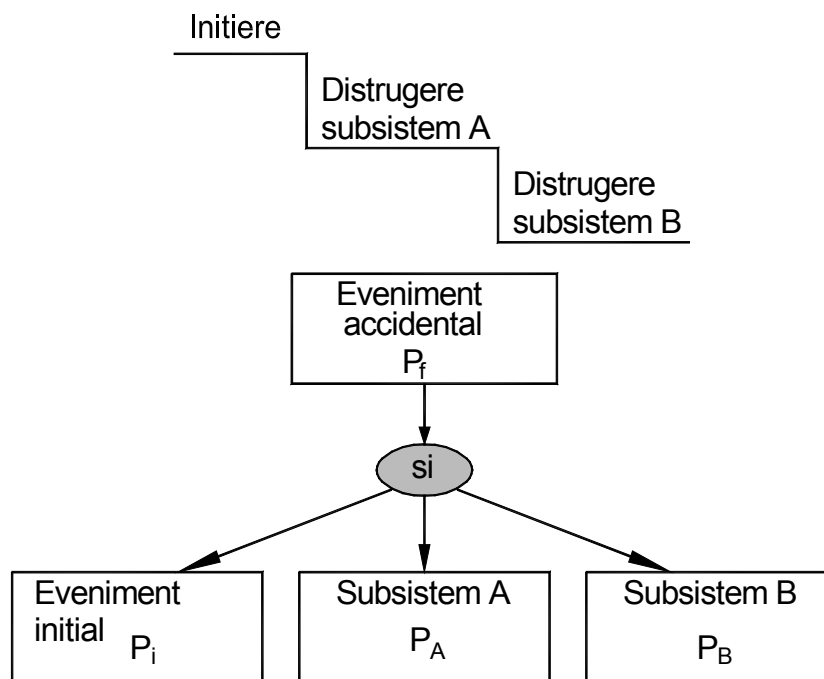


Fig. 2.3. Arborele de evenimente

Diversele stări ale subsistemelor se combină prin folosirea tehnicii deciziei -logica ramurilor de copac - pentru a ajunge la probabilitățile secvențelor accidentului. De exemplu, ruta cedării *Inițiere – Distrugere subsistem A - Distrugere subsistem B*, poate fi analizată în termenii unui event tree (arbore de evenimente).

Pe măsură ce crește numărul subsistemelor, crește și numărul secvențelor de evenimente. Dacă există N subsisteme în plus față de evenimentul de inițiere atunci numărul secvențelor evenimentului este de 2^N .

Dacă există mai mult de un eveniment de inițiere, atunci se poate face câte un *event tree* (arbore de evenimente) pentru fiecare eveniment de inițiere. *Riscul total* al instalației este egal cu suma riscurilor tuturor evenimentelor de inițiere. Procedura de însumare este valabilă dacă unul sau mai multe evenimente de inițiere nu se pot realiza în același timp. Această presupunere se poate face dacă, probabilitatea ca două sau mai multe evenimente de inițiere să apară în același timp este redusă, în comparație cu probabilitatea apariției unui eveniment de inițiere individual.

Analiza *event tree* (arbore de evenimente) este o abordare progresivă, logică, deoarece înaintea de la elementele componente, prin nivelul subsistemului, la cel al instalației. Aceasta este o abordare inductivă.

2.7. Fiabilitatea examinării nedistructive (NDE)

O tehnică NDE fiabilă se definește ca fiind aceea ce detectează în mod constant toate defectele semnificative atunci când este aplicată riguros de către un număr de echipe de profesioniști și urmând procedurile.

O caracteristică comună a tuturor tehnicilor NDE este incapacitatea acestora de a furniza în mod repetat aceleași indicații atunci când sunt aplicate de diverși inspecitori la un număr de defecte de aceeași dimensiune, [24].

Factorii esențiali care influențează șansa de detectare:

- locul dezvoltării și calitatea echipamentului NDE;
- calitatea procedurilor scrise;
- cunoștințele și atitudinea operatorilor;
- geometria și materialul elementului component;
- mediul și locația în care are loc inspecția;
- orientarea și dimensiunea defectului.

Deoarece acțiunile de mentenanță ale structurii sunt programate pe baza *lungimii potențiale a fisurii*, trebuie ca incertitudinea inspecției să fie caracterizată în termenii lungimii fisurii.

2.7.1. Probabilitatea detectării fisurii (POD)

Pentru toate fisurile de o anumită lungime, *probabilitatea detectării fisurii* este postulată ca fiind proporția fisurilor ce vor fi detectate printr-o tehnică NDE atunci când este aplicată de către operatori calificați unui număr de elemente componente într-un mediu de lucru definit.

Prin POD, capacitatea unei tehnici NDE se exprimă în termeni probabilistici, *figura 2.4*.

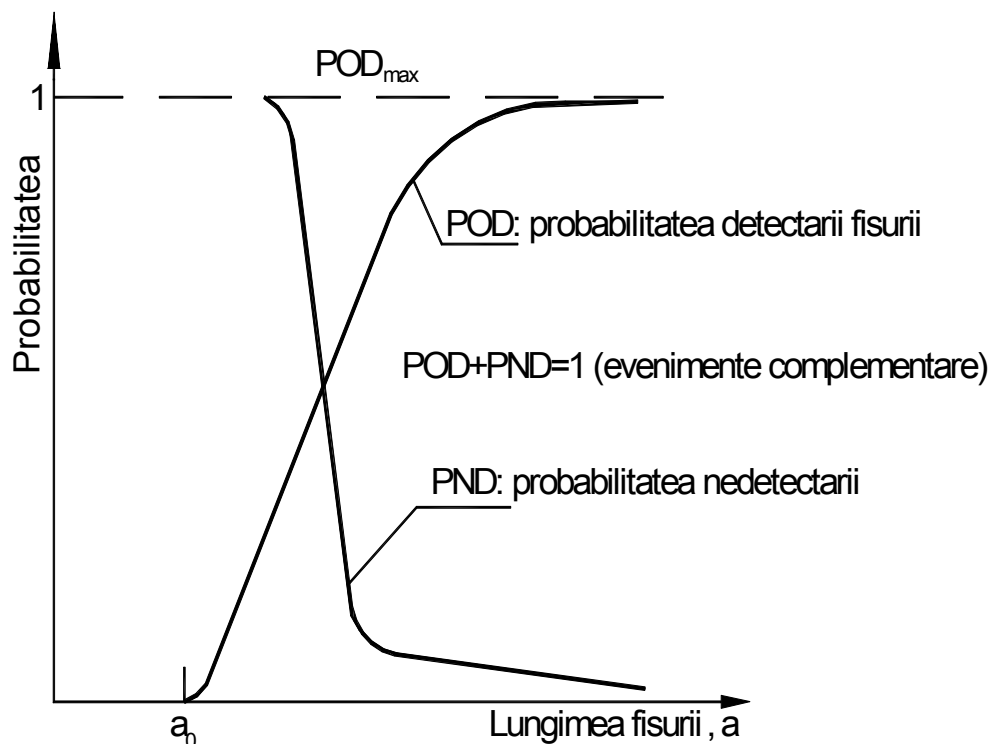


Fig. 2.4. Probabilitatea detectării fisurii

Variația POD-urilor în funcție de dimensiunea fisurii este prezentată în mod schematic.

Tendința variației poate expune un prag minim al fisurii, a_0 , ce indică faptul că defectele trebuie să aibă o anumită dimensiune minimă înainte să poată fi detectate.

Peste acest prag POD crește o dată cu dimensiunea defectului.

Curba POD atinge în final o valoare maximă POD_{max} unde nedetectarea este guvernată de alți factori cum ar fi eroarea umană, (fiabilitatea umană) care domină procesul de detectare.

Creșterea POD prin diverse mijloace (de exemplu prin folosirea unei interpretări mai puțin discriminatorii a semnalelor), elimină posibilitatea ca o componentă fără defect să fie clasificată incorect ca fiind cu defect.

Probabilitatea alarmei false se poate defini ca fiind fracțiunea de încercări în urma cărora o componentă fără defect este clasificată ca fiind cu defect.

Pe lângă o POD ridicată, și o tehnică NDE de încredere ar trebui să aibă o acuratețe corespunzătoare de determinare a dimensiunii. Acuratețea dimensionării măsoară diferența dintre dimensiunea reală a defectului și dimensiunea estimată prin NDE. Erorile de dimensionare pot fi sistematice sau aleatoare. Cele aleatoare sunt de regulă descrise de distribuțiile statistice.

POD și PND reprezintă probabilități legate de evenimente complementare (exclusiv reciproc).

POD poate fi estimată doar prin intermediul experimentelor NDT planificate statistic pe epruvete (probe) ce conțin defecte de dimensiune cunoscută.

Metodele statistice folosite pentru estimarea POD sunt:

- procesarea datelor Reușită/Eșec;
- procesarea datelor sub formă de răspunsuri-semnal corelate cu dimensiunea fisurii;
- analiza probabilității maxime dintre parametrii funcției POD;
- incertitudinea estimată prin limite de încredere inferioare (CB - conservatoare) pentru POD.

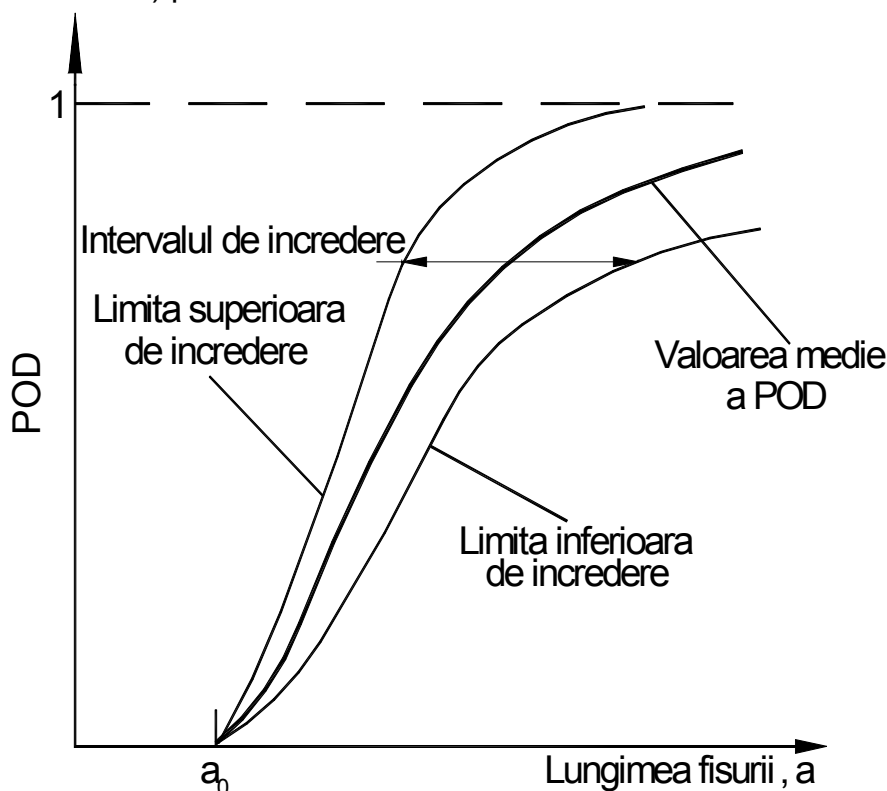


Fig. 4.5. Exemplu: CB 97,5% inferioară la curba POD pentru 95% interval de încredere.

Metodele Bootstrap (eșantionare prin simulare pe calculator) sunt foarte eficiente pentru stabilirea intervalelor de încredere parametrice și neparametrice ale POD în funcție de curbele dimensiunii fisurilor.

Prin NDE repetate de aceeași echipă sau de echipe diferite, cu aceeași tehnică și cu aceeași procedură, un anumit defect poate fi detectat sau nu, iar dacă este detectat i se pot da dimensiuni diferite.

Evaluarea optimistă a avantajului NDE repetat

- La prima examinare, probabilitatea de reușită este POD iar probabilitatea de a nu detecta defectele este (1-POD).

- După n inspecții, probabilitatea de reușită este: $POD_n = 1 - (1 - POD)^n$, având în vedere distribuția binomială.

Această evaluare este optimistă deoarece consideră că un rezultat al NDE este independent de celelalte, iar erorile implicate sunt aleatorii (fără părtinire). În realitate acest lucru este greu de obținut deoarece, de regulă, evaluarea într-o inspecție este influențată de ceea ce s-a descoperit la inspecțiile precedente.

Evaluarea pesimistă

-Rezultatul fiecărei examinări NDE este în strânsă legătură cu rezultatul altor examinări.

-Probabilitatea ca cel puțin într-o examinare defectul să fie detectat este evaluat prin probabilitatea maximă de detectare în inspecțiile individuale.

$$POD_n = \text{Max}(POD_1, POD_2, \dots, POD_n)$$

Exemplu: Se consideră patru NDE-uri succesive cu probabilități de 35%, 75%, 88% și 57%.

Cel mai optimist POD, după patru inspecții este:

$$POD_n = 1 - (1 - 0,65)(1 - 0,75)(1 - 0,88)(1 - 0,57) = 0,995485, \text{ mai exact } 99,5\%.$$

Cel mai pesimist este: $POD_n = 88\%$.

Ca urmare POD_n real este între limitele anterioare.

Răspunsul NDE obținut de la un sistem NDE poate lua forma:

- unui rezultat sub formă de semnal;
- unei imagini directe sau indirecte.

Condițiile acceptibile se pot diferenția (discrimina) de condițiile inacceptabile prin:

- Discriminarea pragului de la ieșirile electronice;
- Recunoașterea modelului prin analizarea imaginii și discriminarea pragului.

Discriminarea semnelor sau imaginilor prag se poate face:

- prin proceduri automate;
- de către operatori umani.

Legătura pozitivă dintre răspunsul NDE și funcționalitatea și fiabilitatea structurală a sistemului este, în principal, funcție de:

- calibrare;
- criterii de acceptare;

- accesibilitatea inspectării;
- condițiile de suprafață;
- materialul de inspectare;
- compatibilitatea;
- mediul de inspectare;
- specificații/proceduri NDE directe;
- calificări operatori;
- organizarea muncii și disciplină, motivație, etc.

O înțelegere primară a *ingineriei NDE*, presiunile economice și sociale pentru a rezolva sistemele tehnologice cu probleme și atitudinea și practica sistemelor legate, poate conduce la un optimism excesiv și la o relație negativă dintre evaluarea NDE și funcționalitatea și fiabilitatea sistemului. Așadar, consecvența și fiabilitatea ridicate ale recunoașterii și discriminării modelului se pot realiza de către operatorii umani.

Examinarea și măsurătorile NDE sunt de regulă indirecte. Semnalele pozitive ale defectelor pot fi generate de surse nerelevante cum ar fi:

- rugozitatea suprafeței, structurale granulare, tensiunile remanente, etc.;
- semnalele pozitive de la sursele nerelevante generează un "zgomot" inherent specific NDE aplicat.

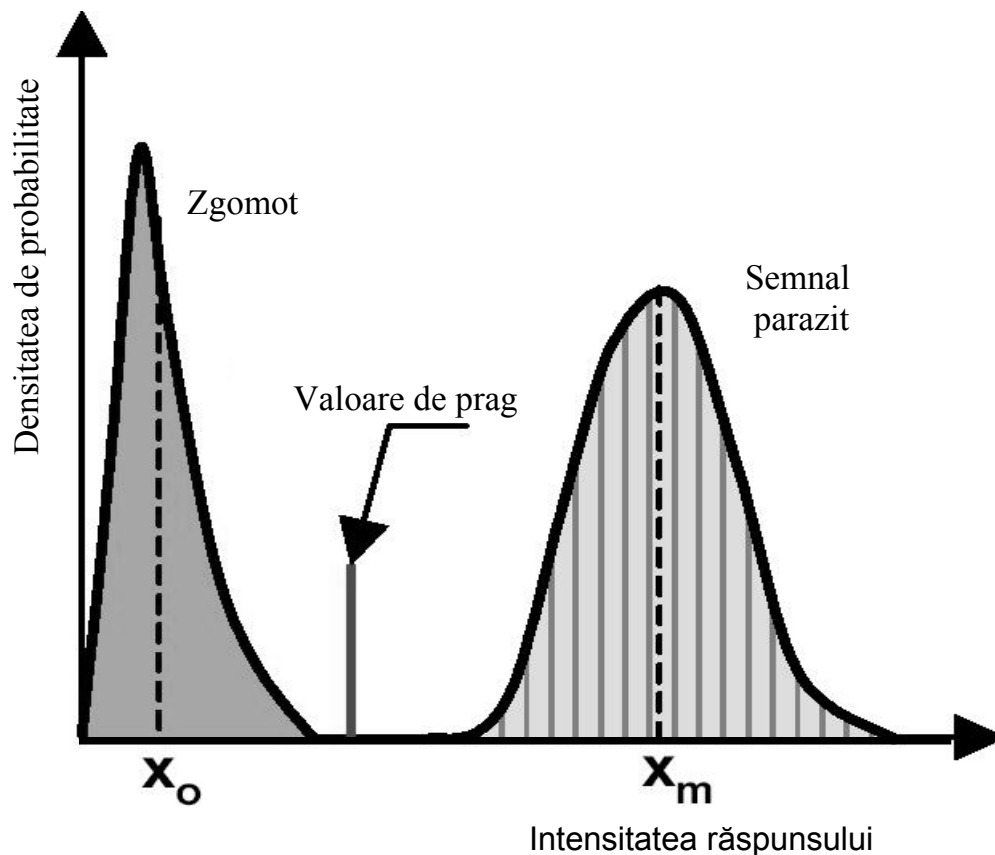


Fig. 2.6. Defecte mari

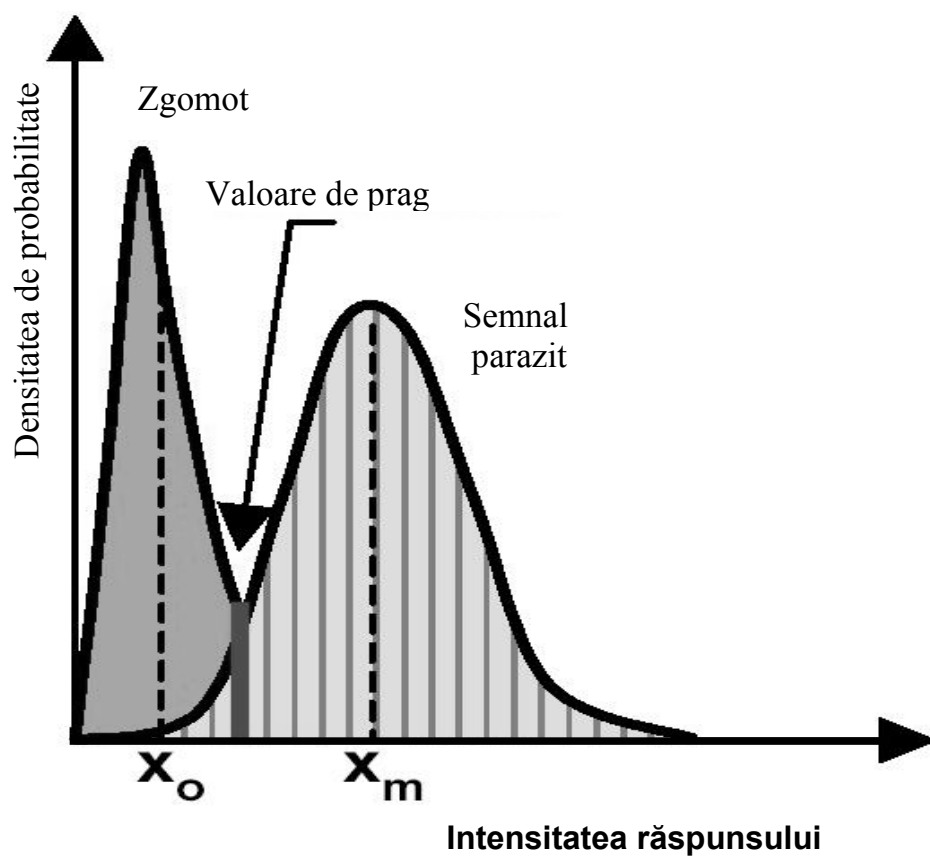


Fig. 2.7. Defecte medii

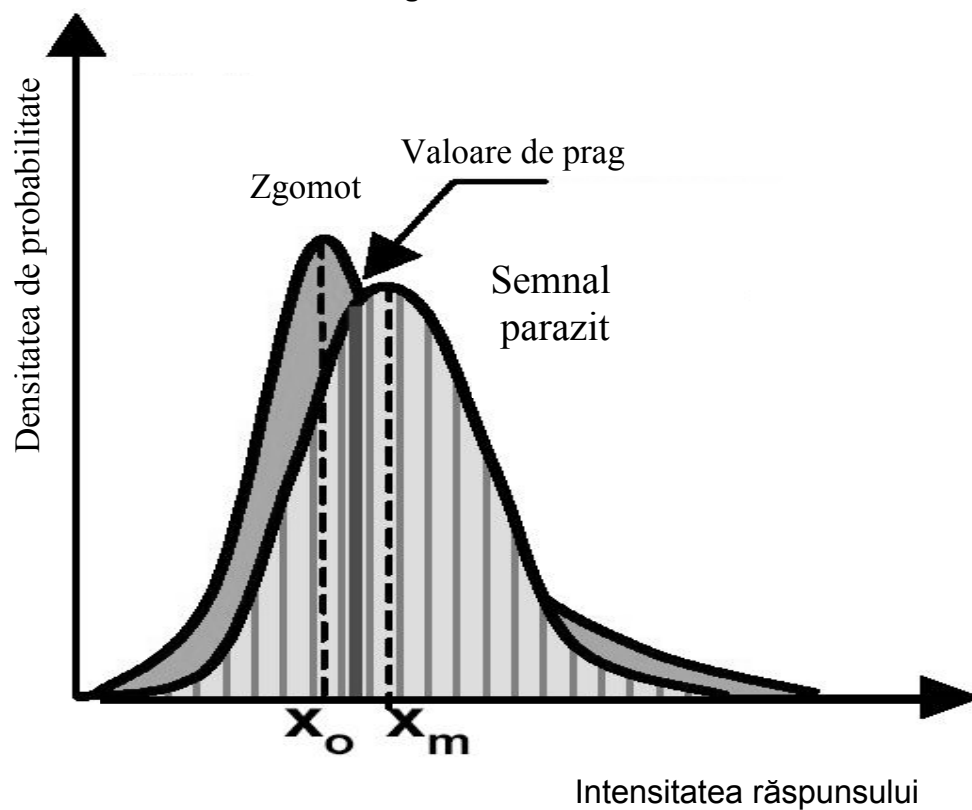


Fig. 2.8. Defecte mici

Discriminarea semnalelor de ieșire NDE trebuie derivate din acele semnale care trec pragul zgomotului de aplicare.

Raportul semnal - zgomot (de ex. $STN = x_m/x_0$) este o măsură a calității discriminării unei proceduri NDE.

Procedurile standard pentru STN crescător pot fi folosite pentru creșterea performanței globale a procedurilor NDE. Sursa dominantă de zgomot la NDE nu este zgomotul electronic (care poate fi redus prin filtrare și alte tehnici) ci este generat de semnale nerelevante (condiții de suprafață, dimensiunea grăuntelui, etc.).

2.7.2. Managementul NDE

Măsurătorile NDE și evaluarea datelor reprezintă un proces complex cu variații accidentale inerente, atât în ceea ce privește procesul de măsurare cât și obiectul testului. Atunci când este implicată și detectarea fisurilor, acceptarea / respingerea reprezintă un proces de luare a deciziilor probabilistic binar.

Real Pozitiv (RP): există o fisură și ea se detectează:

$M(D,d)$ - numărul total de observații pozitive reale;

$P(D/d)$ -probabilitatea de a avea observații pozitive reale.

Fals Pozitiv (FP): nu există o fisură dar ea se detectează:

$M(D,n)$ - numărul total de observații pozitive false;

$P(D/n)$ - probabilitatea de a avea observații pozitive false.

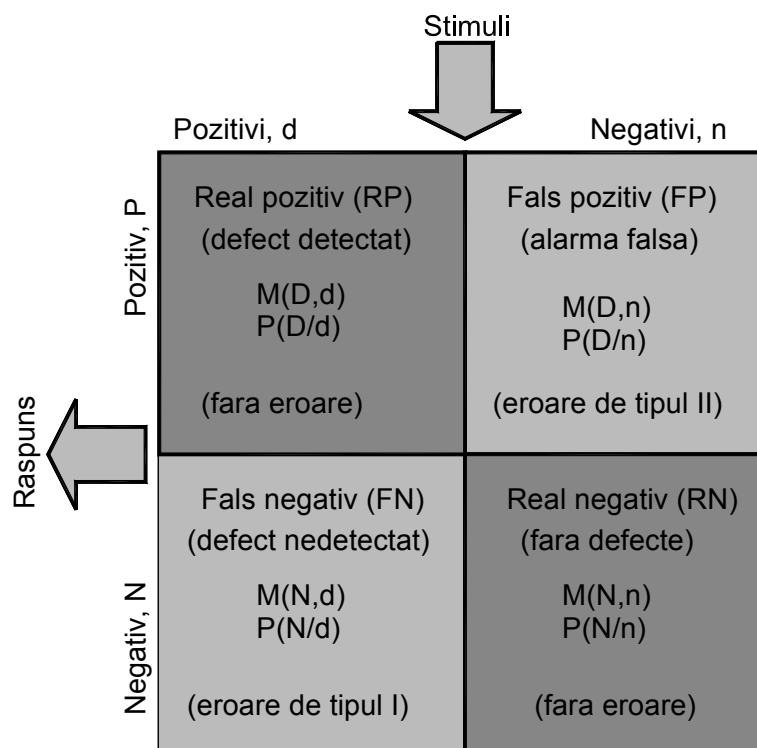


Fig. 2.9. Procesul de luare a deciziilor

Fals Negativ (FN): există o fisură dar nu se detectează:

$M(N,d)$ - numărul total de observații negative false;

$P(N/d)$ - probabilitatea de a avea observații negative false.

Real Negativ (RN): nu există o fisură și nu se detectează:

$M(N,d)$ - numărul total de observații negative reale;

$P(N/d)$ - probabilitatea de a avea observații negative reale.

$M(D,d) + M(N,d) =$ numărul total de defecte existente (numărul de rezultate ce dau naștere unor șanse pentru apeluri pozitive).

$M(D,n)+M(N,n) =$ numărul total de observații fără defecte (numărul de șanse pentru alarme false).

Probabilitățile de tip $P(X/x)$ sunt probabilități condiționale. Datorită interdependenței (prin definiție) trebuie luate în considerare doar două probabilități pentru a cuantifica decizia de acceptare / refuz.

2.7.3. Probabilități condiționale în procesul de discriminare prin NDE

Probabilitatea observațiilor pozitive adevărate $P(D,d)$ se identifică cu probabilitatea detectării, **POD**:

$$POD = P(D,d) = \frac{M(D,d)}{M(D,d) + M(N,d)} \text{ sau } \frac{\text{Numarul apelurilor pozitive reale}}{\text{Numrul defectelor}}$$

Probabilitatea observațiilor pozitive false $P(N,n)$ se identifică cu probabilitatea alarmelor false, **PAF**:

$$POD = P(D,d) = \frac{M(D,d)}{M(D,d) + M(N,d)} \text{ sau } \frac{\text{Numarul de alarme false reale}}{\text{Sanse de alarme false}}$$

Generarea curbelor POD

Un număr de piese de testare ce conțin defecte (fisuri) sunt supuse unei proceduri NDE specifice iar rezultatele sunt înregistrate ca un singur punct - mostră în termeni de apelare pozitivă (defect detectat) sau apelare negativă (lipsă defect). Se evaluează dimensiunea defectului, a. Procedura NDE este repetată de către același operator sau de operatori diferiți.

Modelele reale ale defectelor existente la piesele de testare sunt evaluate printr-o metodă de referință (exactitatea acceptată) sau, în cele mai multe cazuri, prin tăierea piesei de testare pentru examinarea existenței defectelor și măsurarea geometriei și locației dimensiunii defectelor. Prin compararea apelurilor pozitive și negative cu modelul real (număr, dimensiune, locație) ale defectelor din piesa de testare, se evaluează numărul apelurilor pozitive reale și numărul de defecte determinat post - factum. POD se calculează funcție de

dimensiunea fisurii cu formula de mai sus. Evaluarea POD este o întreprindere lungă și costisitoare. Noi tendințe sunt reprezentate de simularea POD pe computer. PAF sau rata apelurilor false nu se reflectă în curbele POD. Ea trebuie înregistrată separat și folosită ca supliment în evaluarea calității procedurilor NDE.

2.7.4. Curbele ROC (caracteristici operaționale relative)

Datele necesare pentru formarea curbelor ROC sunt datele POD și PAF la o anumită dimensiune a fisurii, a .

POD (evaluarea pozitivă reală) este evaluată ca opusul lui PAF (evaluare pozitivă falsă) la o anumită dimensiune a fisurii, a . De regulă, dimensiunea fisurii este fixată la limita critică de prag a procedurii NDE.

Performanța ridicată a operatorului pentru o anumită procedură NDE se vede atunci când se obțin POD ridicate și PAF scăzute. În aceste condiții se realizează graficul pentru o curbă ROC dorită (țintă). Procedura se repetă pentru diferiți operatori și se estimează POD și PAF. Performanța celor mai calificați operatori ajunge aproape de partea superioară - stângă a graficului ROC (discriminare ridicată). Astfel, se stabilește o zonă de acceptare pentru operatorii calificați. Operatorii cu performanțe ce nu se înscriu în zona de acceptare sunt recalificați prin formare sau sunt distribuiți în alte domenii. Diagonala în reprezentarea ROC este legată de discriminarea independentă de procesul NDE, mai exact reprezintă linia unei presupuneri total aleatoare.

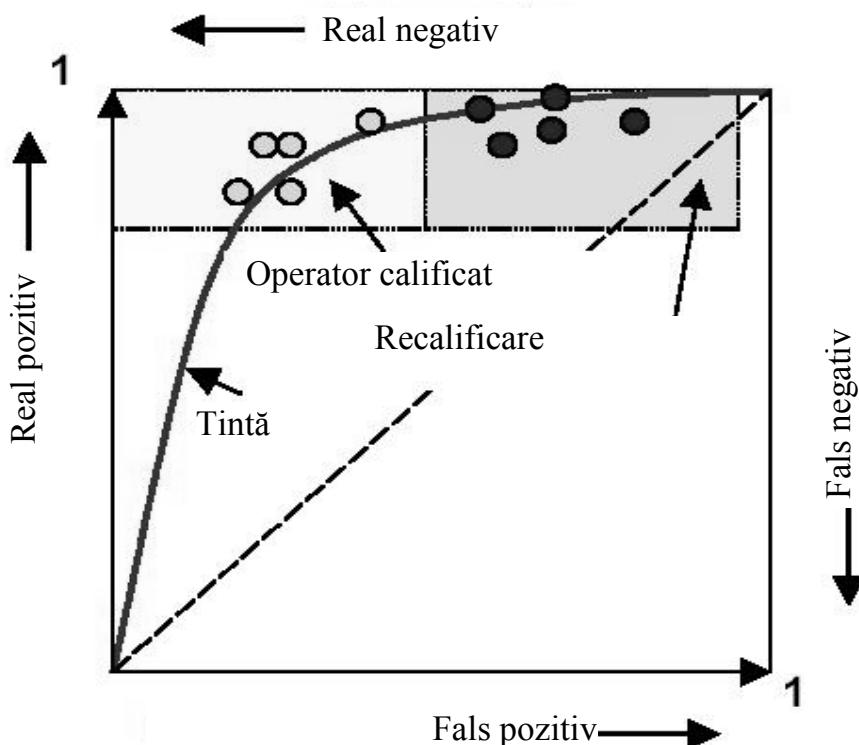


Fig. 2.10. Reprezentarea ROC

2.7.5. Influența pragului de acceptare

Se consideră aplicarea unei proceduri NDE pentru un defect mare, la o separare corectă a semnalului și sunetului. Posibilități privind poziționarea pragului de acceptare:

- Pragul de acceptare se plasează prea sus; unele defecte nu se vor observa; POD este redusă;
- Pragul de acceptare se plasează prea jos; numărul de respingeri va crește și vor rezulta alarme false; PAF este crescută și se vor respinge părți bune;
- Pragul de acceptare se plasează la un nivel corespunzător; va rezulta discriminarea clară.

Influența plasării pragului de acceptare (discriminare) la riscul de cedare se poate face prin analiza sensibilității.

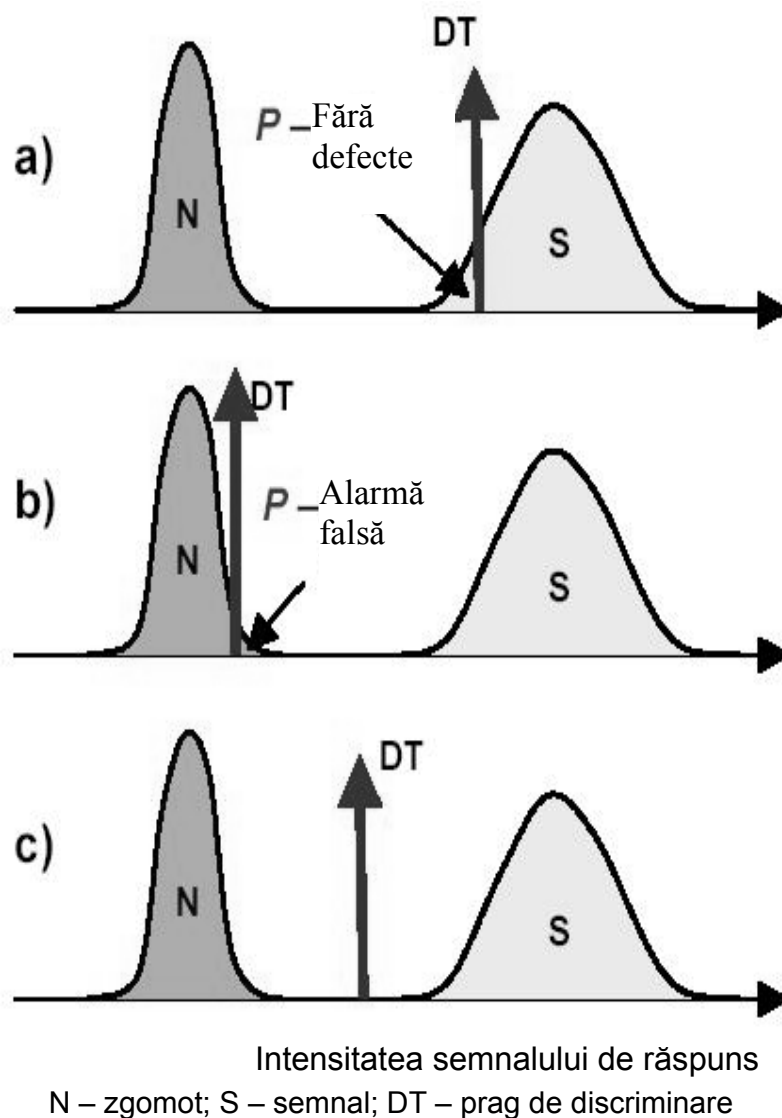


Fig. 2.11. Influența pragului de acceptare

2.7.6. Factorul uman

Cu excepția cazului în care procesul de inspecție NDE este complet automat, competența și fiabilitatea operatorului uman este cea mai mare variabilă care afectează fiabilitatea inspecției. Competența operatorului poate varia semnificativ de la un operator la altul dar și la același operator.

Factori ce afectează fiabilitatea (siguranța) factorului uman în procesul NDT:

- calificarea: educație, formare și experiență (competență);
- calități înăscute: dexteritate, vigilență și capacitatea de discriminare vizuală (în recunoașterea tiparelor), temperament;
- mediul de lucru: temperatură, zgomot, munca personalului și echipamentul de protecție;
- sănătate, atitudine mentală, motivație;
- mediu micro-social: relații interumane cu colegii de echipă, ierarhie clară, supervizare pozitivă, tensiuni, determinare de meserie, viitoarele proiecte ale organizației (companiei).

Capacitatea, nivelul de performanță și fiabilitatea operatorilor umani pot fi măsurate, cuantificate și verificate prin demonstrații pe hardware similar și epruvete de testare care fixează limitele de performanță ale procedurii NDE.

Dacă echipamentul de inspecție, materialele sau procesul de inspecție pot varia, operatorii umani nu pot obține o discriminare corectă și stabilă și o interpretare a rezultatelor NDE.

Fiabilitatea factorului uman este considerată a fi cauza primară a rezultatelor NDE, incorecte sau deficiente.