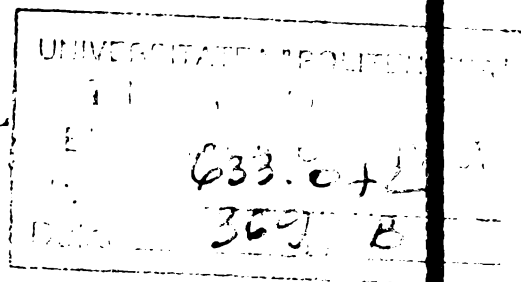


**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" TIMISOARA  
FACULTATEA DE CONSTRUCTII SI ARHITECTURA**

**Ing. BOLDUS DOREL COSTEL**



**Contributii la determinarea capacitatii portante  
a podurilor metalice existente in vederea  
mentinerii lor in exploatare**

**TEZA DE DOCTORAT**

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

**Conducator stiintific  
Acad. Dr. H.C.Prof.em.Ing. DAN MATEESCU**



**Timisoara 2001**

## CUPRINS

### Capitolul I : CAPACITATEA PORTANTA A PODURILOR METALICE AFLATE IN EXPLOATARE

<b>1.1. PREZENTAREA PROBLEMEI</b> .....	1
1.1.1. SINTAGMA "capacitatea portanta" .....	1
1.1.2. Obiectivele tezei de doctorat .....	4
<b>1.2. EVOLUTIA SI PARTICULARITATILE CONSTRUCTIEI DE PODURI METALICE</b> .....	7
<b>1.3. MODUL REAL DE LUCRU SI EXPLOATARE AL PODURILOR METALICE</b> .....	18
1.3.1. Conditiiile reale de lucru ale podurilor metalice .....	18
1.3.2. Actiuni datorate procesului de exploatare si efectul lor asupra structurii .....	19
<b>1.4. ANALIZA CRITICA A SITUATIEI ACTUALE A NORMELOR DE CALCUL IN DOMENIUL PODURILOR METALICE</b> .....	26
1.4.1. Situatiia normelor nationale .....	26
1.4.1.1. In domeniul exploatarii podurilor .....	26
1.4.1.2. In domeniul analizei structurilor (proiectarea / verificarea structurilor) .....	28
1.4.2. Situatiia normelor internationale .....	34
1.4.3. Analiza critica a normelor nationale actuale .....	36
<b>1.5. BAZA EXPERIMENTALA A CERCETARILOR</b> .....	38
<b>BIBLIOGRAFIE: Capitolul I</b> .....	40

### Capitolul II: SIGURANTA STRUCTURALA A PODURILOR METALICE

<b>2.1. ASPECTE GENERALE ALE FORMULARII SIGURANTEI STRUCTURALE</b> .....	1
2.1.1. Generalitati .....	1
2.1.2. Modelarea incertitudinilor si modele de calcul ale structurilor .....	2
2.1.2.1. Probabilitati si modelarea probabilistica .....	2
2.1.2.2. Fractiile variabilelor aleatoare .....	12
2.1.2.3. Repartitii utilizate in analiza sigurantei structurilor .....	13
2.1.2.3.1. Repartitia normala .....	15
2.1.2.3.2. Repartitia lognormala .....	18
2.1.2.3.3. Repartitiile Gumbel, pentru maxime si minime .....	19
2.1.2.3.3.a. Repartitia Gumbel pentru maxime .....	20
2.1.2.3.3.b. Repartitia Fréchet pentru maxime .....	22
2.1.2.3.3.c. Repartitia Weibull pentru minime .....	24
2.1.2.4. Modelarea incertitudinilor .....	25
<b>2.2. METODE DE CALCUL A STRUCTURILOR METALICE</b> .....	30
2.2.1. Definirea metodelor de calcul .....	30
2.2.2. Metodele de calcul deterministice .....	32
2.2.2.1. Metoda rezistentelor admisibile - MRA .....	32
2.2.2.2. Analiza critica a metodei rezistentelor admisibile .....	33
2.2.3. Noile principii de siguranta pe baze probabilistice .....	34

2.2.3.1. Aspecte generale ale formularii sigurantei structurale a podurilor metalice in conceptie probabilistica .....	34
2.2.3.2. Metoda semiprobabilistica la stari limita .....	37
<b>2.3. FORMULAREA NOULUI CONCEPT DE SIGURANTA PROBABILISTIC PENTRU VERIFICAREA PODURILOR METALICE EXISTENTE .....</b>	<b>41</b>
2.3.1. Generalitati .....	41
2.3.2. Coeficientul central de siguranta si probabilitatea de cedare .....	43
2.3.2.1. <i>Factorul de reliabilitate <math>\beta</math></i> .....	45
2.3.2.2. <i>Legatura dintre indicele de reliabilitate <math>\beta</math> si coeficientii partiali de siguranta <math>\gamma_R</math> si <math>\gamma_S</math></i> .....	47
<b>2.4. EVALUAREA PROBABILISTICA A SIGURANTEI TABLIERELOR EXISTENTE ....</b>	<b>51</b>
2.4.1. Posibilitati de apreciere probabilistica a sigurantei .....	51
2.4.2. Influenta actiunilor asupra sigurantei structurale .....	54
2.4.2.1. <i>Combinarea probabilistica a actiunilor</i> .....	55
2.4.2.2. <i>Coeficienti partiali de siguranta</i> .....	66
2.4.3. Determinarea probabilistica a rezistentei admisibile .....	69
<b>2.5. CONCLUZII SI CONTRIBUTII PERSONALE .....</b>	<b>75</b>
<b>BIBLIOGRAFIE: Capitolul II .....</b>	<b>76</b>

### **Capitolul III: STUDII SI CERCETARI EXPERIMENTALE ASUPRA MATERIALULUI METALIC DIN ELEMENTELE PODURILOR METALICE VECHI**

<b>3.1. PROGRAMUL DE STUDII SI INCERCARI DE LABORATOR .....</b>	<b>1</b>
<b>3.2. DIRECTII DE STUDIU SI RECOLTAREA PROBELOR .....</b>	<b>3</b>
<b>3.3. EFECTUAREA INCERCARILOR EXPERIMENTALE SI ACHIZITIA REZULTATELOR .....</b>	<b>7</b>
3.3.1. Analiza spectrala .....	7
3.3.2. Incercari mecanice .....	8
3.3.2.1. <i>Incercarea la tractiune</i> .....	8
3.3.2.2. <i>Incercari de incovoiere prin soc</i> .....	11
3.3.2.3. <i>Incercari de indoire la rece si duritate</i> .....	14
3.3.3. Examinari metalografice .....	18
<b>3.4. PRELUCRAREA STATISTICA A REZULTATELOR EXPERIMENTALE SI ANALIZA INFLUENTEI DIFERITILOR PARAMETRI .....</b>	<b>23</b>
3.4.1. Bazele prelucrarii statistice a rezultatelor experimentale .....	23
3.4.2. Gruparea datelor si determinarea frecventelor intervalelor de grupare .....	23
3.4.3. Calculul principalilor parametri statistici .....	27
3.4.4. Identificarea si eliminarea rezultatelor aberante ale masurarilor.....	28
3.4.5. Verificarea caracterului repartitiei experimentale .....	31
3.4.5.1. <i>Verificarea normalitatii distributiei experimentale cu testul Pearson</i> .....	31
3.4.5.2. <i>Verificarea normalitatii distributiei experimentale cu testul Kolmogorov</i> .....	32
3.4.6. Verificarea caracterului intamplator al imprastierii valorilor masurate .....	34
<b>3.5. DETERMINAREA STATISTICA A PARAMETRILOR COLECTIVITATILOR ANALIZATE .....</b>	<b>37</b>
3.5.1. Estimarea parametrilor statistici .....	37
3.5.2. Estimarea valorica a caracteristicilor materialului metalic din tablierele vechi existente .....	39
3.5.2.1. <i>Evaluarea fractiilor variabilelor aleatoare</i> .....	40

3.5.2.2. Determinarea intervalelor de tolerante statistice .....	42
<b>3.6. INTERPRETAREA FINALA A REZULTATELOR .....</b>	<b>45</b>
3.6.1. Analiza corelatiilor intre parametrii analizati .....	45
3.6.2. Valori caracteristice ale materialului metalic .....	55
A. Analiza vizuala a sectiunii transversale a epruvetei rupte .....	57
B. Determinarea temperaturii de tranzitie .....	57
C. Determinarea caracterului ruperii prin analiza masuratorilor de cristalinitate si fibrozitate a casurii epruvetelor KCU .....	60
<b>3.7. CONCLUZII SI CONTRIBUTII LA STUDIILE SI CERCETARILE EFECTUATE .....</b>	<b>62</b>
<b>BIBLIOGRAFIE: Capitolul III .....</b>	<b>65</b>

## Capitolul IV: STUDII TEORETICE SI EXPERIMENTALE PENTRU ANALIZA COMPORTARII IN EXPLOATARE A PODURILOR METALICE DE CALE FERATA VECHI

<b>4.1 CONSIDERATII GENERALE. DOMENIUL ABORDAT .....</b>	<b>1</b>
4.1.1. Obiective generale .....	1
4.1.2. Programul de expertizare a podurilor vechi .....	2
<b>4.2. ALCATUIREA PODURILOR METALICE VECHI .....</b>	<b>3</b>
4.2.1. Forma si dimensiunile principale ale podurilor metalice vechi .....	3
4.2.2. Clasificarea podurilor metalice studiate .....	7
4.2.2.1. Tabliere de tipul GZCJ .....	8
4.2.2.2. Tabliere de tipul GZCS .....	11
4.2.2.3. Tabliere de tipul GIP .....	14
4.2.3. Alcatuirea structurala a podurilor metalice vechi .....	15
4.2.3.1. Grinzile caii .....	15
4.2.3.2. Grinzile principale .....	16
4.2.3.3. Elemente de legatura spatiala .....	18
4.2.4. Analiza legaturilor dintre elementele componente ale pmv .....	20
<b>4.3. STRUCTURA TABLIERULUI SI MODUL EI DE CALCUL .....</b>	<b>25</b>
4.3.1. Scheme statice si de incarcare ale elementelor componente ale podurilor metalice .....	25
4.3.2. Scheme statice si de incarcare pentru calculul de conlucrare spatiala .....	33
4.3.3. Definirea schemei ideale si a schemei reale a tablierului .....	40
4.3.4. Calculul structurii si rezultate obtinute .....	42
<b>4.4. INCERCARI DE PROBA .....</b>	<b>45</b>
4.4.1. Incercari functionale pentru determinarea starii de conservare si deformatii .....	45
4.4.2. Operatii pregatitoare pentru efectuarea incercarilor .....	46
4.4.3. Incercari efectuate; Rezultate si marimi obtinute .....	48
4.4.3.1. Aprecierea starii de coroziune .....	48
4.4.3.2. Masuratori de deformatii .....	50
4.4.3.3. Masuratori de eforturi unitare .....	55
4.4.4. Analiza si interpretarea rezultatelor programului de incercari de proba .....	59
<b>4.5. CORELATII INTRE INCERCARILE "IN SITU" SI ANALIZA TEORETICA A STRUCTURII .....</b>	<b>60</b>
<b>4.6. CONCLUZII SI CONTRIBUTII PRIVIND CALCULUL TABLIERELOR VECHI .....</b>	<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAFIE: Capitolul IV .....</b>	<b>72</b>



## **Capitolul V: METODE COMPLEMENTARE PENTRU DETERMINAREA CAPACITATII PORTANTE A TABLIERELOR METALICE EXISTENTE**

<b>5.1. INTRODUCERE; OBIECTIVE URMARITE</b> .....	1
<b>5.2. NOTIUNI DE BAZA IN MECANICA SOLIDULUI DEFORMABIL</b> .....	3
5.2.1. Fizica rezistentei structurilor cristaline .....	3
5.2.1.1. <i>Rezistenta teoretica la rupere</i> .....	3
5.2.1.2. <i>Structura cristalina si ruperea</i> .....	4
5.2.2. Câmpul de tensiuni si deformatii în vecinatatea unei fisuri .....	7
5.2.2.1. <i>Teoria liniar-elastica (LEFM) si elasto-plastica (EPFM) a mecanicii ruperii</i> .....	7
5.2.2.2. <i>Moduri de sollicitare si tipuri de rupere</i> .....	14
5.2.2.3. <i>Factorul de intensitate al tensiunii</i> .....	14
<b>5.3. OBOSEALA SI MECANICA RUPERII</b> .....	17
5.3.1. Propagarea fisurii si factorul de intensitate al tensiunii .....	17
5.3.2. Predictia duratei de viata .....	26
<b>5.4. STUDII SI CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND TENACITATEA OTELULUI DIN TABLIERELE VECHI</b> .....	29
5.4.1. Generalitati .....	29
5.4.2. Programul de incercari experimentale .....	29
5.4.3. Prelevarea epruvetelor si incercarea experimentală .....	29
5.4.3.1. <i>Epruvete utilizate</i> .....	29
5.4.3.2. <i>Incercarea experimentală</i> .....	31
5.4.4. Prelucrarea si interpretarea rezultatelor experimentale .....	33
<b>5.5. METODA CFMR PENTRU DETERMINAREA DURATEI DE VIATA RAMASE</b> .....	37
5.5.1. Metoda prin determinarea cresterii fisurii (CFMR) .....	37
5.5.2. Studiu de caz : Podul P-08 (Sag-Timiseni) .....	42
<b>5.6. CONCLUZII SI CONTRIBUTII PRIVIND METODA MECANICII RUPERII</b> .....	55
5.6.1. Concluzii privind cercetarile teoretice si incercarile experimentale .....	55
5.6.2. Concluzii privind metoda de verificare propusa .....	57
<b>BIBLIOGRAFIE: CAPITOLUL V</b> .....	61

## **Capitolul VI. DETERMINAREA CAPACITATII PORTANTE A PODURILOR METALICE EXISTENTE; CONCLUZII SI PROPUNERI**

<b>6.1. OBSERVATII CRITICE ASUPRA COMPORTARII IN EXPLOATARE A PODURILOR METALICE</b> .....	1
<b>6.2. PROPUNERI PRIVIND DETERMINAREA CAPACITATII PORTANTE A PODURILOR METALICE EXISTENTE</b> .....	8
6.2.1. Aspecte generale .....	10
6.2.2. Metodologie complexa pentru determinarea capacitatii portante .....	11
<b>6.3. PROBLEME DE VIITOR</b> .....	18
6.3.1. Directii de studiu .....	18
6.3.2. Metoda de simulare numerica a cresterii fisurii –MEM .....	18
<b>BIBLIOGRAFIE: CAPITOLUL VI</b> .....	22

### **ANEXE**

1. Anexe la capitolul II .....	1
2. Anexe la capitolul III .....	26
3. Anexe la capitolul V .....	41

## Capitolul I

# CAPACITATEA PORTANTA A PODURILOR METALICE AFLATE IN EXPLOATARE

### 1.1. PREZENTAREA PROBLEMEI

#### 1.1.1. SINTAGMA "capacitatea portanta"

Dezvoltarea exploziva a stintei si tehnicii actuale, caracteristica definitorie a celei de a doua jumatati a secolului nostru, influenteaza pregnant intreaga desfasurare a vietii economice si sociale a oamenilor de pretutindeni.

Ramura constructiilor, care reprezinta cea mai veche activitate tehnica a omului, se dezvolta continuu, dovedindu-se astfel capabila sa tina pasul si sa raspunda necesitatilor complexe impuse de activitatea umana. Spre deosebire de unele ramuri ale stiintei si tehnicii mai nou aparute dar cu o dezvoltare rapida ( computere, industria aero-spatiala, etc. ) dezvoltarea ramurii constructiilor se caracterizeaza prin acumulari cantitative si calitative lente, dar semnificative si durabile in timp, contribuind la diversificarea si largirea activitatilor si patrimoniului de cunostinte din acest domeniu, care intr-un fel sau altul are implicatii in viata fiecarui om.

Componentele principale ale activitatii din constructii pot fi rezumate la proiectare, executie si exploatare. Proiectarea unei constructii se refera la alegerea tipului de structura cel mai potrivit scopului propus, determinarea actiunilor care solicita structura si a modului lor de combinare, calculul eforturilor si a deplasarilor in sectiuni si puncte caracteristice ale structurii, alcatuirea si dimensionarea elementelor componente astfel incat sa satisfaca conditiile de rezistenta, stabilitate, oboseala, deformatie, etc. Executia reprezinta transpunerea in practica a proiectului prin folosirea unor tehnologii de executie optime din punct de vedere tehnic si economic.

Exploatarea unei constructii, faza care in timp reprezinta perioada cea mai lunga din existenta constructiei, cuprinde toate aspectele legate de folosirea constructiei cat si toate operatiunile de intretinere cele mai adecvate pentru mentinerea ei in exploatare un timp cat mai indelungat, avand in vedere atat importanta economica, prin sumele considerabile pe care le implica realizarea unei constructii noi cat si impactul asupra mediului ambiant.

Podurile sunt lucrari de arta atasate cailor de comunicatii terestre, drumuri, autostrazi si cai ferate, a caror structura asigura continuitatea caili de comunicatie in dreptul unui obstacol natural sau artificial pe care aceasta il intersecteaza.

Podurile metalice sunt constructii care prin destinatia lor sunt supuse solicitarilor cu caracter dinamic si variabile in timp, produse de deplasarea cu viteza a convoaielor formate din autovehicule sau trenuri, ele trebuind sa prezinte o siguranta deplina in exploatare. Dar cum siguranta in exploatare nu poate fi asigurata un timp nelimitat, pentru aprecierea cat mai exacta a momentului in care siguranta unei structuri nu mai este satisfacatoare, urmand inevitabil inlocuirea structurii existente cu una noua, este necesar ca un sistem de verificare a calitatii, introdus pentru produsele industriale in S.U.A. de catre R.J. Jones in 1929 si care apoi a capatat o dimensiune nationala in anii 1950-1960, avand in prezent un caracter mondial, sa fie implementat si in activitatea de constructii.

Pentru lamurirea problemei este necesar sa acceptam termenii si notiunile specifice ce se folosesc in prezent in studiile pentru definirea durabilitatii unei structuri (constructii).

Astfel principalele notiuni care intervin pentru aprecierea starii tehnice si a durabilitatii unei constructii sunt [1.1] :

**Calitatea** (engleza-quality; franceza-qualité; germana-Güte) este orice proprietate sau caracteristica de functionare a unui produs a carei evaluare permite sa se determine daca produsul respectiv raspunde cerintelor carora le este destinat. Aceasta este definitia data calitatii de catre Organizatia Internationala de Standardizare (ISO), citata in [1.4].

**Siguranta** (engleza-safety; franceza-surété; germana-Sicherheit) reprezinta ansamblul conditiilor necesare a fi indeplinite la proiectarea, executia si exploatarea unei constructii pentru ca aceasta sa nu sufere avarii

datorita diverselor actiuni la care este supusa. Siguranta constructiilor este indisolubil legata de conceptul de calitate si se exprima calitativ prin probabilitatea de supravietuire fara aparitia de avarii.

**Durabilitatea** sau **Fiabilitatea** (*engleza-durability; franceza-endurance; germana-Dauerfestigkeit*) este definita prin intervalul de timp in care constructia isi pastreaza toate caracteristicile necesare functionarii ei normale.

**Mentenananta** (*engleza-maintenance; franceza-maintenance; germana-Erhaltung*) este definita ca ansamblul tuturor actiunilor tehnice si organizatorice asociate pentru a mentine sau restabili capacitatea unei constructii de a-si indeplini functiile proiectate.

Cautand sa definim notiunea de fiabilitate pentru podurile metalice, ea ar putea fi enuntata sub forma: **"Fiabilitatea podurilor metalice reprezinta ansamblul de conditii tehnice care determina capacitatea structurii metalice de a fi utilizata in deplina siguranta de-a lungul unei durate stabilite initial. Ea trebuie asigurata tuturor elementelor componente ale podurilor metalice"**.

Aceasta capacitate a tablierelor metalice ale podurilor de sosea sau cale ferata de a fi utilizate pentru satisfacerea cerintelor impuse de traficul rutier sau feroviar o putem cuprinde global in sintagma "capacitate portanta".

Sintagma "capacitate portanta" a unui tablier metalic este o notiune complexa care inglobeaza o serie de caracteristici si conditii tehnice pe care, structura metalica a unui pod in ansamblul ei cat si elementele componente, trebuie sa le indeplineasca pentru ca respectivul pod sa poata fi exploatat in conditii de deplina securitate.

Aprecierea capacitatii portante a suprastructurii unui pod metalic este in fapt o problema de calitate a structurii la un moment dat.

Principalele componente ale notiunii de calitate [1.6] sunt:

- componente intrinseci referitoare la performante care nu privesc modul de utilizare a structurii (de exemplu: rezistentele mecanice ale materialelor, dimensiunile geometrice ale elementelor si sectiunilor, etc.);
- performante functionale care privesc utilizarea



produsului (asigurarea gabaritelor necesare circulatiei, etc.);

- durabilitatea care face sa intervina comportarea si modificarile intervenite in timp;
- siguranta structurala;
- factori senzoriali, care participa direct la asigurarea confortului utilizatorului, determinand adesea gradul de satisfacere al acestuia (deformatii, vibratii, zgomot, etc.).

Toate aceste notiuni trebuie inglobate in cadrul unui concept de performanta definit ca o procedura organizata in cadrul careia este posibil sa se stabileasca caracteristicile si insusirile cerute unui obiect in vederea satisfacerii necesitatilor si exigentelor unui utilizator determinat [1.3], [1.4], [1.5], [1.22], [1.23].

Standardele si lucrarile citate mai sus arata ca metodele de determinare sau verificare a fiecărei exigente de performanta pot fi :

→ Metode fizice, care furnizeaza datele necesare prin masuratori directe sau alte mijloace de determinare (incercare, experiment, observare);

→ Metode analitice, care determina performantele printr-un calcul sau model teoretic de comportare care poate fi chiar simulat pe calculator;

→ Metode subiective, care se bazeaza pe aprecierile si/sau dezbaterile unor experti ce stabilesc performanta pe baza experientei acumulate in cazuri si conditii similare.

In cazul structurilor metalice ale podurilor aflate in exploatare, pe rețeaua de drumuri si cai ferate, criteriul de performanta urmarit il constituie **capacitatea lor portanta**, determinata in principal prin considerarea efectelor produse de fenomenul de oboseala.

### 1.1.2. Obiectivele tezei de doctorat

Conform CODE UIC 779-1 [1.24], si CODE UIC 778-2-R [1.25], bazat pe:

↳ Observatii facute asupra comportarii pe intervale lungi de timp a tablierelor metalice;

↳ Cercetari si incercari experimentale facute pe oteluri vechi;

↳ Studii asupra spectrului de sollicitare a podurilor metalice (Comisia ORE-D128, Office de Recherche

Experimentale de la UIC).

s-au elaborat primele recomandari cu caracter general pentru evaluarea capacitatii portante a structurilor podurilor metalice vechi.

Astfel **capacitatea portanta** se apreciaza tinand cont de:

- 1) Documentatia tehnica existenta la dosarul podului (desene de executie si calcule statice si de dimensionare);
- 2) Caracteristicile materialului metalic din care este confectionat tablierul;
- 3) Starea generala a constructiei;
- 4) Rezultatele diferitelor masuratori, incercari sau verificari efectuate ;
- 5) Verificari relative la oboseala;
- 6) Evenimente particulare (avarii, calamitati,etc) survenite in perioada de exploatare.

Rezulta din cele aratate mai sus ca aprecierea "capacitatii portante" a unui pod metalic existent este o operatie complexa, care implica multi parametri, unii greu de cuantificat, asupra ei desfasurandu-se si in prezent, in cele mai multe tari ale lumii, studii si cercetari diverse.

In baza acestor recomandari obiectul tezei de doctorat il constituie studierea structurilor metalice ale podurilor aflate in exploatare la noi in tara, in principal pe reseaua de cale ferata, si stabilirea principiilor de baza ale unei metodologii unitare de apreciere a capacitatii lor portante in functie de starea lor reala, bazata pe noile concepte probabilistice in curs de introducere in reglementarile privind calculul podurilor metalice, in vederea prelungirii duratei lor de exploatare prin mentinerea in serviciu peste durata normata de exploatare, in conditii acceptabile de siguranta pana la crearea conditiilor pentru inlocuire.

Pornind de la cele aratate mai sus, prin prezenta teza mi-am propus sa abordez si sa aduc contributii in urmatoarele directii:

- 1) analiza stadiului actual al cunoasterii privind podurile metalice existente prin prisma normelor de

- calcul in vigoare la noi in tara si tendintele lor actuale pe plan international;
- 2) analiza teoretica si prezentarea noului concept de siguranta probabilistic privind structura podurilor metalice acceptat in prezent de majoritatea normelor internationale;
  - 3) analiza modului real de lucru al structurii podurilor metalice existente sub sarcinile de exploatare, bazat pe studii teoretice si incercari experimentale de laborator si "in situ" efectuate asupra unor tabliere vechi;
  - 4) sintetizarea rezultatelor obtinute in urma studiilor si cercetarilor efectuate intr-o propunere de metodologie unitara de verificare a suprastructurii podurilor metalice existente in vederea mentinerii lor in exploatare;
  - 5) studiul teoretic si analiza practica si a altor procedee si metode neconventionale de analiza si evaluare a starii tehnice a podurilor metalice aflate in exploatare.

## **1.2. EVOLUTIA SI PARTICULARITATILE CONSTRUCTIEI DE PODURI METALICE.**

Constructia cailor de comunicatii reprezinta unul din cele mai semnificative aspecte ale luptei omului cu mediul ambiant. Drumurile si caile ferate, ca semn al civilizatiei umane, serpuiesc pe distante uriase strabatand cele mai variate forme de relief.

Inceputul secolului al XIX-lea a fost marcat de aparitia si apoi rapida dezvoltare a transportului feroviar [1.2]. In 1825, George Stephenson realizase prima locomotiva cu aburi din lume si in acelasi an se inaugureaza in Anglia linia Stockton-Darlington (58 km), prima cale ferata care utiliza tractiunea cu abur. Fascinate de noul mijloc de transport, popoarele lumii il adopta rand pe rand, astfel ca premierele feroviare se succed cu repeziciune:

-1832: constructia primei linii ferate din S.U.A.;

-1835: inaugurarea primei cai ferate din Europa continentală, pe traseul Bruxelles-Mechelen (20,4 km) in Belgia;

-1837: punerea in functie a primelor cai ferate publice din Franta, linia Paris-St.Germain (21 km) si din Rusia, linia Sankt Petersburg - Tarskoe Selo, (27 km).

In decurs de numai cativa ani, intreaga Europa se pusese in miscare si a construit cu febrilitate drumuri de fier. Pe teritoriul actual al Romaniei, in anul 1846 incepe constructia liniei Buzias - Oravita si reseaua feroviara a imperiului austro - ungar se extinde cu repeziciune spre granitele Principatelor Romane. Desi starea precara a retelei rutiere din Moldova si Tara Romaneasca cat si spiritul favorabil transportului feroviar ar fi indreptatit urgentarea constructiei unor cai ferate, lipsa mijloacelor financiare impiedica orice initiativa pentru inceput si a facut ca totul sa depinda de capitalul strain si in felul acesta sa fie putin intarziata realizarea noilor cai ferate. Totusi dupa anul 1980 in Principatele Romane constructia cailor ferate a cunoscut perioade de intensa dezvoltare asa cum rezulta si din figura 1.1.

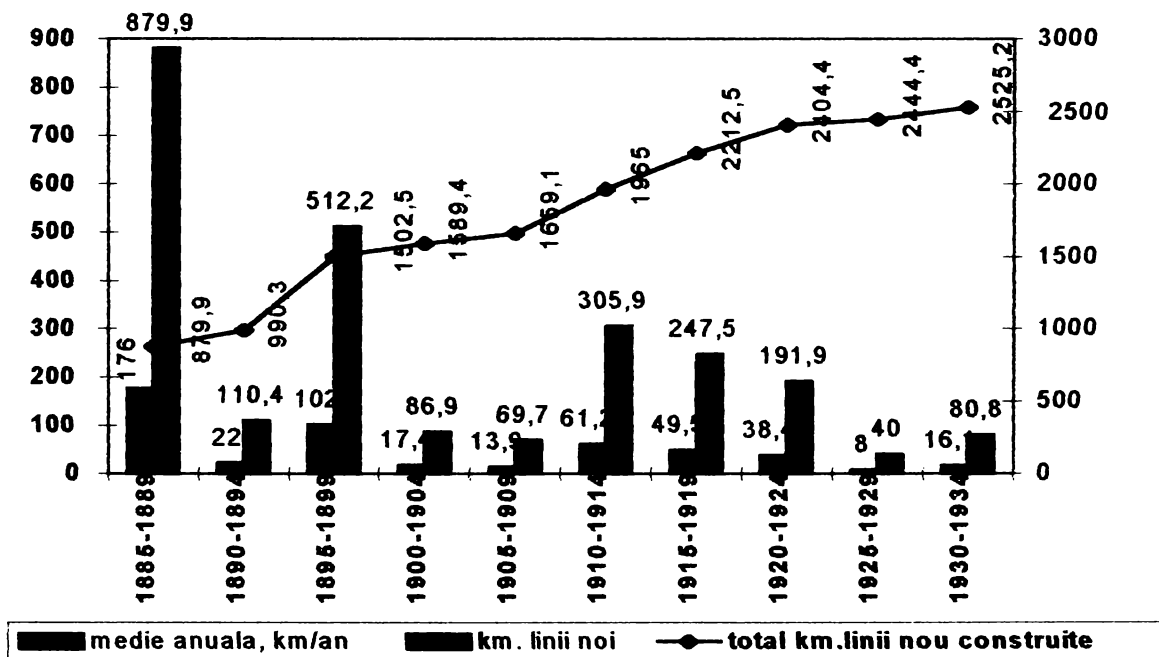
Primele poduri metalice realizate pe teritoriul tarii noastre sunt doua poduri de sosea executate din fonta la inceputul deceniului al V-lea din secolul trecut, in Banat. Primul dintre ele, avand deschiderea de 18 m, a fost montat in anul 1841, peste raul Timis, la intrarea in Caransebes, acolo unde este astazi km 454+045 pe DN 6. Spre deosebire



de celalalte poduri din fonta executate in acea vreme, care aveau calea sus, podul de la Caransebes era un arc cu tirant, cu calea jos si se pare ca este prima constructie de acest gen, realizata din fonta. Podul a functionat pana in anul 1902, cand a fost inlocuit cu un tablier din otel, de 56,10 m deschidere, avand grinzi semiparabolice, cu zabrele. Acest tablier a fost consolidat in anul 1960, iar in 1978-1979 a fost din uz si inlocuit, de data aceasta printr-un pod si un pasaj superior.

Despre cel de-al doilea pod din fonta, construit la Lugoj, profesorul Ivanyi Stefan a scris in 1907, in "Istoria Lugojului", urmatoarele: "Societatea miniera de la mina Rusca a construit, in 1833, un pod de fonta pe soseaua Lugoj-Gavojdia, care a fost un pod suspendat pe lanturi, confectionat din dulapi metalici ce se intrepatrundeau si care purta aceasta inscriptie mandra: ATARN DE MINE INSUMI."

### CONSTRUCTIA cailor ferate



**FIG. 1.1.** Dezvoltarea cailor ferate in Principatele Romane in perioada 1885-1935

In continuare, profesorul Ivanyi scria: "Dupa doi ani, deteriorat de niste raufacatori, podul s-a prabusit sub greutatea unei cirezi de bivoli, dar locul peste paraul Stiuca unde fusese el (DN 6 km 493+800, n.a.) a purtat in continuare numele la podul de fier, cu toate ca acesta fusese inlocuit cu un pod de lemn si abia in 1906 s-a executat un pod metalic".

Un al treilea pod din fonta executat mai tarziu pe

teritoriul tarii noastre si despre care avem cunostinta, este o pasarela pietonala din Sibiu, care mai exista si astazi si este cunoscuta sub numele de "podul Mincinosilor". Acest pod, executat in 1858, are o singura deschidere de 10,40 m, formata din patru arce de fonta, asamblate la cheie prin bulonare. Arcele au sectiune constanta (circa 50x10 m) cu ornamente florale.

In Principatele Romane nu avem date care sa ateste existenta vreunui tablier din fonta. Aici constructia podurilor a inceput direct cu tablierele din otel pudlat, executandu-se in timpul concesiunilor multe poduri cu deschideri modeste, dintre care doar doua au depasit 50 m:

- 1) podul peste Siret la Bucecea, executat in 1871 pe lina Veresti-Botosani, unde s-a montat o grinda cu zabrele, cu calea jos si talpa superioara curba, avand deschiderea de 72,56 m, construit pentru cale dubla,

si

- 2) podul peste Olt la Slatina, executat in 1875, pe linia Pitesti-Varciorova si alcatuit dintr-o grinda cu sapte deschideri (45,50+5x57,30+45,50 m), in lungime totala de 378 m.

Romania are o retea de cai ferate de aproximativ 14300 km. (Fig. 1.2) care s-a dezvoltat pe parcursul a 150 de ani, incepand de la constructia, in 1846 a primei linii de cale ferata de pe teritoriul de azi al tarii noastre intre localitatile Bazias si Oravita.

In paralel constructia podurilor de cale ferata a inregistrat un progres continuu dar nu constant asa cum rezulta din graficul cu intrarea in exploatare a podurilor aferente cailor ferate din Romania (Fig. 1.3), o pondere mai mare fiind in teritoriul regionalelor C.F. Timisoara, Cluj, Brasov si Iasi, adica in regiunile in care caile ferate s-au dezvoltat mai de timpuriu.

Primele tabliere metalice montate de Administratia CFR au fost cele de pe linia Campina-Doftana, linie in lungime de numai 5,2 km, construita sub conducerea inginerului Ilie Radu si data in exploatare la 21 noiembrie 1883. Pe aceasta linie au fost executate podurile peste Prahova (2x30,00+2x36,00 m) si peste Doftana (2x28,19+3x29,40 m), ambele avand grinzi continue cu zabrele multiple si montanti. Sapte luni mai tarziu, la 22 iunie 1884, inginerul Anghel Saligny pune in functie linia Adjud-Tg. Ocna, in lungime de 51,1 km, unde a montat doua poduri metalice combinate de cale ferata si sosea peste Trotus, la Urechesti (47,95+4x50,40+47,95 m) si la Onesti (47,95+50,40+47,95 m), denumite Trotus I si Trotus II.

Tablierele acestor poduri au fost furnizate de firme straine: Gutehoffnungshütte, pentru podurile Prahova si Doftana, si Fives Lille, pentru podurile de cale ferata si sosea peste Trotus.

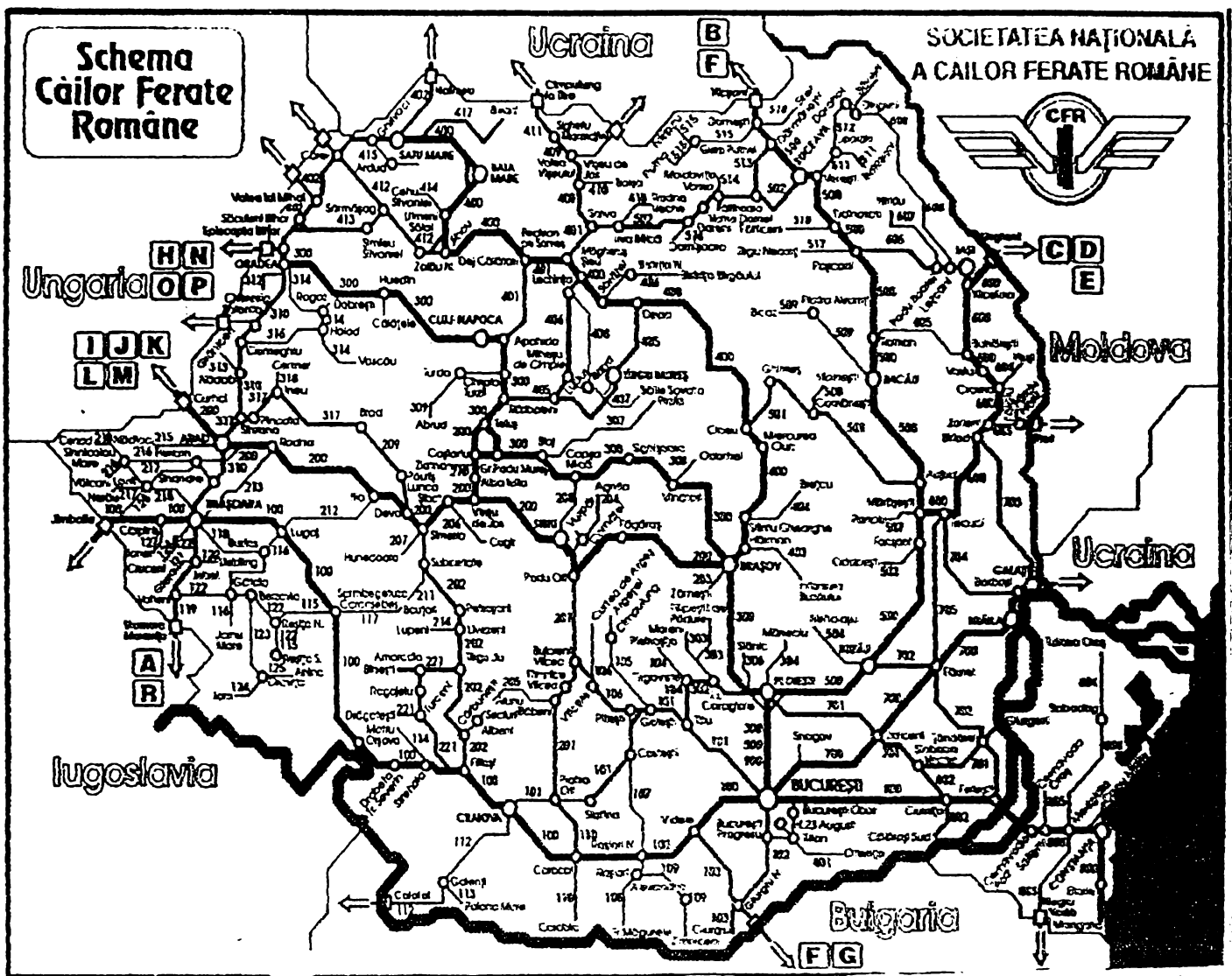


Fig. 1.2. Reteaua nationala a cailor ferate române

La podurile mici, cu deschideri de pana la 10,60 m, s-au folosit tabliere alcatuite din grinzi cu inima plina, calea sus. Ca sistem static, au fost preferate grinzile simplu rezemate pentru deschiderile mici si mijlocii, iar pentru deschiderile mari s-au folosit grinzile continue; calculul lor s-a facut in conformitate cu circulara franceza din 9 iulie 1877. Montajul in mai putin de cinci ani al acestor circa 3 km de tabliere metalice a insemnat o veritabila performanta a constructorilor romani.

Anii 1890-1895, anii executarii podurilor dunarene, au reprezentat perioada de certa afirmare pe plan mondial a constructorilor romani, iar darea in exploatare, la 14/26 septembrie 1895, a podului Cernavoda, a marcat un eveniment

extrem de important in constructia podurilor romanesti. Executarea podurilor dunarene a constituit o glorie nu numai pentru autorul lor, inginerul Anghel Saligny, ci si pentru tehnica romaneasca. Deschiderea maxima a podului peste Dunare, de 190 m, era pe atunci cea mai mare din Europa continentală, iar lungimea totala a podurilor (4088 m), acoperind aproape o treime din latimea de 15 km a vail Dunarii intre Fetesti si Cernavoda, reprezenta cea mai mare lungime a unui grup de poduri din acea vreme. Exigenta pe care inginerii romani au pus-o la proiectarea, montarea si controlul executiei, a fost aspru criticata la inceput, dar foarte bine apreciata ulterior, cand rezultatele obtinute s-au situat la nivelul tehnicii mondiale.

Dupa marele succes inregistrat de Anghel Saligny la realizarea podurilor dunarene, constructori feroviari s-au orientat cu curaj spre introducerea pe scara larga a otelului moale la executarea podurilor, renuntand complet la otelul pudlat. Majoritatea podurilor metalice executate din otel pudlat si montate pana in preajma anului 1900, au fost inlocuite cu tabliere din otel moale, toate podurile de mare deschidere de pe liniile principale fiind refacute.

Primul pod din tara noastra cu suprastructura din otel moale (foarte asemanator caracteristicilor OL 37 de astazi), a fost podul peste Dunare la Cernavoda, iar utilizarea acestui otel se datoreste clarviziunii lui Anghel Saligny.

Noul material a permis cresterea deschiderilor, cu evidente avantaje economice, reflectate in diminuarea costurilor investitiilor, cresterea duratei de serviciu si reducerea cheltuielilor de exploatare.

Spre sfarsitul secolului trecut si inceputul secolului nostru, s-au executat numeroase poduri cu tabliere de mari dimensiuni. Astfel, consemnam in 1899 podurile Olt 2 si Olt 3, cu deschideri de 4x50,00 m si, respectiv, 7x15,00+78,40 m, ale caror tabliere, consolidate in anii 1966-1967 pentru preluarea unor convoaie sporite, sunt si astazi in exploatare. Dintre ele, un singur tablier de la podul Olt 2, care a suferit de pe urma primului razboi mondial, a fost inlocuit in 1923. In anul 1920 au fost executate tabliere cu deschideri de 80,00 m peste Teleajen si Cricovu Sarat, pe linia Ploiesti-Slobozia (trei tabliere la primul pod si unu la cel de-al doilea). Ele au fost inlocuite dupa razboi, in anul 1927 si consolidate in anul 1964 si, respectiv, 1966. Un pod frumos si in acelasi timp cu deschideri mari, este viaductul de la Casimcea de pe linia Medgidia-Tulcea cu o deschidere centrala de 70,00 m incadrata intre doua deschideri de 40,00 m care a fost inaugurat in octombrie 1925.



Printre tablierele cu deschideri mari trebuie amintit tablierul peste Borcea uzinat si montat de Resita in anul 1920, precum si tablierul peste Prut la Reni - -o grinda adusa din Ungaria in contul despagubirilor de razboi - montat in anul 1928. De asemenea, mai trebuie amintit si podul Prahova I (km 45+697) cu trei tabliere de 45,01 m, executate in anul 1900 cu ocazia dublarii liniei Bucuresti--Ploiesti. Acestea sunt primele tabliere pentru cale ferata dubla. Ele exista si in prezent si au fost uzinate la *Fives Lille*.

In legatura cu grinzile cu inima plina, pana in 1920 deschiderea de 20,00 m constituia o limita. Chiar circulara prusaca din 1903 limita executarea lor la aceasta dimensiune, considerata maxima. Poduri cu inima plina peste 30,00 m erau foarte putine, chiar si in America. Abia dupa 1935 au aparut deschideri de 50-60 m.

Constructia podurilor de cale ferata in perioada interbelica a fost dominata de tablierele metalice uzinate din otel moale si asamblate prin nituire, generalizandu-se ca forme constructive grinzile cu zabrele pentru deschiderile mari si grinzile cu inima plina pentru deschiderile mici. Dupa punerea la punct a tehnologiei in uzina si de asamblare pe santiere, incheiata cu elaborarea in anul 1925 a prescriptiilor si a normelor tehnice de calcul, a urmat o perioada de stagnare in evolutia tehnologica a podurilor metalice, perioada care s-a intins de-a lungul a aproape patru decenii in care nu a intervenit nici o noutate esentiala in tehnica podurilor de cale ferata. Inca din anii '20 devenise evident ca o continuare a evolutiei nu mai era posibila in cadrul tehnologic existent. Trebuiau cautate noi metode de constructie si montaj, noi oteluri de calitate superioara. Cercetatorii din mai multe tari ale lumii explorau si investigau cu asiduitate, dar rezultatele pozitive s-au lasat multa vreme asteptate. Atentia cercetatorilor s-a concentrat in principal asupra imbinarilor sudate care, extinse in domeniul podurilor, au condus la substantiale economii de material metalic si manopera fata de imbinarile nituite.

In tara noastra, primul tablier complet sudat a fost uzinat si montat in anul 1931 la Resita, peste raul Barzava. Era un pod rutier cu clea jos, cu grinzi principale cu zabrele cu talpa superioara parabolica (aceeasi solutie constructiva ca pentru tablierele nituite) de 31,42 m. deschidere si cu o latime de 6,0 m. In urma bunelor rezultate obtinute pe plan mondial prin sudarea tablierelor, dupa anul 1955 s-a pus si in tara noastra problema introducerii imbinarilor sudate la podurile de

cale ferata, primele poduri sudate fiind puse in functie in anul 1961, la km. 10+085 si 138+225, pe linia secundara normala Santana-Brad, dar aveau numai 5,50 m. deschidere. Au urmat la intervale scurte, tabliere complet sudate cu deschideri din ce in ce mai mari.

La 1 ianuarie 1855, toate uzinele si instalatiile metalurgice din Banat, care aveau deja o buna traditie, sunt cumparate de la Curtea imperiala habzburgica, de catre puternica societate particulara "*Keiserliche und Königliche Privilegierte Österreichische Staats Eisenbahn Gesellschaft*", cunoscuta sub denumire prescurtata St.E.G. Tranzactia oneroasa facuta de St.E.G. prin cumpararea domeniilor imperiale din Banat, a fost urmata de mari investitii in uzinele din Resita, pentru a le creste rentabilitatea. Inca cinci linii de laminare sunt puse in functie in 1859 si tot in acest an, prin transferarea la Viena a atelierului de tunuri, se creeaza posibilitatea dezvoltarii de cazane, de materiale de cale ferata si constructii metalice, precum si a infiintarii unei "*fabrici de poduri*". La aceasta fabrica se executau poduri si ferme metalice de diferite dimensiuni, a caror productie a cunoscut crestere importante incepand din 1867, cand s-a intensificat actiunea de constructie a cailor ferate. In aceasta perioada, uzinele resitene introduc in fabricatie locomotivele cu aburi, primele exemplare pentru linie ingusta fiind produse intre 1872 si 1874.

Productia de tabliere metalice a fabricii de poduri St.E.G. din Resita a ajuns la 2000 tone in anul 1885, 2700 tone in anul 1895, 3960 tone in anul 1910, productie care plasa uzina resiteana pe un loc fruntas in ierarhia europeana a constructorilor de poduri, tabliere uzinate aici gasindu-se si astazi pe teritoriul Romaniei, Ungariei si Austriei.

Printre lucrarile mai importante realizate la fabrica de poduri din Resita, notam:

- podurile de pe liniile Timisoara-Caransebes si Caransebes-Orsova, executate de St.E.G. si date in exploatare la 23 octombrie 1876 si, respectiv, la 20 mai 1878;

- toate cele 14 poduri, in lungime totala de 835 m, de pe linia Campina-Sinaia, uzinate si livrate in 1879;

- toate tablierele de pe linia Sf.Georghe-Miercurea Ciuc, pusa in functie la 5 aprilie 1896;

- inlocuirea, intre anii 1911-1913, a 1620 tone tabliere din otel pudlat de pe linia Timisoara-Orsova, printre care si podul peste Belareca Mare, la iesire din statia Mehadia, de 101,76 m deschidere, alcatuit dintr-o grinda cu zabrele, semiparabolica, de 102,60 m lungime si

582 tone greutate, avand 12 panouri, dintre care cel central de 15,50 inaltime. Tablierul de la Belareca este cel mai mare realizat la Resita si, in acelasi timp, cel mai mare pod de pe retea CFR, dupa podurile peste Dunare;

- podul rutier peste Tisa la Tokai, alcatuit dintr-un tablier central de 107,60 m, incadrat de doua tabliere de 51,70 m si uzinat in 1896;

- tablierele podurilor rutiere peste Mures la Arad (1909) si peste Cris (1910).

Este interesant de remarcat ca toate tablierele produse la Resita au fost proiectate in cadrul uzinei, fapt ce atesta competenta cadrelor tehnice locale.

Dupa primul razboi mondial, prin alipirea Banatului, proprietatile St.E.G. din aceasta provincie intra in administrarea romaneasca sub denumirea U.D.R. (Uzinele si Domeniile Resita) si, in aceasta organizare, au loc noi si importante actiuni de dezvoltare si modernizare a capacitatilor de productie. Sectia de cazangerie se muta intr-o hala noua, fabrica de poduri si constructii metalice este extinsa si reutilata, iar biroul de proiectare este marit corespunzator. Drept urmare, productia fabricii creste substantial, ajungand in 1938 la nivelul de 12343 tone, din care 7870 tone tabliere si 4473 tone aparate de cale.

Din multimea de tabliere metalice executate de U.D.R. intre anii 1919-1944, amintim cateva:

- podul peste bratul Borcea la Fetesti (1920), cu deschiderea 140 m si doua console de 38,25 m;

- podul peste Prut la Cernauti (1925), cu patru deschideri de 58,50 m;

- podul peste Ialomita, intre Ciulnita si Slobozia (1926), 2x60,00 m;

- podul peste Crisul Alb, pe linia Arad-Oradea (1933), 2x60,00 m;

- podul peste Crisul Negru, pe linia Arad-Oradea (1933), alcatuit dintr-o grinda continua de 160 m, cu trei reazeme.

Dupa 1944, pe masura dezvoltarii tot mai mari a atelierului CFR de poduri de la Pitesti, devenit ulterior Intreprinderea de Poduri Metalice si Prefabricate din Beton (IPMPB), acesta a preluat aproape in totalitate productia de tabliere metalice obisnuite, fiind in prezent principalul furnizor de tabliere metalice pentru podurile feroviare si rutiere noi.

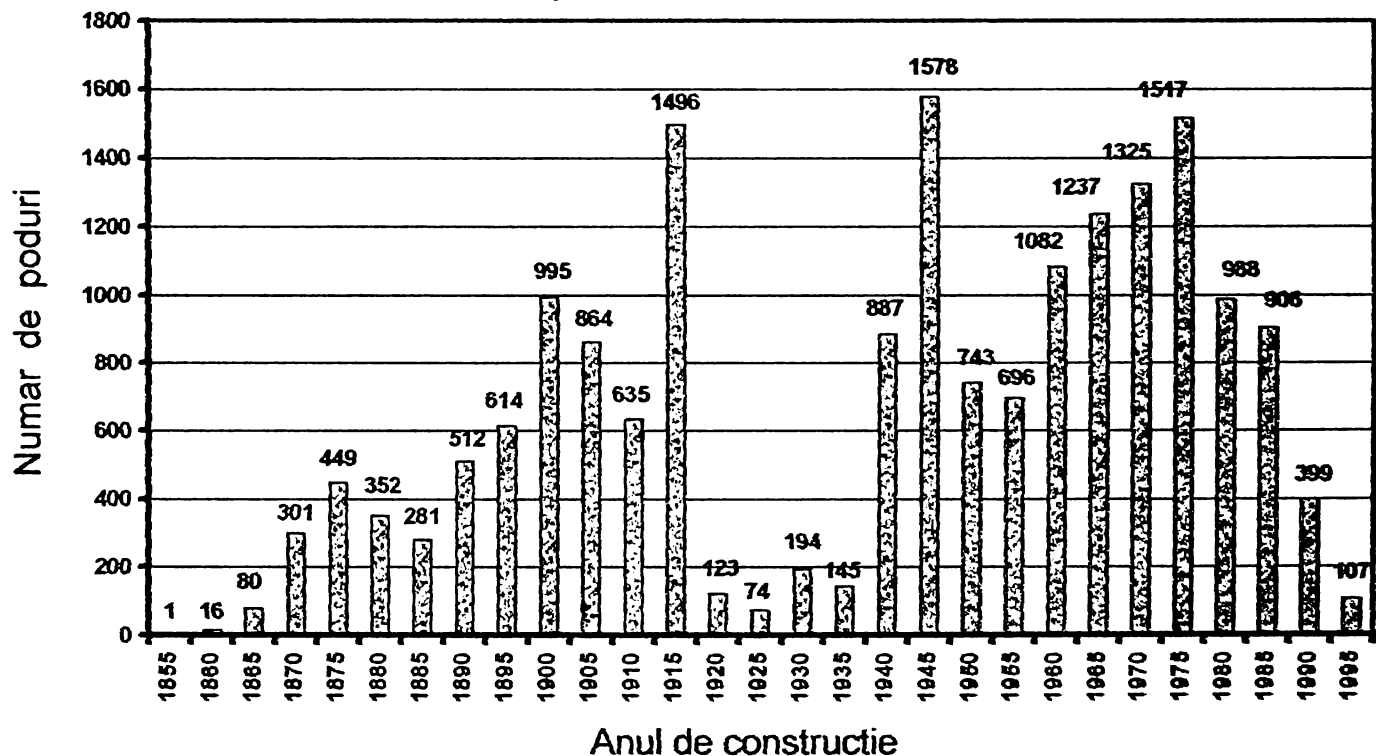
Podurile aflate in exploatare pe retea nationala de cale ferata asa cum rezulta din tabelul 1.1, figura 1.3 si figura 1.4, au fost construite in decursul ultimilor 120 de

ani, din cele 18614 poduri si podete existente actualmente, 2607 (aprox. 14%) au in prezent peste 100 de ani vechime, multe dintre ele fiind in exploatare dupa ce au suferit atat degradari cat si diverse operatii de intretinere, reparatii sau consolidari. Inlocuirea lor cu structuri noi ridica probleme financiare, tehnice si chiar politice, neputandu-se realiza in prezent in toate cazurile. Problema care apare asadar este legata de verificarea, la aceste structuri vechi, a sigurantei sub incarcările actuale pentru mentinerea lor in serviciu.

**TABELUL 1.1**

Total poduri de cale ferata	Mai vechi decât 100 ani		Poduri metalice	L > 10 m	Poduri nituite	Poduri sudate
18 614	2 607	14 %	4 289	4 155	3 201	1 088

**Total poduri metalice CF 18614**



**Fig.1.3. Poduri metalice de cale ferata-puneri in functie**

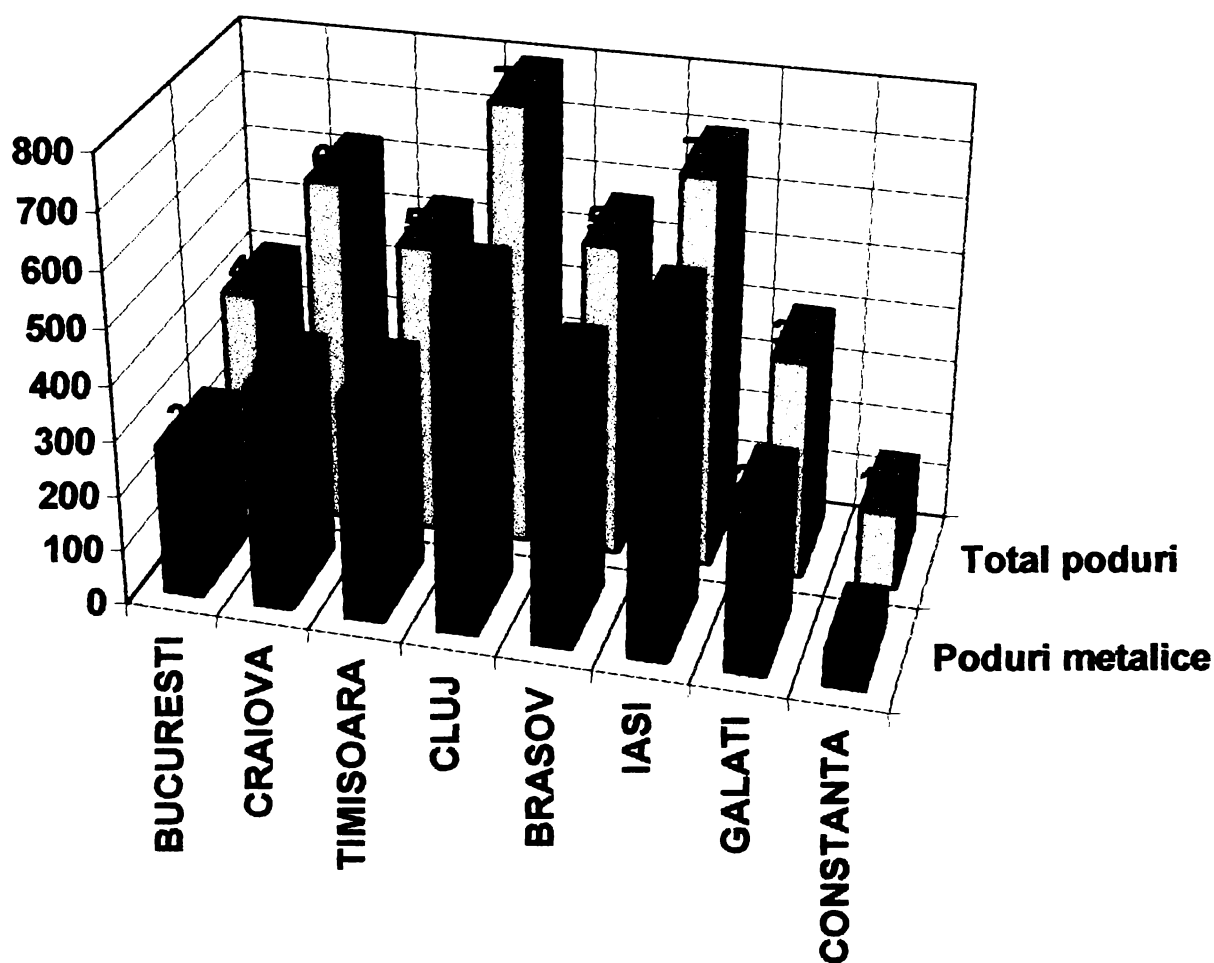
Reteaua de drumuri nationale masoara 154014 km pe care sunt dispuse 3131 poduri si pasaje; dintre acestea un numar nesemnificativ, doar 81 (≈3%) au suprapstructura metalica. Numarul redus al podurilor metalice se explica prin cvasi-absenta autostrazilor (doar 113 km). Avand in vedere numarul si importanta redusa a acestora, in cele ce urmeaza se vor face doar referiri ocazionale la acestea.

Se subliniaza ca aceste poduri au fost alcatuite si calculate pe baze diferite, atat in ceea ce priveste



convoiu de sarcini mobile cat si rezistentele materialului folosit, coeficientul dinamic, coeficientul de flambaj, etc. In unele cazuri, la podurile cu vechime foarte mare, pentru proiectare s-au folosit convoaiele de sarcini reale (locomotive si vagoane aflate in circulatie) de cele mai multe ori inasa s-au folosit convoaie de calcul ideale, cu o oarecare acoperire fata de sarcinile reale date de convoaiele aflate in circulatie la data constructiei podului.

Pe masura ce a crescut experienta in construirea podurilor metalice si s-a imbunatatit calitatea materialului, respectiv s-a realizat o calitate mai uniforma a otelurilor folosite, s-a putut micsora coeficientul de siguranta, sporindu-se astfel rezistentele admisibile.



**FIG. 1.4.** Distributia actuala a podurilor in reseaua SNCFR pe directii regionale

In ceea ce priveste influentele dinamice, prescriptiile mai vechi au tinut seama de el intr-o forma implicita, reducand rezistentele admisibile pentru grinzi cu deschideri mici si sporindu-le in masura cresterii deschiderilor. Prescriptiile mai recente prefera inasa sa se exprime aceste influente explicit, prin aplicarea unui

multipliator (denumit coeficient dinamic) la eforturile produse de sarcinile mobile, multipliator care depinde de viteza de circulatie si care descreste hiperbolic in masura cresterii deschiderii elementului in cauza.

In decursul timpului au evoluat in mod analog si ideile referitoare la stabilitatea elastica a structurilor: flambajul, voalarea inimilor, voalarea talpilor, etc., cat si cunostintele privind comportarea la incarcari repetate in timp (oboseala).

### 1.3. MODUL REAL DE LUCRU SI EXPLOATARE AL PODURILOR METALICE

#### 1.3.1. Conditiiile reale de lucru ale podurilor metalice

Podurile metalice vechi sunt structuri spatiale alcatuite, de cele mai multe ori, din bare drepte fiind exterior static determinate, realizate ca structuri simplu rezemate sau in cazul podurilor cu deschideri foarte mari (podurile dunarene, de exemplu) ca grinzi cu console si articulatii.

Proiectare acestor poduri s-a facut adoptand unele ipoteze simplificatoare, in special privind schematizarea alcatuirii structurii si a incarcarilor, dintre care mentionam:

- descompunere in elemente plane a structurii spatiale;
- legaturile dintre elementele componente sunt legaturi simple, neimplicand nedeterminari statice interioare;
- incarcarile utile sunt reprezentate in mod unic sub forma unui tren fictiv sau dupa caz a unui sir de autovehicule fictiv;
- efectul dinamic al incarcarilor din convoi se considera prin majorarea efectului static al incarcarilor cu un coeficient supraunitar  $\Psi$ , numit coeficient dinamic, a carui valoare a fost in general supraapreciata.

Aplicand aceste ipoteze, podurile au fost proiectate prin considerarea elementelor plane care le alcatuiesc (lonjeroni, antretoaze, grinzi principale) prinse inasa rigid unele de altele -cel mai frecvent printr-un numar suficient de mare de nituri- si stabilizate spatial printr-un ansamblu de contravanturiri (figura 1.5.a). Cel mai semnificativ exemplu este cel al antretoazei, care in

calcul se considera o grinda simplu rezemata pe grinzile principale in timp ce constructiv se prinde prin intermediul unui ramfort si a multor nituri, chiar foarte rigid (figura 1.5.b).

Prin modul de realizare constructiva apar asadar multe legaturi interioare suplimentare care conduc in fapt la o structura spatiala multiplu static nedeterminata, fapt care are o influenta pozitiva, prin conlucrarea mai multor elemente componente sau chiar a intregii structuri starea de solicitare din elementul direct incarcat reducandu-se. Trebuie sa subliniem insa ca gradul de conlucrare spatiala depinde in mod hotarator de rigiditate prinderilor dintre elemente si de sistemul de contravantuiri existent.

Privitor la exploatarea podurilor, pe reseaua de drumuri sau cai ferate circula convoaie reale, reprezentate de autovehicule sau trenuri care au o configuratie practica variabila si diferita de cea a convoaielor ideale de calcul, de regula mai favorabila pentru determinarea solicitarilor, fapt care influentaza de asemenea capacitatea portanta a structurii. Aceste convoaie reale se numesc generic "**convoaie de exploatare**" si sunt utilizate in cadrul unui nou concept de verificare, mai ales in privinta oboselii, numit verificarea sub sarcinile de exploatare care va fi detaliat in capitolul III.

Pentru o corecta apreciere a capacitatii portante a structurii podurilor metalice existente se impune:

- 1) **considerarea structurii spatiale;**
- 2) **verificarea ei sub sarcinile de exploatare** aplicand un concept de cumulare a vatamarilor suferite in timp prin actiune convoaielor care au circulat pe pod.

### 1.3.2. Actiuni datorate procesului de exploatare si efectul lor asupra structurii.

In timpul exploatarei, asupra elementelor componente ale podurilor metalice se exercita actiuni ale caror caracteristici sunt determinate de particularitatile convoaielor care circula pe pod. Ca actiuni specifice podurilor metalice pot fi considerate urmatoarele categorii:

- A) actiuni permanente;
- B) actiuni temporare variabile.

**A) Actiuni permanente**

Greutatea proprie a tablierului este un parametru care nu se cunoaste cu exactitate intrucat in multe cazuri lipseste din arhive documentatia de executie a structurii iar in timp pot sa apara modificari prin inlocuirea elementelor caii atunci cand se procedeaza la inlocuirea materialului rulant sau se modifica viteza de circulatie in sensul cresterii ei.

Pentru verificari, greutatea proprie a tablierului si a elementelor caii se poate determina in functie de convoiul de calcul folosit la proiectare, utilizand relatiile prezentate in tabelul 1.2 sau abacele din figura 1.5 si figura 1.6.

Greutatea scheletului metalic (incluzand contravantuirile, trotuarele, aparatele de reazem, etc.) rezulta in kg/m (daN/m) utilizand formulele din tabelul 1.2 sau in kN/m utilizand abacele din figura 1.5, daca deschiderea podului L, este data in metri.

Diagramele si formulele indicate sunt valabile pentru tablriere independente drepte cu grinzi cu inima plina sau zabrele cu inaltimea  $h = L/10$ , respectiv  $h = L/6$  si situate in aliniament. Pentru tablriere cu alte particularitati constructive aceste valori se vor multiplica cu coeficientii  $k_i$ , dupa cum se arata in tabelul 1.3, coeficientul  $k_1$  fiind prezentat si in abacele din figura 1.6.

TABELUL 1.2

CONVOI de calcul	Greutatea proprie a tablierului, pentru:				greutatea proprie a caii (kg/m)
	Grinzi cu inima plina $L \leq 30$ m; $h = L/10$		Grinzi cu zabrele $L \geq 30$ m; $h = L/6$		
	calea SUS (kg/m)	calea JOS (kg/m)	calea SUS (kg/m)	calea JOS (kg/m)	
S 10	$45.L + 700$	$82.L + 700$	$33.L+1300$	$33.L+1500$	900
A 8.5	$41.L + 600$	$75.L + 650$	$30.L+1200$	$30.L+1400$	800
B 6	$38.L + 600$	$68.L + 650$	$27.L+1200$	$27.L+1400$	700
T 8.5	$44.L + 650$	$55.L + 1250$	$35.L+1400$	$26.L+1700$	800
I 3	$32.L + 250$	$46.L + 400$	$20.L+500$	$20.L+600$	400

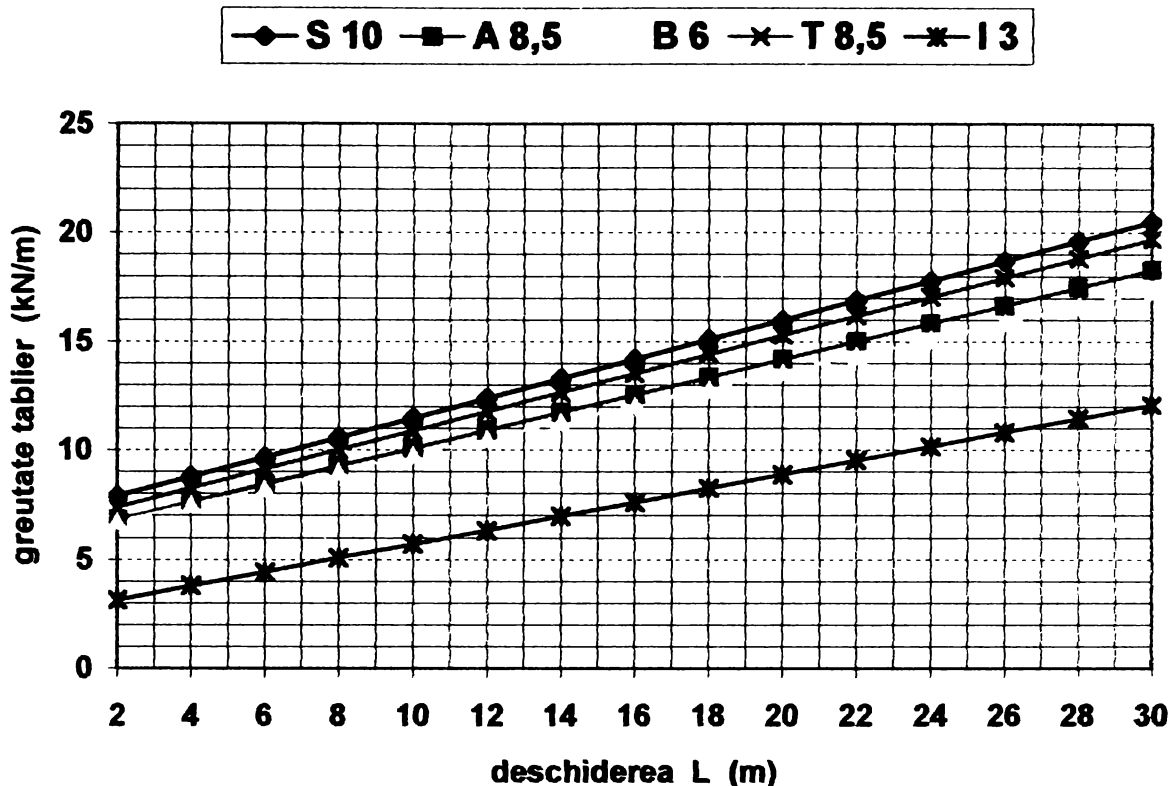
Pentru calculul static este necesar sa se adauge la aceste greutati si greutatea caii care se poate lua de asemenea in functie de convoiul de calcul. Valorile date in tabelul 1.2 cuprind: greutatea sinelor, a contrasinelor, a tablei striate, a traverselor, a podinei trotuarelor si a materialului marunt pentru prinderi.

TABELUL 1.3

K <sub>1</sub>	pozitia caii	h/L=									
		1/1 1	1/1 2	1/1 3	1/1 4	1/1 5	1/1 6	1/1 7	1/1 8	1/1 9	1/2 0
	cale sus	1,0 2	1,0 4	1,0 7	1,1 1	1,1 6	1,2 1	1,2 7	1,3 4	1,4 1	1,4 9
	cale jos	1,0 1	1,0 2	1,0 4	1,0 6	1,0 8	1,1 1	1,1 4	1,1 7	1,2 1	1,2 5
K <sub>2</sub>	pod in curba	R ≤ 1100m						1,10			
		1100 < R ≤ 2500m						1,05			
		2500 < R ≤ 4000m						1,02			
		R > 4000m						1,00			
K <sub>3</sub>	pod oblic	gr. IP cale sus grinzi gemene					orice oblicitate			1,03	
		gr. IP cale jos					α ≥ 60°			1,03	
	45° ≤ α < 60°						1,05				
	α < 45°						1,07				
K <sub>4</sub>	grinzi cu Inima Plina cu perete dublu									1,10	
K <sub>5</sub>	grinzi cu zabrele cu montanti suplimentari									1,04	
K <sub>6</sub>	poduri de cale ferata dubla									1,95	
K <sub>7</sub>	poduri cu grinzi continue									0,90	
K <sub>8</sub>	alcatuirea podului	grinzi IP nituite									0,75
		gr. cu zabrele nituite+gr. caii sudate									0,85



a) GRINZI cu INIMA PLINA - calea sus



b) GRINZI cu INIMA PLINA - calea jos

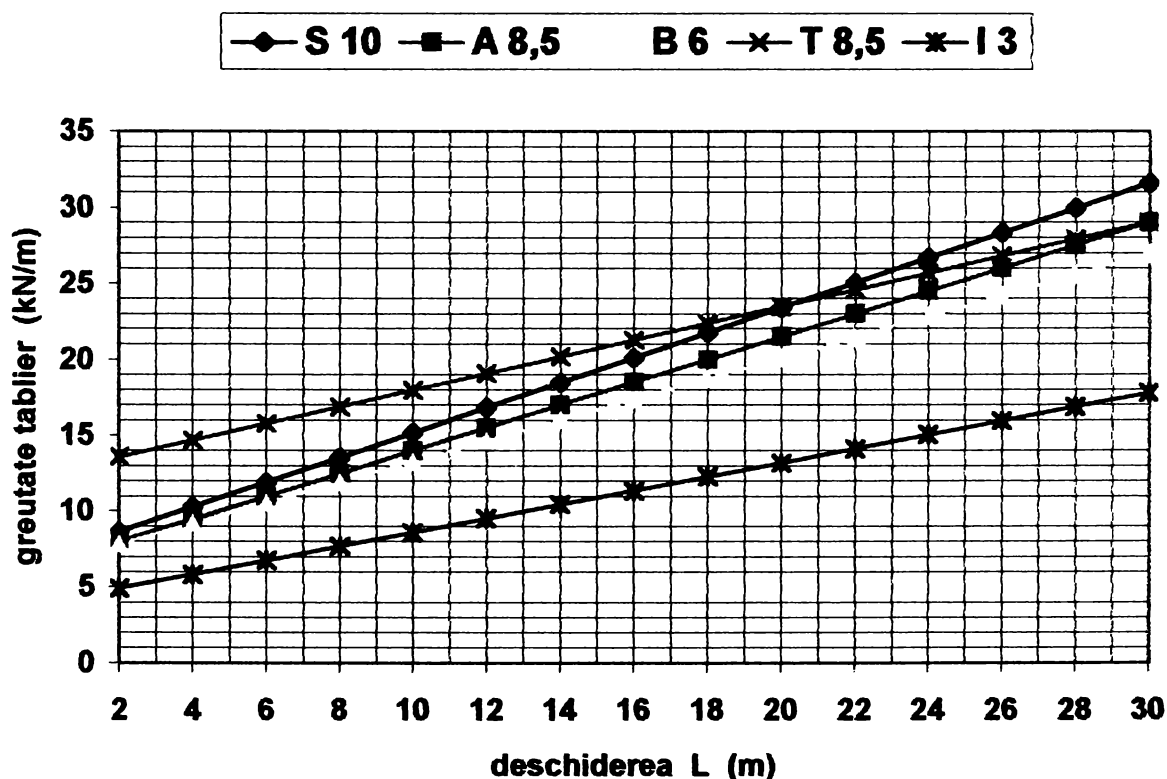
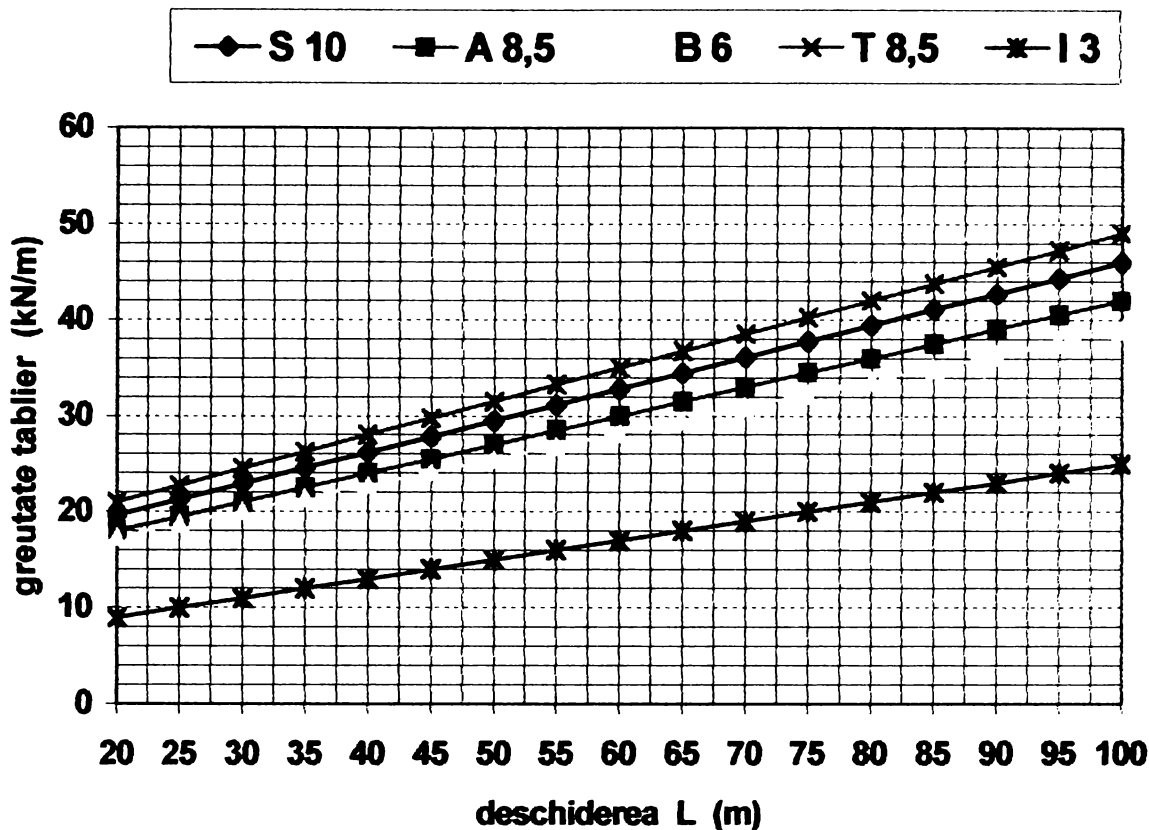
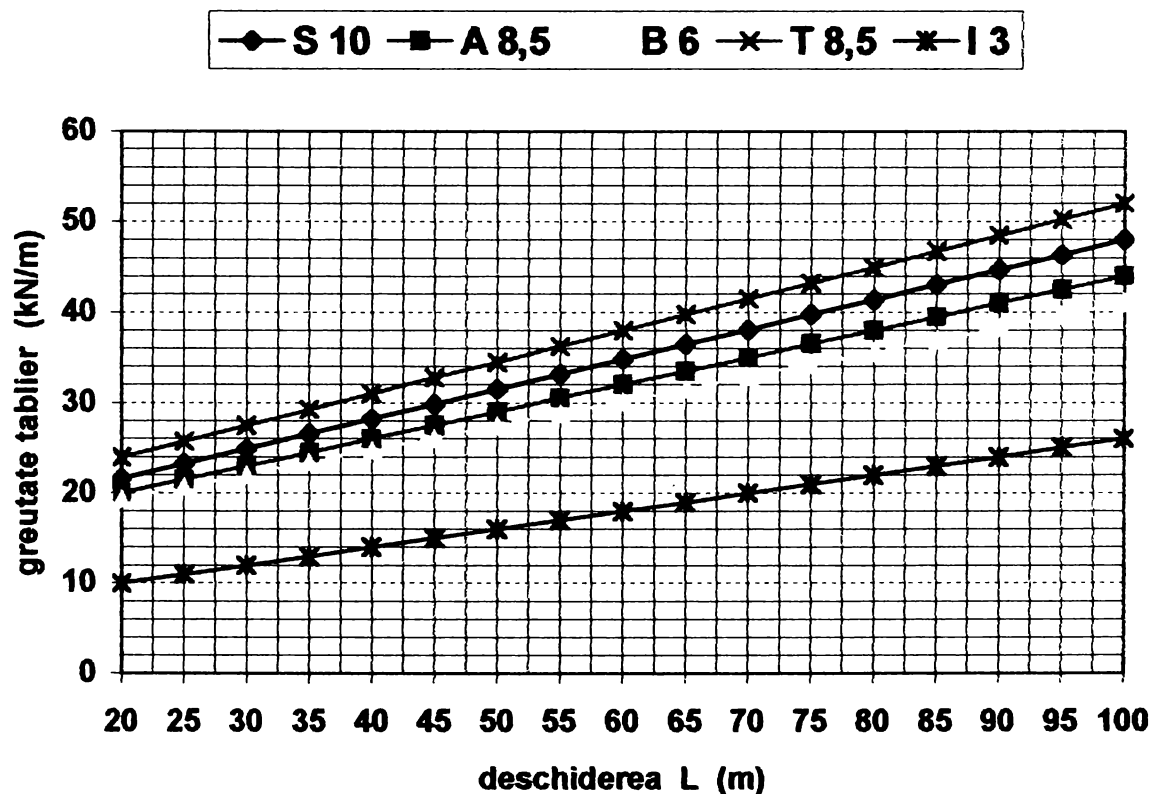


FIG. 1.5. Diagramele greutatii scheletului metalic al tablierelor independente cu Grinzi cu Inima Plina (GIP)  
a) tabliere calea sus,  $h=L/10$ ; b) tabliere calea jos,  $h=L/10$ .

**c) GRINZI cu ZABRELE - calea sus**

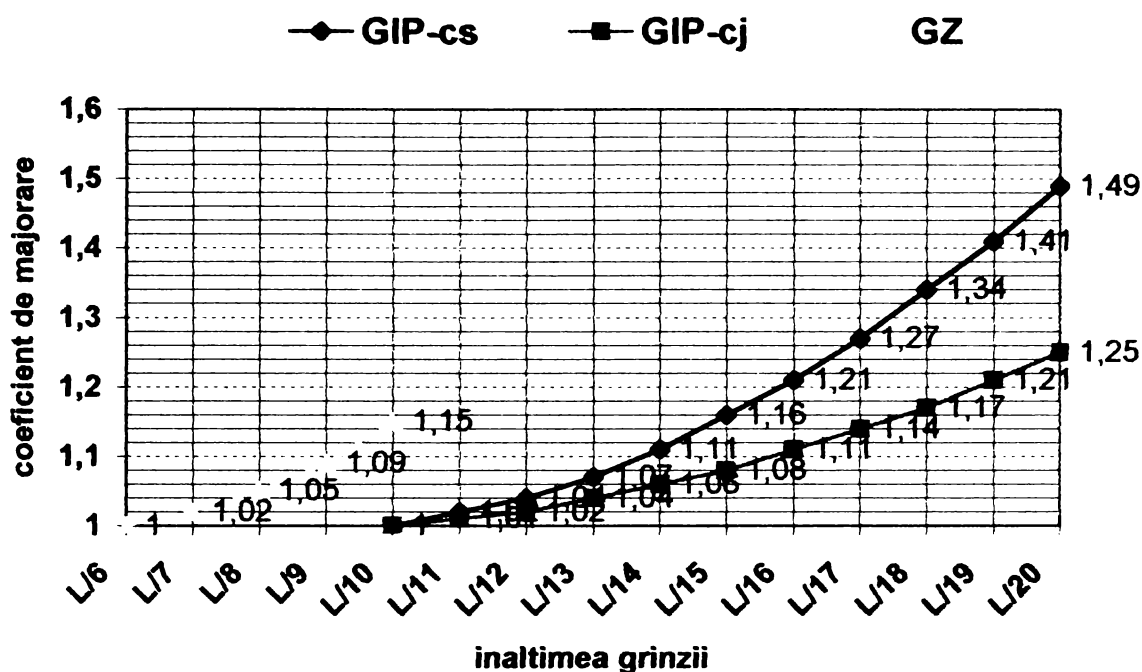


**d) GRINZI cu ZABRELE - calea jos**



**FIG. 1.5.** *Diagramele greutatii scheletului metalic al tablurilor independente cu Grinzi Zabrele (GZ)*  
**c)** *tablriere calea sus,  $h=L/6$ ; d)* *tablriere calea jos,  $h=L/6$*

### coeficientii de majorare a greutatii tablierului



**FIG. 1.6.** Coeficientul  $k_1$  de majorare a greutatii tablierului functie de inaltimea grinzii, pentru:  
 - GZ cand  $h < L/6$ ;      - GIP cand  $h < L/10$ .

#### A) Actiuni temporare variabile

Din categoria actiunilor temporare de scurta durata cele mai importante [1.10] sunt incarcările aduse de convoaiele care circula pe pod.

Pentru proiectarea podurilor se folosesc convoaie ideale denumite **convoaie de calcul** (sau convoaie tip) prevazute in norme si caracterizate (fig.1.6.a) prin:

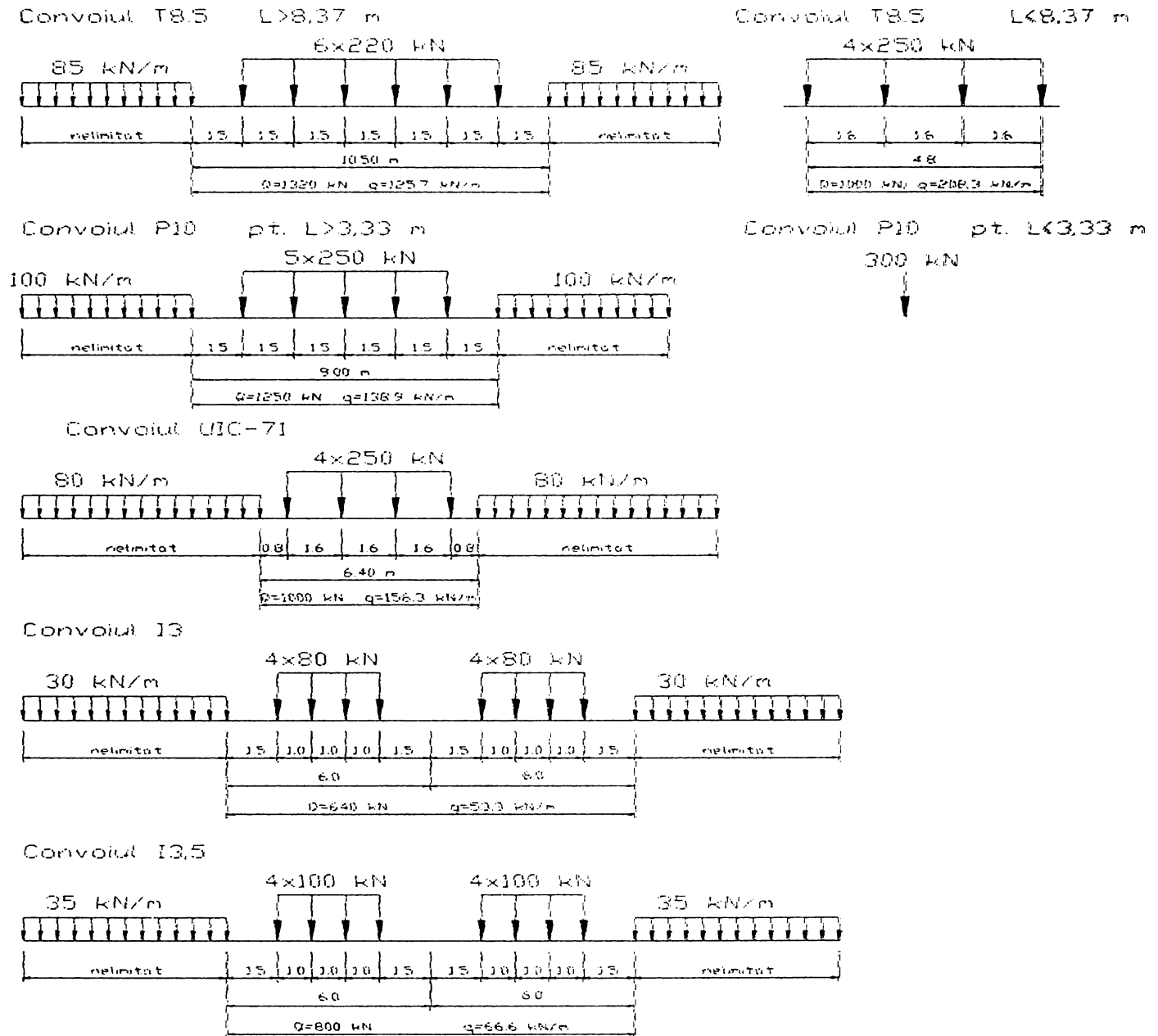
- greutate pe osii egale si reprezentand un numar intreg de kN;
- distante intre osii egale si reprezentand un numar rotund.

In realitate, podurile metalice aflate in exploatare sunt incarcate cu **trenuri reale** care deservesc transportul de marfa sau calatori si care au compuneri diverse, adaptate necesitatilor de transport, in general avand o locomotiva de tractiune (in unele cazuri pot fi si doua) si un numar variabil de vagoane specializate, de lungime si capacitate de incarcare variabile.

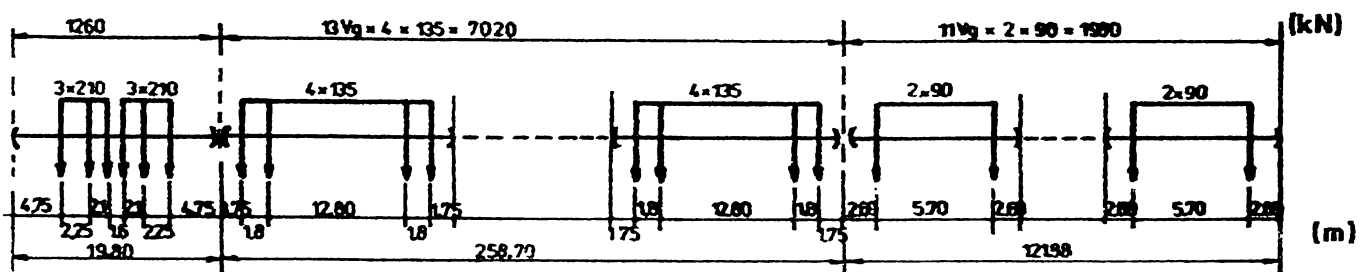
Aceste trenuri, reprezentand **convoaiele reale**, se schematizeaza prin incarcările pe osii pe care le aduc, respectand geometria boghiurilor, astfel incat ele apar ca

o succesiune de forte concentrate cu intensitati diferite situate la distante diferite (fig. 1.6.b), fapt care reprezinta, evident, un inconvenient in desfasurarea calculului.

a)



b)



**FIG. 1.7.** Convoaie de cale ferata:  
 a) schematizarea convoaielor de calcul;  
 b) schematizarea convoaielor reale.



**TABELUL 1.4**

Convoi	Perioada de circulatie	Denumire	Greutatea totala (kN) / /nr. osii	Incarcarea echivalenta pentru: (kN/m)		
				loco-motiva	vagoane	Ansamblu
Tip tren	Viteza (km/h)	Descrierea compunerii trenului	Lungime totala (m)			
T 8.5	prezent	Convoiul de calcul in vigoare in	-	125.7 1	85	-
	v < 120	Romania, conform STAS 1849-75	nelimitat			
UIC-71	prezent	Convoiul de calcul in vigoare in UE	-	156.2 5	80	-
	v < 160	conform EC 1-3	nelimitat			
I 3	prezent	Convoiul de calcul in vigoare pentru	-	53.30	30	-
	v < 60	linie ingusta, cf. STAS 1849-75	nelimitat			
P 50	1919-1931	tren rapid cu locomotiva MÁV 327	4275 / 39	58.75	21.54	25.67
	v = 60	MÁV 327+TF+ca+2ABa+Ba+3Ca	166,49			
P 81	1932-1944	tren rapid cu dubla tractiune CFR	6358 / 50	74.28	24.24	32.40
	v = 70	2CFR230+Ta+Ca+2ABa+VR+Ba+2Ca	196,20			
P 82	1952-1963	tren rapid cu dubla tractiune CFR	6161 / 43	81.61	25.66	36.06
	v = 75	CFR142+CFR50.100+2Ba+Aa+VR+Aa+Ba	170,82			
P 60	prezent	tren rapid cu locomotiva 060 EA1	8776 / 66	60.60	20.57	22.66
	v = 100	060EA1+4Ba+3Aa+4Ba+WR+Ba+Aa+B a	387,30			
M 88	1932-1937	tren direct de marfa cu dubla tract.	7430 / 96	74.28	52.08	22.37
	v = 30	2CFR230+(4Gv+5Gv+4Ks+3It) <sub>inc</sub> + +(7Gv+6Ks) <sub>goale</sub> +3Z <sub>inc</sub>	332,16			
M 63	1920-1931	tren rapid de coletarie	4191 / 47	58.75	13.40	21.29
	v = 50	MÁV 327+14Gv+5Gvf	196,81			
M 85	1912-1927	tren specializat de marfa-petrol	5338 / 46	54.04	26.66	32.70
	v = 30	MÁV 324+15Kz+ MÁV 324	163,26			
M 76	1972-200	tren transcontainere si coletarie	10260 / 80	63.63	27.13	25.62
	v < 70	060EA+13Rgs-xx+11Ggs	400,38			

Caracteristica generala a acestor convoaie reale este aceea ca ele sunt mai usoare decat convoaiele de calcul, aducand o **incarcare echivalenta** (incarcarea distribuita obtinuta prin repartizarea uniforma a greutatii trenului pe lungimea lui,  $Q_{ech} = \sum P_i / L$ ) mai mica decat cea a convoaielor de calcul, datorita in primul rand distantelor mai mari dintre osiile materialului rulant, atat la locomotive dar mai ales la vagoane, in comparatie cu distantele dintre osii ale convoiului de calcul. Justificarea acestei afirmatii prin

cateva exemple concrete este aratata in tabelul 1.

#### **1.4. ANALIZA CRITICA A SITUATIEI ACTUALE A NORMELOR DE CALCUL IN DOMENIUL PODURILOR METALICE**

##### **1.4.1. Situatiia normelor nationale**

In prezent Societatea Nationala a Cailor Ferate din Romania este in situatia de a exploata, inclusiv pe liniile magistrale, inca un mare numar de poduri metalice vechi, proiectate si executate in perioade istorice si dupa norme diferite, si care ar trebui sa raspunda tuturor conditiilor impuse de normele actuale de siguranta a circulatiei pe caile de transport publice.

Pentru a se putea lua decizii, pertinente din punct de vedere tehnic si eficiente din punct de vedere economic-financiar, privind mentinerea lor in exploatare este necesar sa se determine "capacitatea lor portanta actuala" bazata pe prevederile normelor si normativelor in vigoare in prezent sau in curs de introducere, si in concordanta cu nivelul cunoasterii actuale in domeniul constructiilor metalice si al sigurantei structurilor si luand in considerare efectele acumulate asupra structurii cauzate de perioada de exploatare, masurata in timp de la constructia si punerea in functiune a podului si pana in prezent. In acest sens al notiunii de capacitate portanta este structurata lucrarea de fata, ea propunandu-si sa aduca unele contributii privind demersurile necesare a fi intreprinse pentru determinarea capacitatii portante actuale in vederea mentinerii in exploatare a podului.

##### **1.4.1.1. In domeniul exploatarii podurilor**

Pentru exprimarea durabilitatii unui pod ca rezultat al verificarilor privind capacitatea sa portanta se poate utiliza termenul consacrat prin sintagma DURATA DE VIATA stabilit de Uniunea Internationala a Cailor ferate (UIC). Durata de viata este forma de exprimare a fiabilitatii unui element component sau a podului intreg ca suma a componentelor sale, exprimarii in ani asociindu-se o probabilitate de supravietuire fara a aparea fisuri de oboseala.

Complementarul probabilitatii de supravietuire este asa numitul factor de risc care reprezinta probabilitatea de aparitie a fisurilor de oboseala.

Din punctul de vedere al exprimarii, in lucrarea de fata vom utiliza, cu propunereade consacrare, urmatoarele notiuni:

**DURATA NORMATA DE EXPLOATARE { DNE }** ((engleza - *design life*; franceza - *durée d'utilisation*; germana - *Nutzungsdauer*) care reprezinta perioada de timp, exprimata in ani, stabilita prin reglementari nationale, in care podul trebuie sa fie mentinut in exploatare. Aceasta perioada este stabilita administrativ din considerente legate de traditie, de stadiul dezvoltarii tehnico-economice si de posibilitatile financiare. In Romania, in prezent, aceasta durata este reglementata prin Legea 62/1968 "Legea amortizarii fondurilor fixe", completata cu Decretul 393/1976 si este de:

→ 75 de ani, pentru podurile mealice cu infrastructura realizata din zidarie de caramida;

→ 100 de ani, pentru podurile metalice cu infrastructura realizata din zidarie de piatra si/sau beton.

Prin Normativul P95-77 "Reparatii capitale la cladiri si constructii speciale" se reglementeaza numarul de reparatii capitale (RK) a mojloacelor fixe, durata intre acestea si plafonul valoric raportat la valoarea de inlocuire a mijlocului fix (maxim doua reparatii capitale in suma de pana la 30% din valoarea podului).

Trebuie remarcat ca actele normative mai sus mentionate au un caracter exclusiv economico-financiar si nu tehnic referindu-se la amortizarea mijloacelor fixe si la intretinerea lor prin RK planificate.

**DURATA DE EXPLOATARE { DE }** ((engleza-*service life*; franceza-*durée de vie en service*; germana-*Gebrauchslebensdauer*) care reprezinta perioada de timp, exprimata in ani, in care podul s-a aflat in serviciu (exploatare) pe amplasament, masurata de la punerea in functie si pana la momentul in care se face verificarea. Aceasta perioada poate fi divizata in subperioade care, de regula, corespund periodelor de inlocuire a materialului rulant, in special al tipurilor de locomotive utilizate la tractiune pe calea ferata sau a tipurilor de autovehicule utilizate in transportul rutier.

**DURATA DE VIATA { DV }** (engleza-*fatigue life*; franceza- *durée de vie*; germana- *Lebensdauer*) care reprezinta perioada de timp, exprimata in ani, determinata prin calcul in care sub un trafic precizat podul ar putea sa fie exploatat in conditii de siguranta.

**DURATA DE VIATA RAMASA { DVR }** (engleza- *remaining*

*fatigue life; franceza- durée de vie résiduelle des ponts; germana- Restlebensdauer von Brücken* ) care reprezintă perioada de timp, determinată prin calcul, în care podul ar putea să mai fie exploatat, sub un trafic precizat, după momentul verificării, în condiții de siguranță. Acest termen este utilizabil numai în cazul unui pod existent aflat în exploatare.

#### **1.4.1.2. În domeniul analizei structurilor (proiectarea și verificarea structurilor)**

Până în anul 1950 nu au existat norme românești pentru proiectarea podurilor, proiectarea și executia podurilor făcându-se după norme străine, germane sau austriece. Astfel, până în anul 1925, majoritatea podurilor de pe teritoriul României au fost calculate după circulara prusiană din anul 1903 și circulara Austro - Ungară din 1907, iar în intervalul 1925 - 1944 după circulara BE 1922 germană. După anul 1945 s-au pus bazele normelor românești pentru proiectarea podurilor având drept model normele germane și sovietice.

În prezent în România sunt în vigoare, referitor la calculul și proiectarea podurilor metalice, două standarde elaborate și intrate în vigoare în anul 1975 și anume:

→ STAS 1911-75, pentru suprastructura podurilor metalice de cale ferată [1.8],

și

→ STAS 1844-75, pentru suprastructura podurilor metalice de sosea [1.7].

În domeniul podurilor metalice de cale ferată, conform standardului actual [1.8], verificarea la oboseală se face prin compararea efortului unitar maxim într-un punct al secțiunii transversale cu o rezistență admisibilă la oboseală (rezistență la durabilitate limitată). Rezistențele admisibile la oboseală depind de:

- marca oțelului;
- geometria elementului sau a îmbinării caracterizate prin tipul de crestare;
- natura eforturilor unitare (normale sau tangențiale);
- valoarea coeficientului de asimetrie  $R$  a ciclului;

$$R_{\sigma} = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \qquad R_{\tau} = \frac{\tau_{\min}}{\tau_{\max}} \qquad (1.1)$$



in care:  $\sigma_{min}$ ,  $\tau_{min}$  - eforturile unitare minime;  
 $\sigma_{max}$ ,  $\tau_{max}$  - eforturile unitare maxime in  
 valoare absoluta in sectiunea care se verifica.

Valorile  $R_{\sigma}$  respectiv  $R_{\tau}$  se considera pozitive in cazul sollicitarilor oscilante si negative in cazul sollicitarilor alternante.

• semnul efortului unitar maxim (+ pentru întindere, - pentru compresiune);

Verificarea la oboseala a elementelor, imbinarilor si a mijloacelor de imbinare supuse la sollicitari simple se face cu relatiile:

$$\sigma_{x_{max}} \leq \xi \cdot \sigma_{x_{Ra}} \quad (1.2)$$

$$\sigma_{y_{max}} \leq \xi \cdot \sigma_{y_{Ra}}$$

$$\tau_{xy_{max}} \leq \xi \cdot \tau_{Ra} \quad (1.3)$$

iar verificarea materialului de baza din elementele supuse la stari plane de eforturi unitare, se face cu relatia:

$$\sqrt{\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y}{\sigma_{Ra}^2} + \frac{\tau_{xy}^2}{\tau_{Ra}^2}} \leq \xi \quad (1.4)$$

in care:

$\sigma_{x_{max}}$  si  $\sigma_{y_{max}}$  : eforturile unitare normale efective maxime in valoare absoluta pe directia x, respectiv y;

$\tau_{xy_{max}}$  : efortul unitar tangential efectiv maxim in valoare absoluta;

$\sigma_{Ra}$  si  $\tau_{Ra}$  : rezistentele admisibile la oboseala corespunzatoare cazului de crestare ales;

$\xi$  : un coeficient care tine seama de probabilitatea realizarii spectrelor de solcitare ce produc fenomenul de oboseala si care are valori intre 1,00 - 1,20.

Verificarea la oboseala a niturilor si suruburilor pasuite din imbinari se face la forfecare si presiune pe tije cu relatiile (1.2) si (1.3) iar verificarea la oboseala a imbinarilor sudate, ca si a materialului de baza din zona influentata termic, supuse la stari plane de eforturi unitare se face pentru fiecare efort unitar in parte, cu relatiile (1.2) si (1.3), precum si la combinatia cea mai defavorabila

de eforturi unitare cu relatia:

$$\left[ \frac{\sigma_T}{\sigma_{L_{\text{ad}}}} + \frac{\sigma_L}{\sigma_{L_{\text{ra}}}} \pm \sqrt{\left( \frac{\sigma_T}{\sigma_{T_{\text{ad}}}} - \frac{\sigma_L}{\sigma_{L_{\text{ra}}}} \right)^2 + 4 \left( \frac{\tau_T}{\tau_{T_{\text{ad}}}} - \frac{\tau_L}{\tau_{L_{\text{ra}}}} \right)^2} \right] \leq \xi \quad (1.5)$$

in care:

$\sigma_T$ ,  $\sigma_L$ ,  $\tau_T$ , si  $\tau_L$  : reprezinta eforturile unitare maxime efective perpendiculare (T), respectiv paralele (L) pe axa longitudinala a cusaturii;

$\sigma_{T_{\text{ad}}}$ ,  $\sigma_{L_{\text{ra}}}$ ,  $\tau_{T_{\text{ad}}}$  si  $\tau_{L_{\text{ra}}}$  : rezistentele admisibile la oboseala corespunzatoare directiilor perpendiculara, respectiv paralela cu axa longitudinala a cusaturii si conform cazului de crestare.

In cazul in care combinatia de eforturi unitare cea mai defavorabila nu poate fi stabilita , se considera succesiv, cazurile in care unul din eforturi este maxim, iar pentru celelalte eforturi se introduc valorile corespunzatoare, pentru aceeasi ipoteza de incarcare.

Pentru fiecare din cazuri se tine seama de coeficientul de asimetrie R corespunzator efortului unitar maxim considerat in punctul in care se face verificarea. Tipurile de crestare pot fi diferite la fiecare efort unitar si directie a eforturilor unitare.

Verificarile la oboseala trebuie sa dovedeasca siguranta elementelor, imbinarilor si mijloacelor de imbinare folosite, fata de ruperea prin oboseala sub actiunea eforturilor repetate de un numar mare de ori, care variaza intre doua valori extreme de acelasi sens (cicluri de solicitare oscilante) sau de sens contrar (cicluri de solicitare alternante). Verificarea la oboseala se face numai pentru gruparea fundamentala de actiuni luând in considerare coeficientul dinamic dar fara coeficientul de flambaj.

Aceasta abordare a calculului la oboseala ignora degradarile cauzate structurilor de actiunile care nu produc solicitarile maxime. In practica de exploatare se constata ca doar in cazuri foarte rare convoaiele aflate in circulatie ating valorile convoaielor de dimensionare, in general convoaiele din exploatare reprezentand 60-85% din convoaiele de calcul si ca urmare efectul acestora nu este luat in considerare.

In 1996 a fost dat in ancheta un proiect [1.9] pentru

revizuirea si inlocuirea STAS 1911-75, care insa este bazat pe aceleasi principii ca si standardul in vigoare [1.8], avand in plus adaugat un capitol, capitolul 11, care se refera la verificarea podurilor existente, intitulat "Verificarea si consolidarea suprastructurilor metalice ale podurilor existente". Acest capitol care propune reglementarea principiilor de baza pentru aprecierea starii tehnice a suprastructurilor metalice ale podurilor existente in vederea exploatarii lor in conditii sigure se bazeaza pe un concept de siguranta si metoda de calcul diferite de cele adoptate in capitolele precedente asa incat unitatea materialului prezentat este afectata. Cu toate acestea noul proiect reprezinta fara indoiala o incercare pozitiva si binevenita de modernizare a normelor de proiectare si verificare a podurilor metalice. **Acest proiect a fost adoptat ca standard in 1998 [1.26].**

Asupra acestor aspecte vom reveni in capitolele urmatoare.

Desi se bazeaza tot pe metoda rezistentelor admisibile, verificarea la oboseala este prezentata usor modificata fata de standardul in vigoare [1.8], prin aceea ca introduce notiunea de "ecart de eforturi unitare" care se compara cu un ecart de eforturi unitare admisibil.

Verificarea la oboseala a elementelor, imbinarilor si a mijloacelor de imbinare supuse la sollicitari simple se face cu relatiile:

$$\Delta\sigma = \frac{1}{\Phi} (\Psi \cdot \sigma_{\max, T8.5} - \Psi \cdot \sigma_{\min, T8.5}) \leq \Delta\sigma_{Ra} \quad (1.6)$$

$$\Delta\tau = \frac{1}{\Phi} (\Psi \cdot \tau_{\max, T8.5} - \Psi \cdot \tau_{\min, T8.5}) \leq \Delta\sigma_{Ra} \quad (1.7)$$

in care:

$$\Phi = \Phi_{1,l} \cdot \Phi_2 \cdot \Phi_3 \quad (1.8)$$

si tine seama de urmatoarele influente:

$\Phi_{1,l}$  - tine seama de lungimea "l" caracteristica a elementului structurii portante care se verifica, de sistemul static (grinda independenta sau grinda continua) si de grupa de crestare;

$\Phi_2$  - tine seama de frecventa de intalnire a convoaielor, pe structuri portante cu mai multe linii; la structuri cu o singura linie are valoarea, evident egala cu 1,00;

$\Phi_3$  - tine seama de gradul de incarcare a liniei pe

care este amplasata structura care se verifica, exprimat prin tonajul total al trenurilor, pe linie si an.

$\Psi$  - coeficientul dinamic;

$\sigma_{\min, T8.5}$  ;  $\tau_{\min, T8.5}$  - eforturile unitare normale, respectiv tangentiale minime din actiunea convoiului T8.5;

$\sigma_{\max, T8.5}$  ;  $\tau_{\max, T8.5}$  - eforturile unitare normale, respectiv tangentiale maxime din actiunea convoiului T8.5;

$\Delta\sigma_{Ra}$  ;  $\Delta\tau_{Ra}$  ecarturile admisibile ale eforturilor unitare normale, respectiv tangentiale, care depind de :

- natura si semnul efortului unitar;
- marca otelului;
- geometria elementului, prin cele zece cazuri de crestare descrise, notate de la A la J;
- coeficientul de asimetrie al ciclului de sollicitare, definit prin:

$$R_{\sigma} = \frac{\sigma_g + \frac{1}{\Phi} \cdot \Psi \cdot \sigma_{\min, T8.5}}{\sigma_g + \frac{1}{\Phi} \cdot \Psi \cdot \sigma_{\max, T8.5}} \quad (1.9)$$

$$R_{\tau} = \frac{\tau_g + \frac{1}{\Phi} \cdot \Psi \cdot \tau_{\min, T8.5}}{\tau_g + \frac{1}{\Phi} \cdot \Psi \cdot \tau_{\max, T8.5}} \quad (1.10)$$

$\sigma_g$  ;  $\tau_g$  - eforturile unitare normale, respectiv tangentiale din actiuni permanente.

Verificarea la oboseala a elementelor, imbinarilor si mijloacelor de imbinare supuse la stari plane de eforturi unitare se face pentru fiecare efort unitar in parte cu relatiile (1.6) si (1.7) precum si la combinatia cea mai defavorabila de eforturi unitare cu relatia:

$$\left( \frac{\sigma_x}{\sigma_{xRa}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_y}{\sigma_{yRa}} \right)^2 - \frac{0,8 \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y}{\sigma_{xRa} \cdot \sigma_{yRa}} + \left( \frac{\tau}{\tau_{Ra}} \right)^2 \leq 1 \quad (1.11)$$

unde:

$\sigma_x$  ;  $\sigma_y$  - eforturile unitare normale pe directia x, respectiv y, calculate in punctul in care se face verificarea la oboseala;



$\tau$  - efortul unitar tangential calculat in punctul in care se face verificarea la oboseala;

$\sigma_{xRa}$  ;  $\sigma_{yRa}$  - efortul unitar normal maxim admisibil la oboseala, conform cazului de crestare, calitatii materialului si coeficientului de asimetrie al ciclului de solicitare;

$\tau_{Ra}$  - efortul unitar tangential maxim admisibil la oboseala, conform cazului de crestare, calitatii materialului si coeficientului de asimetrie al ciclului de solicitare;

In cazul in care combinatia de eforturi unitare cea mai defavorabila nu poate fi stabilita se considera succesiv, cazurile cand unul din eforturile unitare este maxim iar celelalte eforturi unitare se introduc cu valorile corespunzatoare pentru acelasi caz de incarcare. Pentru fiecare din cazuri se tine seama de coeficientul de asimetrie  $R$  corespunzator efortului unitar in punctul in care se face verificarea la oboseala. Tipurile de crestare pot fi diferite la fiecare efort unitar si directie a eforturilor unitare.

In domeniul podurilor metalice de sosea problema este si mai putin reglementata. Standardul in vigoare [1.7], facand trimitere la normativul pentru podurile de cale ferata [1.8], prevede ca verificarea la oboseala sa se faca doar pentru podurile pe care circula si vehicule pe sine (poduri combinate sau podurile din orase care sustin si linii de tramvai) precizand ca elementele supuse exclusiv actiunii incarcarilor de sosea nu se verifica la oboseala.

Pentru podurile la care verificarea la oboseala este necesara, verificarea elementelor se face numai pentru actiunile din gruparea I<sup>a</sup> Fundamentală, cu ajutorul unor eforturi unitare teoretice ponderate  $\sigma_p$  si  $\tau_p$ , calculate pentru stari monoaxiale de efort cu relatiile (vezi si fig. 1.8):

$$\sigma_p = (\sigma_g + \alpha \cdot \sigma_p + \sigma_s) \leq \sigma_{Ra} \quad (1.12)$$

$$\tau_p = (\tau_g + \alpha \cdot \tau_p + \tau_s) \leq \tau_{Ra} \quad (1.13)$$

in care:

$\sigma_g$ ,  $\tau_g$  : efortul unitar normal, respectiv tangential produs de incarcarile permanente;

$\sigma_p$ ,  $\tau_p$  : efortul unitar normal, respectiv tangential produs de convoaiele de sosea;

$\sigma_s$ ,  $\tau_s$  : efortul unitar normal, respectiv tangential produs de convoaiele care circula pe sine;

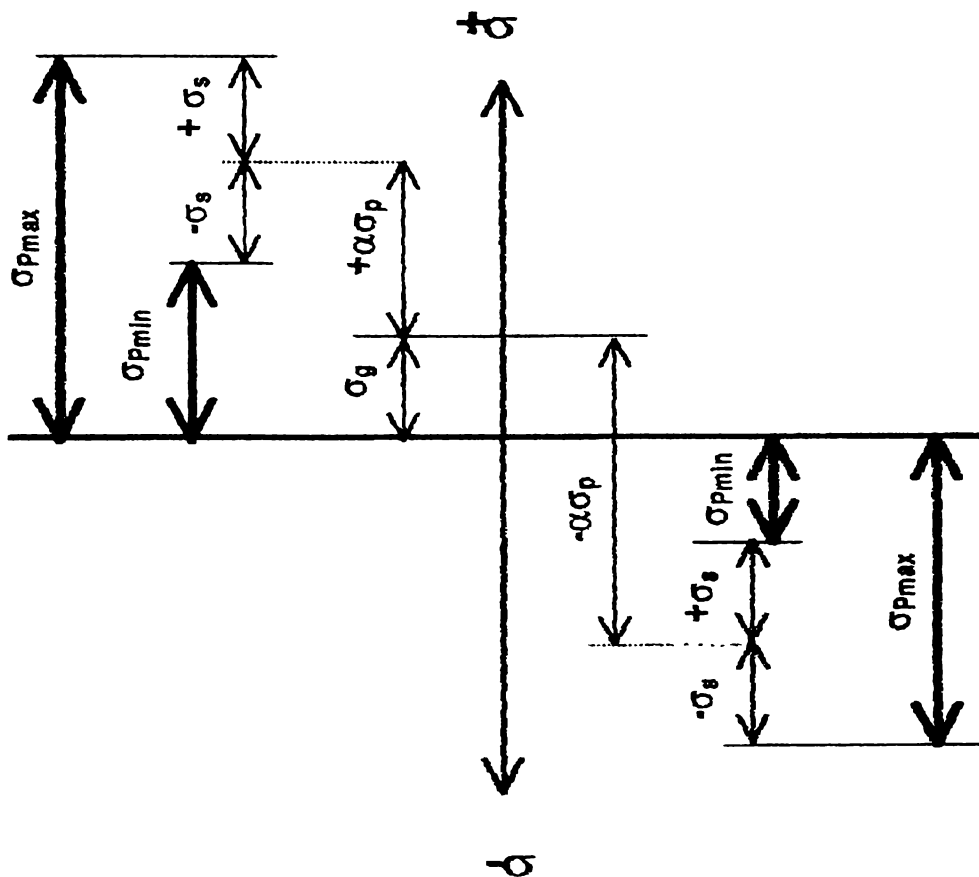


FIG. 1.8. Reprezentarea eforturilor unitare teoretice ponderate

$\alpha$  : coeficient de pondere:

$\alpha = 0,5$  pentru podurile de clasa E si I;

$\alpha = 0,8$  pentru podurile de clasa II si III;

$\sigma_{Ra}$ ,  $\tau_{Ra}$  : rezistenta admisibila normala si respectiv tangentiala la oboseala functie de calitatea otelului (marca) si coeficientul de asimetrie al ciclului, calculat cu relatiile:

$$R_{\sigma} = \frac{\sigma_{pmin}}{\sigma_{pmax}} \quad \text{si} \quad R_{\tau} = \frac{\tau_{pmin}}{\tau_{pmax}} \quad (1.14)$$

#### 1.4.2. Situatia normelor internationale

In contrast cu starea actuala a normelor de calcul privind suprastructurile metalice ale podurilor de sosea si cale ferata din Romania se prezinta situatia in tarile Unienii Europene (UE).

Actiunea inceputa cu mai multi ani in urma in cadrul

comunitatii vest-europene de elaborare a unor norme in domeniul constructiilor, comune tuturor tarilor membre, avand ca scop eliminarea tuturor barierelelor din calea produselor de constructii este in curs de finalizare. Fenomen complex si de larga anvergura, unificarea conduce in domeniul constructiilor la elaborarea unor reguli de proiectare, executie si verificare unitare si identice in toate tarile Uniunii Europene.

Au fost astfel elaborate, de catre comisii tehnice alcatuite din reprezentantii tuturor tarilor membre ale UE, un numar de noua coduri raportate la materialul de constructie utilizat dar toate bazate pe aceleasi principii de siguranta si utilizand aceleasi metode de calcul. Aceste norme, care simbolic poarta denumirea de EUROCODES (norme europene) sunt:

- EN-1991 **Eurocode 1** Bazele proiectarii si actiuni [1.10];
- EN-1992 **Eurocode 2** Structuri din beton;
- EN-1993 **Eurocode 3** Structuri din otel [1.11], [1.12];
- EN-1994 **Eurocode 4** Structuri mixte otel-beton [1.13], [1.14];
- EN-1995 **Eurocode 5** Structuri din lemn;
- EN-1996 **Eurocode 6** Structuri din zidarie;
- EN-1997 **Eurocode 7** Geotehnica;
- EN-1998 **Eurocode 8** Proiectarea antiseismica [1.15];
- EN-1999 **Eurocode 9** Structuri din aluminiu;

si in prezent se afla in faza de aplicare experimentală, paralel cu normele nationale o perioada de proba de 3-5 ani, dupa care vor intra in vigoare, cu caracter definitiv cand vor inlocui normele nationale [1.16], etc.,.

Aceste norme sunt bazate pe un concept de siguranta probabilistic si utilizeaza pentru calcul metoda semiprobabilistica la stari limita (cu coeficienti de siguranta diferentiati) iar pentru verificarea la oboseala noul concept bazat pe sarcinile de exploatare, principii moderne asupra carora voi starui in capitolele urmatoare.

In plus fata de aceasta tendinta de unificare europeana, in unele tari europene sau la nivelul UIC s-au elaborat norme specifice verificarii structurilor metalice ale podurilor aflate in exploatare, [1.17], [1.18], [1.19] cea mai cunoscuta fiind DS 805 "Bestehende Eisenbahnbrücken-Bewertung der Tragsicherheit und konstruktive Hinweise", elaborate de administratia nationala de cale ferata, Deutsche Bundesbahn (DB) [1.21]. Aceste normative se bazeaza pe aceleasi principii si concepte de siguranta probabilistice ca si normele europene.

### **1.4.3. Analiza critica a normelor nationale actuale**

Avand in vedere situatiile si argumentele prezentate in paragrafele 1.4.1 si 1.4.2, in baza decalajelor care exista in prezent intre normele autohtone si cele comunitare ne permitem a aduce o critica actelor normative nationale dupa cum urmeaza:

✓ Durata normata de exploatare a unor constructii obisnuite ce suporta in principal sarcini statice poate fi stabilita in mod determinist sau pe baza de criterii de uzura morala legate de conceptie, functionalitate, moda, materiale folosite, etc. dar mai ales pe criterii de uzura fizica, o astfel de durata de exploatare diferind foarte putin sau de regula fiind identica cu perioada de amortizare a obiectivului.

Pentru lucrarile de arta din transporturi, in principal pentru poduri stabilirea unei durate normate de exploatare fixe, numai functie de marimea obiectivului si de materialul folosit este nerealista, datorita faptului ca la podurile metalice efectele oboselii materialului sunt importante si ele determina in mod hotarator durata de viata reala a podului. Devine astfel imperios necesar ca determinarea duratei normate de exploatare sa se faca prin metode probabilist-statistice sau semiprobabilistice in functie de conditiile reale de exploatare determinate de traficul realizat si/sau estimat si de importanta traseului.

✓ Ambele norme prezentate in paragraful anterior [1.7], [1.8] sunt, asadar vechi, elaborate cu peste douazeci de ani in urma si in consecinta au la baza o metoda de calcul deterministica, metoda rezistentelor admisibile. O analiza critica a acestei metode de calcul, va fi facuta in paragraful 2.2.2.2, concluzia fiind aceea ca in prezent metoda este depasita, stadiul actual al cunoasterii in domeniul sigurantei structurilor impunand alte metode bazate pe criterii probabilistice. In plus, verificarea la oboseala este descrisa dupa un concept traditional, bazat pe aceeasi metoda, la care in toate normele si prevederile actuale ale tarilor europene s-a renuntat, el fiind inlocuit cu noul concept de verificare la oboseala sub sarcinile de exploatare care a fost prezentat in detaliu in referatul [1.27] si asupra caruia se vor mai face referiri in capitolul 4, conceptul fiind de altfel adoptat in noul standard [1.26].

✓ Integrarea Romaniei, impreuna cu celelalte tari din centrul si estul Europei, in structurile si organismele



Comunitatii Europene este dificila si se face in etape, exigentele unora dintre aceste etape, mai ales cele cu caracter economic asa cum usor constatam astazi, fiind greu de indeplinit . In acest context primii pasi trebuie sa inceapa cu actiuni stiintifice, culturale si de standardizare unde decalajele sunt mai reduse si posibilitatile de indeplinire mai mari. Asadar o integrare si a normelor de proiectare, verificare si exploatare a podurilor metalice in noile norme europene, chiar daca se pastreaza si se adapteaza unele elemente specific nationale (cum ar fi de exemplu greutatea mare a trenurilor de marfa), este in prezent imperios necesara. O actiune de acest gen a fost deja demarata prin colaborarea intre Universitatea Tehnica de Constructii din Bucuresti, Universitatea "POLITEHNICA" din Timisoara si Institutul de Studii si Proiectari Cai Ferate din Bucuresti pentru traducerea si adaptarea lui EC3 cat si prin unele preocupari ale Autoritatii Feroviare Romane (AFER) privind adoptarea unor noi convoaie de calcul si de exploatare si prescriptii tranzitorii pentru cresterea vitezei de circulatie pana la 160 km/h [1.20 ].

### 1.5. BAZA EXPERIMENTALA A CERCETARILOR

Studiile efectuate si rezultatele prezentate sintetic in lucrarea de fata se bazeaza pe un amplu program de cercetari si verificari experimentaloe efectuate in decursul ultimilor 30 de ani de diverse colective de cercetare, dar mai ales pe pe cercetarile efectuate dupa anul 1986, de catre un colectiv din care a facut parte si autorul, asupra unui insemnat numar de poduri metalice existente si cu vechime mare in exploatare (de obicei peste 80 de ani), cele mai multe fiind poduri de cale ferata.

Pentru aceste poduri s-au efectuat studii teoretice si mai ales incercari experimentale, extinse corespunzator cu marimea si importanta podurilor respective, care vor fi prezentate mai amanuntit in capitolele care urmeaza. Aceste studii s-au finalizat cu concluzii generale si propuneri punctuale detaliate pentru reabilitarea suprastructurii metalice, care au fost predate Administratiei de cale ferata si apoi avizate in cadrul unor comisii de specialitate formate din reprezentanti ai beneficiarului, ai institutelor de cercetare si proiectare specializate si din invatamantul superior de profil, numite la nivel central printr-un ordin al Ministerului transporturilor.

In lucrarea de fata am retinut pentru sinteza studiilor si cercetarilor efectuate, din motive de spatiu, numai o parte, cele mai semnificative, din podurile situate in partea de sud-vest a tarii, aflate in exploatare pe reseaua SNCFR sau pe linii ferate industriale, a caror caracteristici generale sunt prezentate in tabelul 1.5.

**TABELUL 1.5**

**SITUATIA PODURILOR METALICE VERIFICATE**

Nr. crt	Linia	An PIF	Pozitia kilometrica Localitatea	Nr; deschi- deri	Deschi- derea L in (m)	Tip structura	COD identifi- care
(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	SNCFR 100	1911	391+375 Valea Cernei	1	81,60	GZCJ-tsp	P-01
2	SNCFR 100	1912	409+922 Mehadia	1	101,85	GZCJ-tsp	P-02
3	SNCFR 100	1910	427+959 Domasnea	1	31,0	GZCJ panta 10%	P-03
4	SNCFR 100	1931	446+709 Armenis	2	30,7 10,9	GZCS GIPCS panta 13%, R=300m	P-04

**TABELUL 1.5 (continuare)**

Nr. crt	Linia	An PIF	Pozitia kilometrica Localitatea	Nr; deschi-deri	Deschi-dera L in (m)	Tip structura	COO identifi- care
(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
5	SNCFR <b>100</b>	1933	<b>451+403</b> Slatina Timis	1	48,0	GZCS- tip panta 13%, obl=60°	P-05
6	SNCFR <b>100</b>	1913	<b>471+856</b> Balta Sarata	1	71,76	GZCJ-tsp	P-06
7	SNCFR <b>100</b>	1942	<b>588+233</b> Sacalaz- Beregsau	1	30,5	GZCJ-tst	P-07
8	SNCFR 122	1912	<b>14+753</b> Sag-Timiseni	5	50,66 66,22 36,73	GZCJ-tsp obl= 12°	P-08
		1859			2x30,43	GZCJ-tds	
9	SNCFR 122	1874	<b>15+183</b> Birda-Gataia	2	2x24,28	GZCJ-tds-sp	P-09
10	SNCFR 122	1874	<b>15+860</b> Birda-Gataia	1	25,80	GZCJ-tds-sp	P-10
11	SNCFR 122	1874	<b>16+454</b> Birda-Gataia	1	30,90	GZCJ-tds-sp	P-11
12	SNCFR <b>200</b>	1957	<b>586+148</b> Conop-Milova	1	20,00	GIPCJ	P-12
13	SNCFR 200	1927	493+740  Mures- Branisca	7	56,20	GZCJ-tsp	P-13
		1907			2x31,00 4x32,70	GZCS-tid	
14	SNCFR 202	1870	<b>16+138</b> Calan-Bretea Strei	1	12,00	GIPCS	P-14
15	SNCFR 202	1870	<b>59+613</b> Crivadia- Merisor	1	16,20	GIPCS	P-15
16	SNCFR 202	1870	<b>60+545</b> Crivadia- Merisor	1	14,20	GIPCS	P-16
17	SNCFR 310	1912	<b>53+573</b> Mures-Arad	5	2x76,80 3x51,40	GZCJ-tsp GZCJ-tsp	P-17
18	Linia ind Hunedoara- Craciuneasa	1905	<b>0+479</b> Hunedoara	3	3x12,65	GIPCS, R=50m	P-18
19	Linia ind Hunedoara- Craciuneasa	1905	<b>1+162</b> Hunedoara- Zlasti	5	2x15,60 2x21,00 41,00	GIPCS GZCS-tit GZCS-tip	P-19
20	Linia ind Hunedoara- Craciuneasa	1905	<b>2+227</b> Zlasti	3	3x12,65	GIPCS, R=50m	P-20
21	Linia ind Hunedoara- Craciuneasa	1905	<b>8+182</b> Tulea	1	16,00	GIPCS, R=60m	P-21

**TABELUL 1.5 (continuare)**

Nr. crt	Linia	An PIF	Pozitia kilometrica Localitatea	Nr; deschideri	Deschiderea L in (m)	Tip structura	COD identificare
(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
22	Linia ind Hunedoara-Craciuneasa	1905	8+182 Tulea	1	15,60	GIPCS, R=75m	P-22
23	Linia ind Hunedoara-Craciuneasa	1905	8+182 Tulea	1	16,00	GIPCS	P-23
24	Linia ind Hunedoara-Craciuneasa	1905	9+918 Banovici-Gavojdia	1	18,00	GIPCS, obl. 67°	P-24
25	Linia ind Hunedoara-Craciuneasa	1905	10+715 Gavojdia-Nadrab	1	15,60	GIPCS	P-25

### BIBLIOGRAFIE

- 1.1. **Bob, C.** *Verificarea calitatii, sigurantei si durabilitatii constructiilor*, Editura Facla, Timisoara, 1989.
- 1.2. **Iordanescu, D., Georgescu, C.** *Constructii pentru transporturi in Romania*, Editura Centralei de Constructii Cai Ferate, CCCF Bucuresti, 1986.
- 1.3. **Newman, K.** *Achieving assurance of concrete quality in finished structures*; RILEM - Quality control of concrete structures, Stockholm, June 1979.
- 1.4. **Ramba, M., s.a.** *Calitatea constructiilor de locuinte si directiile de imbunatatire a cesteia*; Dezbaterea "Imbunatatirea calitatii cladirilor de locuit, Cluj-Napoca, iunie 1981.
- 1.5. **Scanlon, J.M.** *Concrete construction quality management*; RILEM - Quality control of concrete structures, Stockholm, June 1979.
- 1.6. **\*\*\*** *Date internationale si informatii documentare privind prognoza in constructii in tarile dezvoltate*; ICCPDC - INCERC, Bucuresti, 1984.
- 1.7. **\*\*\*** *STAS 1844-75; Poduri metalice desosea. Prescriptii de proiectare*; Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1975.
- 1.8. **\*\*\*** *STAS 1911-75; Poduri de cale ferata. Prescriptii de proiectare*; Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1975.
- 1.9. **\*\*\*** *SR 1911-95. Proiect de revizuire STAS 1911-75 referitor la proiectarea podurilor metalice noi de cale ferata si pentru verificarea podurilor metalice existente de cale ferata*; Contract nr.340c/1994, Institutul de Constructii Bucuresti,



Catedra de poduri, 1996.

1.10. \*\*\* ENV 1991; *EUROCODE 1: Basis of Design and Actions on Structures*; ; European Committee for Standardization, CEN/TC250/SC1, Brussels, 1993.

1.11. \*\*\* ENV 1993-1:1994; *EUROCODE 3: Design of Steel Structures, Part 1: General Rules and Rules for Buildings*; Comité Européen de Normalization, CEN/TC250/SC1, Brussels, 1994.

1.12. \*\*\* ENV 1993-2:1997; *EUROCODE 3: Design of Steel Structures, Part 2: Steel bridges* ; European Committee for Standardization, CEN/TC250/SC3, Brussels, 1997.

1.13. \*\*\* ENV 1994-1-1: *EUROCODE 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*; ; European Committee for Standardization, CEN/TC250/SC4, Brussels, 1994.

1.14. \*\*\* ENV 1994-2:1997; *EUROCODE 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures; Part 2: Bridges*; European Committee for Standardization, CEN/TC250/SC4, Brussels, 1997.

1.15. \*\*\* ENV 1998; *EUROCODE 8: Design provisions for earthquake resistance of structures*; European Committee for Standardization, CEN/TC250/SC8, Brussels, 1994.

1.16. \*\*\* DIN 1809: *Stähle für Strassen- und Wegbrücken - Bemessung, Konstruktion, Herstellung; Entwurf*, 1984

1.17. \*\*\* SBB CFF FFS *Instruction I DT DG 27/92 Directive pour l'évaluation des ponts-rail en construction rivetée*, Direction des travaux SBB, Zürich, 1992.

1.18. \*\*\* SBB *Richtlinie für die Beurteilung von genieteten Eisenbahnbrücken*, Berna, 1996.

1.19. \*\*\* ORE DT 176, *Statistische Auswertung von Ermüdungsversuchen an Nietverbindungen in Flussstahl*, Berna, 1988.

1.20. \*\*\* *Prescriptii tehnice provizorii pentru tablierele metalice ale podurilor existente pe reseaua SNCFR pentru circulatia cu  $v_{max}=160$  km/h*; Autoritatea Feroviara Romana, AFER Bucuresti, 1998.

1.21. \*\*\* DS 805: *Bestehende Eisenbahnbrücken Bewertung der tragsicherheit und konstruktive Hinweise*; Hauptverwaltung der Deutschen Bundesbahn, München, 1991.

1.22. \*\*\* STAS 10100/0-75: *Principii generale de verificare a sigurantei constructiilor*; Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1975.

1.23. \*\*\* STAS 12400/2-88: *Performante in constructii*; Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1988.

1.24. \*\*\* *Fiche UIC n°779 -1R; Recommandations pour la détermination de la capacité portante des structures métalliques existantes*; Union Internationale des

Chemins de fer, Paris, 1986.

**1.25. \* \* \*** *Code UIC 778-2R; Recommandations pour la détermination de la capacité portante des structures métalliques existantes; Union Internationale des Chemins de fer, Paris, 1986.*

**1.26. \* \* \*** *SR 1911-98; Poduri metalice de cale ferata. Prescriptii de proiectare; Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1998.*

**1.27. Boldus, D.C.,** *Sécurité probabiliste des structures; Ponts métalliques, un nouveau concept de verification à la fatigue sous charges de service, Rapport de doctorat, intocmit la INSA Rennes, 1993.*

## Capitolul II

### SIGURANTA STRUCTURALA A PODURILOR METALICE

#### 2.1. ASPECTE GENERALE ALE FORMULARII SIGURANTEI STRUCTURALE

##### 2.1.1. Generalitati.

Este bine cunoscut ca toate constructiile realizate pana in secolul al XIX-lea, incepand cu locuintele si mergand pana la constructiile deosebite ca poduri sau catedrale, au fost realizate in mod empiric. Siguranta constructiei depindea in mod univoc de experienta si intuitia constructorului [2.3].

In secolul al XIX-lea, odata cu aparitia constructiilor metalice si a progresului înregistrat de rezistenta materialelor a aparut notiunea de "limita de siguranta", prin care fiecarui material i-se ataseaza o rezistenta maxima, stabilita in mod determinist, pe care efortul unitar calculat nu o putea depasi. De exemplu, aceasta limita a fost fixata la :

- 5 daN/cm<sup>2</sup> pentru fundatii pe sol mediu;
- 850 daN/cm<sup>2</sup> pentru fier;
- 1150 daN/cm<sup>2</sup> pentru otel;

Putem spune ca a aparut astfel o metoda de calcul a constructiilor. Dupa acest inceput, dezvoltarea teoriilor privind calculul structurilor s-a accelerat, asa incat s-au pus bazele unor metode de calcul a constructiilor foarte bine individualizate iar proiectarea constructiilor, de toate tipurile a inceput sa se integreze intr-un sistem unitar, care mai apoi a fost institutionalizat prin aparitia normelor de proiectare oficiale.

Procesul de analiza (proiectarea sau verificarea) a structurilor in constructii utilizeaza numerosi parametri care au o importanta esentiala in calculele ingineresti si anume:

- **proprietati fizico-mecanice** (de rezistenta, de deformabilitate, de stabilitate, de oboseala) ale materialelor, sectiunilor sau elementelor structurale precum si ale terenului de fundare.;

- **incarcari** corespunzatoare functiunii constructiilor provenind din procesul de exploatare: greutatea structurii, incarcarii tehnologice, aglomeratii de persoane, etc.;

- **parametri meteorologici** care caracterizeaza actiunile climatice asupra structurii (inaltimea zapezii, temperatura aerului, viteza vantului, etc.);

- **marimi geofizice** care definesc actiunea seismica (energia eliberata in focar, acceleratia seismica a amplasamentului, etc.);

- **parametri de executie si exploatare** (abateri dimensionale si de pozitie, deficiente in exploatare, etc.).

Cunoasterea inginereasca a naturii fizice sau a valorilor tuturor acestor parametri care intervin in calculul constructiilor, este in mod logic imperfecta deoarece ea exprima nivelul general al cunoasterii umane asupra realitatii la un timp dat.

## 2.1.2. Modelarea incertitudinilor si modele de calcul ale structurilor

### 2.1.2.1. Probabilitati si modelarea probabilistica

Experienta determinarii proprietatilor fizico-mecanice ale materialelor si a incercarii elementelor si constructiilor arata ca, in conditii identice, se obtin rezultate diferite, caracterizate printr-o anumita dispersie a marimilor masurate si datorate specificului materialului, elementului sau constructiei cat si tehnicii incercarilor. Rezulta ca datele obtinute din masuratori sunt **marimi aleatorii** si ca urmare trebuie sa avem in vedere teoria probabilitatilor.

**Teoria probabilitatilor lucreaza cu evenimente.** Prin definitie, un eveniment (fenomen) **E** este aleator atunci cand realizand un complex de conditii **C**, evenimentul **E** cateodata se produce, iar cateodata nu se produce [2.2]. Legatura dintre **complexul de conditii C** si **evenimentul E** este data de



**legea de probabilitate p**, care arata de cate ori se produce evenimentul E si de cate ori nu se produce pentru un numar n de cazuri; probabilitatea p se exprima in % sau ‰. Spre deosebire de evenimentul aleator un eveniment E este cert cand realizand un complex de conditii C, evenimentul se produce intotdeauna.

Variabilele aleatoare sunt unidimensionale sau n-dimensionale. Variabila aleatoare unidimensionala se numeste discreta sau discontinua daca valorile sale, notate in ordinea crescatoare  $x_1, x_2, \dots$ , sunt distincte, formand o multime finita (variabila aleatoare simpla) sau o multime infinitanumarabila si se numeste continua daca valorile sale, notate cu x, umplu un interval finit sau infinit. Valoarea x se numeste *argumentul* variabilei aleatoare si are loc cu o probabilitate  $p = f(x)$ , care se numeste functia de probabilitate (frecventa elementelor) si caracterizeaza distributia (repartitia) variabilei aleatoare.

Modul de reprezentare al unei variabile statistice si legatura cu variabilele aleatoare din teoria probabilitatilor se face prin tablourile:

$$X: \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ f_1 & f_2 & \dots & f_n \end{pmatrix}, \quad p_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (2.1)$$

pentru cazul variabilei aleatoare simple, in care  $p_i$  este probabilitatea ca X sa ia valoarea  $x_i$  si

$$X: \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ f_1 & f_2 & \dots & f_n \end{pmatrix}, \quad \sum_{i=1}^n f_i = 1 \quad (2.2)$$

pentru cazul variabilei continue (variabila statistica), in care  $f_i$ , este frecventa relativa a variabilei  $x_i$ .

Daca datele referitoare la variabila aleatoare sunt aranjate intr-un tabel, care da frecventa elementelor (functia de probabilitate), aflate in intervale succesive, de preferinta egale, de valori ale variabilei x, un astfel de tabel se numeste *repartitie de frecventa*.

Se considera variabila aleatoare X reprezentand o cantitate masurabila si sa presupunem ca exista un numar suficient de evenimente (observatii, cazuri). Valorile masurate ale evenimentelor  $X_i$  sunt grupate pe axa absciselor Ox in i ( $i=1, 2, \dots, n$ ) intervale de grupare succesive de marime  $\Delta_i$ , egale intre ele (figura 2.1).

Frecventa relativa a valorilor variabilei in intervalul i, notata  $f_i$ , se defineste ca raportul intre numarul de

valori masurate in intervalul  $i$  si numarul total de valori masurate. Frecventa  $f_i$  se reprezinta in dreptul fiecarui interval de grupare  $i$  prin marimea ordonatelor ridicate pe axa absciselor la marginile intervalului. Unind capetele acestor ordonate rezulta pentru fiecare interval de grupare un dreptunghi cu inaltimea egala cu frecventa relativa  $f_i$  si latimea egala cu marimea intervalului,  $\Delta i$ . Succesiunea dreptunghiurilor astfel obtinute este histograma frecventelor relative ale variabilei  $X$ .

Prin unirea cu linii drepte a punctelor de la mijlocul fiecarui interval (latura superioara a dreptunghiului) se obtine o curba franta, numita poligon de frecventa.

Histograma frecventelor relative se poate normaliza astfel incat ariile dreptunghiurilor normalizate  $A_i^n$  sa fie adimensionale si sa reprezinte chiar frecventele relative  $f_i$ ,

$$A_i^n = f_i \tag{2.3}$$

In acest caz, aria intregii histograme normalizate va fi egala cu suma frecventelor relative, care prin definitie este egala cu unitatea:

$$A^n = \sum_{i=1}^n f_i = 1 \tag{2.4}$$

Conditia de normalizare este :

$$A_i^n = \frac{f_i}{\Delta i} \cdot \Delta i = f_i \tag{2.5}$$

si indica ca ordonatele histogramei normalizate a frecventelor relative se obtin din ordonatele corespunzatoare ale histogramei nenormalizate prin impartire cu  $\Delta i$  :

$$f_i^n = \frac{f_i}{\Delta i} \tag{2.6}$$

Frecventa relativa cumulata in intervalul  $i$ , notata  $F_i$ , se defineste ca raportul intre numarul de valori masurate in intervalele precedente lui  $i$  inclusiv  $i$ , si numarul total de valori masurate.

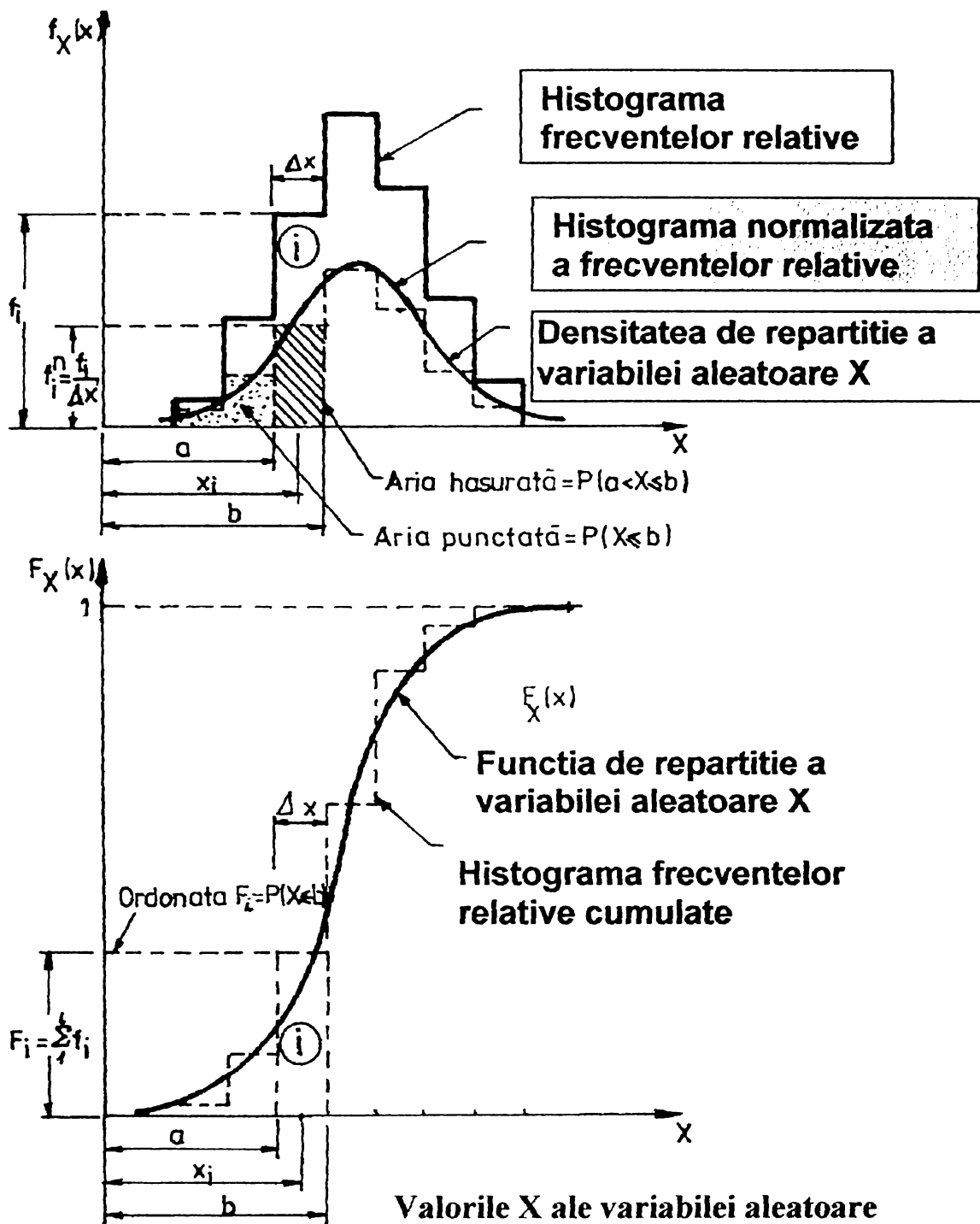


FIG. 2.1. Histograme si repartitii de frecvente relative

Histograma frecventelor relative cumulate se obtine reprezentand in dreptul fiecarui interval de grupare o linie orizontala la ordonata egala cu frecventa relativa cumulata in intervalul respectiv si unind apoi intre ele, pe verticala, aceste linii. Ordonata histogramei in intervalul  $i$ ,  $F_i$ , se obtine prin sumarea pana la intervalul  $i$  inclusiv a ordonatelor histogramei frecventelor relative. Evident ultima ordonata a histogramei frecventelor relative cumulate este egala cu 1. Frecventele relative definite ca raport intre numarul de cazuri in care variabila are o anumita

proprietate si numarul total de cazuri pe care s-a cercetat aceasta proprietate sunt in esenta probabilitati.

Astfel frecventa relativa  $f_i$ , a valorilor variabilei in intervalul  $i$ , care este raportul intre numarul de cazuri in care variabila are valori in intervalul  $i$  si numarul total al cazurilor studiate, evalueaza probabilitatea ca valorile variabilei  $X$  sa se situeze in interiorul intervalului  $i$ .

$$P(a < X \leq b) = f_i \quad (2.7)$$

Similar frecventa relativa cumulata in intervalul  $i$ ,  $F_i$ , care este raportul intre numarul de cazuri in care variabila are valori in intervalele precedente lui  $i$  inclusiv  $i$ , si numarul total de cazuri studiate, evalueaza probabilitatea ca valorile variabilei  $X$  sa fie mai mici sau egale cu valoarea variabilei in acest interval, adica:

$$P(X \leq b) = F_i \quad (2.8)$$

Probabilitatile definite mai sus au urmatoarea semnificatie geometrica (figura 2.2 ):

$P(a < X \leq b)$  reprezinta aria din histograma normalizata a frecventelor relative cuprinsa intre ordonatele trecand prin punctele de abscisa  $a$  si  $b$ ;

$P(X \leq b)$  reprezinta intreaga arie din partea stanga a histogramei normalizate a frecventelor relative, pana la ordonata care trece prin punctul de abscisa  $b$ , arie care este numeric egala cu valoarea in punctul  $b$  a histogramei frecventelor relative cumulate.

La limita, cand marimea intervalului de grupare scade foarte mult ( $\Delta i \rightarrow 0$ ), si numarul de observatii creste ( $n \rightarrow \infty$ ), astfel incat frecventele sa ramana finite, poligonul si histograma se apropie de o curba neteda care tinde sa reprezinte densitatea de repartitie a frecventelor relative (curba de frecventa) a variabilei aleatoare  $X$ , notata  $f_X(x)$  (figura 2.1.).

Similar infasuratoarea histogramei frecventelor relative cumulate tinde sa reprezinte functia de repartitie a frecventelor relative cumulate a variabilei aleatoare  $X$ , notata  $F_X(x)$ .

Functia  $f_X(x)$  este o functie dimensionala avand dimensiunea egala cu inversul dimensiunii variabilei iar functia  $F_X(x)$  este adimensionala.

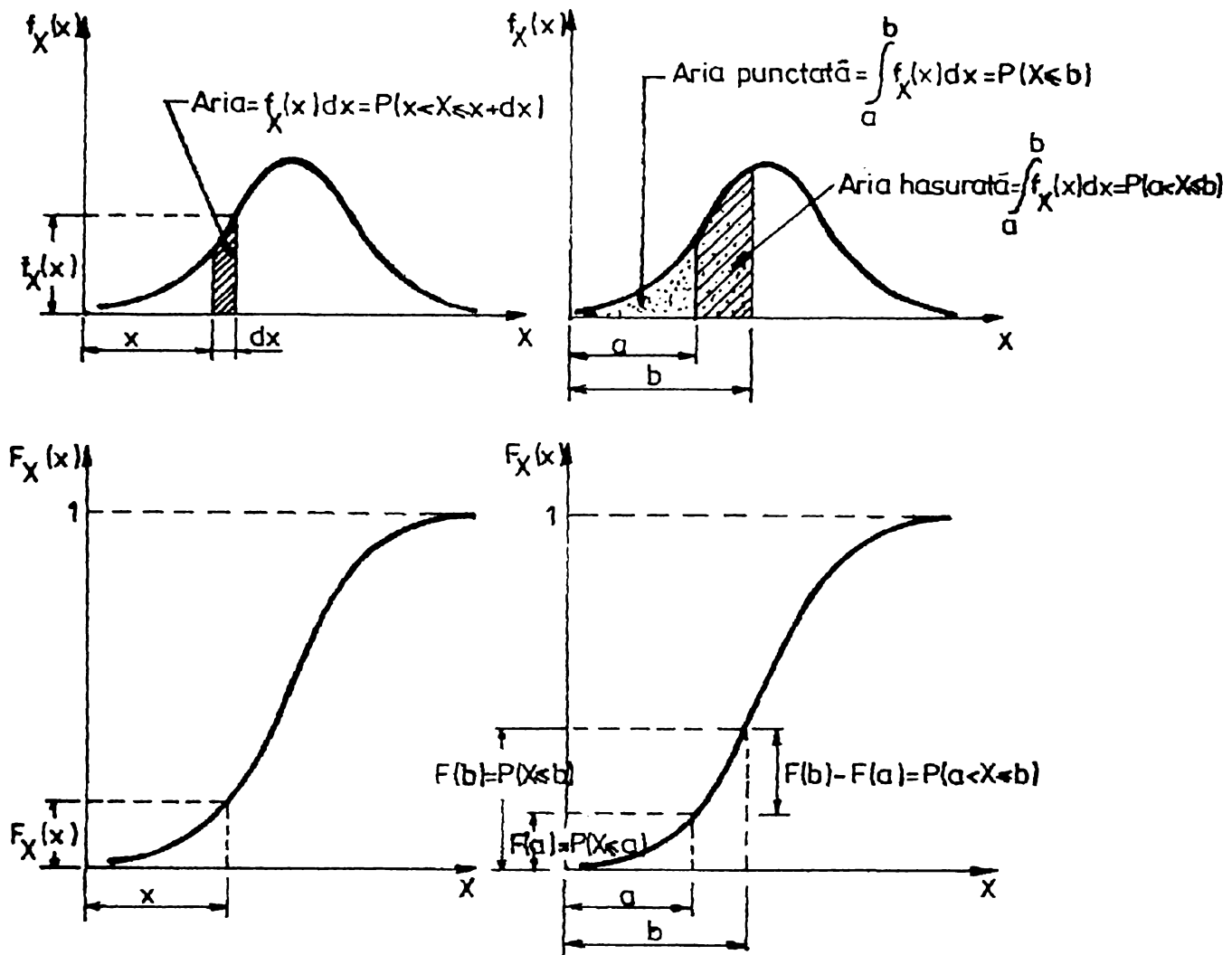


FIG. 2.2. Semnificatii geometrice ale probabilitatilor

Repartitiile de frecvente utilizate in analiza sigurantei structurilor sunt in general de trei tipuri: tipul simetric, tipul moderat simetric, cu asimetrie pozitiva sau negativa si tipul extrem simetric (figura 2.3). Acestea sunt repartitii univariate sau unidimensionale adica repartitii ale unei singure variabile aleatoare si sunt unimodale: densitatea de repartitie are un singur punct de maxim denumit **mod**, notat  $M_0$ . Modul repartitiei unei variabile aleatoare este, dintre toate valorile sale posibile, valoarea cu frecventa de aparitie cea mai ridicata adica valoarea cea mai probabila sau cea mai frecventa. In cazul repartitiilor simetrice, **modul** coincide cu media aritmetica si din acest motiv media aritmetica este denumita adeseori, indiferent de forma repartitiei, valoarea cea mai probabila sau cea mai frecventa.



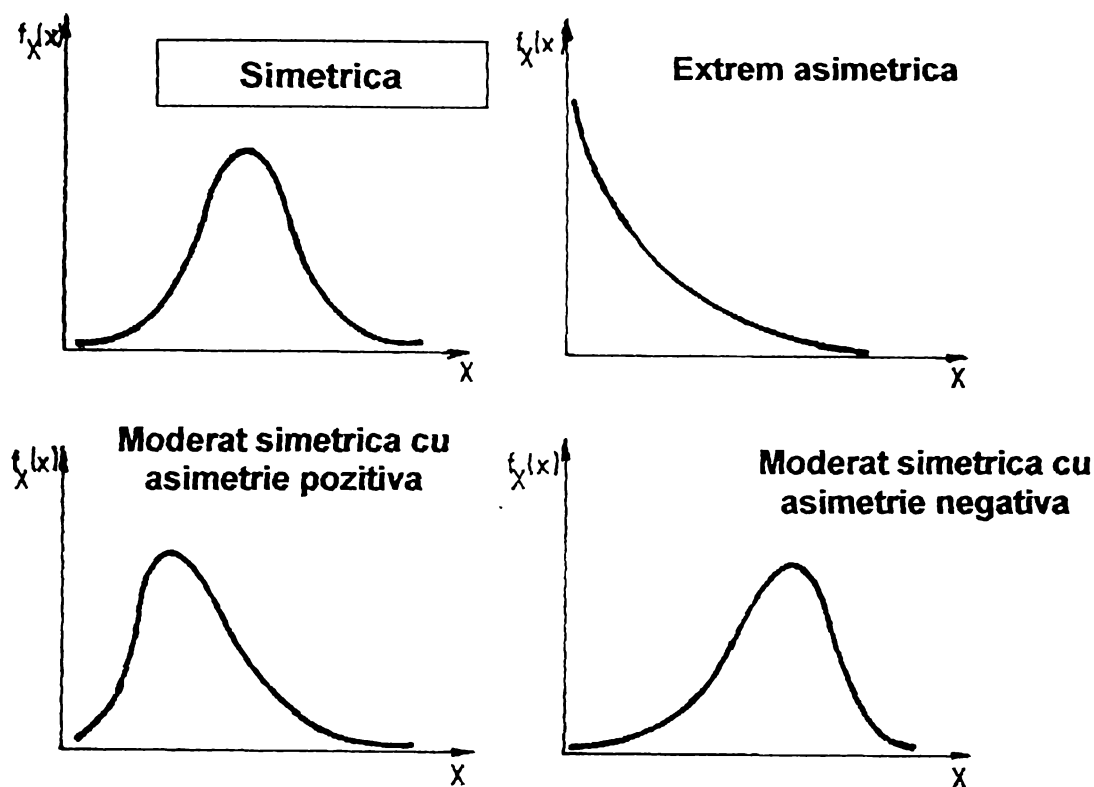


FIG. 2.3. Tipuri de repartitii de frecvente relative

In cele mai multe cazuri analiza histogramei si a poligonului de frecventa este insuficienta pentru a obtine informatii detaliate asupra distributiei valorilor experimentale. In aceste situatii se determina caracteristici de ansamblu ale repartitiei; printre aceste caracteristici, cea mai simpla si mai importanta este masura tendintei centrale a distributiei exprimata prin indicatorii de localizare statistica dupa cum urmeaza:

•• **Valoarea medie  $m_x$**  (media aritmetica a variabilei  $X$ ), reprezinta abscisa centrului de greutate al ariei de sub histograma frecventelor relative (figura 2.4.a):

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{sau} \quad m_x = \sum_{i=1}^n f_i \cdot x_i \quad (2.9)$$

$f_i$  fiind frecventa relativa in intervalul curent  $i$  iar  $X_i$  valoarea variabilei in mijlocul intervalului  $i$ , respectiv de sub curba densitatii de repartitie  $f_X(x)$ :

$$m_x = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f_x(x) \cdot dx \quad (2.10)$$

Valoarea medie  $m_x$  este un indicator statistic al localizarii valorilor variabilei pe domeniul de definitie. Ea este o valoare centrala a variabilei si se masoara in aceleasi unitati ca si variabila.

Media aritmetică are următoarele proprietăți:

• media unei constante  $C$  este egală cu constanta respectivă:

$$m_C = C \quad (2.11)$$

• media unei sume de variabile aleatoare este egală cu suma mediilor variabilelor:

$$m_{X_1+X_2+\dots+X_i+\dots} = m_{X_1} + m_{X_2} + \dots + m_{X_i} + \dots \quad (2.12)$$

• media unui produs de variabile aleatoare este egală cu produsul mediilor variabilelor

$$m_{X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_i \cdot \dots} = m_{X_1} \cdot m_{X_2} \cdot \dots \cdot m_{X_i} \cdot \dots \quad (2.13)$$

•• **Mediana  $M$**  este valoarea centrală a variabilei, atunci când valorile sunt aranjate în ordinea mărimii (valoarea echidistantă de valorile extreme). Grafic, mediana este acea valoare a argumentului pentru care ariile din histogramă, despartite de ordonata lui  $M$ , sunt egale (pentru legi de distribuție simetrice,  $M=m_x$ ).

Se mai numește și valoarea centrală sau fractilă de 50%.

Media aritmetică  $m_x$  nu poate da nici o indicație asupra împrăstierii rezultatelor. Este necesar să se cunoască modul și măsura în care datele se abat de la tendința generală, ceea ce se apreciază prin *indicatorii de măsură a împrăstierii* (măsură variabilității) și care sunt:

•• **Amplitudinea :**

$$w = x_{\max} - x_{\min} \quad (2.14)$$

•• **Abateră medie :**

$$A_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - m_x| \quad \text{sau} \quad A_m = \sum_{i=1}^n |x_i - m_x| \cdot f_i \quad (2.15)$$

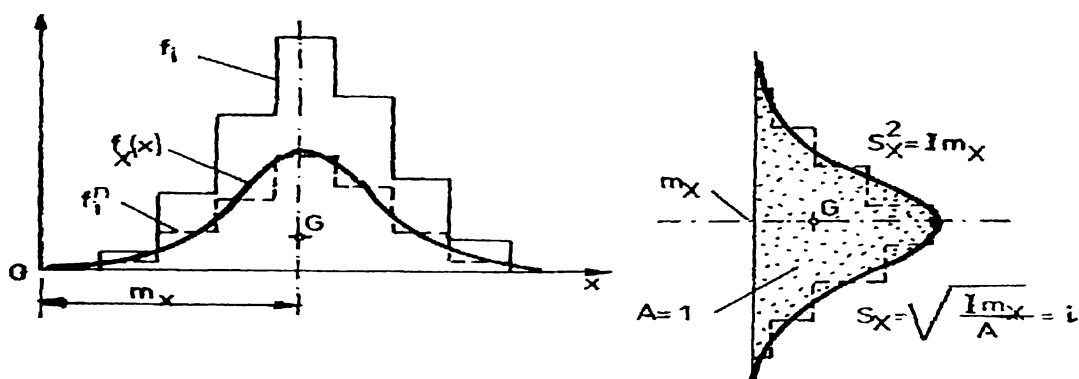


FIG. 2.4. Interpretarea geometrică a mediei, dispersiei și abaterii standard

•• **Dispersia sau patratul abaterii standard** a variabilei  $x$ ,  $S_x^2$ , este momentul de inerție, în raport cu ordonata ce

trece prin media  $m_x$ , al ariei de sub histograma normalizată a frecvențelor relative:

$$S_x^2 = \sum_{i=1}^n (f_i^n \cdot \Delta x) (x_i - m_x)^2 = \sum_{i=1}^n f_i \cdot (x_i - m_x)^2 \quad (2.16)$$

respectiv de sub curba densității de repartiție  $f_x(x)$ , (figura 2.4.b):

$$S_x^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 \cdot f_x(x) \cdot dx \quad (2.17)$$

În analiza statistică a datelor experimentale, mai ales pentru siruri cu un număr  $k$  redus de măsurători, se folosește, dispersia nedepășită, care se calculează cu relația:

$$s_x^2 = \sum_{i=1}^k (x_i - m_x)^2 \quad (2.16a)$$

Dispersia are următoarele proprietăți:

• dispersia unei constante  $C$  este zero;

$$S_C^2 = 0$$

• dacă  $C$  este o constantă și  $X$  o variabilă aleatoare, atunci

$$S_{CX}^2 = C^2 \cdot S_X^2$$

• dispersia unei sume de variabile independente este egală cu suma dispersiilor

$$S_{X_1+X_2+\dots+X_i+\dots}^2 = S_{X_1}^2 + S_{X_2}^2 + \dots + S_{X_i}^2 + \dots$$

•• **Abaterea standard** sau **abaterea medie patratică** în raport cu media variabilei  $X$  se definește

$$S_x = \sqrt{S_x^2} \quad (2.18)$$

și este un indicator statistic al împrăstierii valorilor variabilei pe domeniul de definiție; se măsoară în aceleași unități ca și variabila. În literatură se întâlnește notată și cu  $\sigma_x$ .

Abaterea standard  $S_x$  poate fi interpretată geometric ca fiind raza de giratie a ariei cuprinse între histograma normalizată a frecvențelor relative, respectiv curba densității de repartiție  $f_x(x)$ , și axa absciselor, mărimea ariei fiind prin definiție egală cu unu (vezi figura 2.4).

Abaterea standard (abaterea medie patratică) se calculează practic, aplicând după caz, una din relațiile următoare:

$$S_X = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^2} \quad \text{sau} \quad S_X = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^2 \cdot f_i} \quad (2.19)$$

respectiv,

$$s_X = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^2} \quad (2.19a)$$

sau

$$S_X = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (x - m_X)^2 \cdot f_X(x) \cdot dx} \quad (2.20)$$

•• **Coeficientul de variatie,  $V_X$** , al variabilei aleatoare  $X$ , este un indicator sintetic adimensional al imprastierii statistice a datelor, definit prin:

$$V_X = \frac{S_X}{m_X} \quad (2.21)$$

si exprimat curent in procente. El permite comparatii intre variabilitatea statistica a variabilelor aleatoare de naturi fizice diferite.

Din interpretarile geometrice ale marimilor  $m_X$  si  $S_X$ , rezulta ca ambele se calculeaza ca momente geometrice ale ariei cuprinse intre histograma normalizata respectiv densitatea de repartitie a frecventelor relative si axa absciselor, astfel:

- media  $m_X$  ca moment de ordinul intai in raport cu originea;

- abaterea standard  $S_X$  ca moment de ordinul doi in raport cu media; intrucat media este o valoare centrala a variabilei, acest moment este denumit moment central de ordinul doi.

Variabilele aleatoare se reprezinta frecvent in aplicatiile practice sub forma unei perechi de valori compusa din media  $m_X$  si abaterea standard  $S_X$  sau coeficientul de variatie  $V_X$ .

Indicatorii suplimentari ai imprastierii statistice, definiti pe baza momentelor centrale de ordin superior lui doi, sunt:

1. **coeficientul de oblicitate  $\sqrt{\beta_1}$** , care este adimensional si se defineste pe baza momentelor centrale de ordinele doi si trei, prin:

$$\sqrt{\beta_1} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot (x_i - m_X)^3}{\left[ \sum_{i=1}^n f_i \cdot (x_i - m_X)^2 \right]^{3/2}} \text{ sau } \sqrt{\beta_1} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (x - m_X)^3 \cdot f_X(x) \cdot dx}{\left[ \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_X)^2 \cdot f_X(x) \cdot dx \right]^{3/2}} \quad (2.22)$$

2. **coeficientul de exces**  $\beta_2$ , care este adimensional și se definește pe baza momentelor centrale de ordinele doi și patru, prin:

$$\beta_2 = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot (x_i - m_X)^4}{\left[ \sum_{i=1}^n f_i \cdot (x_i - m_X)^2 \right]^2} \text{ sau } \beta_2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (x - m_X)^4 \cdot f_X(x) \cdot dx}{\left[ \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_X)^2 \cdot f_X(x) \cdot dx \right]^2} \quad (2.23)$$

### 2.1.2.2. *Fractilii variabilelor aleatoare*

În ingineria siguranței structurilor, variabilele aleatoare care au explicit asociate probabilitățile de a exista valori mai mici sau mai mari sunt denumite *fractili* (cuantili). Pe baza modelării probabilistice, în calculele ingineresti și standarde, variabilele aleatoare sunt definite printr-un fractil al repartiției statistice (figura 2.5.).

Astfel fractilul  $x_p$  al repartiției variabilei aleatoare  $X$  este valoarea variabilei definită cu probabilitatea  $p$  de a exista valori mai mici decât  $x_p$ :

$$P(X \leq x_p) = p \quad (2.24)$$

respectiv cu probabilitatea  $(1 - p)$  de a exista valori mai mari:

$$P(X > x_p) = 1-p \quad (2.25).$$

Fractilii definiți printr-o probabilitate  $p < 0,5$  sunt denumiți **fractili inferiori** iar cei definiți printr-o probabilitate  $p > 0,5$  sunt denumiți **fractili superiori**.



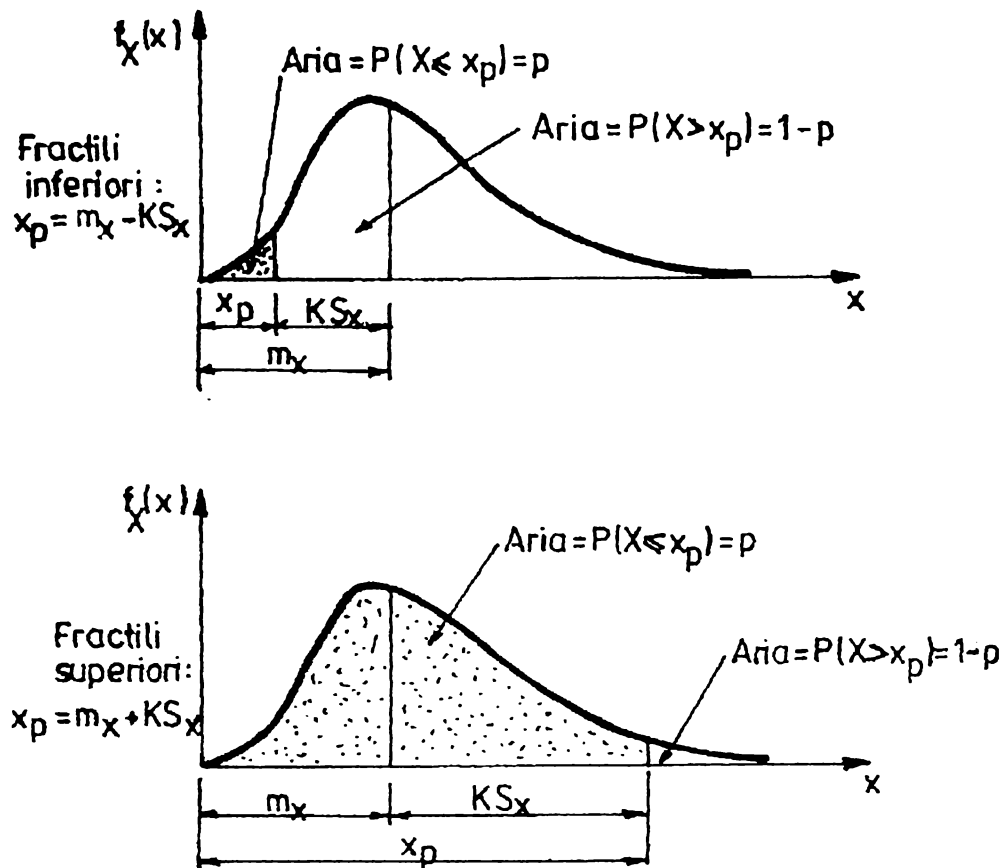


FIG. 2.5. Definitia fractililor (cuantililor) unei variabile aleatoare

Fractilii se pot evalua in functie de indicatorii de localizare, media sau modul, si de cei de imprastiere, abaterea standard sau coeficientul de variatie, ai variabilei aleatoare.

Pentru unele repartitii (normala, lognormala etc.) subzista urmatoarea relatie:

$$x_p = m_x \pm K \cdot S_x = m_x (1 \pm K \cdot V_x) \quad (2.26)$$

### 2.1.2.3. Repartitii utilizate în analiza sigurantei structurilor

Pe baza unor ipoteze generale se poate deduce matematic repartitia de frecventa a unei anumite populatii statistice, o astfel de repartitie fiind numita **repartitie teoretica**.

Cele mai importante repartitii teoretice in sensul utilizarii lor in studiile de siguranta structurilor sunt: repartitia normala Gauss-Laplace, repartitia lognormala, repartitia Poisson, etc. Repartitiile de frecventa se impart in doua categorii:

- 1) repartitii continue (figura 2.6,a)
- 2) repartitii discrete (figura 2.6,b).

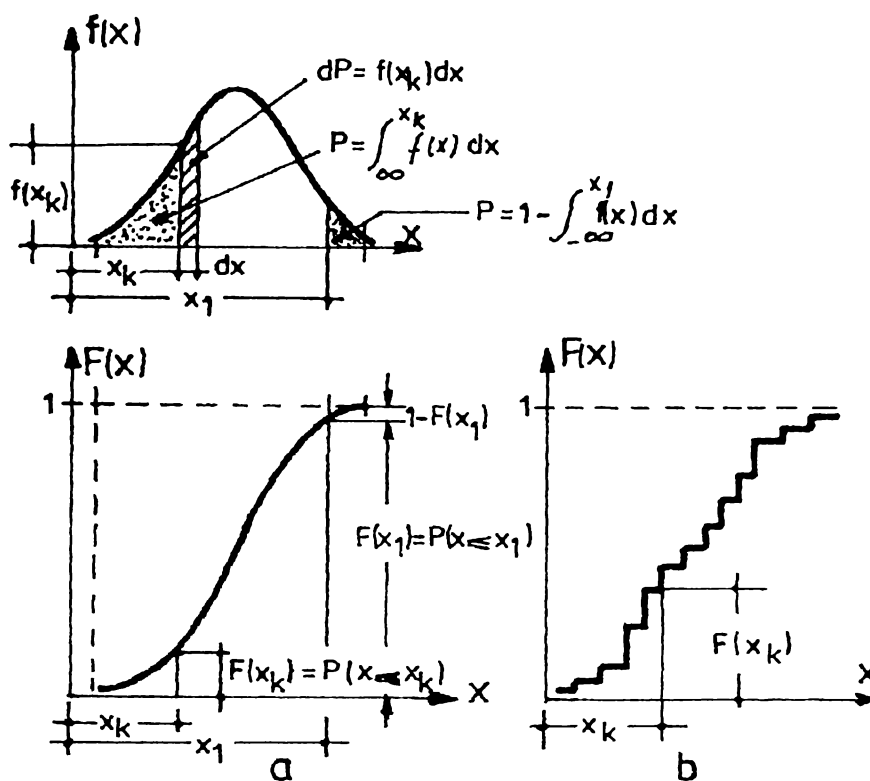


FIG. 2.6. Densitatea si functia de repartitie

Legile de repartitie a frecventelor sunt caracterizate prin urmatoarele:

- **Densitatea de repartitie** sau **densitatea de probabilitate** (numita si **functia de frecventa**) este functia al carei grafic este curba de frecventa si reprezinta infasuratoarea histogramei normalizate a frecventelor relative; pentru o distributie continua densitatea de repartitie se noteaza  $f(x)$ , iar pentru o distributie discreta  $p(x)$ .

- **Functia de repartitie** (de distributie), notata  $F(x)$ , reprezinta probabilitatea ca valorile variabilei aleatoare sa fie mai mici sau cel mult egale cu o valoare data  $x_k$ . Ca orice probabilitate functia de repartitie este:

$$0 \leq F(x) \leq 1$$

Pentru o distributie continua, functia de repartitie are expresia:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \quad (2.27)$$

iar pentru o distributie discreta:

$$F(x) = \sum_{i \rightarrow -\infty}^k f(x_i) \cdot \Delta i \quad \text{sau} \quad F(x) = \sum_{x_i < x} p_i \quad (2.28)$$

### 2.1.2.3.1. Repartitia normala

Repartitia normala sau repartitia Gauss este o repartitie frecvent utilizata in aplicatii practice. Desi unele fenomene naturale prezinta deviatii de la repartitia simetrica normala, importanta acestei repartitii nu este redusa intrucat ea este usor de manipulat in calculele ingineresti complexe si poate fi adoptata ca o aproximatie pentru repartitii cu asimetrie redusa.

Repartitia normala a variabilei aleatoare  $X$  se defineste prin densitatea de repartitie

$$f_X(x) = \frac{1}{S_X \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-m_X}{S_X} \right)^2} \quad (2.29)$$

respectiv functia de repartitie

$$F_X(x) = \frac{1}{S_X \cdot \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-m_X}{S_X} \right)^2} \cdot dx \quad (2.30)$$

Repartitia este complet definita de doi parametri: media  $m_X$  si abaterea standard  $S_X$ . Densitatea de repartitie  $f_X(x)$  este simetrica in raport cu  $m_X$  si are forma de clopot (clopotul lui Gauss) cu doua puncte de inflexiune de abscise  $(m_X - S_X)$  si  $(m_X + S_X)$ . Media repartitiei coincide cu modul si mediana repartitiei si  $P(X \leq m_X) = P(X > m_X) = 0,5$ .

Parametrii repartitiei normale, media  $m_X$  si abaterea standard  $S_X$  se evalueaza simplu din seria statistica de date cercetate  $X(x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_n)$  cu formulele:

$$m_X = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}, \quad \text{respectiv} \quad S_X = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_j - m_X)^2}{n}} \quad (2.31)$$

Daca datele sunt grupate pe intervale de variatie si frecventa relativa a datelor din intervalul  $i$ , cu valoarea centrala  $x_i$  este  $f_i$ , formulele precedente (2.31) devin:

$$m_X = \sum_{i=1}^n f_i \cdot x_i, \quad \text{respectiv} \quad S_X = \sqrt{\sum_{i=1}^n f_i (x_i - m_X)^2} \quad (2.32)$$

Daca se reprezinta distributia normala intr-un sistem de axe de coordonate cu originea in abscisa corespunzatoare mediei ( $m_X=0$ ) se obtine **repartitia normala normata**, care are dispersia egala cu 1 (figura 2.7). Trecerea de la expresiile

initiale ale funcțiilor se face prin schimbarea variabilei  $X$  în variabila normată, care este:

$$u = \frac{x - m_x}{S_x} \quad (2.33)$$

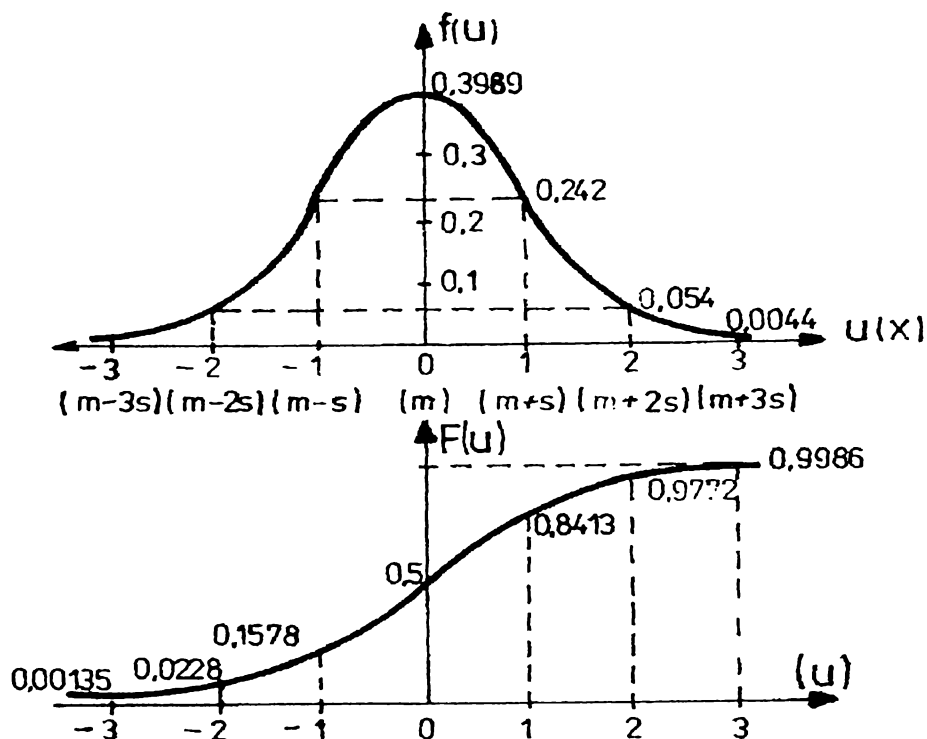
Densitatea de repartiție și funcția de repartiție devin (figura 2.7):

$$f_U(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} \cong 0,4 \cdot e^{-u^2/2} \quad (2.34)$$

și respectiv

$$F_U(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} \cdot du \quad (2.35)$$

Valorile funcțiilor  $f_U(u)$  și  $F_U(u)$  sunt date în **ANEXA A.II-1**, tabelul 2.1, respectiv în **ANEXA A.II-2**, tabelul 2.2 pentru diferite valori mai uzuale ale argumentului  $u$ . Introducerea variabilei adimensionale  $u$  permite o reprezentare unică a densității și funcției de repartiție normale, independentă de natura variabilei aleatoare  $X$  și de valorile sale concrete (figura 2.8).



**FIG. 2.7.** Densitatea și funcția de repartiție pentru variabila normată

Intrucat exista simetrie fata de axa ordonatelor si  $\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1$ , functia de distributie (2.35) se mai poate scrie si sub forma:

$$F(u) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u e^{-\frac{u^2}{2}} \cdot du = \frac{1}{2} + \Phi(u) \quad (2.36)$$

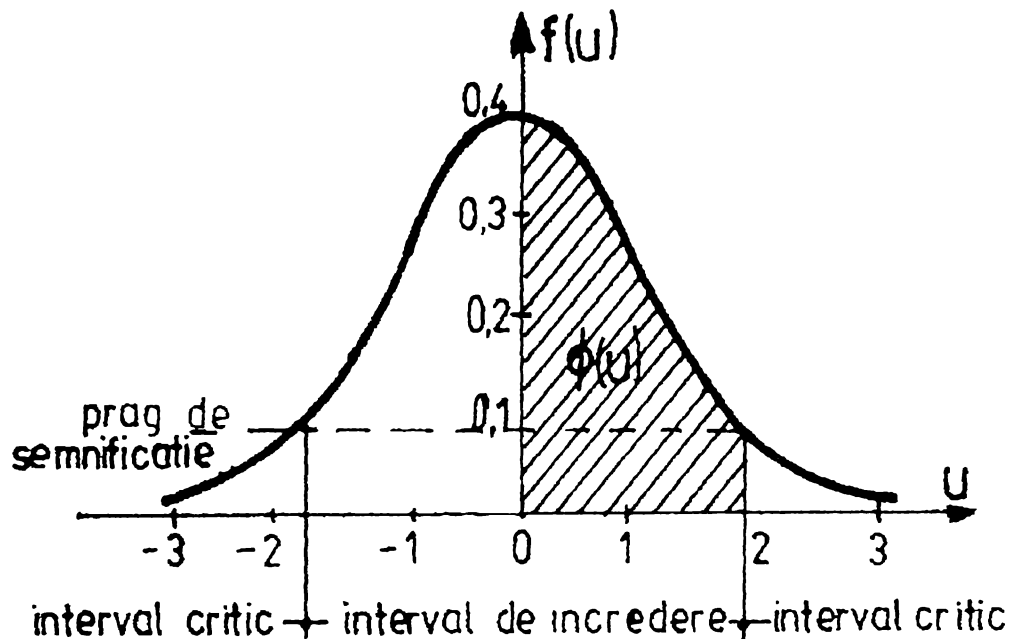


FIG. 2.8. Semnificatia grafica a densitatii de repartitie

Intervalul delimitat de variabilele normate  $-u_1$  si  $u_1$ , (figura 2.8) este denumit **interval de incredere**, cel din afara ( $|u| > u_1$ ) este definit ca **interval critic** iar probabilitatea ca valorile lui  $u$  sa apartina intervalului critic, **prag de semnificatie**; se constata ca integrala definita  $\Phi(u)$ , denumita functia Laplace, este jumătate din aria marginita de curba  $F(u)$  in intervalul de incredere.

Din figura 2.8 si relatia (2.36) se constata ca probabilitatea ca variabila aleatoare sa ia valori in intervalul critic este :

$$P(u) = \frac{1}{2} - \Phi(u) = 1 - F(u) \quad (2.37)$$

si ea se poate calcula cu valorile date in tabelul 2.2. Din relatia de definire a variabilei normate (2.33), se poate reveni la variabila aleatoare  $X$ :

$$x = m_x \pm uS_x \quad (2.33.a)$$

Comparand relatiile (2.23.a) si (2.26), rezulta corespondentele:



$$K = u \quad \text{si} \quad p = F(u)$$

utilizate in calculul fractililor  $x_p$  cu relatia (2.23.a), valorile lui  $K$  pentru diferite probabilitati  $p$ , fiind calculate si prezentate in tabelul 2.3 din **ANEXA A.II-3**.

Relatia (2.33.a) poate fi folosita pentru a se determina intervalul critic in care se poate situa variabila aleatoare  $X$ , pentru o probabilitate data; se cunoaste media  $m_x$ , abaterea standard  $S_x$  iar  $u$  se scoate din ANEXA A.II-2, tabelul 2.2 in functie de probabilitatea data.

### 2.1.2.3.2. Repartitia lognormala

Repartitia lognormala se defineste prin urmatoarea proprietate care ii justifica si numele: daca variabila  $\ln X$  este normal (Gauss) repartizata, atunci variabila  $X$  este lognormal repartizata.

Funcția de repartitie a distributiei lognormale este:

$$F(X) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{S_{\ln X} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln x - m_x}{S_{\ln X}} \right)^2} d(\ln x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{x S_{\ln X} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln x - m_x}{S_{\ln X}} \right)^2} dx \quad (2.38)$$

iar densitatea de repartitie

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{daca } x \leq 0 \\ \frac{1}{x S_{\ln X} \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln x - m_x}{S_{\ln X}} \right)^2} & \text{daca } x > 0 \end{cases} \quad (2.39)$$

Si aceasta distributie este complet definita de cei doi parametri: media  $m_{\ln X}$  si abaterea standard  $S_{\ln X}$ , care se evalueaza simplu din seria statistica de date cercetate  $X(x_1, x_2, x_3, \dots, x_j, \dots, x_n)$  cu formulele:

$$m_{\ln X} = \frac{\sum_{j=1}^n \ln x_j}{n}, \text{ respectiv } S_{\ln X} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\ln x_j - m_{\ln X})^2}{n}} \quad (2.40)$$

Daca datele sunt grupate pe intervale de variatie si frecventa relativa a datelor din intervalul  $i$  cu valoarea centrala  $x_i$  este  $f_i$ , formulele precedente (2.40) devin

$$m_{\ln X} = \sum_{i=1}^n f_i \cdot \ln x_i, \text{ respectiv } S_{\ln X} = \sqrt{\sum_{i=1}^n f_i (\ln x_i - m_{\ln X})^2} \quad (2.41)$$

Daca si in acest caz se efectueaza schimbarea de variabila, dupa procedura din relatia (2.33) punand:

$$y = \frac{\ln x - m_{\ln X}}{S_{\ln X}} \quad (2.42)$$

functia de frecventa si densitatea de repartitie lognormala se aduc sub forma functiilor corespunzatoare din repartitia normala a variabilei U [ conform expresiilor prezentate in relatiile (2.34) si (2.35)]:

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{y^2}{2}} \quad (2.34, a)$$

si

$$F(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{y^2}{2}} \cdot dy \quad (2.35, b)$$

reprezentate in figura 2.7 si tabelele 2.1 din ANEXA A.II-1, si 2.2 din ANEXA A.II-2, cu  $u \equiv y$ .

Fractilii repartitiei lognormale se pot calcula pe baza relatiei (2.26) cu expresia:

$$x_p = e^{m_{\ln X} + K \cdot S_{\ln X}} \quad (2.43)$$

corespondenta biunivoca dintre valorile factorului K si probabilitatea p, fiind aceeasi ca pentru repartitia normala Gauss, indicata in tabelul 2.3 din ANEXA A.II-3.

### 2.1.2.3.3. Repartitiile Gumbel, pentru maxime si minime

Repartitiile Gumbel sunt repartitii tipice pentru valorile extreme ale diferitelor marimi fizice. Repartitiile valorilor extreme reprezinta in ultimii 30 de ani principalele modele matematice care caracterizeaza variatia aleatoare a actiunilor exterioare asupra constructiilor si a rezistentelor mecanice, iar proprietatile lor atat din punct de vedere matematic cat si ingineresc sunt prezentate chiar de autorul lor, matematicianul E.J. Gumbel [2.25]. In anul 1928 ele au fost clasificate de Fisher si Tippett in urmatoarele trei tipuri, cunoscute in prezent si sub numele matematicienilor care ulterior le-au studiat intens:

→ repartitia Fisher-Tippett tip I sau Gumbel;

- repartitia Fisher-Tippet tip II sau Fréchet;
- repartitia Fischer-tippet tip III sau Weibull.

Fiecarui tip ii corespund doua repartitii ale valorilor extreme: una pentru maxime si una pentru minime.

Cele mai des utilizate in siguranta structurilor, dintre cele sase repartitii extremale, sunt urmatoarele trei:

- repartitia tip I, Gumbel pentru maxime;
- repartitia tip II, Fréchet pentru maxime;
- repartitia tip III, Weibull pentru minime.

Aceste repartitii se definesc dupa cum urmeaza:

### **2.1.2.3.3.a. Repartitia Gumbel pentru maxime**

se defineste prin functia de repartitie:

$$F_X(x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}} \quad (2.44)$$

si densitatea de repartitie (figura 2.9):

$$f_X(x) = \frac{dF_X(x)}{dx} = \alpha \cdot e^{-\alpha(x-u)} \cdot e^{-e^{-\alpha(x-u)}} \quad (2.45)$$

Repartitia este complet definita de doi parametri: modul  $\mathcal{M}_0$  (notatia lui Gumbel este  $u$ ) si parametrul  $\alpha$ , care se pot calcula in functie de media  $m_X$  si abaterea standard  $S_X$ , cu relatiile:

$$\mathcal{M}_0 \equiv u = m_X - 0,45 \cdot S_X \text{ respectiv, } \alpha = \frac{1,282}{S_X} \quad (2.46)$$

asa incat se poate spune ca si aceasta repartitie Gumbel este complet definita de aceeasi doi parametri de baza ca si in cazul repartitiei normale,  $m_X$  si  $S_X$ .

Media si abaterea standard ale variabilei  $X$  se estimeaza pentru calculul parametrilor  $u$  si  $\alpha$  cu formulele (2.31) sau (2.32) iar mediana repartitiei Gumbel se calculeaza cu formula:

$$M_X = m_X - 0,164 \cdot S_X \quad (2.47)$$

Spre deosebire de repartitia normala, repartitiile valorilor extreme sunt asimetrice. Asimetria repartitiilor extreme Gumbel si Fréchet pentru maxime si Weibull pentru minime este de tip pozitiv, adica "cocoasa" densitatii de repartitie  $f_X(x)$  este deplasata spre stanga. Asimetria repartitiei Gumbel pentru maxime este moderata, coeficientul de oblicitate fiind  $\sqrt{\beta_1} = 1,139$ , independent de valorile parametrilor  $u$  si  $\alpha$ .

Efectuand o schimbare de variabila analoaga cu schimbarea (2.33) efectuata pentru repartitia normala

$$y = \alpha \cdot (x - u) \tag{2.48}$$

si punand conditiile de echiprobabilitate

$$P(Y \leq y) = P(X \leq x) \text{ respectiv } F_Y(y) = F_X(x) = F_X[x(y)]$$

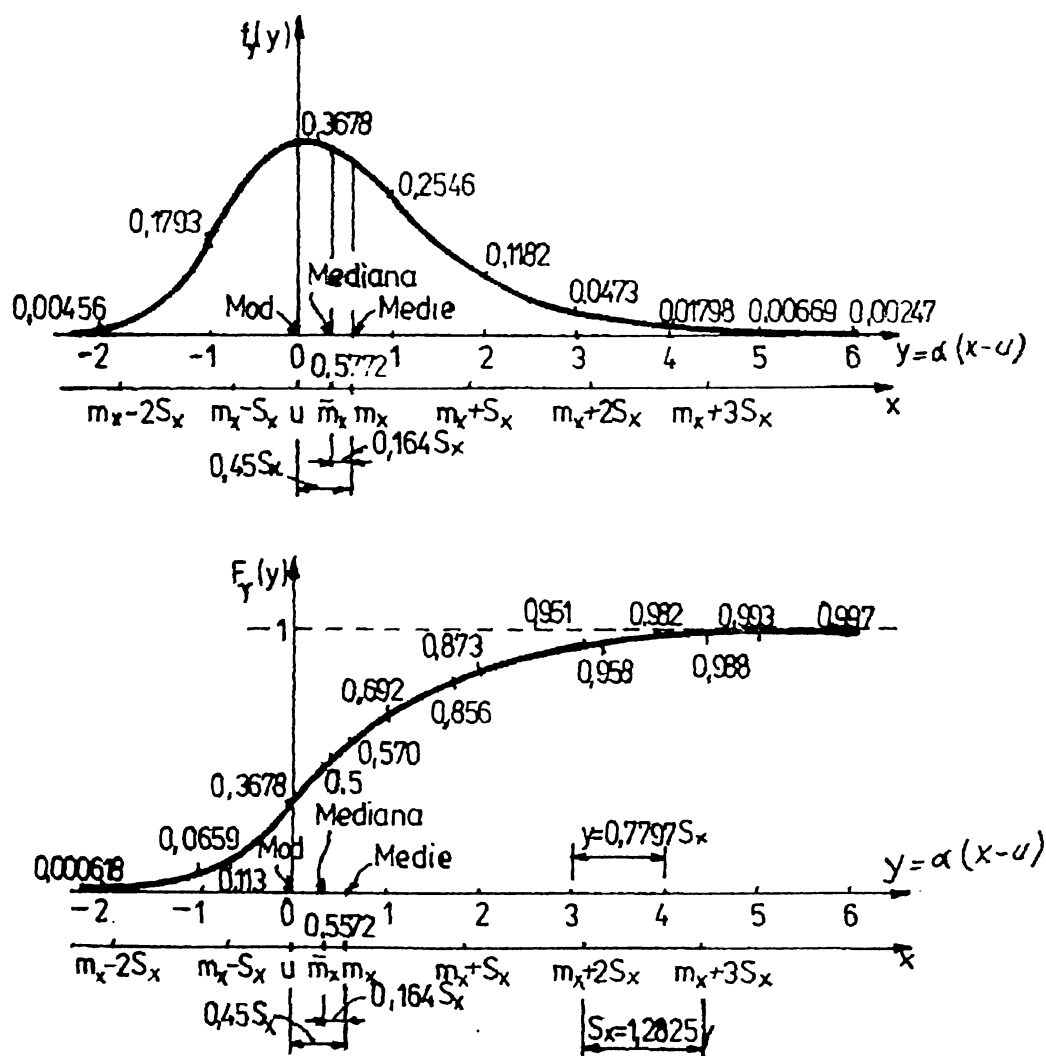
din functia de repartitie a variabilei dimensionale X se obtine functia de repartitie a variabilei adimensionale Y

$$F_Y(y) = e^{-e^{-y}} \tag{2.49}$$

si densitatea de repartitie corespunzatoare

$$f_Y(y) = \frac{dF_Y(y)}{dy} = e^{-y-e^{-y}} \tag{2.50}$$

Introducerea variabilei adimensionale y permite o reprezentare unica a densitatii si functiei de repartitie Gumbel (figura 2.9), reprezentare independenta de natura variabilei aleatoare X si de valorile sale concrete  $m_x$  si  $S_x$ . Valorile functiilor  $f_Y(y)$  si  $F_Y(y)$  pentru diferite valori ale variabilei y sunt date in **ANEXA A.II-4**, tabelul 2.4.



**FIG. 2.9.** Repartitia pentru valori extreme tip I Gumbel, pentru maxime

Calculul fractililor  $x_p$  ai repartiției Gumbel pentru maxime, definiți cu probabilitatea  $p$  de a exista valori mai mici decât  $x_p$  se poate face cu relația:

$$x_p = m_x + \left( -0,78 \cdot \ln \ln \frac{1}{p} - 0,45 \right) \quad (2.51)$$

în care introducând notația

$$K = -0,78 \cdot \ln \ln \frac{1}{p} - 0,45 \quad (2.52)$$

conduce la forma standard (2.26) prezentată în § 2.2.2.2:

$$x_p = m_x + K \cdot S_x \quad (2.26, a)$$

valorile lui  $K$  pentru diferite probabilități  $p$  fiind calculate și prezentate în tabelul 2.3 din ANEXA A.II-3.

### 2.1.2.3.3.b. Repartiția Fréchet pentru maxime

se definește prin funcția de repartiție:

$$F_X(x) = e^{-\left(\frac{v}{x}\right)^k} \quad (2.53)$$

și densitatea de repartiție (figura 2.10)

$$f_X(x) = \frac{k}{v} \left(\frac{v}{x}\right)^{k+1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{x}\right)^k} \quad (2.54)$$

Repartiția este complet definită de doi parametri: parametrul de localizare  $v$  și parametrul de formă  $k$ .

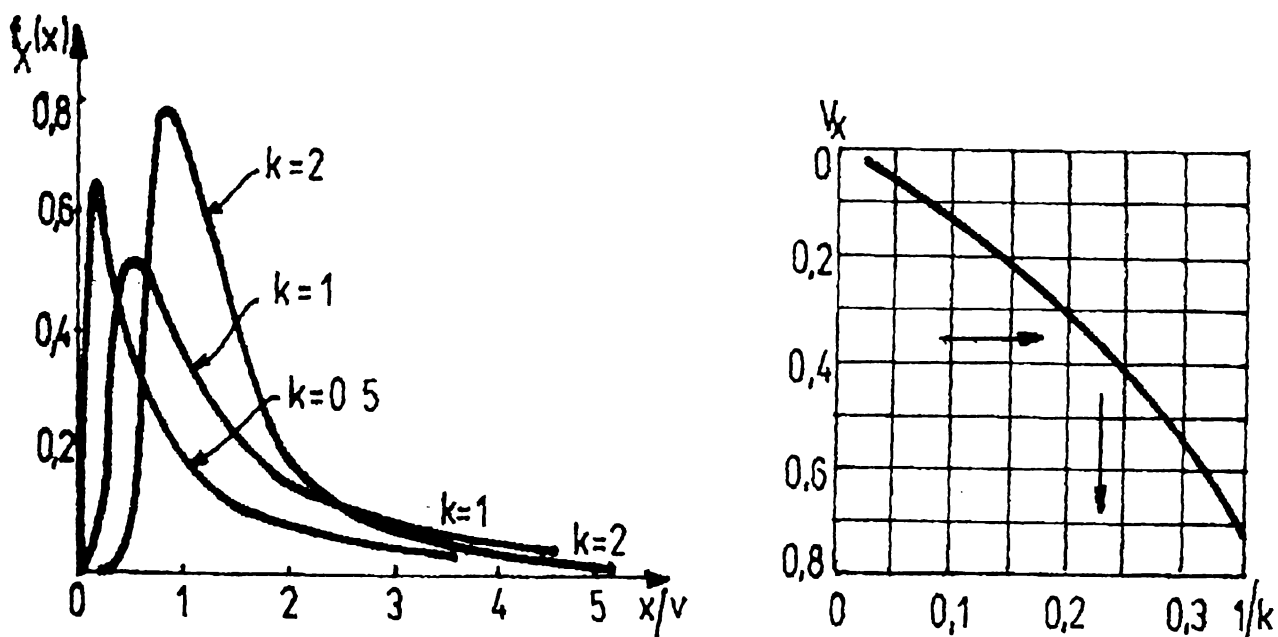


FIG. 2.10. Densitatea și funcția de repartiție Fréchet



Parametrul de localizare  $v$  are semnificatia unei valori centrale a variabilei aleatoare  $x$  fiind mai mare decat modul repartitiei dar mai mic decat media.

Cei doi parametri se determina in functie de media  $m_x$  si coeficientul de variatie  $V_x$  ca solutii ale sistemului de ecuatii:

$$\begin{cases} \sqrt{\frac{\Gamma(1-2/k)}{\Gamma^2(1-1/k)}} - 1 = V_x \\ v = \frac{m_x}{\Gamma(1-1/k)} \end{cases} \quad (2.55)$$

Prima ecuatie se rezolva grafic, cu ajutorul fig. 2.10,b, iar apoi, cu valoarea lui  $k$  astfel obtinuta, se determina si parametrul  $v$  din cea de a doua ecuatie folosind valorile functiei  $\Gamma$  din ANEXA II, tabelul 2.5.

Pentru calculul parametrilor  $v$  si  $k$  ai repartitiei Fréchet, media si coeficientul de variatie  $V_x = S_x / m_x$  ale variabilei  $X$  se calculeaza aplicand formulele (2.31) sau (2.32).

Modul  $\mathcal{M}_o$  si mediana  $M$ , acestei repartitii se calculeaza in functie de parametrii repartitiei cu relatiile:

$$\mathcal{M}_o = v \left( \frac{k}{k+1} \right)^{1/k} \text{ respecti } v, M = v(1,446)^{1/k} \quad (2.56)$$

Cu substitutia,

$$y = k \cdot \ln \left( \frac{v}{x} \right) \quad (2.57)$$

si functia de repartitie Fréchet se poate aduce la forma dublu exponentiala (2.48) vezi (fig. 2.9 si tabelul 2.3):

$$F_Y(y) = e^{-e^{-y}} \quad (2.58)$$

Fractilii repartitiei Fréchet pentru maxime se pot calcula cu relatia:

$$x_p = \frac{v}{\left( \ln \frac{1}{p} \right)^{1/k}} \quad (2.59)$$

### **2.1.2.3.3.c. Repartiția Weibull pentru minime**

se definește prin funcția de repartiție:

$$F_X(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{v}\right)^k} \quad (2.60)$$

și densitatea de repartiție (figura 2.11):

$$f_X(x) = \frac{k}{v} \left(\frac{x}{v}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{v}\right)^k} \quad (2.61)$$

Ca și în cazul precedent repartiția este complet definită de doi parametri: parametrul de localizare  $v$  și parametrul de formă  $k$ .

Cei doi parametri, de localizare  $v$  și de formă  $k$ , se determină în funcție de media  $m_X$  și coeficientul de variație  $V_X$  ca soluții ale sistemului de ecuații:

$$\begin{cases} \sqrt{\frac{\Gamma(1+2/k)}{\Gamma^2(1+1/k)}} - 1 = V_X \\ v = \frac{m_X}{\Gamma(1+1/k)} \end{cases} \quad (2.62)$$

Prima ecuație se rezolvă grafic, cu ajutorul fig. 2.11, b iar apoi, cu valoarea lui  $k$  astfel obținută, se determină și parametrul  $v$  din cea de a doua ecuație folosind valorile funcției  $\Gamma$  date în tabelul 2.5 din **ANEXA A.II-5**.

Modul  $\mathcal{M}_0$  și mediana  $M$ , acestei repartiții se calculează în funcție de parametrii repartiției cu relațiile:

$$\mathcal{M}_0 = v(1 - 1/k)^{1/k} \text{ respecti } v, M = v(0,693)^{1/k} \quad (2.63)$$

Cu substituția

$$y = k \cdot \ln\left(\frac{v}{x}\right) \quad (2.64)$$

și funcția de repartiție Weibull se poate aduce la forma dublu exponențială (2.49), vezi (fig. 2.9 și tabelul 2.3 din ANEXA A.II-3):

$$F_Y(y) = e^{-e^{-y}} \quad (2.65)$$

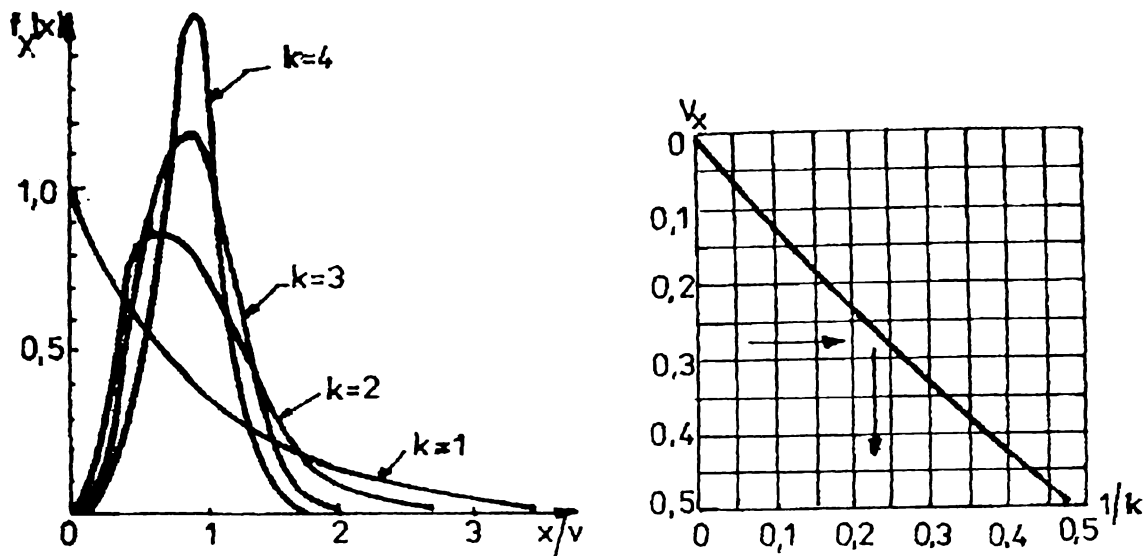


FIG. 2.11. Densitatea si functia de repartitie Weibull

La fel ca si la celelalte repartitii ale valorilor extreme, formula pentru calculul fractililor  $x_p$  definiti cu probabilitatea  $p$  de a exista valori mai mici decat  $x_p$  se obtine prin rezolvarea ecuatiei:

$$P(X \leq x_p) = F(x_p) = p = 1 - e^{-\left(\frac{x_p}{v}\right)^k}$$

sub forma : (2.66)

$$x_p = v \cdot \ln\left(\frac{1}{1-p}\right)^{1/k}$$

#### 2.1.2.4. Modelarea incertitudinilor

Variabilele se introduc in calculele de proiectare sau verificare intr-o forma idealizata in care incertitudinile asociate fiecărei variabile sunt evaluate pe baza unui model de calcul. In timp, odata cu evolutia conceptelor privind siguranta structurilor s-au cristalizat trei asemenea modele [2.15]:

- ➔ modele deterministice (figura 2.12.a);
- ➔ modele probabilistice (figura 2.12.b);
- ➔ modele semiprobabilistice (figura 2.12.c).

**Modelele deterministice** considera incertitudinile privind evaluarea unei variabile  $X$  ca fiind de natura aleatoare. Ca urmare, conform unui model deterministic, valorile posibile ale unei variabile  $X$  sunt prezentate, practic inlocuite, printr-o singura valoare numerica. Reprezentarea deterministica a unei variabile se face sub una din denumirile:

- 1) valoarea  $x$  a variabilei;
- 2) valoarea  $x_{\max}$  a variabilei;
- 3) valoarea  $x_{\min}$  a variabilei;

Modelele deterministice ignora in mod deliberat caracterul aleator, cel putin partial daca nu complet, al majoritatii variabilelor care intervin in calculele ingineresti. Cu toate acestea, semnificatia probabilistica a unei valori definite deterministic nu trebuie evitata. Se subliniaza ca valorile deterministice  $x$ ,  $x_{\max}$ ,  $x_{\min}$  ale unei variabile  $X$  nu sunt stabilite pe baza unor analogii intre modelele deterministice si cele probabilistice, ci numai pe considerente deterministice de experienta, traditie, intuitie, simt tehnic, etc.

**Modelele probabilistice** considera incertitudinile privind evaluarea unei variabile ca fiind integral de natura aleatoare, adica probabilistica.

In consecinta, familia valorilor probabile ale variabilei  $X$  este descrisa folosind urmatoarele concepte de baza din teoria probabilitatilor si statistica matematica:

- densitatea de repartitie  $f_x(x)$  si functia de repartitie  $F_x(x)$ ;
- media aritmetica  $m_x$ ;
- abaterea standard  $S_x$  si coeficientul de variatie  $V_x$ ;

Aceste concepte matematice au evident si semnificatii ingineresti pe care pentru coerenta si mai usoara intelegere a textului le-am descris mai sus, in § 2.1.2.1.

Am aratat in § 2.1.2.2. ca fractila unei variabile aleatoare este o marime sintetica, care condenseaza principalele proprietatii statistice ale variabilei respective. In general, valorile fractilelor adoptate in standarde si proiectarea inginereasca se aleg in favoarea sigurantei astfel:

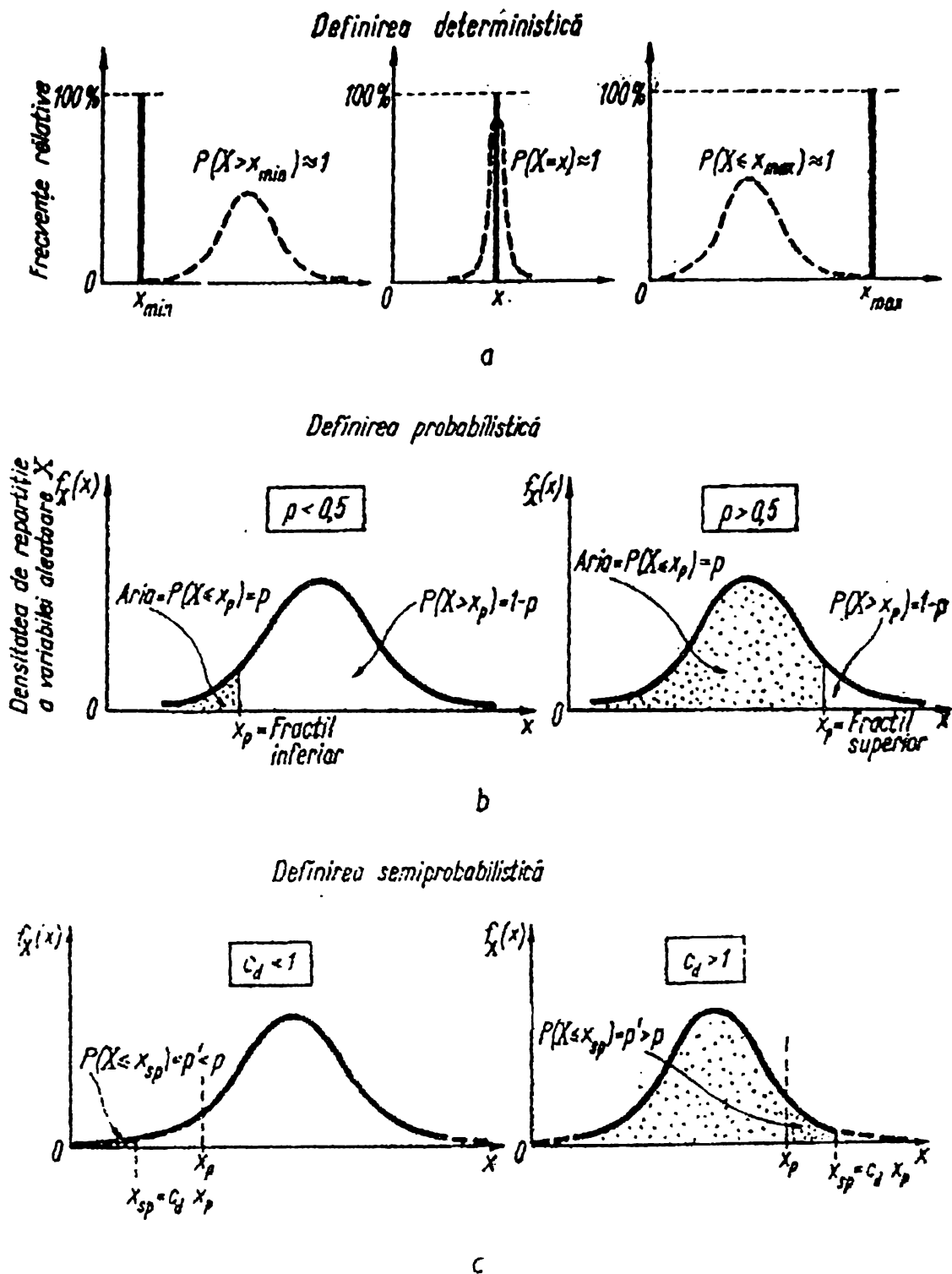


FIG. 2.12. Interpretarea probabilistica a modelelor ingineresti de definire a incertitudinilor

- pentru **rezistente mecanice** sau marimi de care depind rezistentele materialelor, sectiunilor si elementelor structurale cu probabilitati mici de a exista valori reduse ale rezistentelor  $p < 0,5$ , respectiv  $p = 0,01 \dots \dots 0,20$  (adica cu probabilitati intre 1% si 20%);
- pentru **incarcari** sau marimi care carcterizeaza efectele actiunilor mediului asupra constructiilor cu probabilitati mici de a aparea in decursul existentei



construcției valori mari ale încărcărilor  $1-p < 0,5$  respectiv  $1-p = 0,01 \dots 0,50$  (adică cu probabilități între 50% și 99%);.

Ținând seama de valorile lui  $p$ , fractilii rezistențelor mecanice sau marimile de care depind rezistențele mecanice ale materialului, secțiunilor, elementelor structurale și structurilor sunt denumiți *fractili inferiori* ( $p < 0,5$ ), iar fractilii încărcărilor sau marimile care caracterizează efectele structurale ale acțiunilor sunt denumiți *fractili superiori* ( $p > 0,5$ ).

În concluzie, conform modelării probabilistice, valoarea unei variabile aleatoare poate fi oricare pe domeniul sau de definiție dar unei anumite valori probabile  $x_p$  i se pot indica explicit probabilitățile  $p$  și respectiv  $1-p$  de a exista valori ale variabilei mai mici, respectiv mai mari.

**Modelele semiprobabilistice** consideră incertitudinile asociate evaluării unei variabile ca fiind de natură mixtă, **partial aleatoare și partial nealeatoare**.

Incetitudinile de natură aleatoare se pot exprima pe baze probabilistice definind sintetic variabila  $X$  printr-un fractil  $x_p$  al repartiției sale statistice, fractil caracterizat prin probabilitatea  $p$  de a exista valori mai mici decât  $x_p$ , adică (vezi relația 2.24)  $P(X \leq x_p) = p$ .

Incetitudinile de natură nealeatoare, datorate insuficienței cunoașterii ingineresti asupra esenței fizice a unor fenomene structurale, se pot exprima pe baze deterministice, prin majorarea sau micșorarea valorii fractilului  $x_p$  cu factorii deterministici  $c_d$ .

Valorile acestor factori se aleg în favoarea rezistenței astfel:

- subunitare,  $c_d < 1$ , în cazul fractililor inferiori ( $p < 0,5$ ) ai rezistenței sau marimilor fizice care caracterizează rezistențele materialului, respectiv ale secțiunilor elementelor structurale;

- supraunitare,  $c_d > 1$ , în cazul fractililor superiori ( $p > 0,5$ ) ai încărcărilor sau marimilor care caracterizează efectele structurale ale acțiunilor mediului asupra construcțiilor.

În concluzie, **valoarea semiprobabilistică** a unei variabile, notată  $x_{sp}$ , se definește în funcție de valoarea fractilului  $x_p$ , astfel:

$$x_{sp} = c_d \cdot x_p \quad (2.67)$$

valorile factorului  $c_d$  selectandu-se pe considerente deterministice de intuitie, experienta, traditie, simt tehnic, etc.

In mod practic, in standarde, se definesc intai pe baze probabilistice valorile fractililor  $x_{0,05}$  ai rezistentelor avand probabilitatea 5% de a exista rezistentele mai mici

$$P( X \leq x_{0,05} ) = 0,05 \quad (2.68)$$

Acesti fractili sunt denumiti rezistente caracteristice sau rezistente normate.

Se determina apoi semiprobabilistic rezistentele de calcul prin inmultirea rezistentelor normate (caracteristice)  $x_p$  cu coeficienti subunitari  $c_d$  stabiliti pe baze deterministice. **Conform recomandarilor internationale coeficientul  $c_d$  pentru otel are valoarea  $c_d = 1/1,1$ .**

Similar in standardele de incarcari se definesc principial pe baze probabilistice valorile  $x_{0,95}$  ale incarcarii, avand probabilitatea 95% de a exista intensitati ale incarcarii mai mici respectiv 5% de a exista intensitatii ale incarcarii mai mari,

$$P( X \leq x_{0,95} ) = 0,95 \quad (2.69)$$

Aceste incarcari sunt numite incarcarii normate (caracteristice).

Se determina apoi semiprobabilistic incarcarile de calcul prin inmultirea incarcarii normate  $x_p$  cu coeficienti  $c_d$ , de regula supraunitari, stabiliti pe baze deterministice, denumiti coeficientii incarcarii. In diferite standarde internationale, coeficientii  $c_d$ , au in functie de natura incarcarii valori cuprinse intre 1,1.....1,5.

## **2.2. METODE DE CALCUL A STRUCTURILOR METALICE**

### **2.2.1. Definirea metodelor de calcul**

Componenta a mecanicii solidului, mecanica structurilor contine modelele fizice si matematice pentru studiul starii de echilibru si pentru analiza starii de tensiune si deformatie a structurilor si elementelor structurale.

Proiectarea sau verificarea structurilor necesita calculul tensiunilor si deformatiilor produse de actiunile la care este supusa constructia in exploatare, pe baza carora se evalueaza raspunsul structurii - in regim static si/sau dinamic - si se dimensioneaza elementele structurale pe baza criteriilor de siguranta si comportare normala in exploatare.

Conceptia structurii de rezistenta care sa satisfaca toti parametrii ce intervin in exploatare, este dificila si din punct de vedere practic, imposibila. Din acest motiv se admit o serie de simplificari care se refera la comportarea materialului, la actiuni si la alcatuirea structurii. Structura care rezulta in urma acestor ipoteze simplificatoare constituie **modelul fizic** al structurii reale. Pe acest model fizic se grefeaza **apoi modelul matematic**, care, de regula, poate fi afectat, la randul sau, de o serie de ipoteze simplificatoare vizand definirea matematica a problemei.

Un model fizic al unei structuri, caruia i se ataseaza un model matematic pentru a-i descrie comportarea, formeaza **modelul de calcul al sturcturii**, care este apoi supus analizei pe baza unei **metode de calcul**.

In definirea si denumirea unei metode de calcul apar aspecte esentiale:

- 1) **stadiile fizice** de comportare a sectiunilor si structurii in ansamblu (elastic sau inelastic);
- 2) **conceptia** de exprimare a rezistentelor mecanice de baza ale materialului si a actiunilor (deterministica sau probabilistica);
- 3) **modul** de introducere a coeficientilor de siguranta.

Corespunzator stadiului acceptat pentru comportarea fizica a sectiunilor structurale si a structurii in ansamblu in cadrul modelului fizic se pot defini mai multe metode de analiza, asa cum rezulta din tabelul 2.1.

TABELUL 2.1

Calculul Sectiunilor	ELASTIC	INELASTIC						
Calculul structurii								
ELASTIC	$\sigma \leq \sigma_{adm}$ ➤Metoda rezistentelor admisibile	$M \leq M$ <table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td rowspan="5" style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</td><td>curgere</td></tr> <tr><td>plastic</td></tr> <tr><td>rupere</td></tr> <tr><td>limita</td></tr> <tr><td>ultim</td></tr> </table> ➤Metoda la rupere	}	curgere	plastic	rupere	limita	ultim
}	curgere							
	plastic							
	rupere							
	limita							
	ultim							
INELASTIC	—	➤Metoda la stari limita ultime <table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td rowspan="5" style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</td><td>curgere</td></tr> <tr><td>plastic</td></tr> <tr><td>rupere</td></tr> <tr><td>limita</td></tr> <tr><td>ultim</td></tr> </table> ➤Calcul plastic	}	curgere	plastic	rupere	limita	ultim
}	curgere							
	plastic							
	rupere							
	limita							
	ultim							

Daca metodele de analiza folosesc in definirea rezistentelor si actiunilor unele criterii probabilistice, acestea primesc suplimentar si atributul de a fi probabilistice sau, dupa caz, semiprobabilistice. In caz contrar, respectiv daca rezistentele si actiunile sunt definite pe principii deterministice ele primesc atributul de a fi deterministice.

Cumuland primele doua aspecte esentiale mai sus mentionate, se obtin urmatoarele metode de calcul a structurilor metalice, care se regasesc in actuala generatie de standarde:

- a) metoda deterministica a rezistentelor admisibile;
- b) metoda semiprobabilistica a rezistentelor admisibile;
- c) calculul plastic deterministic;
- d) metoda semiprobabilistica la stari limita.

In cea ce priveste cel de al treilea aspect mentionat, coeficientii de siguranta se pot introduce:

a) numai la rezistente, sub forma de coeficient subunitar;

b) numai la actiuni, sub forma de coeficient supraunitar;

c) atat la rezistente cat si la actiuni, sub forma coeficientilor partiali.

In toate situatiile valorile coeficientilor de siguranta difera in functie de:

☞ natura materialului structural si tipul rezistentei unitare sau sectionale careia i se aplica .

☞ tipul incarcarii sau compozitia gruparii de incarcari in care se folosesc.

In prezent, in fapt majoritatea metodelor de calcul utilizeaza coeficientii de siguranta aplicati partial, atat la incarcari cat si la rezistente.

## 2.2.2. Metodele de calcul deterministice.

### 2.2.2.1. Metoda rezistentelor admisibile - MRA

In preajma secolului al XX-lea, cand au aparut si constructiile din beton armat au aparut dificultati in stabilirea limitei de siguranta (vezi § 2.1.1.), deoarece rezistentele betonului, contrar otelului, puteau sa varieze in limite foarte largi.

S-a admis atunci ca siguranta constructiei este asigurata daca tensiunea calculata  $\sigma_{ef}$  nu depaseste o anumita fractiune din rezistenta  $R$  a materialului:

$$\sigma_{ef} \leq R/c \quad (2.70)$$

A aparut astfel metoda "rezistentelor admisibile" utilizata in toate reglementarile de calcul pana la o data relativ recenta, la noi in tara fiind utilizata chiar si in prezent.

Conform metodei, atat structura cat si sectiunile elementelor sale structurale se comporta elastic.

Standardele indica limita de curgere minima a otelurilor livrate, determinata si garantata de uzinele producatoare. Probabilitatea unor rezistente de curgere sub limita minima specificata in standarde, nu este cunoscuta. Altfel spus, limita de curgere minima a otelurilor nu este definita in termeni de probabilitate si aceasta explica atributul deterministic aplicat metodei.

Rezistenta admisibila  $\sigma_a$  se determina cu relatia:

$$\sigma_a = R/c \quad (2.70a)$$



Coeficientul  $c = R/\sigma_a$  este numit coeficientul de siguranta, iar valoarea lui este determinata in mod forfetar. Initial coeficientul de siguranta avea valori cuprinse intre 3 si 4, ulterior valori mai reduse, in sensul cresterii rezistentelor admisibile, iar in prezent, conform [2.24], coeficientul unic de siguranta are valorile:

$c = 1,50$  pentru gruparea I-a;

$c = 1,35$  pentru gruparea a II-a;

$c = 1,20$  pentru gruparea a III-a.

#### **2.2.2.2. Analiza critica a metodei rezistentelor admisibile**

Critici aprofundate si viguroase au fost facute plecand de la chiar notiunea de securitate insasi. Inca din 1936, Marcel PROT a criticat conceptul coeficientului de siguranta intr-un articol publicat in 'Analele de poduri si sosele'. In acelasi an profesorul WIERBICZI, intr-un memoriu la Academia de stiinte a Poloniei, afirma ca 'siguranta constructiilor este o problema de probabilitate'.

In fapt, in formulele de tipul:

$$\sigma_G + \sigma_q \leq R/c,$$

se constata usor ca sarcinile utile care provoaca tensiunile  $\sigma_q$  provin din evaluari forfetare, in timp ce valoarea lor cea mai periculoasa nu este cunoscuta de o maniera certa, iar in acelasi timp incarcările permanente reale care produc tensiunile  $\sigma_G$ , nu sunt egale cu cele din proiect, din cauza incertitudinilor asupra dimensiunilor si densitatii. Chiar si rezistenta materialului nu este cunoscuta cu precizie, ea variind cu o mai mare sau mai mica dispersie in jurul unei valori medii.

Actiunile si rezistentele sunt asadar variabile aleatoare si in nici un caz nu se poate considera ca valorile utilizate in calcule sunt valori 'maximale' sau 'minimale'. Pe langa variatiile posibile ale actiunilor si rezistentelor exista alte incertitudini provenind din diferente intre schema de calcul intotdeauna simplificata si structura reala, aproximările prin ipotezele de calcul cat si aspecte care nu sunt cuprinse in calcule. Coeficientul de siguranta 'c' trebuie sa acopere toate aceste incertitudini insa el nu permite in nici un caz aprecierea sigurantei reale, chiar de o maniera aproximativa pentru ca el provine dintr-o decizie arbitrara forfetara. Limitele de securitate care rezulta astfel pot fi foarte diferite la structuri similare sau chiar intre elementele aceleiasi structuri.

Aceste idei au fost avansate pentru prima data la Congresul de la Liège al Asociației Internationale de Poduri și Sarpante, în 1948, în special de către Marcel Prot și Robert Levi și dezvoltate ulterior de mulți alți cercetători [2.8], [2.18], [2.20], dând naștere unui nou concept de siguranță care s-a numit '**probabilism**'.

Astfel s-a aratat că este iluzoriu să se vizeze o securitate absolută și că problema de siguranță constă în limitarea probabilității de ruină la o valoare acceptabilă, ținând cont de caracterul aleator al tuturor elementelor care intervin în calcul. În fapt este vorba despre maniera de definire a fenomenelor care se vor evita, de estimarea riscului care se poate accepta și de prezentarea justificărilor necesare în calcul.

### **2.2.3. Noile principii de siguranță pe baze probabilistice**

#### **2.2.3.1. Aspecte generale ale formulării siguranței structurale a podurilor metalice în concepție probabilistică**

Realizarea unor construcții cât mai sigure reprezintă una din principalele cerințe impuse inginerului constructor.

Siguranța structurală reprezintă una din principalele exigente de performanță ale construcțiilor de orice tip și cu orice destinație. Ideea de a realiza construcții "sigure" este veche de mii de ani. Conceptul de "siguranță structurală" a fost fundamentat însă științific abia în cea de a doua jumătate a secolului nostru prin utilizarea metodelor stochastice și a abordărilor probabilistice [2.3], [2.12].

Dezvoltările teoretice, creșterea volumului de date statistice și posibilitățile oferite de tehnica modernă de calcul automat au creat în ultimele decenii condiții pentru un progres accelerat și semnificativ în domeniul evaluării siguranței structurale, al analizelor de siguranță pe modele stochastice și implicit în perfecționarea calculului structurilor.

Deși metodele generale de abordare [2.1], [2.7], [2.10], [2.15], se pot aplica oricărei construcții, **podurile metalice posedă caracteristici de alcatuire și exploatare ce le diferențiază net de alte tipuri de structuri prin:**

- diversitatea de alcatuire statică;
- mărimea deschiderilor și a unor dimensiuni

structurale importante;

- incarcari utile mari, cu caracter mobil, dinamic si repetat;

particularitati la care se adauga de obicei si conditii de exploatare grele si de foarte multe ori de o intretinere neadecvata, ce le defavorizeaza in raport cu structurile metalice cu alta destinatie.

In acest context, desi realizările in constructia de poduri in tara noastra sunt considerabile se impune materializarea si mai ales finalizarea unor preocupari noi, care in conformitate cu progresele aduse de metodele probabilistice aplicate conceptului de siguranta sa actualizeze domeniul, in conformitate cu ansamblul de date de care se dispune si printr-o analiza adecvata sa formuleze concluziile necesare perfectionarii metodelor de calcul si a prevederilor normative in consens cu schimbarile aparute in gandirea inginereasca in ultimii ani, in domeniul sigurantei structurilor si cu tendintele si realizariile in modificarea normelor de proiectare si verificare a podurilor metalice care se manifesta in prezent pe plan international si cu precadere in tarile Uniunii Europene. Anumite contributii in acest sens se gasesc si in lucrarea de fata.

Obiectivul principal al calculului elementelor de rezistenta al oricarei structuri de pod -indiferent de metoda de calcul- este de a realiza in orice sectiune **rezistente sectionale "R"** (rezistenta, portanta), cel putin egale cu **efectul incarcarilor sau actiunilor "S"** (solicitare) in sectiunea respectiva:

$$R \geq S \quad (2.71)$$

In conceptie probabilistica, rezistenta "R" si efectul sectional al actiunilor "S" sunt variabile aleatoare depinzand de mai multi parametri aleatori, in principal inasa, de :

- **rezistenta materialelor** ce alcatuiesc sectiunea elementului
- **incarcari** (actiuni).

Metodele de calcul probabilistice permit determinarea densitatii de probabilitate si a indicatorilor statistici de baza ai unei functii aleatoare multivariate, daca fiecare variabila aleatoare este caracterizata statistic prin densitatea de probabilitate si indicatorii statistici de localizare si imprastiere.

Studiile de siguranta folosesc ca indicatori pentru

evaluarea nivelului de asigurare, probabilitatea comportarii favorabile (neatingerea unei stari limita)  $P_s$ , teoretic foarte apropiata de 1,00 sau probabilitatea de atingere a aceleiasi stari limita,  $P_f$ , (teoretic foarte mica, in vecinatatea lui zero), suma acestor doua probabilitati fiind evident egala cu unitatea.

In ipoteza ca, variabilele aleatoare de baza "R" si "S" sunt necorelate (ipoteza acceptata curent) conform teoriei generale a probabilitatilor, rezulta:

$$P_f = \sum [P(S > r) \cdot P(r \leq R < r + dr)] = \sum [P(s < S \leq s + ds) \cdot P(R \geq r)] \quad (2.72)$$

In conformitate cu semnificatia si definitia functiei de repartitie  $F_x$  si a densitatii de probabilitate  $f_x$  a unei variabile aleatoare "X" se poate defini probabilitatea  $P_f$  sub forma integralelor de convolutie [2.6], [2.10], etc:

$$P_f = \int_0^{\infty} 1 - F_s(r) \cdot f_R(r) dr = \int_0^{\infty} f_s(s) \cdot F_R(s) ds \quad (2.73)$$

Siguranta structurala exprimata prin probabilitatile  $P_f$  sau  $P_s$ , depinde intrinsec de coeficientul central de siguranta  $C_0$ , definit ca raportul dintre media capacitatii portante  $m_R$  si media efectului sectional al actiunilor  $m_S$  :

$$C_0 = \frac{m_R}{m_S} \quad (2.74)$$

Probabilitatea  $P_f$  de atingere a unei stari limita este puternic influentata de variabilitatea aleatoare a rezistentelor si a sollicitarilor, crescand de cca. (100...10000)ori, atunci cand coeficientii de variatie ai capacitatii portante  $v_R$  si ai sollicitarilor  $v_S$  se dubleaza. Pentru stapanirea corecta a valorii sau cel putin a domeniului in care variaza probabilitatea  $P_f$ , se impune deci cunoasterea deplina a coeficientilor de variatie ai incarcarilor si ai rezistentelor. Pe de alta parte, probabilitatea  $P_f$  este influentata si de tipul de repartitie presupus sau cunoscut pentru a caracteriza variabilele "R" si "S". Asa cum rezulta din [2.9], in urma analizei numerice a interdependentei  $P_f - v_R, v_S$ , respectiv  $P_f - C_0$ , pentru diferite combinatii de legi de repartitie R/S, influenta tipului de repartitie adoptat este semnificativa, mai ales in cazul coeficientilor centrali de siguranta mari (cu valori peste 2,5).

In prezent se folosesc modele probabilistice mai simple, care permit ca functie de  $P_f$  si de coeficientul central de siguranta  $C_0$  sa se coreleze coeficientii de majorare ai incarcarilor cu coeficientii de reducere ai rezistentelor si prin aceasta "calibrare" sa se imbunatateasca prevederile normativelor de calcul construite



pe modele "semiprobabilistice".

Aceste modele sunt cunoscute sub denumirea "momente de ordinul doi" intrucat pentru exploatarea lor este necesara numai cunoasterea mediilor si abaterilor standard ale rezistentelor si actiunilor.

Intrucat la starea limita ultima se compara rezistenta  $R$  cu solicitarea  $S$ , ecuatiile generale de siguranta cuprind doar doua variabile aleatoare de baza:

$$g(R,S)=0 \qquad (2.75)$$

Domeniul comportarii sigure corespunde situatiilor care confera functiei  $g$  valori strict pozitive, cedarea sau depasirea starii limita considerata fiind caracterizata de valori negative ale functiei  $g$ .

### **2.3.3.2. Metoda semiprobabilistica la stari limita**

In prezent Comunitatea Economica europeana (UE) deruleaza o procedura a carei scop final este unificarea reglementarilor tehnice in domeniul constructiilor in tarile Uniunii Europene si eliminarea pe aceasta cale a tuturor barierelor in libera circulatie a produselor de constructii. Aceasta procedura de ordin politic si tehnic se finalizeaza cu elaborarea si utilizarea unor norme comune, cunoscute generic sub denumirea EUROCODES, specializate dupa natura materialului de constructie utilizat (otel-EC3, beton-EC2, structuri compuse otel-beton EC4, lemn-EC5, s.a.m.d.). Coordonarea acestei proceduri a fost incredintata initial unei Comisii a Comunitatii Europene (CEC - Commission of the European Communities) si apoi din anul 1990 responsabilitatile au fost transferate unei Comisii Europene pentru normalizare (CEN - Commission of the European normalization) care si-a creat un Comitet Tehnic, compus din reprezentanti ai tuturor tarilor membre ale UE, (CEN Technical Committee CEN TC/250) responsabil cu elaborarea finala a tuturor Eurocodes.

Aceste reglementari unificate, fiecare continand mai multe parti -principii generale si reguli pentru cladiri, poduri, turnuri, rezervoare, platforme marine, protectia la foc, etc) si unele aparute deja, se bazeaza pe principiile si metodele de calcul adoptate de asociatiile tehnice internationale armonizand cercetarile si observatiile facute in domeniu in tarile membre.



Toate aceste norme au la baza conceptul de siguranta probabilistic si utilizeaza ca metoda de calcul, metoda la stari limita.

**Metoda de calcul la stari limita** a fost introdusa in normele sovietice din 1955, preluata de Comitetul European de Beton (CEB) si definitivata pentru calculul structurilor din beton armat si beton precomprimat, in 1970 impreuna cu Federatia Internationala de Precomprimare (FIP) iar ulterior consemnata ca Principii generale pentru verificarea sigurantei structurilor de catre Organizatia Internationala de Standardizare (ISO) in standardul ISO - 2394 din 1973. Principiile, elaborate initial de CEB - FIP numai pentru structurrile din beton armat au un continut care poate si a fost extins si la calculul structurilor din alte materiale (lemn, otel si aluminiu, compozite, zidarie, etc).

In fapt este vorba de o metoda "semi-probabilistica", adica in care o parte dintre incertitudini se exprima pe baze probanbilistice iar alta parte dintre incertitudini este acoperita prin coeficienti forfetari (in aceste norme notati cu  $\gamma$ ) considerandu-ses in calcul un numar corespunzator de situatii de proiectare caracteristice si semnificative, denumite "stari limita" [2.5], [2.13], [2.19].

Conform metodologiei CEB - FIP - ISO, numai rezistentele materialului si actiunile sunt definite semiprobabilistic. Capacitatea portanta sectionala (rezistenta sectiunii) si respectiv efectele sectionale ale actiunilor (solicitarile din sectiune) sunt definite semiprobabilistic indirect ca marimi rezultate din calculele Rezistentei materialelor si respectiv ale Staticii, Stabilitatii sau Dinamicii constructiilor, utilizand valorile semiprobabilistic definite ale rezistentelor materialului, respectiv ale incarcarilor (actiunilor). Determinarea lor se face in conformitate cu modelul de calcul in care se accepta o comportare a otelului ideal-elastica (curba caracteristica de tip Prandtl), calculul solicitarilor rezultand dintr-o analiza a structurii in domeniul elastic.

Valorile semiprobabilistic definite ale rezistentelor materialului reprezinta valori sensibil mai mici decat valorile cele mai frecvente (medii) ale rezistentelor iar valorile semiprobabilistic definite ale incarcarilor reprezinta valori sensibil mai mari decat valorile cele mai frecvente ale incarcarilor.

Astfel noile norme EUROCODES [2.23], utilizeaza conceptul de calcul probabilistic la evaluarea rezistentelor caracteristice (normate) ale otelului, determinand limita de

curgere a otelului -notata cu  $f_y$ - cu probabilitatea de 5% de a exista in structuri rezistente inferioare valorilor  $f_y$  propuse in norme.

Conform aceleiasi metode, actiunile sunt date prin norme, valorile lor reprezentand fractilele superioare ale valorilor extreme, determinate cu probabilitatea de 5% de a exista valori mai mari decat acestea. Desi sunt numite "normate" nu in toate cazurile incarcările sunt determinate pe criterii probabilistice (nefiind fixate valorile medii, coeficientii de variatie sau nivelele de probabilitate pentru definirea valorilor normate), de exemplu: incarcările utile produse de convoaie sunt fixate exclusiv pe criterii deterministice, convoiul de calcul reprezentand o situatie fictiva de incarcare, care inasa acopera situatiile reale produse de convoaiele aflate in circulatie.

In aprecierea sigurantei apar inasa multe incertitudini avand origine sau continut "neprobabilizabil" conform conceptelor clasice bazate pe simpla observatie a frecventelor. Experienta a aratat ca pot apare situatii extreme provenind din erori de conceptie ingineriasca (consecinta necunoasterii suficiente a modului de comportare a structurii) sau generate de neglijenta in executie sau de o exploatare defectuoasa. Avarierea grava a unor structuri in exploatare a scos in evidenta [2.21] posibilitatea depasirii incarcărilor luate in calcul, cauzate de supraincărări neprevazute (vezi accidentul de la Eschede) sau prin atingerea probabilitatii (de altfel reduse) ca mai multe incărări sa actioneze simultan cu valori maxime, depasind uneori chiar si combinatiile de incarcare cele mai defavorabile stipulate in norme.

Toate aceste incertitudini sunt acoperite din punct de vedere al sigurantei prin prevederea unor coeficienti - notati  $\gamma_m$  - de reducere a rezistentei normate a materialului care devine astfel *rezistenta de calcul* si a unor coeficienti - notati  $\gamma_s$  - de majorare a incarcărilor normate care devin astfel *incărări de calcul*.

Acesti coeficienti -  $\gamma_m$  si  $\gamma_s$  - au caracter conventional, deterministic, ei fiind fixati prin aprecieri ingineresti. Pe acest considerent, metoda de calcul la stari limita este denumita "semiprobabilistica" pentru ca utilizeaza numai partial modelul probabilistic.

Definirea valorii rezistentelor si incarcărilor prin procedura mixta deterministica-probabilistica, denumita curent semiprobabilistica, este rezultatul recunoasterii atat a incertitudinilor de natura deterministica datorate nivelului cunoasterii ingineresti la la un moment dat

(istoric vorbind stadiul actual al cunoasterii) cat si a incertitudinilor de natura probabilistica datorate caracterului aleator al naturii fizice a rezistentelor si respectiv, actiunilor in structurile metalice fie ele vechi sau noi.

Aplicarea acestei metode la calculul podurilor metalice vechi va fi analizata si exemplificata detaliat, cu referire la determinarea rezistentelor normate ale otelului din tablierele vechi, in capitolul 3.

## **2.3. FORMULAREA NOULUI CONCEPT DE SIGURANTA PROBABILISTIC PENTRU VERIFICAREA PODURILOR METALICE EXISTENTE**

### **2.3.1. Generalitati**

Pachetul de norme EUROCODES, promulgate pentru proiectarea structurilor nou realizate, utilizeaza, asa cum am aratat in paragraful 1.4.2, conceptul de siguranta semiprobabilist pe care l-am prezentat anterior.

In conformitate cu prevederile documentelor Uniunii Internationale a Cailor Ferate (UIC), [2.22], verificarea capacitatii portante a podurilor metalice existente, aflate un anumit timp in exploatare, se poate face dupa aceleasi principii ca cele utilizate la proiectarea podurilor noi, evident cu particularizarile necesare care sa tina seama de caracteristicile materialului metalic si de transformarile survenite in perioada de exploatare.

In acest sens in lucrarea de fata se aduc contributii la prezentarea si implementarea principiului de siguranta probabilistic in cazul verificarii capacitatii portante a tablierelor existente, cu referire in special la valorile numerice posibil sa fie utilizate in calcule.

Conceptul de siguranta probabilistic distinge patru categorii de marimi care intervin in analiza sigurantei unei structuri:

- Actiunile exterioare (incarcările de toate tipurile, actiunile climatice -vant, temperatura, zapada-, forta de pretensionare, etc);
- Conceptia constructiva si calculul static (influenta modelului de calcul ales);
- Rezistenta materialului;
- Executia si intretinerea in perioada de exploatare (influenta imperfectiunilor si a degradarilor).

Siguranta constructiei va fi influentata de:

- 1) erori grave care pot fi evitate numai printr-o buna organizare a productiei si si intretinerii precum si prin controale si inspectii tehnice amanuntite;
- 2) erori sistematice, repartizate stochastic, a caror influenta poate fi prinsa prin calcule probabilistice.

Actiunile date prin norme reprezinta in fapt incarcările de exploatare si ele sunt fractilele superioare ale valorilor extreme (asa cunoscutele valori caracteristice). Majoritatea incarcărilor care apar in

practica au însă intensitățile sub valorile prescrise în norme. În figura 2.13.a se arată, după [2.17], densitatea de repartiție  $f_L$  a tuturor acțiunilor, respectiv a celor cu valori extreme, în cazul unui pod de cale ferată, pe o perioadă determinată, de exemplu un an de zile.

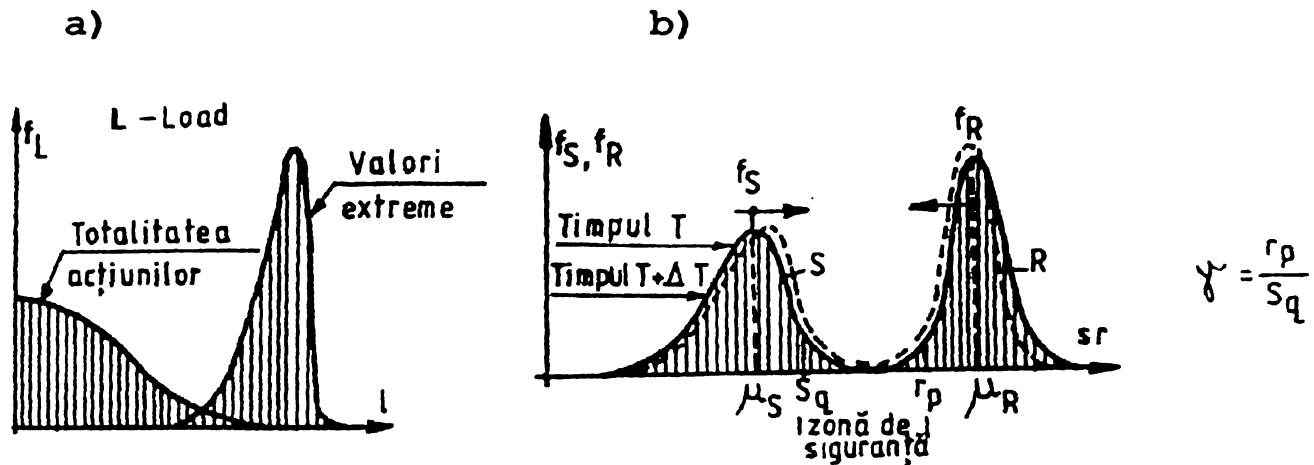


FIG. 2.13. Conceptul de siguranță

Pentru verificarea capacității portante sectionale se utilizează doar valorile extreme ale acțiunilor. Valorile totalității acțiunilor interesează doar la calculul la oboseală și prezintă importanță în alcătuirea combinațiilor de acțiuni (încărcări). Apariția concomitentă ale unor valori extreme ale mai multor acțiuni (greutate proprie, încărcări utile, vânt, temperatura, zăpadă, etc.) este puțin probabilă și în consecință se stabilesc reguli de combinare utilizând coeficienți de grupare a acțiunilor.

Acțiunile produc în structura **solicitari** (denumite și eforturi sectionale) notate cu **S** (Stress), a caror mărime depinde atât de caracteristicile geometrice și mecanice ale structurii (deschidere, moduli de rigiditate, s.a.m.d.), de obicei prinse în calcul, cât și de imperfecțiunile acesteia (excentricități, neplaneități, s.a.m.d.) de cele mai multe ori ignorate în calcul.

Efectul solicitărilor se manifestă la nivelul elementelor sau al secțiunilor transversale ale acestora prin apariția unei stări de tensiuni (eforturi unitare) care caracterizează **rezistența** și care depinde atât de caracteristicile geometrice și de cele mecanice ale secțiunii transversale (arie, modul de rezistență, limita de curgere, etc.) de obicei prinse în calcul cât și de imperfecțiuni (tensiuni remanente, variații ale limitei de curgere, etc.) de cele mai multe ori neimplicate explicit în procesul de verificare.



Cele doua marimi constituie repartitii probabilistice, asa cum se arata in figura 2.13b, unde:  $f_S$  reprezinta densitatea de repartitie a valorilor extreme ale solicitarilor (de exemplu eforturile sectionale intr-o anumita sectiune a structurii) iar capacitatea portanta a elementului R (Resistance) este data de repartitia  $f_R$ .

Calculul de verificare va asigura, in toate sectiunile structurii, rezistente sectionale cel putin egale cu efectul actiunilor (solicitarilor), adica:

$$S \leq R \quad (2.71a)$$

In aprecierea sigurantei elementului sau structurii distanta dintre valorile mediane  $\mu_S$  si  $\mu_R$  este putin relevanta; siguranta se exprima prin distanta dintre fractilul superior al solicitarii si fractilul inferior al rezistentei. Dupa cum rezulta si intuitiv din figura 2.13b, siguranta este data de suprapunerea celor doua curbe, S si R. Siguranta astfel exprimata, depinde de:

- Probabilitatea de cedare  $P_v$ ;
- Coeficientul central de siguranta  $\beta$ , prin care se ia in considerare suprapunerea celor doua curbe.

Acest lucru presupune cunoasterea exacta a functiilor de repartitie, lucru dificil de realizat in practica datorita unor observatii statistice inca insuficiente.

### 2.3.2. Coeficientul central de siguranta si probabilitatea de cedare

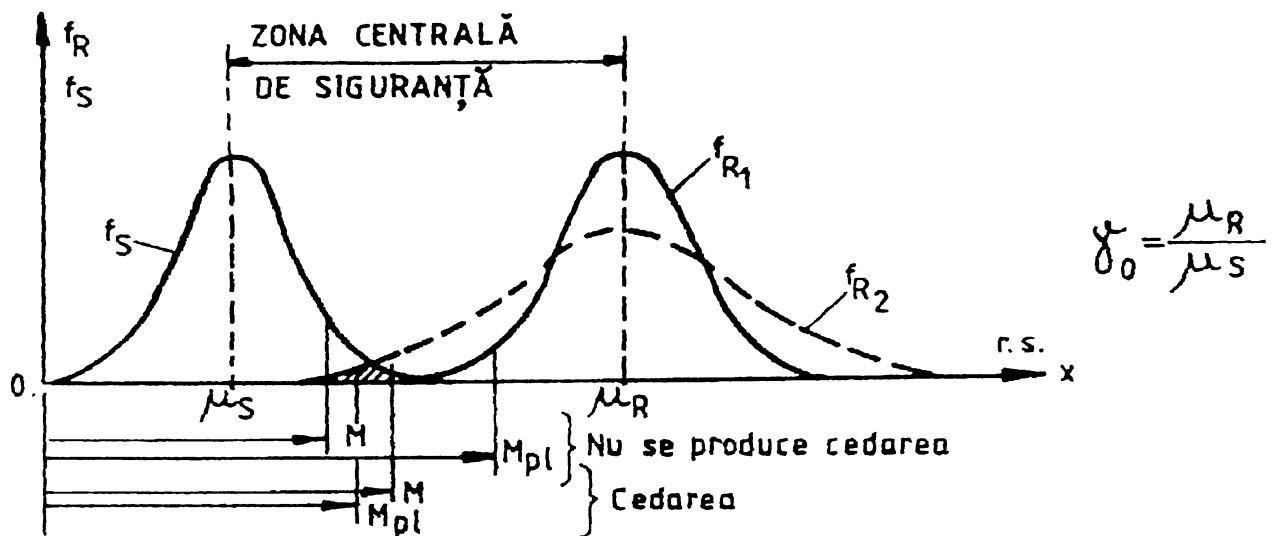
Pentru exprimarea sigurantei se considera variabilele aleatoare independente si continue S si R, descrise de:

- **densitatile de repartitie** (sau uneori functiile de repartitie corespunzatoare)  $f_R(x)$  si  $f_S(x)$ , x fiind valorile variabiliei aleatoare S si R pe axa Ox;
- **indicatorii statistici de localizare** ai variabilelor S si R, reprezentati prin valorile medii,  $\mu_R$ , respectiv  $\mu_S$ , determinate cu relatia 2.10, prin extrapolare pentru un numar foarte mare de observatii, adica  $n \rightarrow \infty$ ;
- **indicatorii statistici de împrastiere** ai variabilelor S si R, reprezentati prin abaterea standard  $\sigma_S$ , respectiv  $\sigma_R$ , determinata cu relatia 2.20, prin extrapolare pentru un numar foarte mare de

observatii, adica  $n \rightarrow \infty$ , si prin coeficientii de variatie  $V_R$ , respectiv  $V_S$ , determinati cu relatia 2.21.

Modelul de calcul probabilistic, aratat in figura 2.14 este reprezentat, dupa [2.15] si [2.17], prin modelul diferenta  $\{R-S\}$ , care se preteaza cel mai bine la legi de distributie normale, introdus de Rjanitin-Cornell, dat de intersectia celor doua curbe de repartitie  $f_R$  si  $f_S$ .

Cedarea unui element se produce atunci cand rezistenta  $R$  este mai redusa decat solicitarea  $S$ .



**FIG.2.14.** Modelul de calcul probabilistic Rjanitin-Cornell

Distanta dintre valorile centrale  $\mu_R$  si  $\mu_S$  ale celor doua repartitii, reprezinta "zona centrala de siguranta" valoarea ei fiind notata cu  $\gamma_0$ , si data de relatia:

$$\gamma_0 = \frac{\mu_R}{\mu_S} \quad (2.76)$$

La aceeasi distanta  $\gamma_0$ , probabilitatea de cedare este influentata in mod esential de curbele de repartitie. Asa cum se observa si din figura 2.14, suprapunerea curbei  $S$  cu  $R$  difera pentru  $f_{R1}$  si  $f_{R2}$ ; pentru a obtine aceeasi probabilitate de cedare in ambele cazuri, distanta  $\gamma_0$  intre valorile medii trebuie marita concomitent cu cresterea dispersiei.

Se subliniaza faptul ca in figura 2.14, aria hasurata reprezinta numai simbolic, nu insa si cantitativ, marimea probabilitatii de pierdere a capacitatii portante (sau altfel spus probabilitatea de cedare)  $P_f$ .

Noul concept de siguranță, unanim acceptat în prezent, se definește însă ca raportul dintre fractilul inferior de 5% al capacității portante, notat  $r_p$ , și fractilul superior de 95% al solicitării, notat  $s_q$ , așa cum se arată în figura 2.15, acest raport fiind numit "zona de siguranță nominală", notat cu  $\gamma$  și dat de relația:

$$\gamma = \frac{r_p}{s_q} \quad (2.77)$$

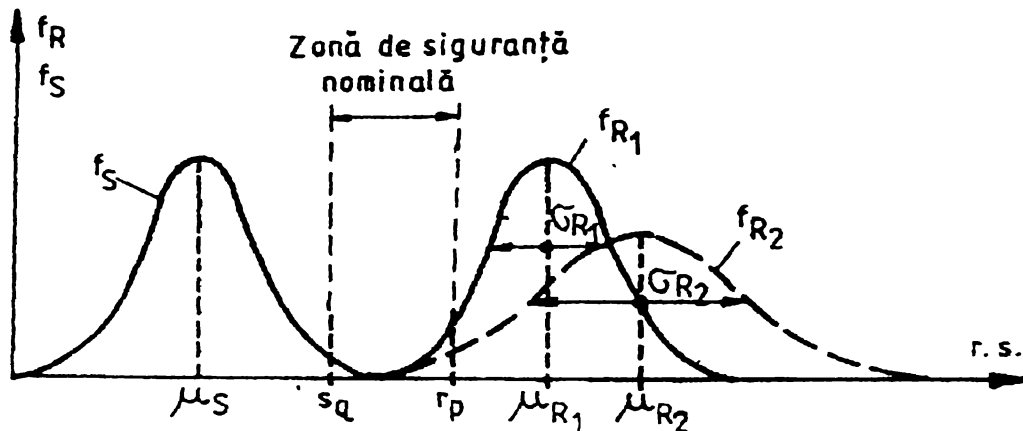


FIG. 2.15. Zona nominală de siguranță și coeficientul nominal de siguranță

Și în acest caz, la aceeași distanță  $\gamma$ , probabilitatea de cedare depinde de mărimea dispersiei, observându-se suprapunerea diferită la curbele  $f_{R1}$  și  $f_{R2}$  cu toate că valoarea fractililor este aceeași. În concluzie și coeficientul de siguranță nominal  $\gamma$ , se stabilește în funcție de dispersie. Problema cea mai dificilă constă în faptul că pentru determinarea probabilității de cedare  $P_v$  este necesară cunoașterea funcțiilor de repartiție în domeniul de suprapunere, dar chiar acolo lipsesc în cele mai multe cazuri datele statistice.

În consecință pentru cuantificarea siguranței, nu este suficientă doar cunoașterea probabilității de cedare și este necesar să se ia în considerare și experiența practică prin introducerea factorului de fiabilitate,  $\beta$ .

### 2.3.2.1. Factorul de fiabilitate $\beta$

În modelul de calcul diferențial, diferența  $Z=R-S$  se numește "zona de siguranță" iar  $Z=0$ , definește starea limită ultimă.

Asa cum se arata in figura 2.16, aceasta zona de siguranta, rezultata din repartitiile  $f_R$  si  $f_S$ , este reprezentata de noua repartitie  $Z$ , definita prin densitatea de repartitie  $f_Z$ , pentru care, pe baza proprietatilor prezentate in paragraful 2.1., rezulta:

- valoarea medie  $\mu_Z = \mu_R - \mu_S$  (2.78)

- abaterea standard  $\sigma_Z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}$  (2.79)

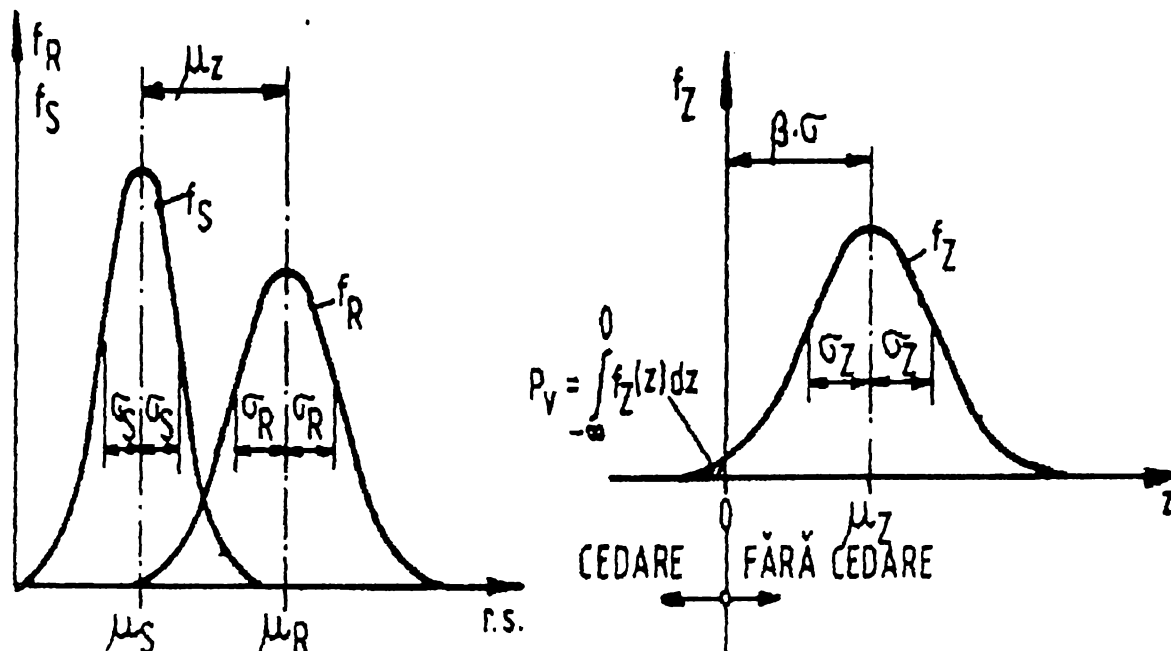


FIG.2.16. Factorul de reliabilitate  $\beta$

Probabilitatea de cedare  $P_v$  (in cazul aparitiei valorilor  $z < 0$ ) poate fi interpretata ca suprafata a domeniului marginit de  $f_z < 0$  si axele de coordonate.

Segmentul

$$\mu_Z = \beta \cdot \sigma_Z \tag{2.80}$$

se interpreteaza ca un fractil (abaterea standard inmultita cu indicele de reliabilitate) a functiei de densitate  $f_Z$ , cu alte cuvinte cu cat valoarea lui  $\beta$  creste, cu atat este mai mare siguranta.

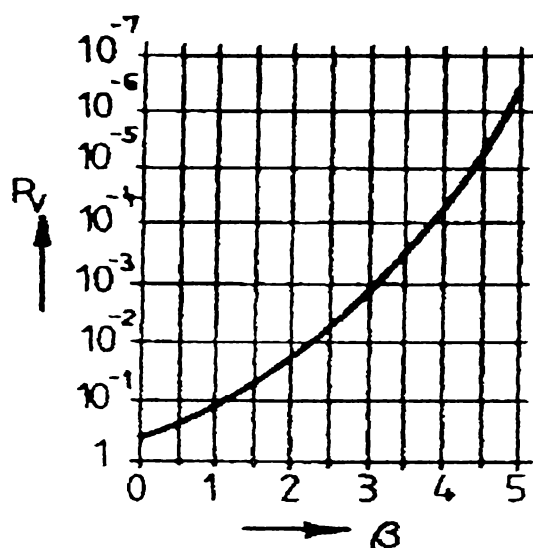
Valoarea lui  $\beta$  se poate determina din relatia (2.80), astfel:

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \tag{2.81}$$

Legatura dintre factorul de reliabilitate si probabilitatea de cedare se prezinta in figura 2.17.

Ramane si aici problema cunoasterii doar parțiale a valorilor in domeniul de suprapunere, care practic se rezolva prin:

- calibrare pe structuri si constructii existente (calculare comparative efectuate pe structuri existente);
- pe baza experientei practice.



$P_v$	$\beta$
$10^{-1}$	1,2815
$5 \cdot 10^{-2}$	1,645
$2,28 \cdot 10^{-2}$	2,000
$10^{-2}$	2,32
$10^{-3}$	3,09
$10^{-4}$	3,72
$10^{-5}$	4,27
$10^{-6}$	4,75
$10^{-7}$	5,20
$10^{-8}$	5,61
$10^{-9}$	6,00
$10^{-10}$	6,35

FIG. 2.17. Corelatia dintre  $P_v$  si  $\beta$

Coeficientul  $\beta$  permite incadrarea structurilor in clase de siguranta, asa cum se arata in tabelul 2.2:

TABELUL 2.2

Coeficientul $\beta$	CLASA de SIGURANTA			1	2	3
	Stari limita ale exploatarii normale	2,5	3,0	3,5		
Stari limita ale capacitatii portante	4,2	4,7	5,2			

### 2.3.2.2. Legatura dintre indicele de reliabilitate $\beta$ si coeficientii partiali de siguranta $\gamma_R$ si $\gamma_S$

In practica actuala metodele de calcul semiprobabilistice nu utilizeaza valorile medii ale rezistentelor materialului, respectiv capacitatii portante sectionale, si ale actiunilor, respectiv efectului lor sectional.

In locul lor se folosesc:



- fie valori caracteristice sau normate reprezentand fractili inferiori ai repartitiei statistice a rezistentelor, respectiv capacitatii portante sectionale si fractili superiori ai repartitiei statistice a actiunilor, respectiv efectului lor sectional;
- fie valori de calcul obtinute prin inmultirea fractililor cu factori deterministici subunitari in cazul rezistentelor (capacitatii portante) si supraunitari in cazul actiunilor (efectului incarcarii).

Intre factorul de reliabilitate  $\beta$  si coeficientii partiali de siguranta  $\gamma$ , exista o legatura intrinseca. Principala cale pentru asezarea pe baze stiintifice a setului de coeficienti partiali de siguranta, incluzand si efectul factorilor partiali de siguranta deterministici care transforma valorile caracteristice in valori de calcul, o constituie calibrarea lor pe modele de calcul probabilistice, in special pe cele de **tipul moment de ordinul doi**, care permit formularea criteriilor de dimensionare si de verificare intr-o forma unitara si sistematizata, adecvata implementarii in calculele cu aplicatie practica. Aceasta legatura, bazata pe modelul de calcul Rjanitin-Cornell (modelul diferenta, acceptat de CEB-FIP-ISO-CECM cu distributii normale pentru S si R) si exemplificata grafic in figura 2.18, se prezinta, particularizand adecvat relatiile (2.26) pentru definirea fractililor unei repartitii, astfel:

$$s_q = \mu_S + k_S \cdot \sigma_S \quad \text{sau} \quad s_q = \mu_S (1 + k_S \cdot V_S) \quad (2.82)$$

$$r_p = \mu_R - k_R \cdot \sigma_R \quad \text{sau} \quad r_p = \mu_R (1 - k_R \cdot V_R) \quad (2.83)$$

iar coeficientul de siguranta  $\gamma$ , va fi dat de:

$$\gamma = \frac{r_p}{s_q} = \frac{\mu_R}{\mu_S} \cdot \frac{1 - k_R \cdot V_R}{1 + k_S \cdot V_S} = \gamma_0 \cdot \frac{1 - k_R \cdot V_R}{1 + k_S \cdot V_S} \quad (2.84)$$

Scriind in continuare coeficientul central de siguranta in raport cu valorile medii ale distributiei sollicitarilor si rezistentelor, se obtine:

$$\gamma_0 = \frac{\mu_R}{\mu_S} = \frac{\mu_S + \mu_Z}{\mu_S} = 1 + \frac{\mu_Z}{\mu_S} = 1 + \frac{\beta \cdot \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}{\mu_S} \quad (2.85)$$

sau punand  $\mu_S = \frac{\mu_R}{\gamma_0}$ , gasim:

$$\gamma_0 = 1 + \beta \cdot \sqrt{\gamma_0^2 \cdot \frac{\sigma_R^2}{\mu_R^2} + \frac{\sigma_S^2}{\mu_S^2}} = 1 + \beta \cdot \sqrt{\gamma_0^2 \cdot V_R^2 + V_S^2} \quad (2.86)$$

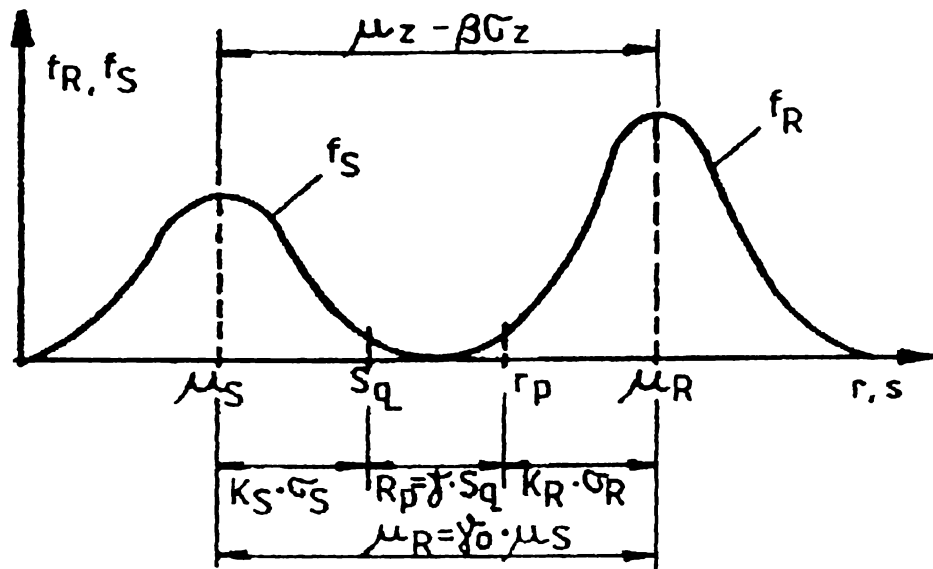


FIG. 2.18. Legatura dintre factorul de reliabilitate  $\beta$  si coeficientul de siguranta  $\gamma$

Rezolvand ecuatia de gradul doi in  $\gamma_0$ , data de relatia (2.86), se obtine legatura intre coeficientul central de siguranta si indicele de reliabilitate  $\beta$  sau probabilitatea de cedare  $P_v$ , data de relatia:

$$\gamma_0 = \frac{1 + \beta \cdot \sqrt{V_R^2 + V_S^2 - \beta^2 \cdot V_R^2 \cdot V_S^2}}{1 - \beta^2 \cdot V_R^2} \quad (2.87)$$

Expresia din relatia (2.87) se poate simplifica considerabil, daca se aplica urmatoarea "liniarizare" a calculelor:

$$\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} = \alpha_R \cdot \sigma_R + \alpha_S \cdot \sigma_S \quad \text{unde: } \alpha_R^2 + \alpha_S^2 = 1 \quad (2.88)$$

dupa care se obtine:

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\alpha_R \sigma_R + \alpha_S \sigma_S} = \frac{1 + \beta \cdot \alpha_S \cdot V_S}{1 - \beta \cdot \alpha_R \cdot V_R} \quad (2.89)$$

Coeficientul de siguranta  $\gamma$ , raportat la fractilii  $r_p$  si  $s_q$ , se poate scrie:

$$\gamma = \gamma_0 \cdot \frac{1 - k_R \cdot V_R}{1 + k_S \cdot V_S} = \frac{1 + \beta \cdot \alpha_S \cdot V_S}{1 + k_S \cdot V_S} \cdot \frac{1 - k_R \cdot V_R}{1 - \beta \cdot \alpha_R \cdot V_R} = \gamma_S \cdot \gamma_R \quad (2.90)$$

Coeficientul de siguranta partial  $\gamma_s$  (sau  $\gamma_f$  sau  $\gamma_F$ ) se refera si se aplica la actiuni (solicitari) iar coeficientul de siguranta partial  $\gamma_R$  (sau  $\gamma_m$  sau  $\gamma_M$ ) se refera si se aplica la material (rezistente, capacitate portanta, etc.).

Verificarea capacitatii portante se poate pune sub forma:

$$\gamma_s \cdot S_q \leq \frac{R_p}{\gamma_R} \quad (2.91)$$

**TABELUL 2.3**

Categoria starilor limita	coeficientii partiali de siguranta			
	tipul actiunilor	efect	$\gamma_R$	$\gamma_s$
ale exploatarii normale (SLS)	toate actiunile	-	1,00	1,00
ale capacitatii portante (ULS)	permanente	incarca	1,10	1,35
		descarca	1,10	1,00
	variabile	incarca	1,10	1,50
		descarca	1,10	1,00
	pretensionarea	incarca	1,10	1,10
		descarca	1,10	0,90

Coeficientul de siguranta partial  $\gamma_s$ , ia in considerare urmatoorii factori:

- Abateri de la valorile caracteristice ale actiunilor;
- Abateri de la regula de combinare a actiunilor;
- Aproximatii introduse la stabilirea modelului fizic de calcul;
- Sensibilitatea sistemului la schimbarea sollicitarilor;
- Dispersia imperfectiunilor structurale.

Coeficientul de siguranta partial  $\gamma_R$ , tine seama de :

- Abateri de la valorile caracteristice ale rezistentelor otelului;
- Defecte locale in material;
- Inexactitati in stabilirea modelului de calcul pentru determinarea rezistentei materialului;
- Dispersia imperfectiunilor sectiunilor transversale (abateri geometrice, tensiuni reziduale, etc).

Avand in vedere legatura, deja mentionata, intre coeficientii de siguranta partiali pentru actiuni si cei pentru rezistente se propune ca stabilirea valorilor de calcul ale actiunilor si combinarea actiunilor in grupari de actiuni sa se faca utilizand regulile prezentate in EC 1 [2.26] si acceptate in EC 3-1 [2.28] si EC 3-2 [2.23].

## **2.4. EVALUAREA PROBABILISTICA A SIGURANTEI TABLIERELOR EXISTENTE**

### **2.4.1. Posibilitati de apreciere probabilistica a sigurantei**

Analiza sigurantei structurilor de rezistenta a podurilor metalice porneste de la analiza elementelor structurale, respectiv de la formularea probabilistica a conditiilor de siguranta ale elementelor, sectiunilor si materialelor structurale.

In cazul general, conditiile de siguranta depind de:

- metoda deterministica adoptata pentru calculul structurii: elastic sau inelastic;
- metoda deterministica adoptata pentru calculul sectiunilor: calcul elastic sau inelastic (plastic);
- modul de exprimare al conditiei de siguranta: in eforturi unitare sau in eforturi sectionale;
- tipul solicitarii: simpla sau compusa;
- numarul actiunilor care produc efecte sectionale;
- caracterul actiunilor si al efectelor lor asupra structurii: static sau dinamic;
- natura actiunilor si a efectelor lor sectionale: aleatoare, stochastica sau determinista.

Pentru cazurile practice de dimensionare si verificare in domeniul de comportare elastic al structurilor, aprecierea sigurantei se poate face fie global prin calcularea probabilitatii de pierdere a capacitatii portante  $P_f$  (sau a probabilitatii de cedare) fie prin determinarea coeficientilor partiali de siguranta, aplicati actiunilor respectiv rezistentelor materialului.

Probabilitatea de cedare se poate determina pentru solicitari simple pe baza modelului plan univariat Streletki, prezentat grafic in figura 2.14, prin intersectia curbelor densitatii de repartitie a capacitatii portante  $f_R(x)$  si respectiv a efectului actiunilor  $f_S(X)$ , sau pe baza modelului spatial bivariat  $\{R;S\}$ , reprezentat in figura 2.19.

In practica inginereasca a analizei sigurantei la solicitari complexe ale elementelor, sectiunilor si materialelor structurale cel mai frecvent se utilizeaza modelele de calcul tip '**moment de ordinul doi**', care definesc functia de siguranta:

$$E = (S_1, S_2, \dots, S_k, \dots; R_1, R_2, \dots, R_k, \dots) = 0 \quad (2.92)$$

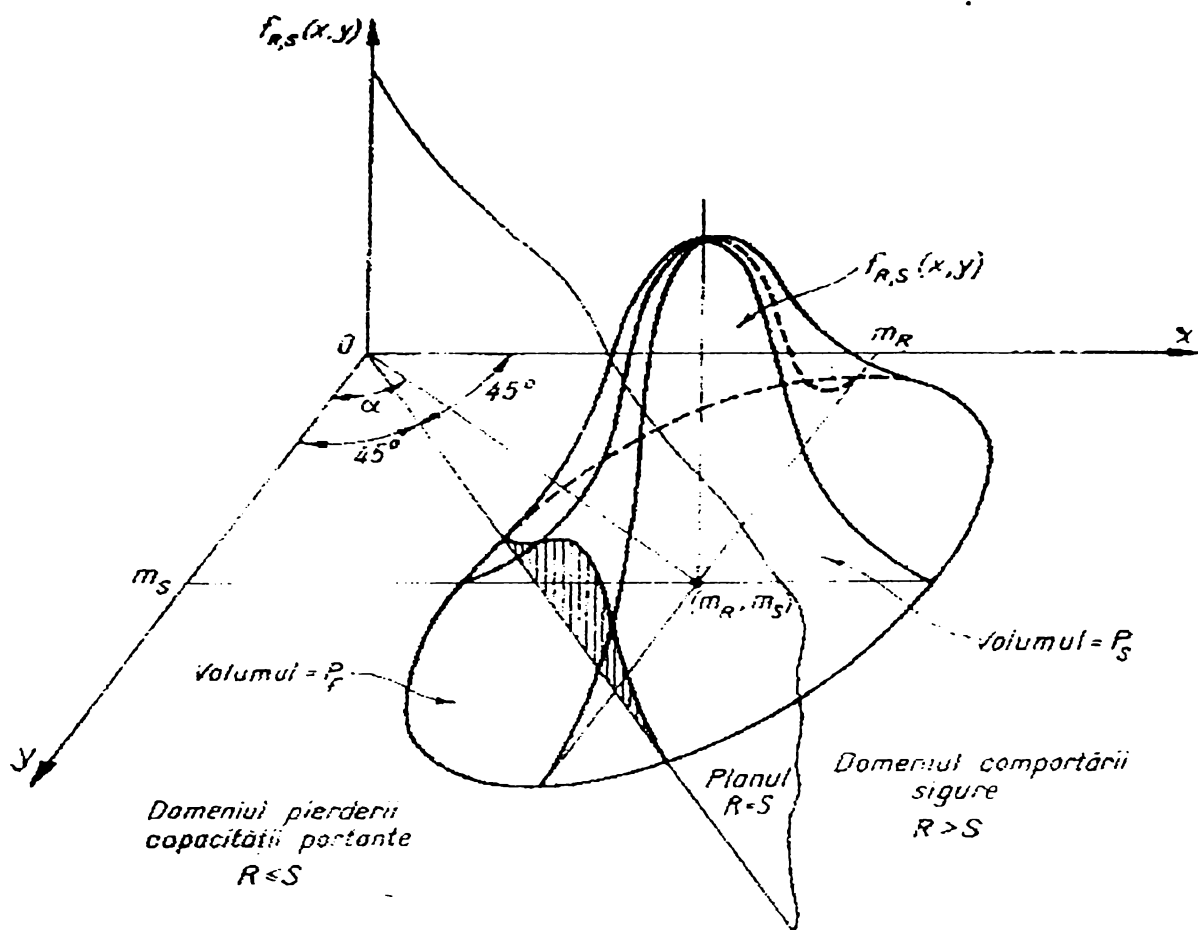


FIG. 2.19 Modelul bivariat pentru analiza siguranței

care exprima granița dintre domeniile comportării sigure  $D_s$  și de pierdere a capacității portante  $D_f$  a unui element, secțiune sau material în cazul unei solicitări oarecare, simplă sau compusă. variabilele  $S_k$  și  $R_k$  pot fi, după caz, eforturi unitare sau eforturi sectionale.

Forma (2.92) a funcției de siguranță conține însă de obicei variabile care nu sunt independente între ele, întrucât între efectele de diferite naturi ale aceluiași încărcări sau între capacitățile portante de diferite tipuri ale aceluiași material există diferite relații funcționale și ca urmare este necesară o formă transformată a funcției (2.92) în care să fie explicitate numai variabilele aleatoare independente ale problemei, rezultând expresia:

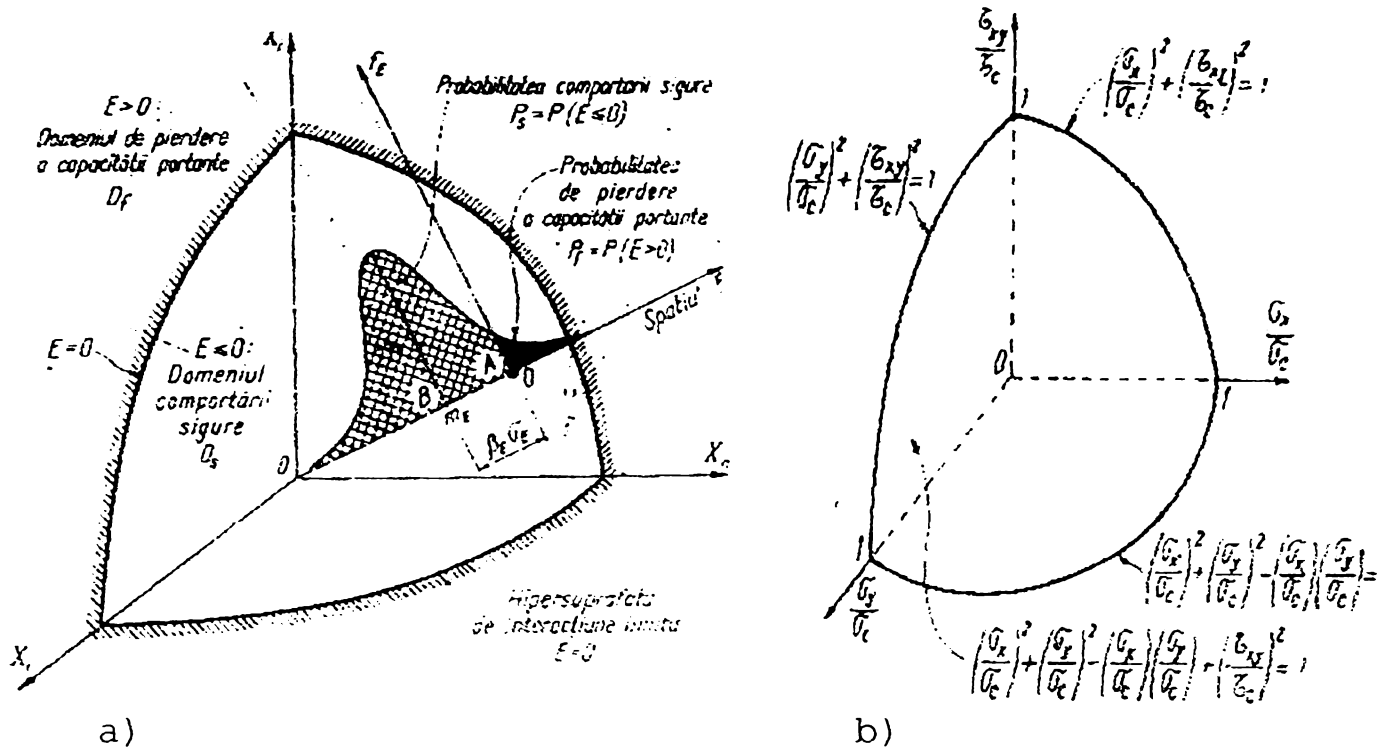
$$E(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0 \quad (2.92a)$$

pentru care, așa cum rezulta și din reprezentarea grafică din figura 2.20a, se definește factorul de fiabilitate  $E$  și probabilitatea de cedare  $P_f = P_f(E)$ , care pentru repartiția



normala, facand substitutia  $z = \frac{E - m_E}{\sigma_E}$ , se poate calcula dupa [2.15], cu relatia:

$$P_f = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{z=\beta_E}^{\infty} e^{-z^2/2} \cdot dz \quad (2.93)$$



**FIG. 2.20. Functii de siguranta:**

- a) Modelul general moment de ordinul doi pentru analiza sigurantei la solicitari compuse;  
 b) Functia de siguranta pentru conditia de plasticitate Huber-Mises-Hencky

In mod uzual la aprecierea sigurantei, valorile acceptate ale probabilitatii de cedare  $P_f$ , dupa [2.15] se aleg functie de importanta constructiei sau a elementului in structura, in limitele:

- $P_f = 10^{-8} \div 10^{-10}$ , pentru constructii de importanta exceptionala;  
 $P_f = 10^{-6} \div 10^{-8}$ , pentru constructii de importanta deosebita (conform Regulamentului pentru stabilirea categoriei de importanta a constructiilor podurile se incadreaza in categoria importanta deosebita = B);  
 $P_f = 10^{-5} \div 10^{-6}$ , pentru constructii de importanta medie;  
 $P_f = 10^{-3} \div 10^{-4}$ , pentru constructii de importanta secundara;  
 $P_f = 10^{-2} \div 10^{-3}$ , pentru constructii neimportante.

## 2.4.2. Influența acțiunilor asupra siguranței structurale

Siguranța unei structuri apare ca rezultat al interacțiunii probabilistice dintre solicitări (acțiuni) și rezistențele materialului (capacitatea portantă). Această interacțiune presupune ca și acțiunile să fie definite în termeni de probabilitate, exprimarea bazându-se pe recunoașterea naturii aleatoare a fenomenelor fizice și a cauzelor naturale sau artificiale care le produc. Întrucât acțiunile au o natură diversă, ele se pot clasifica după diferite criterii astfel:

- 1) după natura fizică: permanente, utile, climatice, seismice, etc;
  - 2) după variabilitatea în timp: permanente, temporare de scurtă durată, temporare de lungă durată, repetate, etc;
  - 3) după răspunsul structurii: statice, dinamice,
- iar modelele probabilistice utilizate pentru descrierea lor au particularități distincte caracteristice fiecărui tip, acestea fiind pe larg tratate în [2.15], [2.9].

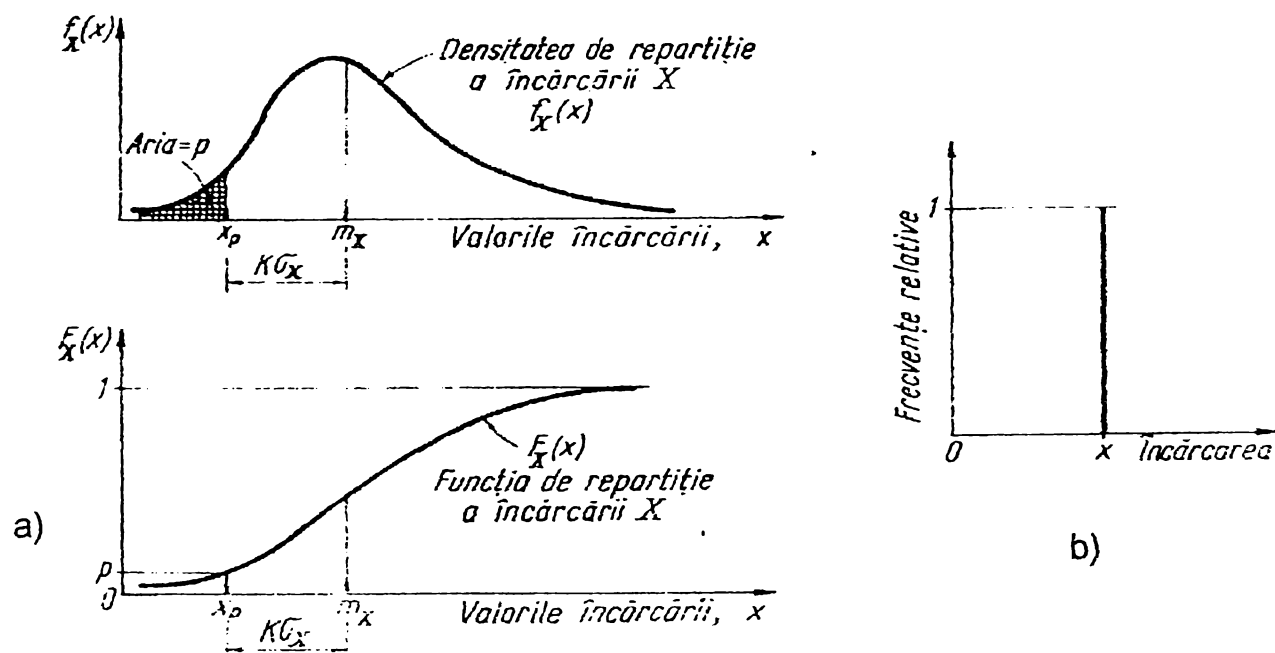


FIG. 2.21. Definierea probabilistică (a) și deterministică (b) a unei acțiuni.

Cel mai simplu model consideră acțiunea  $X$  ca o variabilă aleatoare descrisă de aceleași mărimi statistice ca și rezistențele (prezentate detaliat în paragrafele anterioare și în capitolul III), arătate în figura 2.21, valorile standardizate reprezentând fractilii superiori definiți cu aceeași probabilitate ca și rezistențele, determinați cu relația:

$$X_q = m_x + k \cdot S_x = m_x (1 + k \cdot V_x) \quad (2.94)$$

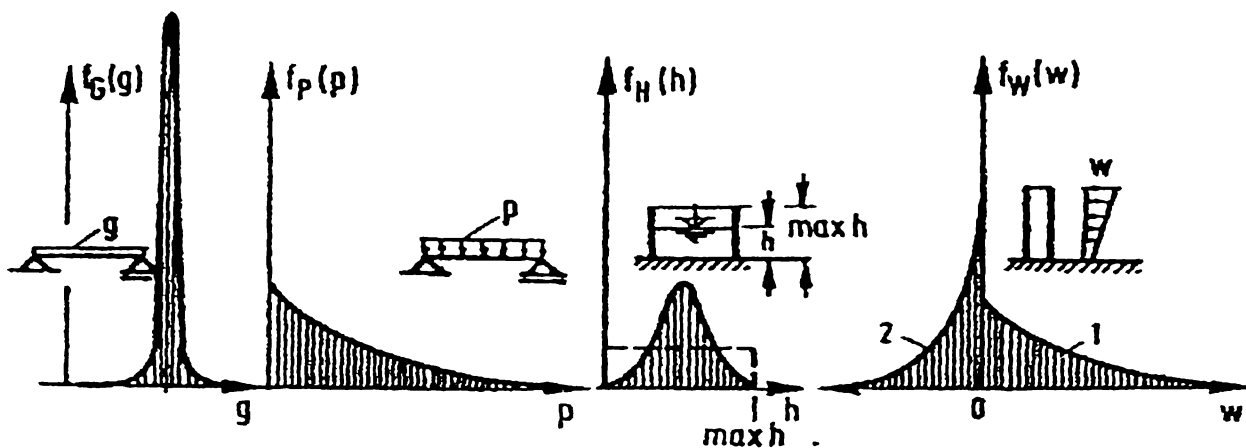


FIG. 2.22. Densitati de repartitie pentru diferite tipuri de actiuni

#### 2.4.2.1. Combinarea probabilistica a actiunilor

In functie de natura lor fizica, actiunile prezinta coeficienti de variatie diferiti, asa cum se arata in figura 2.22, iar in exploatare actioneaza adesea simultan, producand un efort sectional  $S$ , rezultat prin insumarea algebrica a efectelor partiale ale incarcarii aleatoare distincte:

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_j + \dots \quad (2.95)$$

In conditiile ecuatiei (2.95) caracteristicile statistice ale sumei  $S$  respecta proprietatile prezentate pentru medie, abaterea standard si coeficientul de variatie in paragraful 2.1, iar coeficientul de variatie total si probabilitatea de cedare depind de ponderea actiunilor individuale in efectul sectional total al actiunilor  $S$ .

Verificarea capacitatii portante a tablierelor metalice existente se face in primul rand in gruparea I<sup>a</sup> fundamentala de actiuni care cuprinde:

- actiunile permanente - greutatea proprie a structurii tablierului si a caii,
- actiuni temporare de scurta durata - incarcari din convoaie tip, forta centrifuga, incarcari produse de oameni pe trotuare, etc.,

prin determinarea efortului sectional rezultat ( $S = M; N; T; M_t$ ) prin insumarea solicitariilor aferente produse de incarcari mai sus mentionate actionand separat. Acesta este de altfel si cazul la care se refera implicit prescriptiile de proiectare semiprobabilistice care nu au adoptat inca modelarea prin procese stochastice a unor tipuri de incarcari.

Se considera pentru exemplificare cazul in care efectul sectional total  $S$  provine din suma a numai doua efecte sectionale partiale, generate de doua incarcari distincte:

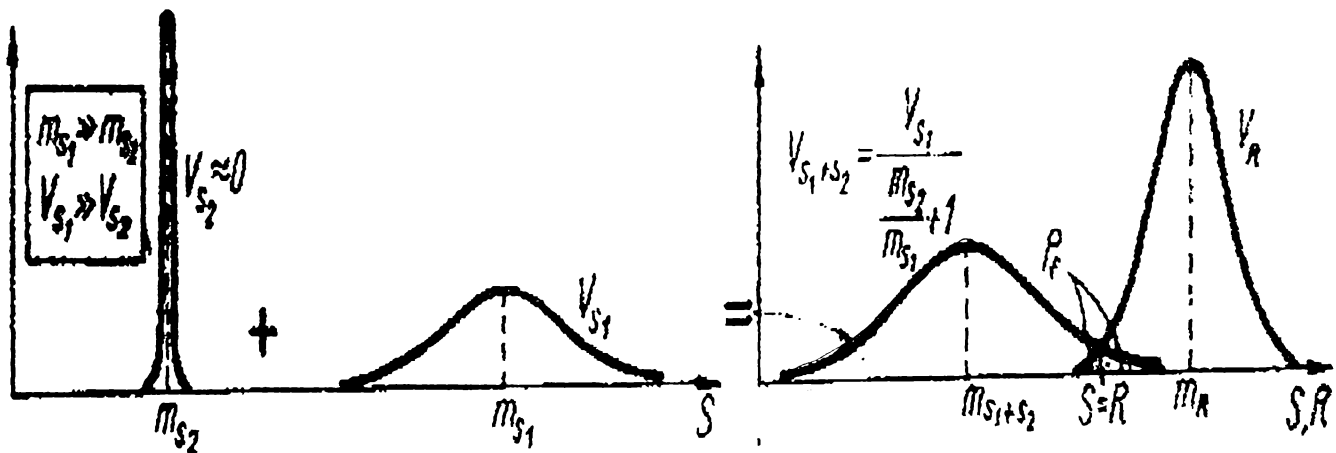
- greutatea permanenta notata  $g$  si
- incarcarea din convoi, notata  $cv$ ,

pentru care media si coeficientul de variatie al efectului sectional total sunt:

$$m_S = m_{S_1+S_2} = m_g + m_{cv} \quad (2.96)$$

$$V_S = V_{S_1+S_2} = \frac{\sqrt{m_g^2 \cdot V_g^2 + m_{cv}^2 \cdot V_{cv}^2}}{m_g + m_{cv}} \quad (2.97)$$

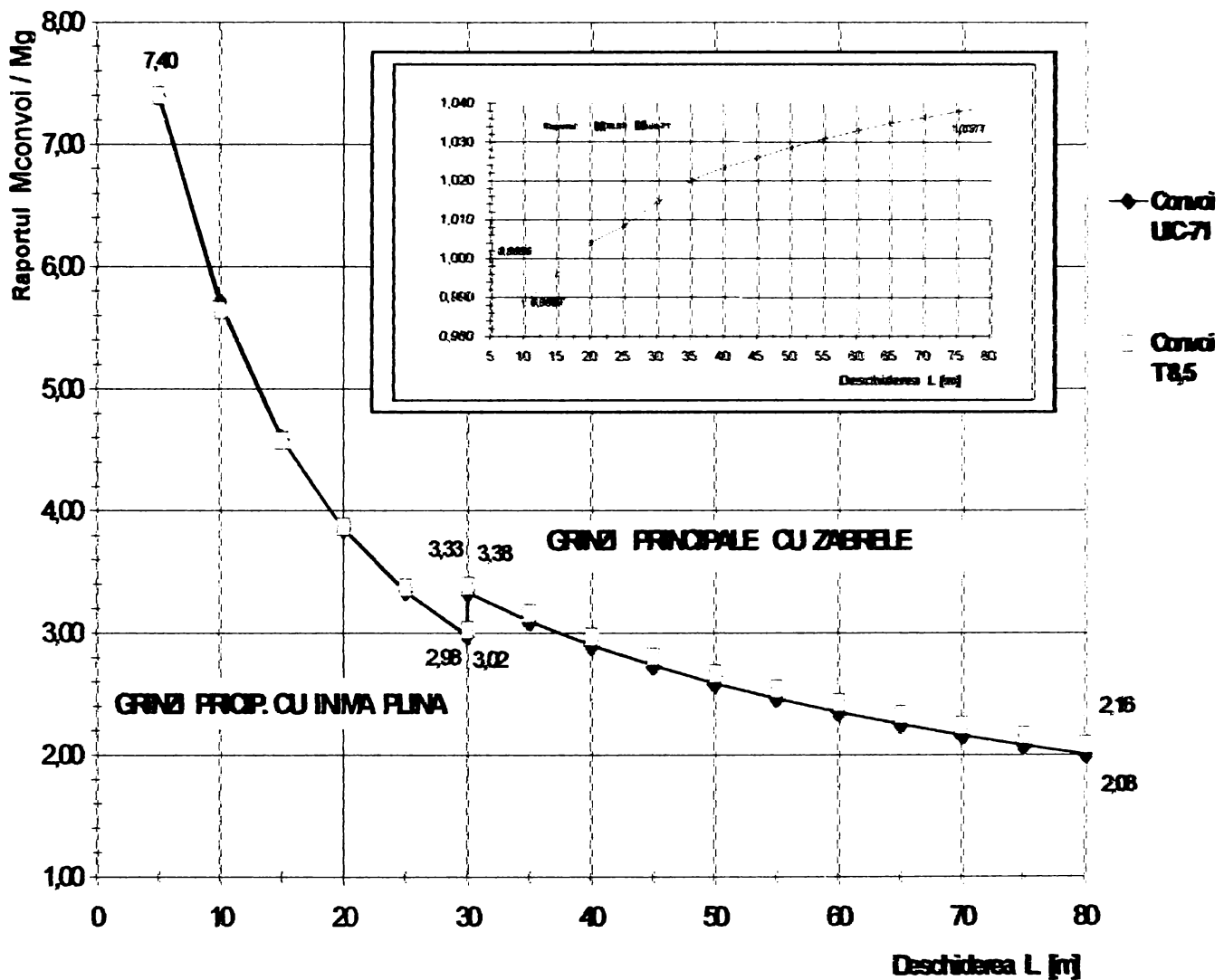
Dependenta coeficientului de variatie al efectului sectional suma  $S=S_g+S_{cv}$  nu numai de valoarea absoluta a sumei  $m_S=m_g+m_{cv}$  ci si de rapoartele mediilor si coeficientilor de variatie ale celor doua efecte sectionale partiale, implica dependenta de aceiasi parametri ai probabilitatii de cedare (de pierdere a capacitatii portante)  $P_f$ .



**FIG. 2.23.** Calculul probabilitatii de cedare în cazul unui efort sectional suma în functie de ponderea eforturilor sectionale componente

Pentru cazul analizat, prezentat grafic la nivel conceptual in figura 2.23, in care daca consideram mediile celor doua incarcari ca fiind valorile lor normate, un raport mediu între acestea rezultat din coloana 4, respectiv 5 a tabelului 2.4a sau 2.4b, sau din graficul prezentat in figura 2.24,  $m_{cv} = .m_g$  ( $\xi = m_{cv}/m_g = 3,28$ ), acceptand  $V_{cv} = 0,4$  (maximul valorilor uzuale pentru coeficientul de variatie al incargarilor utile),  $V_g \approx 0$  si  $V_R = 0,153$  (vezi tabelul 3.5a), gasim aplicand relatia (2.97) coeficientul de variatie al efectului sectional total,

$$V_s = \frac{\sqrt{\frac{m_{cv}^2}{m_g^2} \cdot V_{cv}^2 + V_g^2}}{\frac{m_{cv}}{m_g} + 1} = \frac{3,28 \cdot 0,40}{3,28 + 1} = 0,306 \quad (2.97a)$$



**FIG. 2.24.** Corespondenta dintre convoiul UIC-71 și T8,5

cu care determinăm, acceptând un coeficient central de siguranță  $\gamma_0=2,5$  factorul de fiabilitate  $\beta$ , utilizând relația (2.98)

$$\beta = \frac{\gamma_0 - 1}{\alpha(\gamma_0 \cdot V_R + V_s)} = \frac{2,5 - 1}{0,75(2,5 \cdot 0,153 + 0,306)} = 2,904 \quad (2.98)$$

fata de care rezulta probabilitate de cedare  $P_f = 0,94 \cdot 10^{-3}$ , valoare care apreciaza nivelul de siguranță al tablierului în situația de încărcare dată.

Aplicarea acestui procedeu la tablieretele studiate, prin transpunerea în EXCEL 7.0 a algoritmului de calcul prezentat



mai sus, utilizand convoiul de calcul T 8,5 deoarece exista o buna similitudine cu convoiul UIC-71 asa cum rezulta din figura 2.22, a condus la rezultatele prezentate in tabelul 2.4a pentru tablierele construite pana in anul 1910 si respectiv in tabelul 2.4b pentru tablierele construite dupa anul 1910, pentru un coeficient de siguranta central  $\gamma=2,5$ .

**TABELUL 2.4a**

**PROBABILITATEA DE CEDARE  
PENTRU TABLIERE CONSTRUITE PANA IN ANUL 1910;  $\gamma_0=2,50$**

Nr. crt.	Tablier	L (m)	Raportul $\xi = M_{convoi} / M_g$		Variab. convoi $V_{s, cv}$	Coeficient de variatie		Factor de reliabilitate		PROBABILITATEA de cedare	
			$\xi_s$	$\xi_d = \psi \cdot \xi_s$		$V_{Ss}$	$V_{Sd}$	$\beta_s$	$\beta_d$	$P_{fs}$	$P_{fd}$
(1)	(2)	(4)	(5)	(6)	(3)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	P-03	31,0	3,07	4,16	0,4	0,301	0,322	2,923	2,837	$10^{-2,78}$	$10^{-2,67}$
					0,3	0,226	0,241	3,285	3,203	$10^{-3,31}$	$10^{-3,18}$
					0,2	0,150	0,161	3,750	3,678	$10^{-4,05}$	$10^{-3,93}$
					0,1	0,075	0,080	4,368	4,318	$10^{-5,20}$	$10^{-5,10}$
2	P-08,d,e	30,83	2,99	4,06	0,4	0,299	0,320	2,931	2,843	$10^{-2,79}$	$10^{-2,68}$
					0,3	0,224	0,241	3,293	3,209	$10^{-3,32}$	$10^{-3,19}$
					0,2	0,149	0,160	3,757	3,683	$10^{-4,07}$	$10^{-3,94}$
					0,1	0,075	0,080	4,372	4,322	$10^{-5,21}$	$10^{-5,11}$
3	P-09,a,b	24,28	3,45	4,78	0,4	0,310	0,331	2,887	2,804	$10^{-2,74}$	$10^{-2,63}$
					0,3	0,232	0,248	3,251	3,171	$10^{-3,26}$	$10^{-3,13}$
					0,2	0,155	0,165	3,720	3,650	$10^{-4}$	$10^{-3,89}$
					0,1	0,077	0,083	4,347	4,299	$10^{-5,16}$	$10^{-5,06}$
4	P-10	25,8	3,63	5,01	0,4	0,314	0,333	2,873	2,793	$10^{-2,72}$	$10^{-2,61}$
					0,3	0,235	0,250	3,238	3,162	$10^{-3,23}$	$10^{-3,11}$
					0,2	0,157	0,166	3,708	3,641	$10^{-3,98}$	$10^{-3,88}$
					0,1	0,078	0,083	4,339	4,293	$10^{-5,14}$	$10^{-5,05}$
5	P-11	30,9	2,91	3,95	0,4	0,297	0,319	2,940	2,85	$10^{-2,81}$	$10^{-2,69}$
					0,3	0,223	0,239	3,301	3,216	$10^{-3,34}$	$10^{-3,20}$
					0,2	0,149	0,159	3,764	3,689	$10^{-4,08}$	$10^{-3,95}$
					0,1	0,074	0,079	4,377	4,326	$10^{-5,22}$	$10^{-5,12}$
6	P-14	12,0	7,11	10,4	0,4	0,351	0,365	2,728	2,676	$10^{-2,53}$	$10^{-2,46}$
					0,3	0,263	0,273	3,098	3,048	$10^{-3,01}$	$10^{-2,95}$
					0,2	0,175	0,182	3,585	3,540	$10^{-3,79}$	$10^{-3,71}$
					0,1	0,087	0,091	4,254	4,222	$10^{-4,97}$	$10^{-4,91}$
7	P-15	16,2	5,89	8,44	0,4	0,342	0,357	2,761	2,702	$10^{-2,57}$	$10^{-2,50}$
					0,3	0,256	0,268	3,130	3,074	$10^{-3,06}$	$10^{-2,98}$
					0,2	0,171	0,179	3,613	3,563	$10^{-3,83}$	$10^{-3,75}$
					0,1	0,085	0,089	4,274	4,238	$10^{-5,01}$	$10^{-4,94}$
8	P-16	14,2	6,38	9,23	0,4	0,346	0,361	2,746	2,690	$10^{-2,55}$	$10^{-2,48}$
					0,3	0,259	0,270	3,116	3,062	$10^{-3,04}$	$10^{-2,96}$
					0,2	0,173	0,180	3,601	3,553	$10^{-3,81}$	$10^{-3,73}$
					0,1	0,086	0,090	4,265	4,231	$10^{-4,99}$	$10^{-4,93}$

PROBABILITATEA DE CEDARE

TABELUL 2.4b

PENTRU TABLIERE CONSTRUIE DUPA ANUL 1910;  $\gamma_0=2,50$

Nr. crt.	Tablier	L (m)	Raportul $\xi = M_{convol} / M_g$		Variab. convoi $V_{s,cv}$	Coeficient de variatie		Factor de reliabilitate		PROBABILITATEA de cedare	
			$\xi_s$	$\xi_d = \psi \cdot \xi_s$		$V_{Ss}$	$V_{Sd}$	$\beta_s$	$\beta_d$	$P_{fs}$	$P_{fd}$
(1)	(2)	(4)	(5)	(6)	(3)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	P-01	81,6	2,02	2,52	0,4	0,267	0,286	4,278	4,113	$10^{-5,02}$	$10^{-4,72}$
					0,3	0,200	0,214	4,992	4,823	$10^{-6,54}$	$10^{-6,16}$
					0,2	0,133	0,143	5,992	5,829	$10^{-8,98}$	$10^{-8,56}$
					0,1	0,066	0,071	7,494	7,365	$10^{-11,72}$	$10^{-10,63}$
2	P-02	101,76	1,78	2,17	0,4	0,255	0,273	4,387	4,219	$10^{-5,24}$	$10^{-4,91}$
					0,3	0,191	0,205	5,103	4,932	$10^{-6,78}$	$10^{-6,40}$
					0,2	0,127	0,136	6,098	5,935	$10^{-9,28}$	$10^{-8,83}$
					0,1	0,063	0,068	7,576	7,449	$10^{-11,89}$	$10^{-10,78}$
3	P-04a	30,6	2,93	3,98	0,4	0,298	0,319	4,014	3,848	$10^{-4,53}$	$10^{-4,23}$
					0,3	0,223	0,239	4,721	4,548	$10^{-5,94}$	$10^{-5,58}$
					0,2	0,149	0,159	5,729	5,558	$10^{-8,30}$	$10^{-7,87}$
					0,1	0,074	0,079	7,184	7,145	$10^{-10,48}$	$10^{-10,23}$
4	P-04b	10,9	6,89	10,12	0,4	0,349	0,364	3,641	3,546	$10^{-3,87}$	$10^{-3,72}$
					0,3	0,261	0,273	4,329	4,228	$10^{-5,12}$	$10^{-4,92}$
					0,2	0,174	0,182	5,338	5,235	$10^{-7,34}$	$10^{-7,09}$
					0,1	0,087	0,091	6,961	6,873	$10^{-9,14}$	$10^{-9,00}$
5	P-05	48,6	2,44	1,30	0,4	0,283	0,304	4,134	3,966	$10^{-4,75}$	$10^{-4,45}$
					0,3	0,212	0,228	4,845	4,670	$10^{-6,21}$	$10^{-5,83}$
					0,2	0,141	0,152	5,580	5,679	$10^{-8,62}$	$10^{-8,18}$
					0,1	0,070	0,076	7,382	7,244	$10^{-10,66}$	$10^{-10,41}$
6	P-06	71,76	2,11	2,65	0,4	0,271	0,290	4,244	4,078	$10^{-4,95}$	$10^{-4,65}$
					0,3	0,203	0,217	4,958	4,786	$10^{-6,46}$	$10^{-6,08}$
					0,2	0,135	0,145	5,959	5,793	$10^{-8,90}$	$10^{-8,47}$
					0,1	0,067	0,072	7,468	7,336	$10^{-10,81}$	$10^{-10,57}$
7	P-07	30,5	3,30	4,48	0,4	0,306	0,327	3,945	3,795	$10^{-4,41}$	$10^{-4,14}$
					0,3	0,230	0,245	4,649	4,491	$10^{-5,79}$	$10^{-5,46}$
					0,2	0,153	0,163	5,658	5,502	$10^{-8,12}$	$10^{-7,74}$
					0,1	0,076	0,081	7,227	7,098	$10^{-10,38}$	$10^{-10,14}$
8	P-08a	51,025	2,35	3,05	0,4	0,280	0,301	4,161	3,990	$10^{-4,80}$	$10^{-4,49}$
					0,3	0,210	0,225	4,872	4,695	$10^{-6,27}$	$10^{-5,89}$
					0,2	0,140	0,150	5,876	5,704	$10^{-8,68}$	$10^{-8,24}$
					0,1	0,070	0,075	7,403	7,264	$10^{-10,70}$	$10^{-10,44}$
9	P-08b	66,675	2,53	3,21	0,4	0,180	0,304	5,260	3,961	$10^{-7,00}$	$10^{-4,44}$
					0,3	0,135	0,228	5,967	4,665	$10^{-8,92}$	$10^{-5,82}$
					0,2	0,090	0,152	6,894	5,674	$10^{-8,39}$	$10^{-6,17}$
					0,1	0,045	0,076	8,161	7,240	$10^{-6,80}$	$10^{-10,40}$
10	P-08c	37,02	3,09	4,12	0,4	0,302	0,321	3,983	3,832	$10^{-4,48}$	$10^{-4,20}$
					0,3	0,226	0,241	4,689	4,531	$10^{-5,87}$	$10^{-5,54}$
					0,2	0,151	0,160	5,697	5,541	$10^{-8,22}$	$10^{-7,83}$
					0,1	0,075	0,080	7,259	7,131	$10^{-10,43}$	$10^{-10,20}$
11	P-12	20	3,87	5,46	0,4	0,317	0,338	3,862	3,717	$10^{-4,26}$	$10^{-4,00}$
					0,3	0,238	0,253	4,562	4,410	$10^{-5,61}$	$10^{-5,29}$
					0,2	0,158	0,169	5,572	5,420	$10^{-7,91}$	$10^{-7,54}$
					0,1	0,079	0,084	7,156	7,030	$10^{-10,25}$	$10^{-9,25}$

**TABELUL 2.4b (continuare)**

Nr. crt.	Tablier	L (m)	Raportul $\xi = M_{convoi} / M_g$		Variab. convoi $V_{s,cv}$	Coeficient de variatie		Factor de reliabilitate		PROBABILITATEA de cedare	
			$\xi_s$	$\xi_d = \psi \xi_s$		$V_{ss}$	$V_{sd}$	$\beta_s$	$\beta_d$	$P_{fs}$	$P_{fd}$
(1)	(2)	(4)	(5)	(6)	(3)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
12	P-13	56,2	2,51	3,23	0,4	0,286	0,305	4,114	3,956	$10^{-4,72}$	$10^{-4,43}$
					0,3	0,214	0,229	4,823	4,660	$10^{-6,16}$	$10^{-5,81}$
					0,2	0,143	0,152	5,829	5,669	$10^{-8,56}$	$10^{-8,15}$
					0,1	0,071	0,076	7,365	7,236	$10^{-10,6}$	$10^{-10,4}$
13	P-17a,b	76,8	2,09	2,62	0,4	0,270	0,289	4,251	4,087	$10^{-4,96}$	$10^{-4,67}$
					0,3	0,202	0,217	4,964	4,796	$10^{-6,48}$	$10^{-6,10}$
					0,2	0,135	0,144	5,966	5,802	$10^{-8,91}$	$10^{-8,49}$
					0,1	0,067	0,072	7,473	7,344	$10^{-10,8}$	$10^{-10,6}$
14	P-17c,d,e	51,4	2,58	3,34	0,4	0,288	0,307	4,096	3,398	$10^{-4,68}$	$10^{-4,40}$
					0,3	0,216	0,230	4,806	4,461	$10^{-6,12}$	$10^{-5,77}$
					0,2	0,144	0,153	5,812	5,650	$10^{-8,52}$	$10^{-8,10}$
					0,1	0,072	0,076	7,351	7,221	$10^{-10,6}$	$10^{-10,4}$

Verificarile s-au facut in regim static si dinamic al actiunii convoiului, acceptand:

- coeficientii centrali de siguranta prezentati dupa [2.14] in tabelul 2.3;
- coeficientii de variatie ai limitei de curgere determinati din incercarile experimentale si prezentati in tabelele 3.5a si 3.5b;
- coeficientii de variatie pentru incarcarea din convoi,  $V_{s,cv}$ , variind in intervalul de valori uzuale  $0,10 \div 0,40$ , rezultatele fiind prezentate in ANEXA A.II-7 si ANEXA A.II-8.

S-a putut constata un nivel de siguranta relativ redus, mai ales la tablierele construite pana in anul 1900, manifestat printr-o probabilitate de cedare cuprinsa intre  $10^{-2}$ - $10^{-4}$ , in cazul unui coeficient de variatie al incarcarilor din convoiul de calcul mai mare (cuprins intre 0,3 si 0,4), fata de un nivel cerut la structurile actuale de  $10^{-6}$ - $10^{-8}$  si de asemenea efectul defavorabil al actiunii dinamice a convoiului, care face ca probabilitatea de cedare, mai ales la tablierele cu deschidere mai redusa, sa creasca cu cca.  $10^{-1}$  fata de probabilitatea de cedare calculata in aceleasi conditii, dar cu convoiul in actiune statica.

Determinarea probabilitatii de cedare dupa algoritmul descris mai sus, implica cunoasterea coeficientului de variatie al efectului sectional total al gruparilor de actiuni. Pentru tablierele analizate in cadrul programului de expertizare prezentat in paragraful 1.1 si pentru

principalele actiuni din gruparea I-a fundamentala (greutatea permanenta si convoiul de calcul) s-a analizat coeficientul de variatie al efectului sectional total reprezentat prin momentul incovoietor maxim, in raport cu tipul de structura, deschiderea tablierului si cu o variabilitate uzuala a actiunilor din convoiul de calcul iar prin extrapolarea rezultatelor punctuale s-au determinat dreptele tendinta, sub forma unor functii liniare  $V_s=f(L)$ , care sunt reprezentate atat grafic cat si analitic in figurile 2.25a si 2.25b, pentru tabliere cu calea sus, respectiv in figurile 2.26a si 2.26b, pentru tabliere cu calea jos.

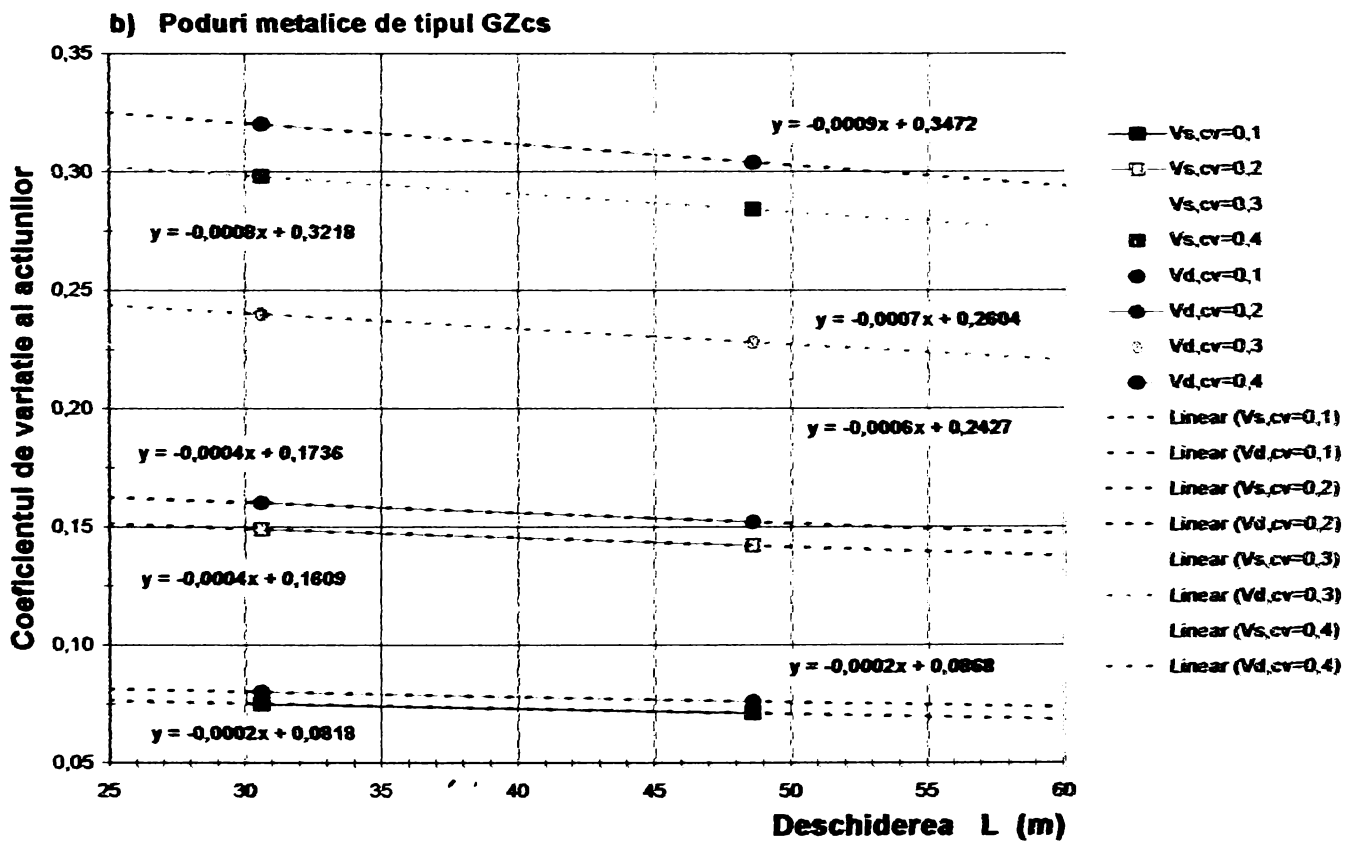
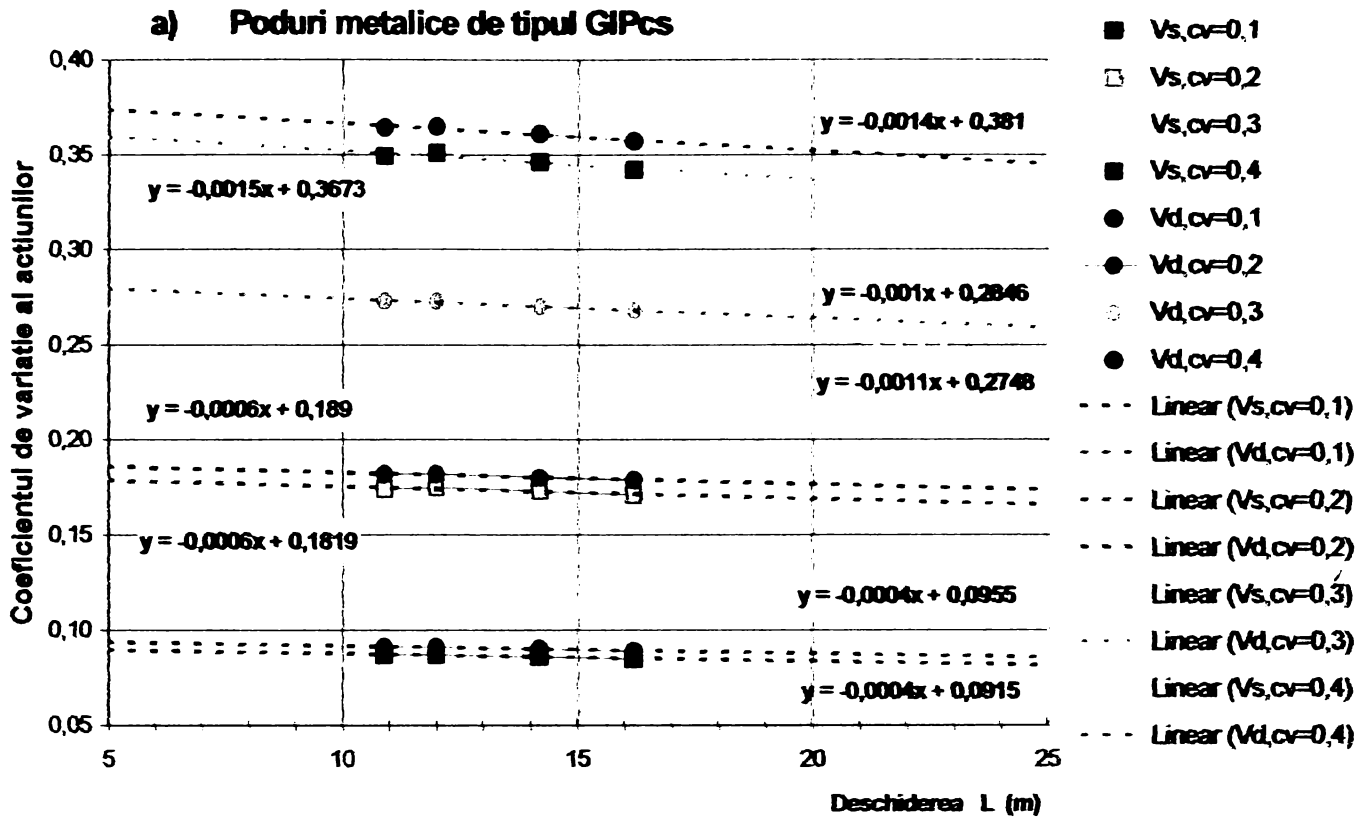
Pentru calculul coeficientului de variatie mediu al efortului sectional total al actiunilor necesar la determinarea probabilitatii de cedare cu relatia (2.98) in gruparea I-a fundamentala se propune utilizarea relatiilor prezentate in coloana a 8-a din tabelul 2.5, care au fost determinate ca tendinte ale variabilitatii actiunilor din convoiul de calcul cuprinsa intre 0,1 si 0,4 si reprezentate grafic in figurile 2.27a si 2.27b pentru tablierele cu calea sus, respectiv in figurile 2.28a si 2.28b pentru tablierele cu grinzi cu zabrele cu calea jos.

**TABELUL 2.5**

**RELATII de CALCUL ale COEFICIENTULUI DE VARIATIE AL ACTIUNILOR din GRUPAREA FUNDAMENTALA**

Nr. crt.	Tipul tablierului	Efect convoi	Relatii de calcul pentru $V_s$ :				
			$V_{s,cv}=0.10$	$V_{s,cv}=0.20$	$V_{s,cv}=0.30$	$V_{s,cv}=0.40$	$V_{s,cv}=\text{mediu}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	GIPcs $5 \leq L \leq 25$	static	0,0915 -L/2500	0,1819 -L/1667	0,2748 -L/909	0,3673 -L/667	0,2289 -L/1111
		dinamic	0,0955 -L/2500	0,189 -L/1667	0,2846 -L/1000	0,381 -L/714	0,2375 -L/1111
2	GZcs $20 \leq L \leq 60$	static	0,0818 -L/5000	0,1609 -L/2500	0,2427 -L/1667	0,3218 -L/1250	0,2018 -L/2000
		dinamic	0,0868 -L/5000	0,1736 -L/2500	0,2604 -L/1429	0,3472 -L/1111	0,217 -L/1667
3	GZcj, lot A $20 \leq L \leq 60$	static	0,0901 -L/2000	0,2289 -L/1111	0,2703 -L/667	0,3603 -L/500	0,2252 -L/833
		dinamic	0,0943 -L/2000	0,1802 -L/1000	0,2829 -L/714	0,3772 -L/556	0,2358 -L/909
4	GZcj, lot B $30 \leq L \leq 110$	static	0,0813 -L/5000	0,1626 -L/2500	0,2445 -L/2000	0,3215 -L/1429	0,2034 -L/2500
		dinamic	0,0886 -L/5000	0,1732 -L/2500	0,2598 -L/1667	0,3464 -L/1429	0,2165 -L/2000

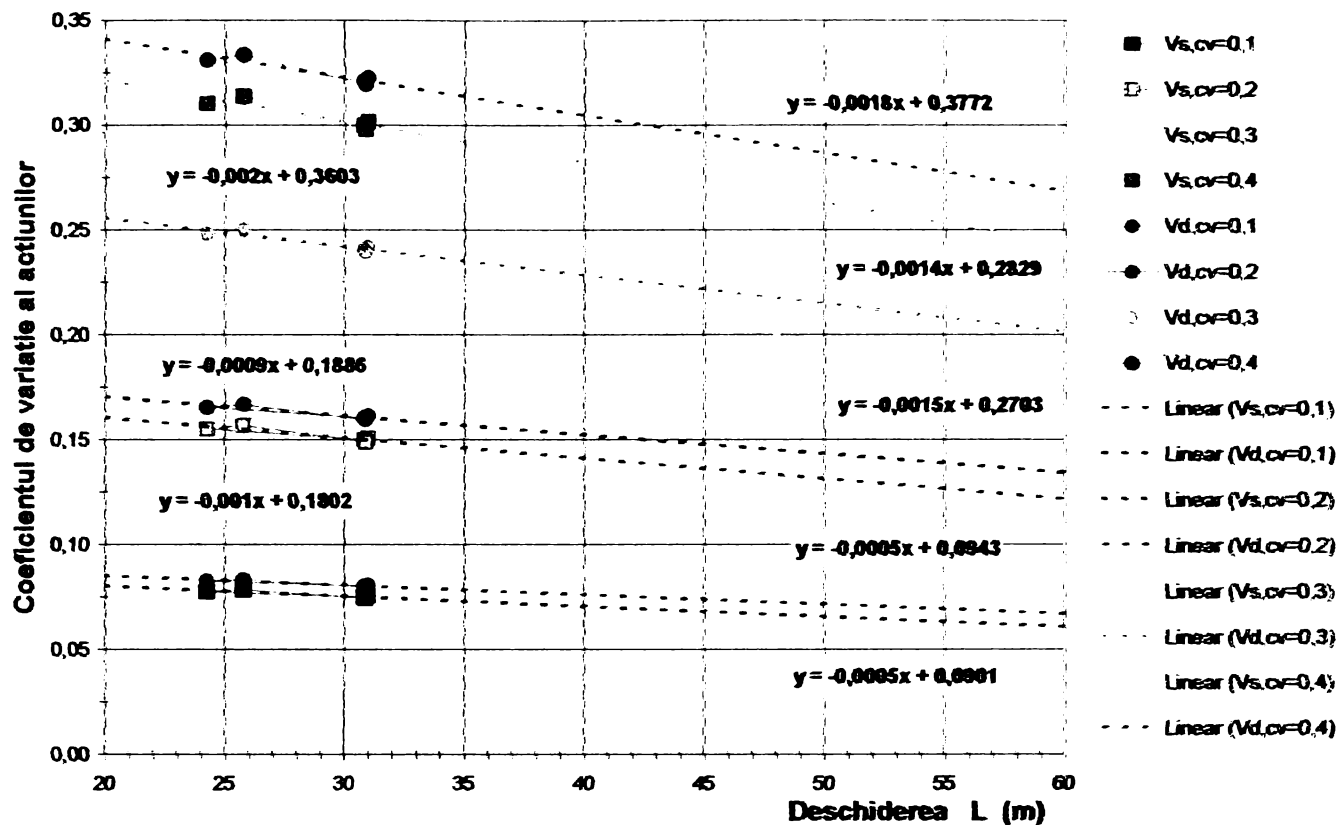




**FIG.2.25** Coeficientul de variație al efortului secțional total:  
 a) pentru tabliere de tipul GIPcs;  
 b) pentru tabliere de tipul GZcs;



a) Poduri metalice de tipul GZcj, lot A



b) Poduri metalice de tipul GZcj, lot B

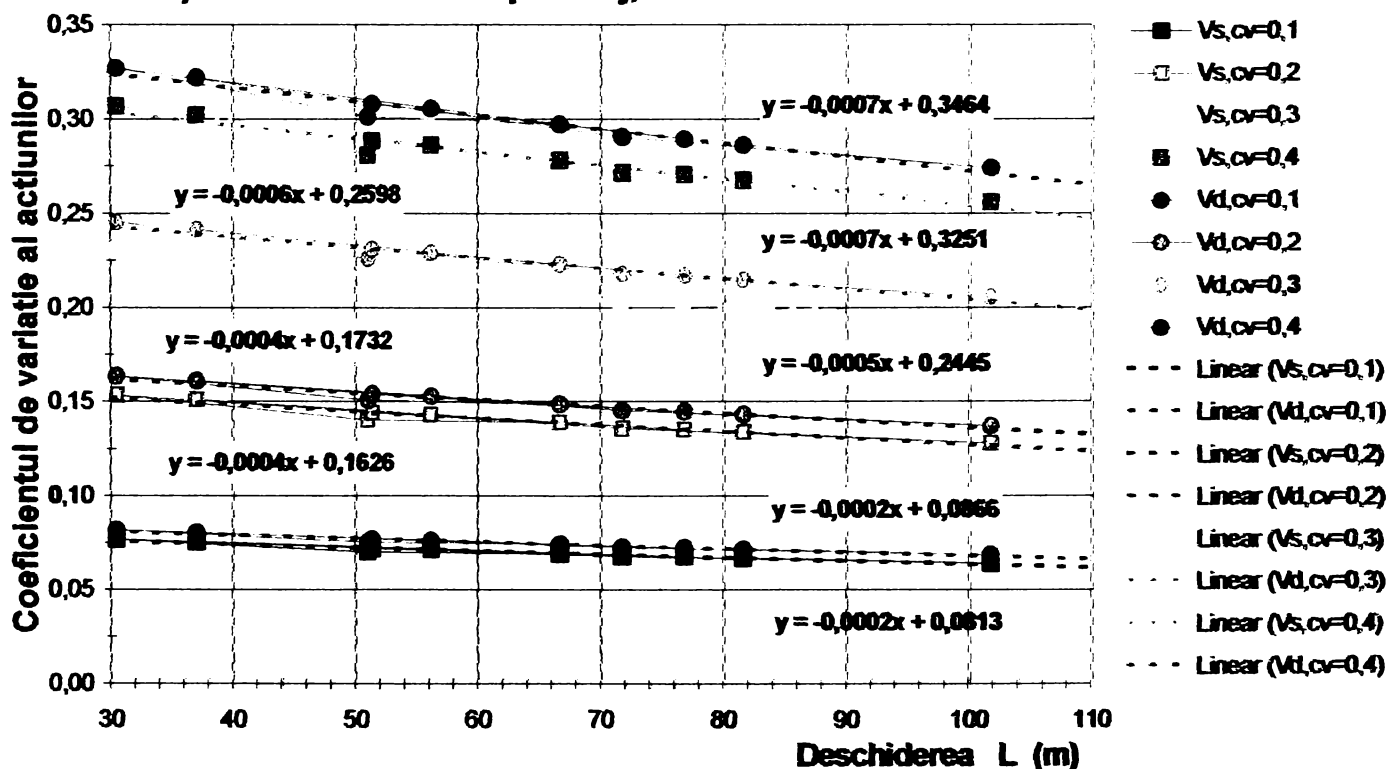
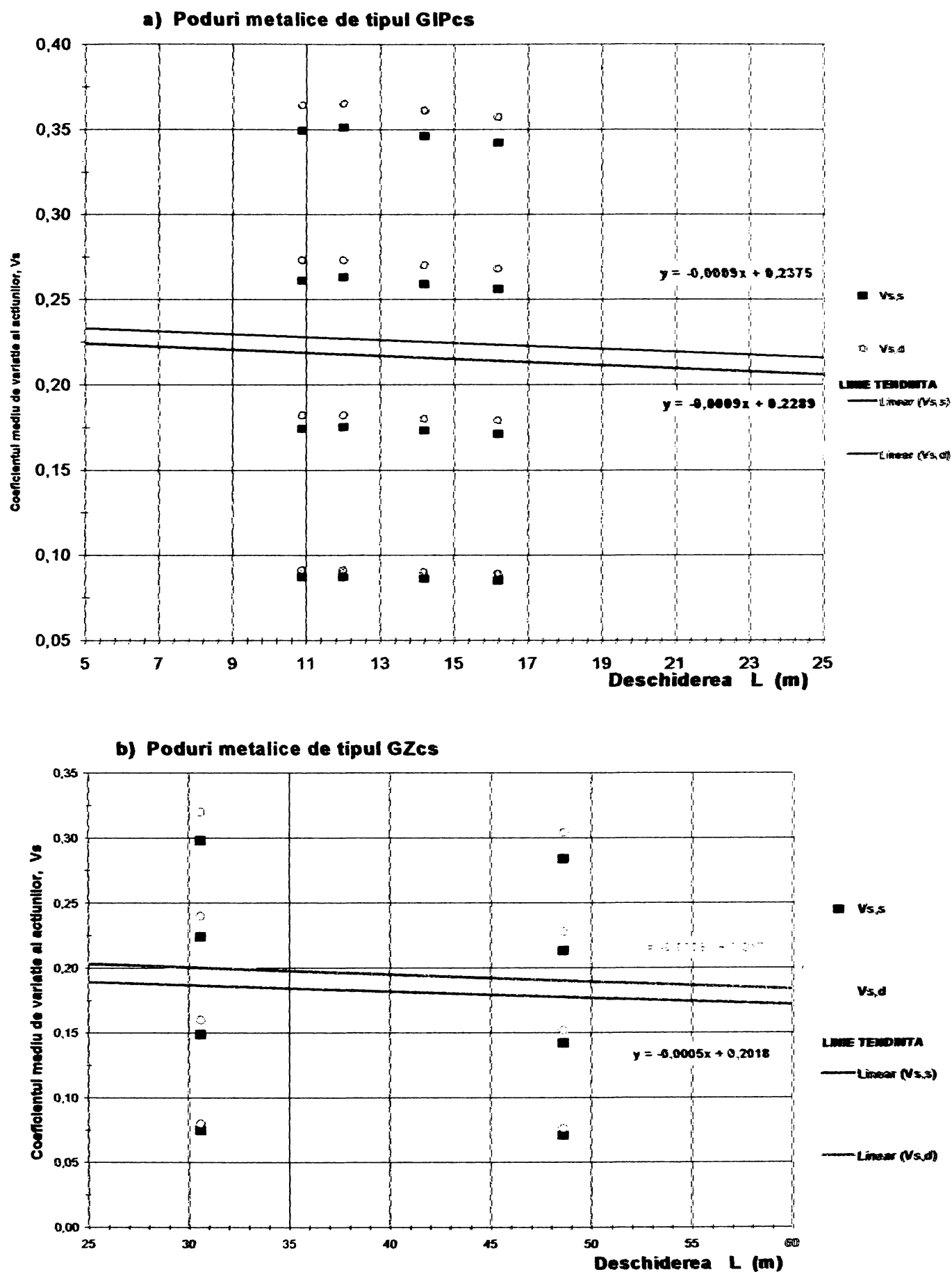
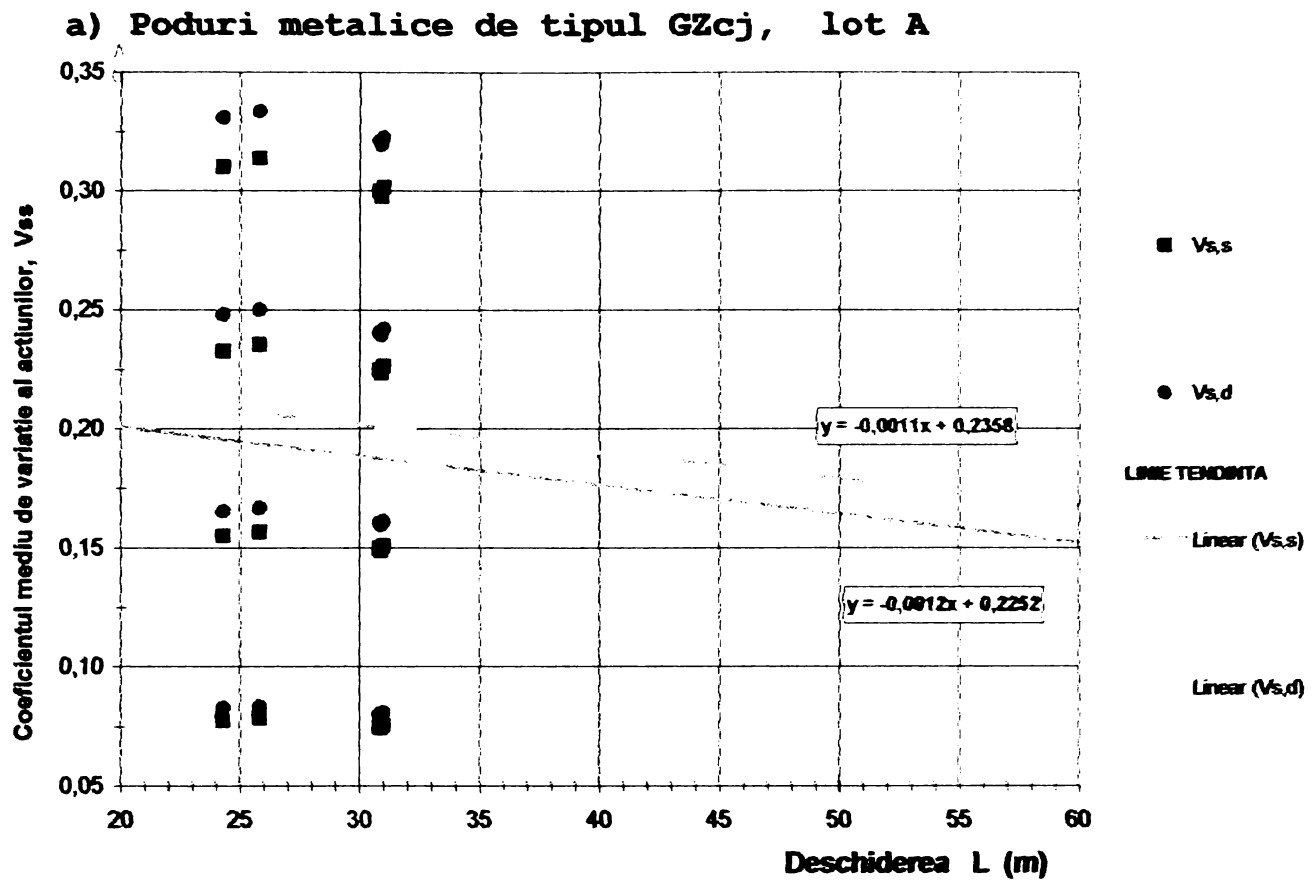


FIG. 2.26 Coeficientul de variatie al efortului sectional total  
 a) pentru tabliere de tipul GZcj, construite până la 1910;  
 b) pentru tabliere de tipul GZcj, construite după 1910.



**FIG. 2.27** Coeficientul de variație mediu al efortului secțional total: **a)** pentru tabliere de tipul GIPcs ; **b)** pentru tabliere de tipul GZcs.



b) Poduri metalice de tipul GZcj, lot B

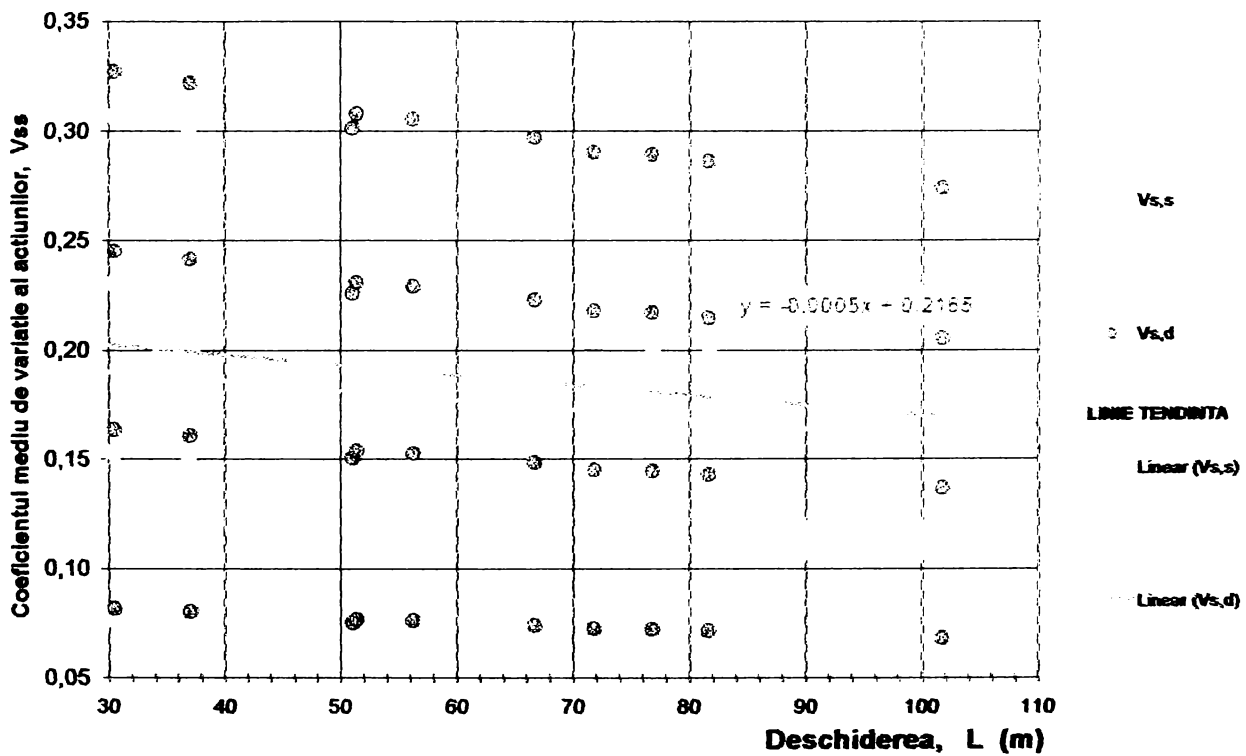


FIG. 2.28 Coeficientul mediu de variație al efortului secțional total:

- a) pentru tabliere de tipul GZcj, construite până la 1910;
- b) pentru tabliere de tipul GZcj, construite după 1910.

### 2.4.2.2. Coeficienti partiali de siguranta

Aplicarea unui concept de verificare semiprobabilistic impune si aprecierea pe baze probabilistice a actiunilor, procedurile internationale adoptand ca incarcari normate fractilii determinati cu probabilitatea  $1-p$  de a exista, in decursul existentei constructiei, valori mai mari decat valoarea medie, unde  $p$  este probabilitatea cu care s-a definit rezistenta caracteristica a otelului. Valorile normate ale incarcarii se inmultesc cu coeficienti de siguranta partiali, determinati in mod deterministic si denumiti coeficienti de supraincarcare, notati cu  $\gamma_s$  sau  $\gamma_F$ , care tin seama de:

- aparitia unor incarcari a caror intensitate este mai mare decat a incarcarii caracteristice;
- simultaneitatea incarcarii la valoarea lor caracteristica;
- simplificari in ipotezele analizei structurale si erori geometrice de constructie;
- evaluarea aproximativa a efectelor sectionale ale incarcarii;
- importanta starii limita considerata;
- inexactitati de executie a structurii tablierului.

Coeficientii de supraincarcare aplicati actiunilor sunt in interdependenta cu coeficientul de reducere al rezistentei caracteristice a otelului  $\gamma_R$  sau  $\gamma_m$ . Valorile coeficientilor  $\gamma_s$  si  $\gamma_R$  sunt intercalibrate pentru ca ele se determina in functie de aceeasi probabilitate de cedare  $P_f$  si pentru aceeasi valoare a factorului de reliabilitate  $\beta$  [2.26]. Desi sunt aplicati actiunilor, in fapt coeficientii de supraincarcare exprima o relatie intre rezistente si incarcari [2.8], coeficientul  $\gamma_s$  nefiind un coeficient de siguranta partial care afecteaza numai incarcarii ci un coeficient de siguranta global care face legatura intre rezistente si incarcari.

Coeficientul partial de siguranta in raport cu fractilul  $S_q$ , care depinde de coeficientul de variatie al combinatiei de actiuni, are in modelul S-R, expresia generala:

$$\gamma_{S_q} = \frac{1 + \alpha \cdot \beta \cdot V_s}{1 + K_s \cdot V_s} \quad (2.99)$$

unde  $V_s$  reprezinta coeficientul de variatie al combinatiei de actiuni utilizata, ceilalti coeficienti avand semnificatiile prezentate anterior.

**TABELUL 2.5**

**COEFICIENTI DE SUPRAINCARCARE**

Nr. crt.	Prob. pentru fractili	Prob. cedare $P_f$	Coeficient de siguranta $\gamma_s$ corespunzator coeficientului de variatie al actiunilor, $V_s$ egal cu:									
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	10%	$10^{-2}$	1.02	1.04	1.06	1.07	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14
		$10^{-3}$	1.05	1.09	1.13	1.17	1.20	1.22	1.25	1.27	1.30	1.32
		$10^{-4}$	1.07	1.13	1.19	1.24	1.29	1.33	1.36	1.40	1.43	1.46
		$10^{-5}$	1.09	1.17	1.24	1.31	1.36	1.42	1.46	1.51	1.55	1.58
		$10^{-6}$	1.11	1.20	1.29	1.36	1.43	1.49	1.55	1.60	1.65	1.70
		$10^{-7}$	1.12	1.23	1.33	1.42	1.50	1.57	1.63	1.69	1.75	1.80
		$10^{-8}$	1.14	1.26	1.37	1.47	1.55	1.63	1.71	1.77	1.84	1.89
2	5%	$10^{-2}$	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03
		$10^{-3}$	1.03	1.06	1.08	1.10	1.12	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18
		$10^{-4}$	1.05	1.10	1.14	1.17	1.20	1.23	1.25	1.28	1.30	1.31
		$10^{-5}$	1.07	1.13	1.19	1.23	1.28	1.31	1.35	1.37	1.40	1.43
		$10^{-6}$	1.09	1.16	1.23	1.29	1.34	1.39	1.43	1.46	1.50	1.53
		$10^{-7}$	1.10	1.19	1.27	1.34	1.40	1.45	1.50	1.54	1.58	1.62
		$10^{-8}$	1.12	1.22	1.31	1.39	1.45	1.51	1.57	1.62	1.66	1.70
3	2.28%	$10^{-2}$	0.99	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94
		$10^{-3}$	1.01	1.03	1.04	1.05	1.05	1.06	1.07	1.07	1.08	1.08
		$10^{-4}$	1.04	1.07	1.09	1.11	1.13	1.15	1.16	1.18	1.19	1.20
		$10^{-5}$	1.05	1.10	1.14	1.17	1.20	1.22	1.25	1.27	1.28	1.30
		$10^{-6}$	1.07	1.13	1.18	1.22	1.26	1.29	1.32	1.35	1.37	1.39
		$10^{-7}$	1.09	1.16	1.22	1.27	1.32	1.36	1.39	1.42	1.45	1.48
		$10^{-8}$	1.10	1.18	1.25	1.32	1.37	1.41	1.45	1.49	1.52	1.55
4	1%	$10^{-2}$	0.97	0.95	0.94	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.87
		$10^{-3}$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		$10^{-4}$	1.02	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	1.10	1.11
		$10^{-5}$	1.04	1.07	1.10	1.12	1.14	1.15	1.17	1.18	1.19	1.20
		$10^{-6}$	1.06	1.10	1.14	1.17	1.20	1.22	1.24	1.26	1.27	1.29
		$10^{-7}$	1.07	1.13	1.18	1.21	1.25	1.28	1.30	1.33	1.35	1.36
		$10^{-8}$	1.08	1.15	1.21	1.26	1.30	1.33	1.36	1.39	1.41	1.43

In mod similar se definesc coeficientii de material  $\gamma_R$  (sau  $\gamma_m$ ), prin care rezistenta caracteristica a otelului, definita ca fractila de 5%, este transformata in rezistenta de calcul. Relatia de calcul este similara relatiei (2.99):

$$\gamma_{R_p} = \frac{1 - \alpha \cdot \beta \cdot V_R}{1 - K_R \cdot V_R} \quad (2.100)$$

iar valorile calculate pentru coeficientii de variatie  $V_R$  determinati pentru otelul din podurile existente analizate



in urma incercarilor experimentale (vezi capitolul III) sau acceptati in limitele uzuale de valori la oteluri prezentate in literatura [2.14], [2.15], [2.17], sunt prezentate in tabelul 2.6.

**TABELUL 2.6**

**COEFICIENTII DE MATERIAL**

Nr. crt.	Prob. pentru fractili	Prob. cedare $P_f$	Coeficient de siguranta $\gamma_m$ corespunzator coeficientului de variatie al rezistentelor, $V_R$ egal cu:													
			0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	
1	10%	$10^{-2}$	1.01	1.02	1.03	1.03	1.04	1.04	1.05	1.06	1.06	1.07	1.08	1.09	1.09	
			$10^{-3}$	1.03	1.05	1.06	1.07	1.09	1.10	1.12	1.13	1.15	1.17	1.19	1.21	1.24
			$10^{-4}$	1.05	1.07	1.09	1.11	1.13	1.16	1.18	1.21	1.24	1.27	1.31	1.35	1.39
			$10^{-5}$	1.06	1.09	1.11	1.14	1.17	1.21	1.24	1.28	1.33	1.37	1.43	1.49	1.55
			$10^{-6}$	1.08	1.11	1.14	1.17	1.21	1.26	1.30	1.35	1.41	1.48	1.55	1.64	1.73
			$10^{-7}$	1.09	1.12	1.16	1.21	1.25	1.30	1.36	1.43	1.50	1.59	1.69	1.81	1.95
			$10^{-8}$	1.10	1.14	1.19	1.23	1.29	1.35	1.42	1.51	1.60	1.71	1.84	2.00	2.19
2	5%	$10^{-2}$	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	
			$10^{-3}$	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.13	1.14	1.15
			$10^{-4}$	1.04	1.05	1.07	1.08	1.10	1.12	1.14	1.16	1.18	1.21	1.23	1.26	1.30
			$10^{-5}$	1.05	1.07	1.09	1.12	1.14	1.17	1.20	1.23	1.26	1.30	1.35	1.39	1.45
			$10^{-6}$	1.06	1.09	1.12	1.15	1.18	1.21	1.25	1.30	1.35	1.40	1.46	1.54	1.62
			$10^{-7}$	1.08	1.11	1.14	1.18	1.22	1.26	1.31	1.37	1.43	1.51	1.59	1.70	1.82
			$10^{-8}$	1.09	1.12	1.16	1.21	1.25	1.31	1.37	1.44	1.52	1.62	1.74	1.87	2.04
3	2.28%	$10^{-2}$	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.95	0.95	
			$10^{-3}$	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	1.04	1.05	1.05	1.06	1.07	1.07
			$10^{-4}$	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.11	1.13	1.14	1.16	1.18	1.20
			$10^{-5}$	1.04	1.05	1.07	1.09	1.11	1.13	1.15	1.18	1.20	1.23	1.27	1.30	1.35
			$10^{-6}$	1.05	1.07	1.10	1.12	1.15	1.17	1.21	1.24	1.28	1.33	1.38	1.44	1.50
			$10^{-7}$	1.06	1.09	1.12	1.15	1.18	1.22	1.26	1.31	1.37	1.43	1.50	1.59	1.69
			$10^{-8}$	1.08	1.11	1.14	1.18	1.22	1.27	1.32	1.38	1.45	1.54	1.63	1.75	1.90
4	1%	$10^{-2}$	0.98	0.97	0.97	0.96	0.95	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	
			$10^{-3}$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.10	1.10	1.00
			$10^{-4}$	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	1.05	1.06	1.06	1.07	1.08	1.09	1.11	1.12
			$10^{-5}$	1.03	1.04	1.05	1.06	1.08	1.09	1.11	1.13	1.15	1.17	1.19	1.22	1.25
			$10^{-6}$	1.04	1.06	1.08	1.09	1.12	1.14	1.16	1.19	1.22	1.26	1.30	1.35	1.40
			$10^{-7}$	1.05	1.07	1.10	1.12	1.15	1.18	1.22	1.26	1.30	1.36	1.42	1.49	1.57
			$10^{-8}$	1.06	1.09	1.12	1.15	1.19	1.23	1.27	1.32	1.39	1.46	1.54	1.64	1.77

In domeniul liniar-elastic de comportare a structurii, coeficientul de variatie al efectului  $S_j$  al incarcarii  $L_j$ , este practic identic cu coeficientul de variatie al incarcarii,

$$V_{S_j} = V_{L_j} \quad (j=1, 2, \dots) \quad (2.101)$$

intrucat relatia functionala intre  $S_j$  si  $L_j$  este de tipul

$$S_j = a \cdot L_j \quad (2.102)$$

Conform concluziilor furnizate de [2.15] in urma analizei gruparii actiunilor, utilizarea unui set de coeficienti de supraincarcare definiti numai in functie de natura fizica a actiunii, asa cum se obisnuieste in norme, si independent de ponderea efectelor sectionale provenind din diferitele actiuni in efectul sectional total, conduce la niveluri de asigurare variabile in aceeasi structura. Acest inconvenient se poate elimina daca se introduce coeficientul de simultaneitate  $\omega$ ,

$$\omega = \frac{\gamma_q \cdot S_q}{\gamma_{q,1} \cdot S_1 + \gamma_{q,2} \cdot S_2 + \dots} \quad (2.103)$$

sau transpus pentru modelul S-R,

$$\omega_q = \frac{\frac{1 + \alpha \cdot \beta \cdot V_s}{1 + 1,645 \cdot V_s} \cdot m_s}{\frac{1 + \alpha \cdot \beta \cdot V_{s1}}{1 + 1,645 \cdot V_{s1}} \cdot m_{s1} + \frac{1 + \alpha \cdot \beta \cdot V_{s2}}{1 + 1,645 \cdot V_{s2}} \cdot m_{s2} + \dots} \quad (2.104)$$

In verificarile practice, evaluarea individuala a marimilor  $m_{s,i}$  si  $V_{s,i}$  corespunzatoare actiunii 'i' este dificila, in principal din cauza observatiilor statistice insuficiente si ca urmare relatiile (2.103 - 2.104) nu pot fi aplicate cu usurinta, asa incat se propune sa fie adoptate regulile de grupare, coeficientii partiali de supraincarcare si cei de grupare prevazuti in EC 1 [2.26], dupa cum urmeaza:

$$F_d = \sum \gamma_f \cdot \Psi \cdot F_k \quad (2.105)$$

(1) cand se iau in calcul toate actiunile variabile:

$$F_d = 1,35 \sum G_k + 1,5 \cdot 0,9 \cdot \sum_i Q_{ki} \quad (2.106)$$

(2) cand se ia in calcul doar o actiune variabila preponderenta:

$$F_d = 1,35 \sum G_k + 1,5 \cdot 1,0 \cdot Q_{k1} \quad (2.107)$$

unde:  $F_d$  valoarea de calcul a incarcarii,

$F_k$  valoarea caracteristica a incarcarii,

$\gamma_f$  coeficientul de supraincarcare,

$\Psi$  coeficientul de grupare.

### 2.4.3. Determinarea probabilistica a rezistentei admisibile

Aprecierea sigurantei poate fi abordata mai simplu daca, acceptand un nivel de variabilitate al solicitarilor

in limitele uzuale prezentate in literatura  $V_s=0,05\div 0,40$ , [2.15], [2.17], se determina coeficientul nominal de siguranta  $\gamma$ , (echivalent valoric cu coeficientul  $c$  din MRA) si apoi pe baza acestuia rezistenta admisibila, pentru o probabilitate de cedare  $P_v$  acceptata.

Un astfel de algoritm este prezentat in continuare. Pentru otelul din tablierele construite pana in anul 1910, in urma cercetarilor experimentale pentru determinarea caracteristicilor mecanice si tehnologice si a prelucrarii statistice a datelor inregistrate, s-au determinat pentru o distributie normala:

- valoarea medie a limitei de curgere aparente,  $m_{Re}=275$  N/mm<sup>2</sup>;
- abaterea standard,  $S_{Re}=41,9$  N/mm<sup>2</sup>, si
- coeficientul de variatie,  $V_{Re}=0,153$  /

cu care, determinand fractila de 5% ( $k=1,645$ ), s-a obtinut valoarea caracteristica a limitei de curgere aparente:

$$R_{ek} \equiv f_y = m_{Re}(1 - k_R \cdot V_{Re}) = 275(1 - 1,645 \cdot 0,153) = 206 \text{ N/mm}^2 \quad (2.82a)$$

Admitand un coeficient de variatie al actiunilor,  $V_s=0,3$  pentru o probabilitate de cedare,  $P_f=10^{-6}$ , avem  $\beta=4,75$  si aplicand relatia (2.87) gasim valoarea coeficientului central de siguranta,

$$\gamma_0 = \frac{1 + 4,75\sqrt{0,153^2 + 0,3^2} - 4,75^2 \cdot 0,153^2 \cdot 0,3^2}{1 - 4,75^2 \cdot 0,153^2} = 4,70 \quad (2.87a)$$

dupa care aplicand relatia (2.84), gasim coeficientul nominal de siguranta,

$$\gamma = 4,70 \frac{1 - 1,645 \cdot 0,153}{1 + 1,645 \cdot 0,3} = 2,35 \quad (2.84a)$$

cu care determinam rezistenta admisibila

$$\sigma_a = f_y / \gamma = 206 / 2,35 = 87,7 \text{ N/mm}^2 \quad (2.105)$$

Se constata ca pentru a realiza o probabilitate de cedare asa de mica ca cea aleasa (care se practica in mod uzual la proiectarea structurilor noi) coeficientul de siguranta este foarte mare, respectiv rezistenta admisibila este foarte scazuta. Avand in vedere ca aceste tabliere vechi vor ramane in serviciu doar o perioada limitata de timp, se poate accepta o probabilitate de cedare mai ridicata, situata in jurul valorii  $P_f \approx 10^{-4}$  pentru care  $\beta=3,72$ .

Refacand calculele anterioare, se obtine:

$$\gamma_0 = \frac{1 + 3,72\sqrt{0,153^2 + 0,3^2} - 3,72^2 \cdot 0,153^2 \cdot 0,3^2}{1 - 3,72^2 \cdot 0,153^2} = 2,73 \quad (2.87b)$$

respectiv,

$$\gamma = 2,73 \frac{1 - 1,645 \cdot 0,153}{1 + 1,645 \cdot 0,3} = 1,369 \quad (2.84b)$$

cu care obtinem rezistenta admisibila:

$$\sigma_a = f_y / \gamma = 206 / 1,369 = 150 \text{ N/mm}^2 \quad (2.105a)$$

adica chiar valoarea utilizata in prezent in standard [2.17].

Aplicand algoritmul prezentat mai sus modelat prin facilitatile oferite de programul EXCEL7.0, pentru diferite probabilitati de cedare cuprinse intre valorile extreme  $10^{-1}$  si  $10^{-10}$ , si pentru fractilii rezistentelor respectiv solicitariilor, cei mai frecvent utilizati, s-au obtinut rezultatele prezentate in ANEXELE A.II-9 si A.II-10, iar cele mai semnificative si in tabelul 2.7a, pentru tablierele construite pana in anul 1910 si in tabelul 2.7b, pentru tablierele construite dupa anul 1910.

**TABELUL 2.7a**

**REZISTENTE ADMISIBILE determinate pe baze probabilistice**

V <sub>s</sub>	Probabilitatea p pentru fractilii	Coef. sig. $\gamma$ Rez. adm. $\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Valori determinate pentru P <sub>v</sub> acceptat la:						
			10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
0,35	10%	$\gamma_{0,10}$	1,17	1,48	1,81	2,23	2,77	3,56	4,89
		$\sigma_a$	189	1500	122	99	80	62	45
	5%	$\gamma_{0,05}$	0,99	1,26	1,55	1,91	2,37	3,05	4,19
		$\sigma_a$	206	<b>163</b>	<b>132</b>	108	87	67	49
	2,28%	$\gamma_{0,023}$	0,85	1,08	1,33	1,64	2,03	2,62	3,60
		$\sigma_a$	222	176	143	116	94	73	53
1%	$\gamma_{0,01}$	0,75	0,94	1,16	1,42	1,77	2,28	3,13	
	$\sigma_a$	237	188	152	124	10	78	57	
0,30	10%	$\gamma_{0,10}$	1,16	1,45	1,78	2,19	2,73	3,53	4,89
		$\sigma_a$	191	152	124	101	81	63	45
	5%	$\gamma_{0,05}$	0,998	<b>1,25</b>	<b>1,54</b>	1,89	2,35	3,05	4,22
		$\sigma_a$	206	<b>164</b>	<b>134</b>	109	87	67	49
	2,28%	$\gamma_{0,023}$	0,86	1,08	1,33	1,64	2,04	2,64	3,65
		$\sigma_a$	221	176	143	116	94	72	52
	1%	$\gamma_{0,01}$	0,76	0,95	1,16	1,43	1,78	2,31	3,19
		$\sigma_a$	234	187	152	123	99	77	55



**TABELUL 2.7a (continuare)**

V <sub>s</sub>	Probabilitatea p pentru fractili	Coef. sig. $\gamma$ Rez. adm. $\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Valori determinate pentru P <sub>v</sub> acceptat la:						
			10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
0,25	10%	$\gamma_{0,10}$	1,14	1,43	1,76	2,16	2,70	3,51	4,90
		$\sigma_a$	193	154	126	102	82	63	45
	5%	$\gamma_{0,05}$	1,00	<b>1,24</b>	<b>1,53</b>	1,88	2,35	3,06	4,27
		$\sigma_a$	206	<b>165</b>	<b>134</b>	109	88	67	48
	2,28%	$\gamma_{0,023}$	0,872	1,08	1,33	1,64	2,05	2,67	3,72
		$\sigma_a$	219	175	143	116	93	71	51
1%	$\gamma_{0,01}$	0,77	0,96	1,18	1,465	1,80	2,35	3,27	
	$\sigma_a$	231	185	151	122	98	75	54	
0,20	10%	$\gamma_{0,10}$	1,14	1,42	1,74	2,14	2,68	3,51	4,94
		$\sigma_a$	193	156	127	103	82	63	45
	5%	$\gamma_{0,05}$	1,00	1,25	1,53	1,89	2,36	3,09	4,35
		$\sigma_a$	205	165	135	109	87	67	47
	2,28%	$\gamma_{0,023}$	0,88	1,10	1,35	1,66	2,08	2,72	3,83
		$\sigma_a$	216	174	142	115	92	70	50
1%	$\gamma_{0,01}$	0,78	0,97	1,19	1,47	1,84	2,41	3,40	
	$\sigma_a$	226	182	148	120	96	73	52	
0,15	10%	$\gamma_{0,10}$	1,14	1,41	1,73	2,13	2,68	3,54	5,02
		$\sigma_a$	193	157	128	104	82	62	44
	5%	$\gamma_{0,05}$	1,02	1,26	<b>1,54</b>	1,90	2,39	3,15	4,47
		$\sigma_a$	202	164	<b>134</b>	108	86	65	46
	2,28%	$\gamma_{0,023}$	0,90	1,12	1,37	1,69	2,12	2,80	3,98
		$\sigma_a$	211	171	140	113	90	68	48
1%	$\gamma_{0,01}$	0,81	1,00	1,22	1,51	1,90	2,51	3,56	
	$\sigma_a$	219	177	145	117	93	71	50	
0,10	10%	$\gamma_{0,10}$	1,15	1,42	1,74	2,15	2,71	3,60	5,16
		$\sigma_a$	191	156	127	103	81	61	43
	5%	$\gamma_{0,05}$	1,04	1,28	<b>1,56</b>	1,94	2,45	3,25	4,65
		$\sigma_a$	198	161	<b>132</b>	106	84	63	44
	2,28%	$\gamma_{0,023}$	0,94	1,15	1,41	1,74	2,20	2,92	4,19
		$\sigma_a$	204	166	136	109	87	65	46
1%	$\gamma_{0,01}$	0,85	1,04	1,27	1,58	1,99	2,64	3,78	
	$\sigma_a$	209	170	139	112	89	67	47	
0,05	10%	$\gamma_{0,10}$	1,19	1,45	1,78	2,21	2,79	3,73	5,37
		$\sigma_a$	187	152	124	100	79	59	41
	5%	$\gamma_{0,05}$	1,08	<b>1,33</b>	<b>1,63</b>	2,02	2,56	3,41	4,91
		$\sigma_a$	190	<b>155</b>	<b>127</b>	102	80	60	42
	2,28%	$\gamma_{0,023}$	0,99	1,21	1,48	1,84	2,33	3,11	4,48
		$\sigma_a$	193	157	129	104	82	61	43
1%	$\gamma_{0,01}$	0,91	1,11	1,36	1,68	2,13	2,85	4,10	
	$\sigma_a$	196	160	131	105	83	62	43	



TABELUL 2.7b  
 REZISTENTE ADMISIBILE determinate pe baze probabilistice

V <sub>s</sub>	Probabilitatea P pentru fractii	Coef. sig. γ Rez. adm. σ <sub>a</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	Valori determinate pentru P <sub>v</sub> acceptat la:						
			10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
0,35	10%	γ <sub>0,10</sub>	1,17	1,37	1,55	1,72	1,87	2,03	2,18
		σ <sub>a</sub>	204	174	154	139	127	117	109
	5%	γ <sub>0,05</sub>	1,04	<b>1,22</b>	<b>1,38</b>	1,53	1,66	1,80	1,94
		σ <sub>a</sub>	222	<b>189</b>	<b>167</b>	151	138	128	119
	2,28%	γ <sub>0,023</sub>	0,93	1,09	1,24	1,37	1,49	1,62	1,74
		σ <sub>a</sub>	239	204	180	163	149	138	128
1%	γ <sub>0,01</sub>	0,85	0,99	1,12	1,24	1,36	1,47	1,58	
	σ <sub>a</sub>	255	217	192	174	159	147	137	
0,30	10%	γ <sub>0,10</sub>	1,15	1,33	1,50	1,65	1,80	1,94	2,09
		σ <sub>a</sub>	207	178	159	144	132	122	114
	5%	γ <sub>0,05</sub>	1,03	1,20	1,34	<b>1,48</b>	1,61	1,74	1,87
		σ <sub>a</sub>	224	192	171	<b>155</b>	143	132	123
	2,28%	γ <sub>0,023</sub>	0,93	1,08	1,21	1,34	1,46	1,57	1,69
		σ <sub>a</sub>	240	206	183	166	153	141	132
1%	γ <sub>0,01</sub>	0,85	0,99	1,11	1,22	1,33	1,44	1,54	
	σ <sub>a</sub>	254	219	195	177	162	150	140	
0,25	10%	γ <sub>0,10</sub>	1,13	1,29	1,44	1,59	1,72	1,85	1,98
		σ <sub>a</sub>	211	184	165	150	138	128	120
	5%	γ <sub>0,05</sub>	1,02	1,17	1,31	1,43	<b>1,56</b>	1,68	1,80
		σ <sub>a</sub>	226	196	176	160	<b>148</b>	137	128
	2,28%	γ <sub>0,023</sub>	0,93	1,07	1,19	1,31	1,42	1,53	1,63
		σ <sub>a</sub>	239	209	187	170	157	146	136
1%	γ <sub>0,01</sub>	0,85	0,98	1,09	1,20	1,30	1,40	1,50	
	σ <sub>a</sub>	253	220	197	180	166	154	144	
0,20	10%	γ <sub>0,10</sub>	1,10	1,25	1,39	1,51	1,63	1,76	1,88
		σ <sub>a</sub>	215	190	171	157	146	135	127
	5%	γ <sub>0,05</sub>	1,01	1,15	1,27	1,39	<b>1,49</b>	1,61	1,72
		σ <sub>a</sub>	228	201	181	166	<b>154</b>	143	134
	2,28%	γ <sub>0,023</sub>	0,93	1,05	1,17	1,27	1,37	1,48	1,58
		σ <sub>a</sub>	240	211	191	175	162	151	141
1%	γ <sub>0,01</sub>	0,86	0,97	1,08	1,18	1,27	1,37	1,46	
	σ <sub>a</sub>	251	221	200	183	170	158	148	
0,15	10%	γ <sub>0,10</sub>	1,08	1,21	1,33	1,44	1,55	1,65	1,77
		σ <sub>a</sub>	220	196	179	165	154	143	135
	5%	γ <sub>0,05</sub>	1,00	1,12	1,23	1,33	1,43	<b>1,53</b>	1,64
		σ <sub>a</sub>	230	205	187	172	161	<b>150</b>	141
	2,28%	γ <sub>0,023</sub>	0,93	1,04	1,14	1,24	1,33	1,42	1,52
		σ <sub>a</sub>	239	214	194	180	167	156	147
1%	γ <sub>0,01</sub>	0,87	0,97	1,06	1,16	1,24	1,33	1,42	
	σ <sub>a</sub>	248	222	202	187	174	162	152	

TABELUL 2.7b (continuare)

V <sub>s</sub>	Probabilitatea p pentru fractili	Coef. sig.	Valori determinate pentru P <sub>v</sub> acceptat la:						
		γ Rez. adm. σ <sub>a</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
0,10	10%	γ <sub>0,10</sub>	1,06	1,18	1,28	1,38	1,47	1,57	1,67
		σ <sub>a</sub>	223	202	186	173	162	152	143
	5%	γ <sub>0,05</sub>	1,00	1,10	1,20	1,29	1,38	1,47	<b>1,56</b>
		σ <sub>a</sub>	230	209	192	179	167	157	<b>147</b>
	2,28%	γ <sub>0,023</sub>	0,94	1,04	1,12	1,21	1,29	1,38	1,47
		σ <sub>a</sub>	237	215	198	184	172	161	152
1%	γ <sub>0,01</sub>	0,88	0,98	1,06	1,14	1,22	1,30	1,38	
	σ <sub>a</sub>	244	221	203	189	177	166	156	
0,05	10%	γ <sub>0,10</sub>	1,07	1,16	1,25	1,33	1,42	1,51	1,60
		σ <sub>a</sub>	223	205	191	178	168	158	149
	5%	γ <sub>0,05</sub>	1,00	1,10	1,19	1,27	1,35	1,43	<b>1,52</b>
		σ <sub>a</sub>	230	209	194	181	171	160	<b>151</b>
	2,28%	γ <sub>0,023</sub>	0,94	1,04	1,13	1,21	1,28	1,37	1,45
		σ <sub>a</sub>	237	212	197	184	173	163	154
1%	γ <sub>0,01</sub>	0,88	1,00	1,08	1,15	1,23	1,30	1,38	
	σ <sub>a</sub>	244	215	200	187	176	165	156	

## 2.5. CONCLUZII SI CONTRIBUTII PERSONALE

Pentru tablierile metalice existente, proiectate dupa un concept de siguranta deterministic care in prezent este depasit si in mare parte abandonat, datorita progreselor inregistrate in dezvoltarea analizei sigurantei structurale a constructiilor de toate tipurile, se poate aprecia nivelul de siguranta utilizand metode probabilistice.

Determinarea sigurantei structurale a tablierelor metalice se poate face in mai multe moduri:

1) Prin determinarea probabilitatii de cedare  $P_f$ , in urma modelarii probabilistice a actiunilor si a limitei de curgere aparenta, intr-o distributie normala (sau lognormala, in care insa calculele devin mai greoaie) utilizand modelul de calcul bivariat, prezentat in paragraful 2.4.1.

2) Prin verificarea capacitatii portante la starile limita ultime sau ale exploatarii normale, prin compararea efectului sectional al actiunilor  $S$  cu rezistenta sectiunilor  $R$ , determinate pe baza incarcarilor si a rezistentelor de calcul, utilizand coeficientii partiali de siguranta  $\gamma_F$  si  $\gamma_m$ .

3) Prin aplicarea conceptului de verificare deterministic, acelasi ca cel avut in vedere la timpul proiectarii lor, reprezentat prin metoda rezistentelor admisibile, coeficientul unic de siguranta  $c$  si respectiv, rezistenta admisibila fiind determinati dupa conceptul probabilistic, asa cum s-a aratat in paragraful 2.4.3.

Principalele contributii aduse in acest capitol sunt :

- sinteza cunostintelor necesare aplicarii unui concept de siguranta probabilistic sau semiprobabilistic pentru tablierile metalice existente;
- prezentarea conceptului de siguranta semiprobabilistic adoptat de normele europene actuale, pentru proiectarea tablierelor metalice noi;
- adaptarea conceptului de siguranta semiprobabilistic pentru verificarea tablierelor metalice existente cu vechime mare in exploatare, bazat pe studii experimentale asupra materialului metalic si teoretice asupra actiunilor;
- aplicarea conceptelor probabilistice la determinarea rezistentelor admisibile;

- compararea nivelului de siguranta oferit de conceptul de verificare deterministic prevazut in normele in vigoare, fata de cel obtinut pe baze probabilistice.

## BIBLIOGRAFIE: Capitolul II

- 2.1. Benjamin, J.R., Cornell, C.A., *Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers*, Mc. Graw-Hill Book Company, New York, 1970;
- 2.2. Bob, C. *Verificarea calitatii, sigurantei si durabilitatii constructiilor*, Editura Facla, Timisoara, 1989;
- 2.3. Boldus, D.C., *Sécurité probabiliste des structures; Ponts metalliques, un nouveau concept de verification à la fatigue sous charge de service*, Rapport de doctorat, intocmit la INSA Rennes, 1993;
- 2.4. Burtescu, Fl., *Siguranta podurilor de sosea din beton in conceptie probabilistica*, teza de doctorat ICB-Facultatea de CFDP, Bucuresti 1991;
- 2.5. Cherepanov, G.D., *Crack Propagation in Continuous Media*, PMM vol. 31, 1967;
- 2.6. Ciucu, G., Craiu, V., *Introducere in teoria probabilitatilor si statistica matematica*, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1971;
- 2.7. Ferry Borges, J., Castanheta, M., *Siguranta structurilor*, (traducere din I. engleza), Editura Tehnica, Bucuresti, 1974;
- 2.8. Freudenthal, A.M., *The Safety of structures*, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, ASCE, vol.71, oct. 1945;
- 2.9. Ghiocel, D., Lungu, D., *Actiunea vantului, zapezii si variatiilor de temperatura in constructii*, Editura Tehnica, Bucuresti, 1972;
- 2.10. Gnedenko, B.V., Beleaev, I.K., Soloviev A.D., *Metode matematice in teoria sigurantei*, Editura Tehnica, Bucuresti, 1968;
- 2.11. Gumbel, E. J., *Statistics of Extremes*, Columbia University Press, New York, 1967;
- 2.12. Krée, P., *La sécurité de construction*; Collège International de Sciences de la Construction- séminaire à Saint-Remy les Chevreuse, 1974, Editura Eyrolles, Paris 1976;
- 2.13. Krée, P., Met, P.N., *Probabilité de ruine des structures élastiques*, Construction metalliques, n° 4/1973;
- 2.14. Lungu, D., *Concepte probabilistice in analiza sigurantei constructiilor*, Teza de doctorat, Institutul de Constructii Bucuresti, 1976;
- 2.15. Lungu, D., Ghiocel, D., *Metode probabilistice in calculul constructiilor*, Editura Tehnica, Bucuresti, 1982;
- 2.16. Lungu, D., Ghiocel, D., *Probabilistic Approach to the Description of Loads and Material Strenght*, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Application of Statistic and Probability in Soil and Structural Engineering, sept. 1975, Aachen,

published by Deutsche Gesellschaft fuer Erd und Grundbau, vol.1, pp.293-304, Essen 1975.

**2.17. Petersen, Ch.,** *Stahlbau- Grunlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten*, 2., verbesserte Auflage, Vieweg&Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1990, ISBN 3-528-18837-5;

**2.18. Prot, M.,** *La sécurité des constructions*, Rapport introductif, Publication préliminaire du 3<sup>ème</sup> Congrès de l'Asociation Internationale des Ponts et Charpentes, Liège, 1948;

**2.19. Smith, F.A., Hirt, M. A.,** *Fracture Mechanics in Structural Engineering-Recent Research Advanced and their Application to Design*, Elsevier, 1966;

**2.20. Wierzbicki, M. W.,** *La sécuruté des construction comme une problème de probabilité*, Annales de l'Academie Polonaise de Sciences Techniques, Tome VII, Warsaw, 1939-1945;

**2.21. \* \* \*** *Manuel Sécurité des Structures*, Bulletin CEB, n°106, 107, Paris, Janvier 1975;

**2.22. \* \* \*** *Code UIC 778-2R; Recommandations pour la détermination de la capacité portante des structures métalliques existantes*; Union Internationale des Chemins de fer, Paris, 1986.

**2.23. \* \* \*** *ENV 1993-2:1997; EUROCODE 3: Design of Steel Structures, Part 2: Steel bridges* ; European Committee for Standardization, CEN/TC250/SC3, Brussels,1997.

**2.24. \* \* \*** *STAS 1911-75; Poduri de cale ferata. Prescriptii de proiectare*; Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1975;

**2.25. \* \* \*** *SR 1911-95. Proiect de revizuire STAS 1911-75 referitor la proiectarea podurilor metalice noi de cale ferata si pentru verificarea podurilor metalice existente de cale ferata*; Contract nr.340c/1994, Institutul de Constructii Bucuresti, Catedra de poduri, 1996;

**2.26. \* \* \*** *ENV 1991-3:1997; EUROCODE 1: Design of Steel Structures, Part 2: Steel bridges* ; European Committee for Standardization, CEN/TC250/SC3, Brussels,1997.

**2.27. \* \* \*** *STAS 10100/0-75: Principii generale de verificare a sigurantei constructiilor*; Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1975.

**2.28. \* \* \*** *ENV 1993-1:1994; EUROCODE3: Design of Steel Structures, Part 1: General Rules and Rules for Buildings*; Comité Européen de Normalization, CEN/TC250/SC1, Brussels, 1994.



## Capitolul III

### STUDII SI CERCETARI EXPERIMENTALE ASUPRA MATERIALULUI METALIC DIN ELEMENTELE PODURILOR METALICE VECHI

#### 3.1. PROGRAMUL DE STUDII SI ÎNCERCARI DE LABORATOR

Studiul calitativ si determinarea valorica a caracteristicilor fizico-mecanice si tehnologice a materialului metalic incorporat in structura de rezistenta a tablierelor metalice vechi prezentate in paragraful 1.5, s-a realizat pe baza incercarilor mecanice efectuate, in laboratoare specializate, pe epruvete confectionate din probe de material prelevate din diferitele elemente componente ale tablierelor, atat in cadrul programului de expertizare prezentat in paragraful 4.2, cat si cu alte ocazii, cum ar fi: studiile pentru consolidare la trecerea la convoiul de calcul T 8.5 (efectuate in anii 1960-1970) sau pentru electrificarea liniilor cat si alte expertize anterioare.

Programul de studii si incercari experimentale efectuat in acest sens a avut ca obiectiv obtinerea datelor necesare modelarii fizice a structurii tablierelor in cauza si prin extrapolare, in urma prelucrarii statistice a datelor achizitionate, informatii si concluzii cu privire la calitatea otelului utilizat, prezentate sub aspectul caracteristicilor de rezistenta, deformabilitate si tenacitate determinate ca marimi caracteristice.

Conform acestor cerinte, programul de studii si cercetari experimentale a urmarit:

1. Stabilirea caracteristicilor tehnologice si fizico-mecanice supuse studiului si a incercarilor experimentale aferente;
2. Selectarea elementelor din structura de rezistenta a tablierului si a zonelor de prelevare a esantioanelor de material din care se prelucreaza epruvetele;
3. Stabilirea, pentru fiecare tip de incercare, a dimensiunilor, formei si numarului de epruvete necesare,

- pe baza acestor date rezultand dimensiunile si efectuandu-se prelevarea probelor;
4. Precizarea tehnologiei de prelevare a probelor de material si marcarea lor corespunzatoare in vederea identificarii zonei de provenienta a materialului analizat;
  5. Confectionarea epruvetelor standardizate pentru fiecare categorie de incercari si marcarea lor, corespunzator provenientei;
  6. Efectuarea incercarilor experimentale prevazute, corelat cu inregistrarea si centralizarea rezultatelor obtinute prin masuratori;
  7. Prelucrarea statistica a a valorilor experimentale obtinute si alcatuirea tabloului final de rezultate in urma incercarilor in laborator;
  8. Studiul cantitativ si calitativ al corelatiilor intre rezultatele incercarilor efectuate;
  9. Analiza critica comparativa a rezultatelor masuratorilor experimentale cu datele prezentate in literatura si in normative;
  10. Formularea concluziilor studiilor si cercetarilor efectuate asupra caracteristicilor fizico-mecanice si tehnologice ale materialului metalic din elementele tablierelor vechi aflate in exploatare.

Avand in vedere informatiile contradictorii, pe de o parte din literatura tehnica de specialitate, conform carora in perioada istorica corespunzand anilor de constructie a acestor tabliere (vezi tabelul 1.5) s-a utilizat atat fierul pudlat cat si un sortiment de otel de fuziune si evidentele existente la serviciile de specialitate ale SNCFR, a caror exactitate nu este confirmata cu certitudine, iar pe de alta parte afirmatiile regasite in [3.14], conform carora majoritatea tablierelor din fier pudlat executate pana in preajma anului 1900, au fost inlocuite cu tabliere din otel moale, iar ultimul tablier mare din fier pudlat existent in exploatare pe reseau CFR (podul peste Mures la Mihalt, L=53,20m) a fost inlocuit in anul 1981 si rezultatele cercetarilor individuale care nu au pus in evidenta structuri clare de fier pudlat, s-a procedat la alcatuirea a doua populatii statistice, criteriul de selectie fiind anul de constructie, astfel:

1. **Colectivitatea A**, a suprastructurilor metalice a podurilor construite **inainte de anul 1910**;
2. **Colectivitatea B**, a suprastructurilor metalice a podurilor construite **dupa anul 1910**.

### 3.2. DIRECTII DE STUDIU SI RECOLTAREA PROBELOR

In vederea evaluarii criteriilor de calitate impuse prin obiectivele tezei de doctorat, bazat pe programul de cercetari recente cat si pe unele date achizitionate anterior, au fost supuse studiului:

- A) **Compozitia chimica procentuala pe produs**, determinandu-se principalele elemente chimice cerute in [3.27] pentru identificarea metalului: carbon, mangan, siliciu, fosfor, sulf, azot si aluminiu.
- B) **Caracteristicile fizico-mecanice si tehnologice** ale otelului: limita de curgere, rezistenta la rupere, alungirea procentuala la rupere, rezilienta, energia de rupere, capacitatea de indoire la rece, duritatea.
- C) **Examinarea metalografica**, pentru determinarea sensului de laminare, a structurii materialului, a gradului de impuritate si a coroziunii interne.

Estimarea valorica a acestor caracteristici ale materialului metalic incorporat in tablierele vechi a fost realizata pe baza rezultatelor urmatoarelor experimentari, efectuate conform prescriptiilor din standardele mentionate alaturat:

- Analiza spectrala, STAS 2015/2-85 [3.28];
- Incercarea la tractiune, STAS 200-85 [3.29];
- Incercarea de incovoiere prin soc pe epruvete cu crestatura in U, STAS 1400-75 [3.30];
- Incercarea de incovoiere prin soc pe epruvete cu crestatura in V, STAS 7511-73 [3.31];
- Incercarea de indoire pe dorn, STAS 777-80 [3.32];
- Incercarea de duritate Brinell, STAS 165-76 [3.33].

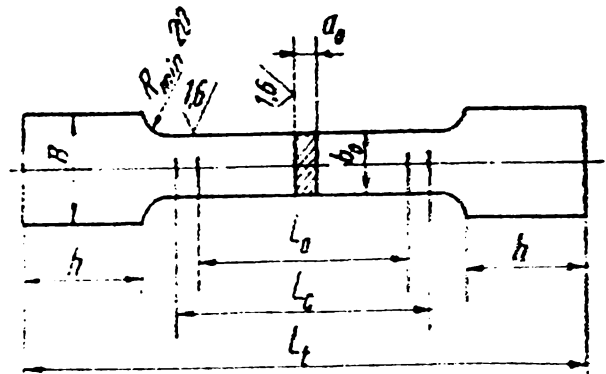
Pentru atingerea acestor obiective, conform specificatiilor din standardele de incercari corelate cu detaliile de alcatuire a elementelor structurii de rezistenta a tablierelor studiate, au fost stabilite forma, dimensiunile si numarul de epruvete, reprezentate in figura 3.1, necesare efectuarii tuturor incercarilor experimentale mentionate la inceputul acestui paragraf.

Pentru pregatirea epruvetelor specificate in figura 3.1., s-au extras pentru fiecare deschidere analizata, pe principiul esantioanelor intamplatoare pentru a obtine o omogenitate reala a rezultatelor, cate un numar de sase zabrelute si/sau placute de solidarizare din barele grinzilor cu zabrele, esantioane din cornierele contravantuirilor si acolo unde a fost posibil din plathenzile de continuitate a lonjeronilor, care apoi au fost inlocuite.

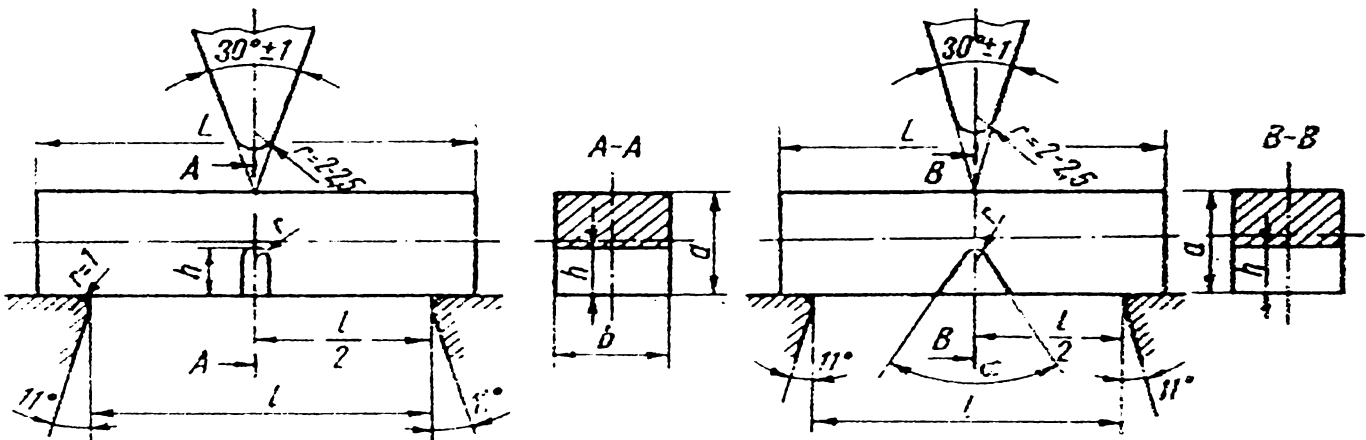
Prelevarea esantioanelor de material din structura s-a facut exclusiv prin procedee mecanice, taind niturile cu dalta si apoi extragand piesa in cauza, asa incat nu s-a afectat in nici un fel structura interna a materialului. Pozitia de prelevare a probelor, in principal din zonele secundare, putin solicitate a elementelor de rezistenta, exemplificata in figura 3.2, a rezultat in principal din considerente practice, avand in vedere ca toate operatiile s-au desfasurat sub circulatie, in scurte inchideri de linie, podurile analizate fiind in exploatare normala. In toate cazurile insa s-a urmarit ca orientarea axei epruvetelor sa fie in concordanta cu directia de laminare.

**A) incercarea la TRACTIUNE si INDOIRE LA RECE**

Epruvete plate normale, $L_0 = 5.65\sqrt{S_0}$						
min. 2 buc/proba, cu dimensiunile in (mm):						
$a_0$	$b_0$	$L_0$	$L_c$	$L_t$	$h$	$B$
7	22	70	95	195	60	35
8	25	80	108	208	60	35
10	31	100	135	245	70	40
OBS. Epruvetele pentru incercarea de indoire la rece raman pe toata lungimea cu latimea B.						



**B) incercarea de INCOVOIERE PRIN SOC**



Epruvete tip **MESNAGER** (rezilienta)

**5 buc/proba**  
 $h=2$  mm;  $a=10$  mm;  
 $b=10, 7,5, 5$  mm;  
 $L=55$  mm;  $l=40$  mm.

Epruvete tip **CHARPY** (energia de rupere)

**5 buc/proba/temp.**  
 $h=2$  mm;  $\alpha=45^\circ$   
 $b=10, 7,5, 5$  mm;  
 $L=55$  mm;  $l=40$  mm.

**FIG. 3.1.** Forme si dimensiuni ale epruvetelor folosite

Pe masura ce unele elemente sau tabliere vor fi inlocuite, programul de cercetari experimentale va fi continuat si completat cu date obtinute si din esantioane de elemente puternic solicitate.



Dupa extragerea esantioanelor de material s-a refacut geometria initiala a elementului prin adaugarea de elemente noi, din OL 37.2K, si rebaterea niturilor taiate; toate aceste operatiuni au fost efectuate, cu personal calificat, de catre Atelierul de tablriere metalice din cadrul Regionalei CF Timisoara.

a)



b)



FIG. 3.2 Prelevarea esantioanelor de material;  
a) din diagonalele grinzii principale  
b) din montantii grinzii principale



Esantioanele extrase si marcate corespunzator pentru a putea fi usor identificate, transferate apoi la laboratorul de specialitate la INCERTRANS Bucuresti, au fost apoi prelucrate mecanic prin taiere, rabotare, frezare si rectificare plana, aducandu-se la formele si dimensiunile epruvetelor standard pentru efectuarea incercarilor precizate, asa cum am aratat in figura 3.1.

Compozitia chimica s-a determinat pe probe de cate 50 grame de span extras din elementele prelevate, prin aschiere la turatie redusa pentru evitarea decarburarii metalului.

Incercarile mecanice, pentru fiecare deschidere analizata, s-au efectuat pe cate:

- **doua-trei** epruvete (dupa cantitatea de esantioane disponibila) pentru tractiune si indoire pe dorn,
- **doua** epruvete slif pentru masuratori de duritate Brinell,
- **trei-cinci** epruvete pentru rezilienta (KCU) si
- **trei-cinci** epruvete pentru rupere prin soc, la fiecare din temperaturile  $+20^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 0^{\circ}\text{C}$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$  iar in unele cazuri si la  $+10^{\circ}\text{C}$  si  $-10^{\circ}\text{C}$  (in total intre 9 si 25 epruvete). Pentru podul de la Sag-Timiseni (P-07) s-au efectuat incercari si la temperatura de  $-30^{\circ}\text{C}$ , la restul tablierelor marginindu-ne doar la temperaturi pana la  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Pentru examinarea metalografica s-au prelevat, pentru fiecare deschidere, cate doua epruvete slif metalografic.

In final, pentru prelucrarea statistica a rezultatelor experimentelor, la fiecare deschidere analizata s-a retinut cate un singur sir cu valorile caracteristicilor masurate, rezultate ca medie aritmetica a valorilor individuale obtinute pe epruvetele incercate. In toate cazurile in care au existat rezultate certe ale unor incercari anterioare, efectuate in laboratoare specializate (INCERTRANS Bucuresti, ISPCF Bucuresti, Laboratorul CS Hunedoara) in conditiile prevazute de standardele de incercari, aceste valori au constituit siruri suplimentare, care au fost si ele inglobate in populatiile statistice supuse analizei. In acest mod s-au obtinut:

- **25** de siruri, cu valori ale compozitiei chimice si ale principalelor caracteristici mecanice, pentru **colectivitatea A** (poduri construite pana in anul 1910);
- **22** de siruri, cu valori ale compozitiei chimice si ale principalelor caracteristici mecanice, pentru **colectivitatea B** (poduri construite dupa anul 1910).

In vederea stabilirii cu usurinta a corespondentei cu podul de provenienta, marcarea probelor de material s-a facut

utilizand o codificare cu trei identificatori, a caror semnificatie, in ordinea scrierii lor, este:

- **incadrarea in perioada de constructie, A sau B**, corespunzatoare colectivitatii A sau B;
- **podul** in cauza, corespunzator cu numarul de cod din tabelul 1.5 (P01, P02, etc.);
- **deschiderea si seria de rezultate** ale incercarilor; deschiderile sunt notate cu litere minuscule, in ordinea plasarii lor in structura podului in sensul de parcurs al kilometrajului liniei cu: **a, b, c**, etc. iar seriile de rezultate cu cifre arabe: **1** sau **2**. La podurile cu o singura deschidere identificatorul deschiderii poate sa lipseasca din scrierea codului.

Marcarea detaliata a celor 25 de probe referitoare la podurile construite pana in anul 1910 este aratata in tabelul 3.1.a iar a celor 22 de probe referitoare la podurile construite dupa anul 1910, in tabelul 3.1.b, alaturi de valorile marimilor masurate experimental.

### **3.3. EFECTUAREA INCERCARILOR EXPERIMENTALE SI ACHIZITIA REZULTATELOR**

Incercarile experimentale stabilite a se efectua pentru determinarea caracteristicilor otelului din structura tablierelor podurilor metalice de cale ferata vechi, s-au executat in conformitate cu prescriptiile standardelor de incercare specificate in paragraful 3.2., atat in ceea ce priveste precizia aparaturii de incercare cat si a conditiilor tehnice de efectuare a experimentarilor.

In continuare sunt expuse, sub aspectul posibilitatilor de interpretare a comportarii materialului sub incarcari, aspecte specifice fiecareia dintre incercarile efectuate, apoi sunt prezentate rezultatele inregistrate prin masuratorile experimentale.

#### **3.3.1. Analiza spectrala**

ANALIZA SPECTRALA - efectuata cu scopul determinarii compozitiei chimice a otelului probelor extrase, a fost inclusa in programul experimental, deoarece norma [3.27], iar mai recent si norma europeana [3.34], impun continutul maxim

admis al elementelor chimice C, Mn, P, S, la incadrarea otelului intr-o anumita marca si clasa de calitate, respectiv continutul maxim de Si si minim de Al, la aprecierea gradului de dezoxidare.

In acelasi timp, valorile experimentale ale compozitiei chimice procentuale, prezentate in coloanele 3-7 din tabelele 3.1.a si 3.1.b, si cele ale caracteristicilor mecanice si de tenacitate obtinute pe aceleasi probe de material, au permis studiul corelatiilor dintre aceste grupe de variabile. Totodata, s-au putut face comparatii si cu rezultatele altor cercetari similare efectuate in tara si in strainatate [3.25], [3.35].

Se mentioneaza ca s-a apreciat, dupa mai multe consultari, ca materialul supus analizei nu poate fi incadrat in categoria fierului pudlat, chiar daca intre diversele esantioane exista deosebiri, intrucat la fierul pudlat continutul procentual de carbon este foarte redus din cauza decarburarii la pudlare si in plus se intalnesc procente mari de fosfor, caracteristici care nu au fost confirmate in cazul esantioanelor analizate.

De asemenea, nu s-au detectat decat urme de aluminiu, ceea ce a dus la concluzia ca in procesele de elborare a sarjelor nu s-a procedat in mod voit la operatii de calmare, anumite efecte in acest sens fiind posibil sa se fi obtinut prin actiunea manganului.

Concluzia finala a fost ca este vorba despre un otel moale, diferentele mentionate in compozitia chimica, fiind puse pe seama procedeelelor de elaborare si a furnizorilor semifabricatelor.

### **3.3.2. Incercari mecanice**

INCERCARILE MECANICE ale unor epruvete standardizate, confectionate din esantioanele de material prelevate, au fost efectuate cu scopul de a determina principalele caracteristici de rezistenta si tenacitate ale materialului analizat. Incercarile efectuate cat si rezultatele obtinute, alaturi de concluziile rezultate in urma acestora sunt prezentate in paragrafele care urmeaza.

#### **3.3.2.1. INCERCAREA LA TRACTIUNE**

Incercarea la tractiune s-a efectuat pentru a determina comportarea metalului la intindere monoaxiala, care prezinta, in fapt, interes si pentru toate celelalte stari de sollicitare mai complexe care apar in exploatare; dupa cum este cunoscut din teoria starilor de tensiune limita [3.16], [3.20], o stare de tensiune oarecare se echivaleaza, pe baza anumitor

criterii, cu starea de tensiune cea mai simpla si mai usor de realizat experimental: aceea de la intinderea monoaxiala.

Incercarea la tractiune s-a executat cu epruvete plate, aplicand epruvetei o forta axiala crescatoare si masurand (inregistrand) variatiile corespunzatoare ale lungimii epruvetei, pana la ruperea acesteia. In urma acestei incercari s-a ridicat curba caracteristica a otelului (care exprima legatura intre tensiunea  $\sigma$  si deformatia specifica  $\epsilon$ ), exemplificata in figura 3.3, si s-au determinat:

- **limita de curgere aparenta  $R_e$** , cu relatia:  $R_e = F_c / S_0$ ;
- **rezistenta la rupere  $R_m$** , cu relatia:  $R_m = F_{max} / S_0$ ;
- **alungirea la rupere  $A(\%)$** , cu relatia:  $A[\%] = 100 \cdot (L_u - L_0) / L_0$ ;
- **gâtuirea la rupere  $Z(\%)$** , cu relatia:  $Z[\%] = 100 \cdot (S_0 - S_u) / S_0$ .

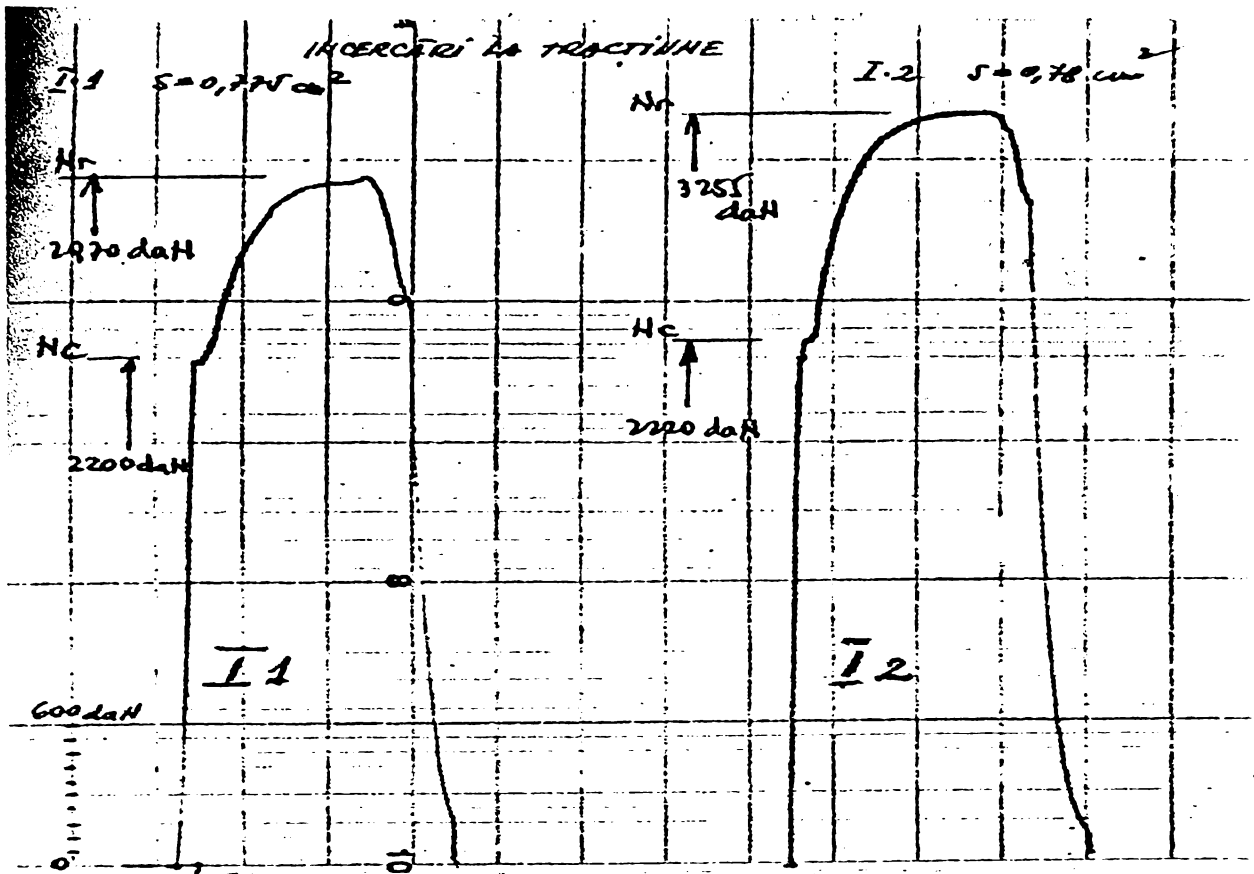
Asa cum usor se constata si din figura 3.3, curbele caracteristice obtinute respecta forma tipica de curba caracteristica prezentata in literatura [3.16] pentru otelul carbon.

Dintre primele doua caracteristici pe care se bazeaza aprecierea rezistentelor materialului, **rezistenta la rupere**, desi des citata ca rezultat al incercarii la tractiune, este pentru siguranta structurilor, dupa [3.9], o marime cu semnificatie fundamentala mai putin importanta din punctul de vedere al rezistentei, ea fiind in fapt o masura a incarcarii maxime suportate de material in conditii speciale, de solicitare strict axiala (monoaxiala) si nu in conditiile aplicarii unei stari de solicitare complexa (plana sau chiar spatiala), asa cum se intampla frecvent in procesul de exploatare a podurilor metalice existente.

**Limita de curgere aparenta** in schimb, calculata in mod conventional ca raportul intre efortul corespunzator unei deformatii plastice, stabilita conventional si aria sectiunii transversale initiale a epruvetei, este parametrul mecanic mentionat in toate normele drept marimea de referinta in evaluarea calitatii materialului, respectiv in stabilirea rezistentei caracteristice a acestuia dupa actualele concepte probabilistice ale sigurantei structurilor metalice, asa cum am aratat in paragrafele 2.2 si 2.3. Chiar si actuala norma determinista [3.36], prevede determinarea rezistentei admisibile pornind de la valoarea limitei de curgere.



a)



b)

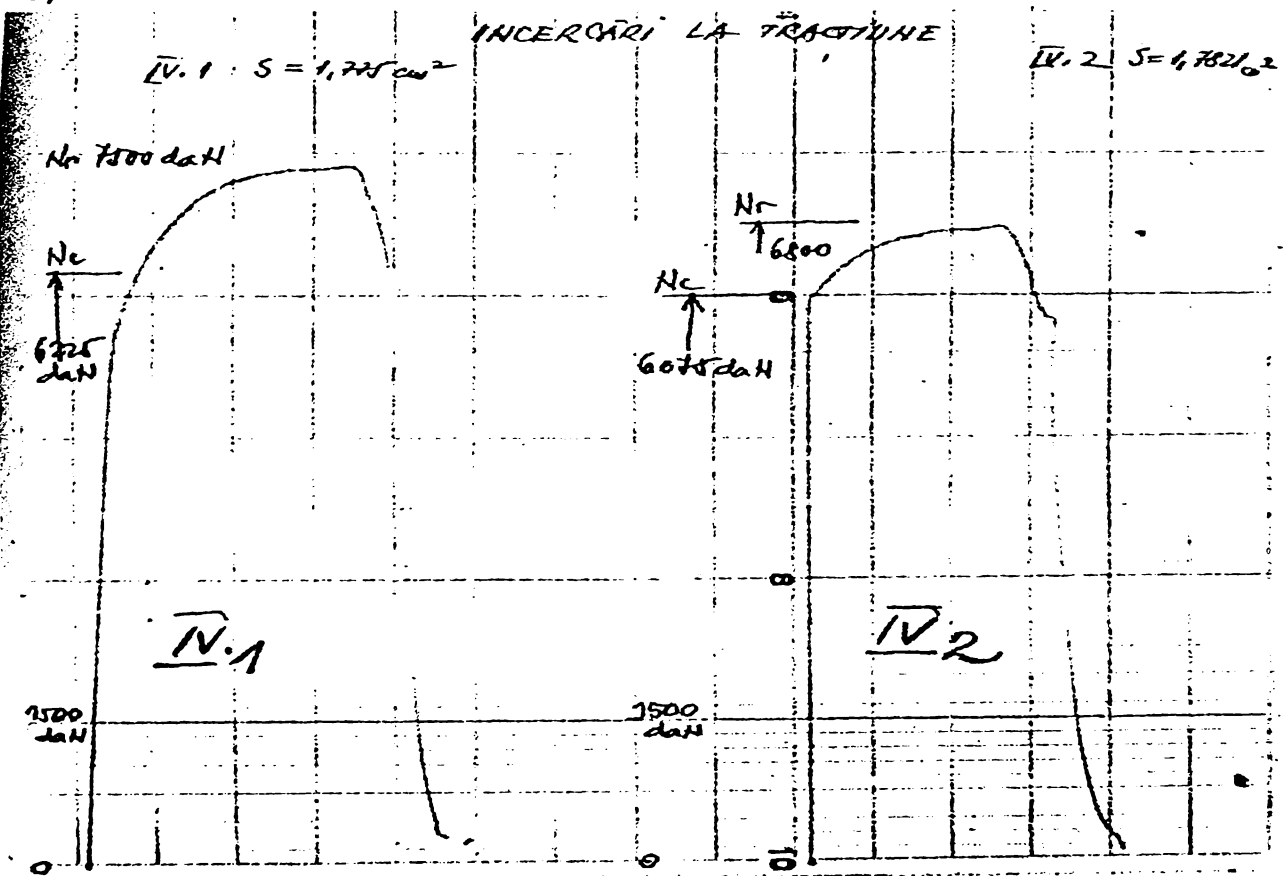


FIG. 3.3. Curbe caracteristice obtinute prin încercarea la tracțiune, podul de la Sag-Timiseni:

- a) deschiderea a III-a, anul construcției 1912;
- b) deschiderea a IV-a, anul construcției 1887.



Deoarece atat standardul national [3.27], cat si norma europeana actuala [3.34], specifica drept criteriu de calitate ambele caracteristici mentionate, acestea au fost inregistrate pe baza rezultatelor obtinute prin incercarile experimentale la tractiune a celor doua categorii de epruvete prelevate, rezultatele obtinute fiind inscise in coloanele 8 si 9 ale tabelelor 3.1.a si 3.1.b.

**Alungirea procentuala la rupere si gâtuirea** reprezinta parametrii care dau indicatii asupra caracteristicilor de deformabilitate plastica a materialului [3.7]. Marimea alungirii procentuale totale este influentata de modul in care evolueaza deformatia in timpul gatuirii epruvetei, asa incat se poate afirma ca intre cei doi parametri exista o relatie de dependenta. Alungirea uniforma, produsa pe lungimea dintre repere pana la solicitarea ce corespunde fortei de tractiune maxime ce poate fi preluata de epruveta, este insa considerata, dupa [3.9], o valoare mai importanta din punctul de vedere al posibilitatilor de apreciere a capacitatii de deformare a otelului, decat alungirea neuniforma, ulterioara inceperii gatuirii epruvetei.

Avand in vedere relatia de dependenta despre care am vorbit anterior am considerat suficient sa includem intre criteriile de apreciere a calitatii otelului existent, corelat si cu prevederile normelor [3.27] si [3.34], numai alungirea la rupere (desi s-a determinat si gatuirea), valorile experimentale ale acesteia fiind inscise in coloana 10 a tabelelor 3.1.a si 3.1.b.

### **3.3.2.2. INCERCARI DE ÎNCOVOIERE PRIN SOC**

Incercarile de incovoiere prin soc au fost efectuate pentru aprecierea tenacitatii si a tendintei de rupere fragila a otelului. Rezultatele acestor incercari desi nu sunt, dupa [3.9], aplicabile direct in activitatea de verificare, pun in evidenta comportarea materialului unei epruvete cu crestatura, fie prin marimea energiei absorbite de catre unitatea de suprafata a sectiunii transversale a epruvete (KCU), fie prin marimea totala a energiei absorbite pentru ruperea acesteia dintr-o singura lovitura cu ciocanul pendul (KV).

Acelasi otel se poate, dupa [3.8], comporta fie tenace, fie fragil in functie de conditiile specifice de solicitare. In legatura cu problemele care sunt analizate in lucrarea de fata apare necesar sa precizam unele notiuni fundamentale privind proprietatile metalelor:

→ **plasticitatea**, este proprietatea metalelor de a lua sub anumite solicitari deformatii permanente;

→ **tenacitatea**, este proprietatea metalelor de a se rupe sub actiunea sollicitarilor, dupa deformatii permanente vizibile;

→ **fragilitatea**, este proprietatea materialelor in general si a metalelor (in anumite conditii) de a se rupe brusc sub actiunea sollicitarilor, fara deformatii permanente vizibile.

Cu tot efortul experimental desfasurat in lumea intreaga [3.6], caracteristicile de tenacitate ale otelului pot fi doar partial cunoscute la modul general, datorita extremei sensibilitati a acestor caracteristici la microstructura si impuritati care pot diferi esential chiar in cadrul aceleiasi marci de material in functie de istoria concreta a elaborarii si prelucrarii pana in stadiul destinat aplicatiei. In aceste circumstante se recurge in practica la efectuarea incercarilor de tenacitate pentru fiecare aplicare specifica. Tenacitatea otelurilor ferito-perlitice (cu continutul de carbon cuprins intre 0,05-0,20%), asa cum sunt otelurile vechi din structura podurilor metalice de cale ferata, este determinata in primul rand de raportul dintre ferita eminenta ductila si perlita dura.

Cercetarile experimentale si analiza unor cazuri de avarii [3.8] au aratat ca ruperea fragila a structurilor metalice care lucreaza in conditii date de sollicitare si temperatura, se poate produce, cand marimea defectelor sau concentrarilor de tensiune depasesc un anumit nivel critic, care este caracteristic pentru metalul in cauza si pentru conditiile de sollicitare a acestuia in constructie. Rezulta ca siguranta fata de ruperea fragila a structurilor metalice trebuie apreciata prin prisma urmatoarelor marimi, proprii fiecărei structuri: lungimea defectelor sau a discontinuitatilor existente in metal, nivelul de tensiuni, viteza de sollicitare sau deformare, temperatura de exploatare si caracteristicile otelului in conditiile date de exploatare. Stabilirea unor valori limita ale acestor marimi, care pot fi admise intr-o structura metalica, astfel incat sa se dispuna de un anumit nivel de asigurare fata de ruperea fragila, este in general, greu de realizat mai ales la otelurile cu proprietati plastice, cum sunt otelurile moi. In aceste conditii, experimentele pe corpuri de proba reprezentative, costisitoare si greu de realizat, se inlocuiesc cu incercari efectuate la diferite temperaturi pe epruvete de dimensiuni reduse, prelevate din structura, asa cum am aratat la inceputul punctului acestui paragraf.

Dupa [3.16], cele doua tipuri de incercari pun in evidenta fenomene diferite:

- in primul caz, forma rotunjita a crestaturii in U de pe epruvetele Mesnager [3.30], evidentiaza tendinta de formare si apoi cea de propagare a fisurilor;

- in cel de al doilea caz, crestatura in V a epruvetelor Charpy [3.31], ce poate fi echivalata cu o fisura existenta, pune in evidenta tendinta de propagare a acesteia.

Incercarea, astfel efectuata, este foarte severa deoarece epruveta prezinta o crestatura cu o stare de solicitare complexa care se dezvolta cu o viteza mare datorita socului provocat de ciocanul pendul. Datorita unor defecte de structura (pori, incluziuni, micrifisuri) care pot fi localizate la varful crestaturii si imposibilitatii de a realiza practic, prin procesul de aschiere la pregatirea epruvetelor, crestaturi perfect identice, valorile experimentale obtinute din acelasi element prezinta imprastieri destul de mari. Din aceasta cauza s-au efectuat cel putin trei, dar de regula cinci, incercari, retinandu-se ca rezultat media lor.

In standardul romanesc [3.27], sunt prevazute drept criterii de apreciere a marcii otelului atat cifra de rezilienta cat si energia consumata la rupere, ca valori minime care trebuie realizate, pe cand in norma europeana [3.34], se specifica, in acelasi sens, doar valoarea minima a energiei de rupere.

Incercarile s-au facut, ori de cate ori dimensiunile esantioanelor prelevate au permis, pe epruvete cu grosimea  $b=10\text{mm}$ , asa cum prevad standardele de incercare. La podurile vechi inasa, in multe cazuri grosimea tablelor folosite este de  $10\text{mm}$  sau chiar mai mica, asa incat am fost obligati sa prelucram si sa incercam epruvete cu grosimea mai mica si anume  $b=7,5\text{mm}$  sau  $b=5\text{mm}$ . In aceste situatii, valorile obtinute prin experiment au fost corectate si inregistrate valorile echivalente pentru grosimea de  $10\text{mm}$ , asa cum prevede standardul romanesc in vigoare [3.36], asa incat toate rezultatele sunt comparabile.

Rezultatele experimentale ale ambelor tipuri de incercari (KCU si KV), obtinute ca medie aritmetica a determinarilor individuale, directe sau echivalente conform [3.38], pe epruvete provenite din aceeasi proba de material, sunt prezentate in coloanele 11-14 ale tabelului 3.1.a si respectiv, in coloanele 11-16 ale tabelului 3.2.b.

**TABELUL 3.1.a**  
**REZULTATE EXPERIMENTALE OBTINUTE PE EPRUVETE EXTRASE DIN**  
**TABLIERE METALICE CONSTRUIE inainte de 1910**

Nr. crt.	Cod epruveta	Compozitia chimica					Caracteristici mecanice						
		C %	Mn %	Si %	P %	S %	Re N/mm <sup>2</sup>	Rm N/mm <sup>2</sup>	A %	KCU J/cm <sup>2</sup>	KV la temperatura: [J]		
											-20°C	0°C	+20°C
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
1	A.P08.d1	0,18	0,48	0,056	0,066	0,054	346	432	44	83	8	22	32
2	A.P08.e1	0,17	0,44	0,048	0,059	0,017	358	414	41	105	14	34	47
3	A.P09.a1	0,15	0,43	0,100	0,036	0,063	300	450	26	72	9	14	92
4	A.P09.b1	0,16	0,41	0,060	0,016	0,021	260	389	52	208	10	13	80
5	A.P10.1	0,11	0,50	0,090	0,023	0,035	252	388	49	270	11	21	150
6	A.P11.1	0,15	0,41	0,018	0,029	0,013	285	345	34	108	24	42	78
7	A.P13.b1	0,10	0,30	0,040	0,018	0,080	236	319	20	105	28	113	143
8	A.P13.b2	0,07	0,34	0,030	0,016	0,048	214	285	18	93	66	95	91
9	A.P13.d1	0,10	0,43	0,030	0,018	0,049	225	324	22	96	27	78	153
10	A.P13.f1	0,13	0,45	0,020	0,016	0,048	227	323	26	102	27	63	89
11	A.P14.1	0,12	0,18	0,078	0,020	0,007	226	324	39	50	9	9	13
12	A.P18.a1	0,18	0,46	0,020	0,063	0,035	327	395	33	86	14	18	88
13	A.P18.b1	0,10	0,43	0,030	0,020	0,047	245	333	38	79	-	-	-
14	A.P19.a1	0,11	0,44	0,013	0,035	0,049	358	402	35	79	-	-	-
15	A.P19.b1	0,07	0,45	0,018	0,040	0,049	267	351	31	135	-	-	-
16	A.P19.c1	0,12	0,38	0,100	0,047	0,051	323	376	28	83	-	-	-
17	A.P19.d1	0,11	0,31	0,022	0,028	0,028	258	360	31	189	-	-	-
18	A.P19.e1	0,15	0,57	0,026	0,038	0,041	274	331	29	233	-	-	-
19	A.P20.a1	0,15	0,52	0,012	0,038	0,050	268	411	32	168	-	-	-
20	A.P20.b1	0,13	0,31	0,038	0,068	0,045	282	357	31	159	-	-	-
21	A.P21.1	0,15	0,49	0,034	0,045	0,024	299	371	32	206	-	-	-
22	A.P22.1	0,14	0,61	0,011	0,035	0,029	255	349	36	177	-	-	-
23	A.P23.1	0,11	0,58	0,022	0,055	0,038	285	336	26	135	-	-	-
24	A.P24.1	0,10	0,28	0,011	0,028	0,068	220	355	25	128	-	-	-
25	A.P25.1	0,13	0,58	0,028	0,023	0,036	302	358	32	204	-	-	-

### 3.3.2.3. INCERCARI DE INDOIRE LA RECE SI DURITATE

Aceste incercari au fost facute cu caracter complementar celor descrise mai sus la punctele 3.3.2.1 si 3.3.2.2., pentru obtinerea de informatii suplimentare privind comportarea otelului.

Incercarea de îndoire la rece [3.32], are scopul de a aprecia capacitatea de deformare plastica a otelului si s-a



facut pe epruvete plate, cu sectiune dreptunghiulara, cu fetele neprelucrate, determinandu-se atat unghiul de indoire in jurul dornului la a paritia primei fisuri, cat si alungirea

specifica  $A_{40}(\%) = \frac{\Delta l_{40}}{40} \cdot 100$ , pe fibra extrema intinsa.

Incercarea poate pune in evidenta existenta elementelor din fier pudlat, care au o rupere caracteristica la indoire, prin evidentierea stratificatiei caracteristice fierului pudlat si a unei elasticitati reduse. Diametrul dornului a fost ales, conform [3.32], in concordanta cu grosimea epruvetelor.

**TABELUL 3.1.b**

**REZULTATE EXPERIMENTALE OBTINUTE PE EPRUVETE EXTRASE DIN  
TABLIERE CONSTRUITE dupa 1910**

Nr. crt.	Cod epruveta	Compozitia chimica					Caracteristici mecanice									
		C %	Mn %	Si %	P %	S %	Re N/mm <sup>2</sup>	Rm N/mm <sup>2</sup>	A %	KCU J/cm <sup>2</sup>	KV la temperatura: [J]					
											-20°C	-10°C	0°C	+10°C	+20°C	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	
1	B.P01.1	0,12	0,39	0,023	0,021	0,034	248	353	33	96	24	73	103	116	115	
2	B.P01.2	0,11	0,32	0,010	0,024	0,020	270	350	32	103	24	71	106	120	148	
3	B.P02.1	0,11	0,50	0,050	0,028	0,014	259	408	31	218	65	79	95	122	150	
4	B.P03.1	0,13	0,51	0,032	0,018	0,042	303	355	41	156	11	18	22	88	114	
5	B.P03.2	0,09	0,38	0,042	0,021	0,010	286	355	49	87	43	46	59	115	145	
6	B.P04.a1	0,13	0,53	0,100	0,082	0,062	254	378	45	107	31	37	44	132	150	
7	B.P04.b1	0,11	0,36	0,030	0,043	0,020	228	347	50	203	10	13	31	37	63	
8	B.P05.1	0,08	0,35	0,035	0,016	0,017	244	357	54	257	20	-	40	-	125	
9	B.P06.1	0,07	0,38	0,010	0,016	0,072	258	343	39	260	24	-	91	-	118	
10	B.P07.1	0,15	0,36	0,070	0,016	0,014	262	360	40	199	12	-	14	-	78	
11	B.P08.a1	0,17	0,46	0,100	0,035	0,058	284	400	39	142	39	-	62	-	75	
12	B.P08.b1	0,14	0,63	0,061	0,030	0,066	271	378	38	131	28	-	35	-	68	
13	B.P08.c1	0,13	0,50	0,112	0,051	0,060	269	400	44	136	32	-	37	-	72	
14	B.P12.1	0,10	0,64	0,080	0,017	0,079	281	391	51	256	25	-	95	-	136	
15	B.P13.a1	0,12	0,39	0,060	0,013	0,070	233	350	30	94	30	-	64	-	103	
16	B.P13.a2	0,11	0,38	0,060	0,014	0,055	222	327	30	99	54	-	68	-	83	
17	B.P15.1	0,17	0,50	0,050	0,023	0,026	290	395	46	253	21	-	60	-	122	
18	B.P16.1	0,15	0,39	0,050	0,018	0,035	281	363	48	203	19	-	46	-	126	
19	B.P17.b1	0,19	0,64	0,018	0,051	0,033	272	410	37	124	22	30	36	47	63	
20	B.P17.b2	0,18	0,63	0,012	0,048	0,041	249	396	44	96	18	31	38	51	70	
21	B.P17.c1	0,17	0,49	0,016	0,038	0,033	288	364	40	131	24	35	40	55	79	
22	B.P17.c2	0,18	0,51	0,018	0,060	0,034	269	387	41	134	25	34	40	56	73	



Toate probele incercate au corespuns, indoirile efectuandu-se fara fisurare pana la atingerea unghiului maxim de 180°. De asemenea alungirile masurate,  $A_4(\%)$ , ale fibrelor externe intinse s-au situat intre 30-44%; Nu au aparut fisuri, crapaturi sau exfolieri iar aspectul epruvetelor indoite denota ca otelul se poate incadra in categoria "otel carbon moale". Pentru exemplificare, in tabelul 3.2. se prezinta rezultatele acestei incercari pentru podul de la Sag-Timiseni (P-08)

**TABELUL 3.2.**

**REZULTATELE INCERCARII DE INDOIRE LA RECE  
podul de la Sag-Timiseni**

Locul prelevării probei	Cod proba	Seria, cod epruveta	Alungirea la indoire cu 180° $A_{40}(\%)=100(l-40)/40$	Alungirea medie $A_{40}(\%)$	Aspectul epruvetei dupa indoire
Deschiderea I (a)	B.P08.a	B.P08.a1	30	30.0	indoire la 180°fara aparitia de fisuri
		B.P08.a2	30		
Deschiderea II (b)	B.P08.b	B.P08.b1	30.5	30.5	indoire la 180°fara aparitia de fisuri
		B.P08.b2	30.5		
Deschiderea III (c)	B.P08.c	B.P08.c1	42.5	43.5	indoire la 180°fara aparitia de fisuri
		B.P08.c2	44.5		
Deschiderea IV (d)	A.P08.d	A.P08.d1	32.5	36.975	indoire la 180°fara aparitia de fisuri
		A.P08.d2	35.0		
		A.P08.d3	38.0		
		A.P08.d4	42.4		
Deschiderea V (e)	A.P08.e	A.P08.e1	35.0	35.0	indoire la 180°fara aparitia de fisuri
		A.P08.e2	35.0		
		A.P08.e3	35.0		
		A.P08.e4	35.0		
Valoare medie pe tablier				<b>35.195</b>	

**Inercarea de duritate Brinell** s-a efectuat pe epruvete prelevate atat din materialul de baza al elementelor cat si din niturile scoase cu ocazia prelevării probelor, in doua sectiuni, una transversala pe axa axa tijei nitului si una longitudinala tijei. Incercarile pentru determinarea duritatii s-au facut utilizand metoda statica a penetratorului cu bila, actionand cu o forta de 187.5 daN asupra unei bile cu diametrul  $d=2.5\text{mm}$ , corespunzator gradului de sollicitare standardizat  $k=30$ .

Inercarile efectuate, prin rezultatele obtinute au confirmat, relatia cunoscuta intre cifrele de duritate Brinell si rezistenta la rupere a metalului,  $R_m \cong 0.36HB$ . Pentru exemplificare, in tabelul 3.3. se prezinta rezultatele obtinute la podul de la Sag-Timiseni (P-08), iar in figura 3.4, corelatia intre rezistenta la rupere determinata din incercarile de duritate Brinell si cea masurata la incercarea la tractiune.

TABELUL 3.3.

Locul prelevării probei	Cod proba	Seria, cod epruveta	Duritatea Brinell (HB)	Valoarea medie a duritatii (HB)	Rezistența la rupere echivalentă $R_{m,echiv.}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Rezistența la rupere măsurată la tracțiune $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )
0	1	2	3	4	5	6
Deschiderea I (a)	B.P08.a	B.P08.a1	117	115.3	415.8	400.3
		B.P08.a2	114			
		B.P08.a3	115			
Deschiderea II (b)	B.P08.b	B.P08.b1	110	110.4	397.6	377.7
		B.P08.b2	109			
		B.P08.b3	112			
Deschiderea III (c)	B.P08.c	B.P08.c1	126	114	410.4	399.9
		B.P08.c2	113			
		B.P08.c3	113			
Deschiderea IV (d)	A.P08.d	A.P08.d1	116	116.4	418.9	402
		A.P08.d2	117			
		A.P08.d3	116			
Deschiderea V (e)	A.P08.e	A.P08.e1	118	119	428.4	439.1
		A.P08.e2	120			
		A.P08.e3	119			
NIT secțiune transversala	A.P08	A.P08.1	183	183.3	659	-
		A.P08.2	181			
		A.P08.3	186			
NIT secțiune longitudinala	A.P08	A.P08.4	129	127.3	458.2	-
		A.P08.5	127			
		A.P08.6	126			

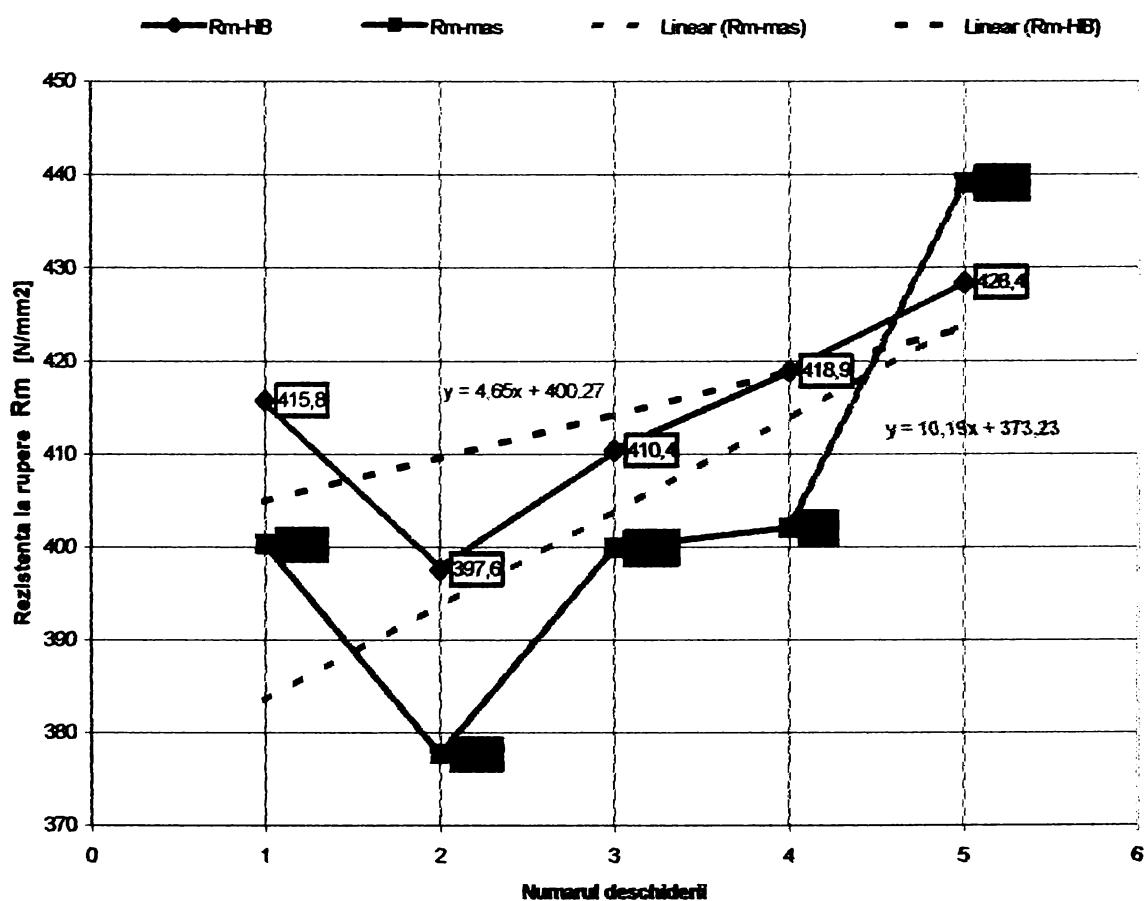


FIG.3.4. Corelataia dintre valorile rezistentei la rupere masurate la tracțiune si determinata din cifra de duritate HB.

### 3.3.3. Examinari metalografice

Examinarile metalografice au constat din examinarea a cate doua epruvete slif, inainte sau dupa atac nital 2%, prin microscopie metalografica. Examinarea metalografica s-a efectuat atat in sectiuni transversale cat si in sectiuni longitudinale, paralele cu directia de laminare. Esantioanele extrase din tabliere prezinta toate un aspect similar din punct de vedere metalografic, fiind constituite dintr-o retea subtire de perlita pe un fond feritic, constituentii fiind dispusi cu usoara tendinta de siruri, caracteristica de altfel, unui otel laminat cu un continut redus de carbon, asa cum se exemplifica in figura 3.5, pentru podul de la Sag-Timiseni (P-08) si in figura 3.6, pentru podul de la Mehadia (P-02).

a) Slif transversal – deschiderea I



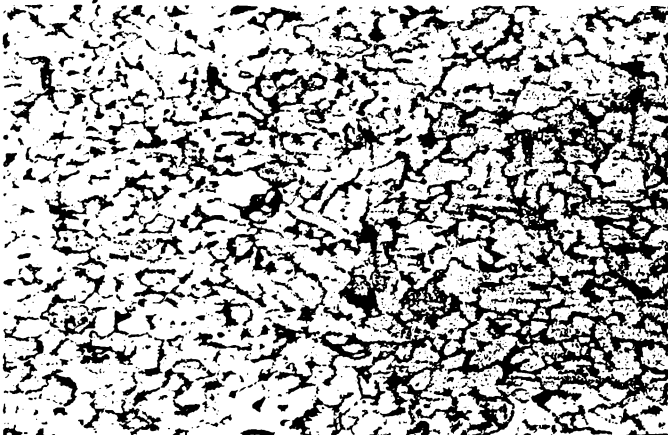
Proba B.P08.a1 cu 0,17%C  
dupa atac nital 2%-structura ferito-perlitica  
cu graanti uniformi (200:1)

b) Slif longitudinal-deschiderea I



Structura laminata (200:1)

c) Slif transversal – deschiderea IV



Proba A.P08.d1 cu 0,18%C  
dupa atac nital 2%-structura ferito-perlitica  
cu graanti relativ uniformi (200:1)

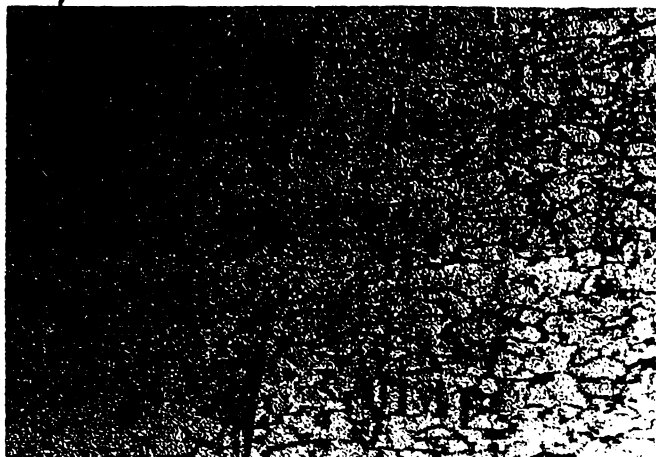
d) Slif longitudinal-deschiderea IV



Structura laminata (200:1)

**FIG. 3.5.** Examinari metalografice, podul de la Sag-TimiSeni  
a) ,b) deschiderea I-a;  
c) ,d) deschiderea a IV-a.

a) Slif transversal



Proba B.P02.1 cu 0,11%C,  
dupa atac nital 2% - structura ferito-perlitica  
cu graanti uniformi, real fini (200:1)

b) Slif longitudinal



Structura laminata (200:1)

FIG. 3.6. Examinari metalografice, podul de la Mehadia

In unele cazuri, in sectiunea longitudinala, s-au evidentiat si unele siruri de incluziuni nemetalice, dispuse sub forma de siruri cu marime reala de 0,7-0,8 mm, rezultate din procesul de elaborare, cu diferite punctaje, conform STAS 5949-80 [3.39], asa cum se arata in figura 3.7, pentru podul de la Sag-Timiseni (P-08) si in figura 3.8, pentru podul de la Mehadia (P-02).

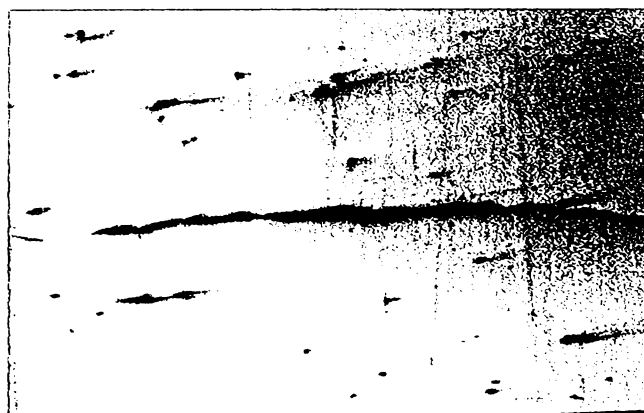
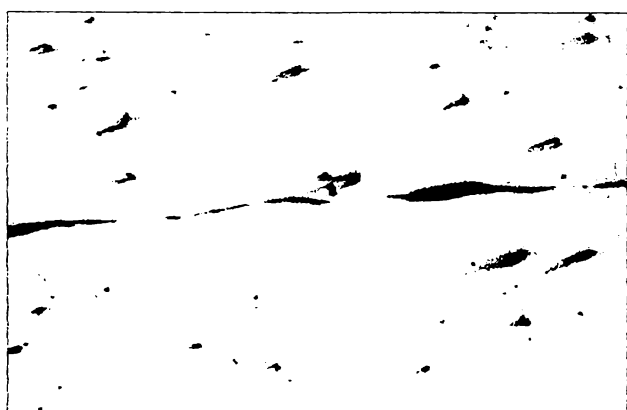


FIG. 3.7. Incluziuni nemetalice, podul Sag-Timiseni

S-au studiat si marginile neprelucrate ale probelor examinate; in general nu s-au semnalat fisuri marginale cauzate de coroziune, asa cum rezulta din figura 3.9a. Totusi la podul de la Mehadia (P-02), s-au detectat numeroase microfisuri datorate coroziunii, cu propagare inter si intracristalina, la marginile exterioare ale probei, ce au ordinul de marime de cca. 0,15-0,60mm. fara insa a fi prezente propagari sub forma de fisuri, coroziunea fiind numai la



suprafata si locala, asa cum se poate constata din figura 3.9.b,c.

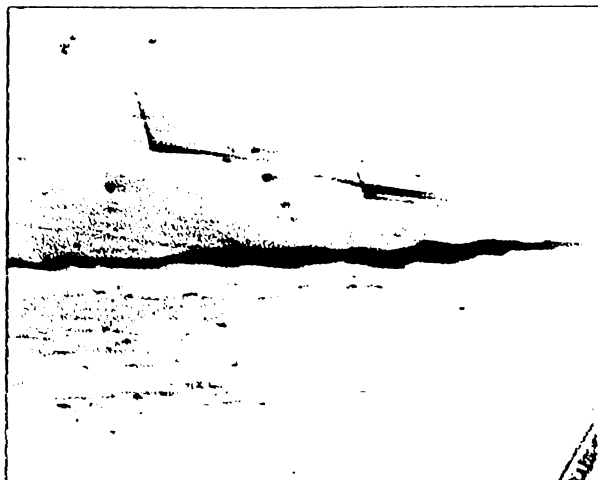
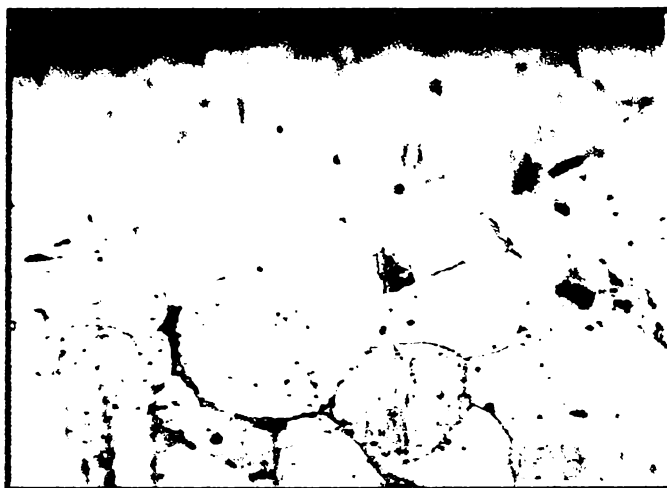
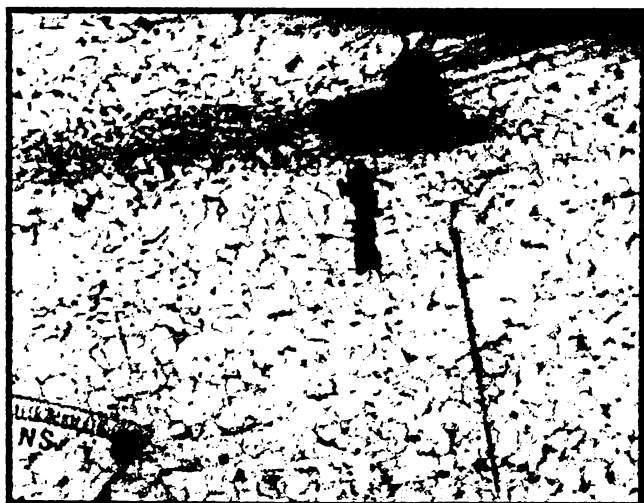


FIG. 3.8. Incluziuni nemetalice, podul Mehadia

a)



b)



c)

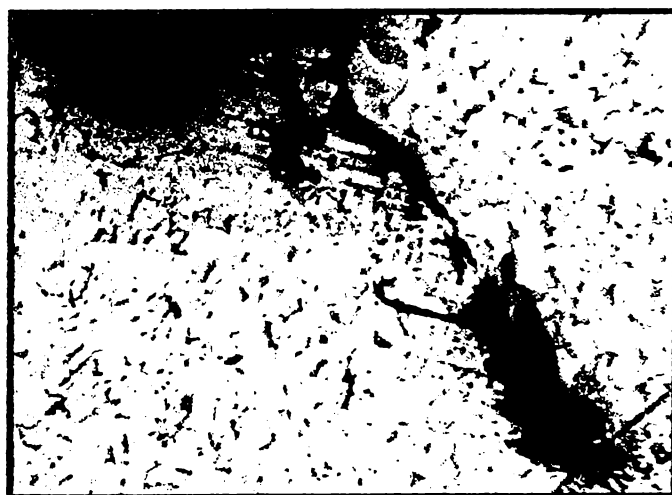


FIG. 3.9. Examinarea marginilor epruvetelor  
a) fara fisuri, podul de la Sag-Timiseni  
b),c) cu fisuri, podul de la Mehadia



Coroziunea microcristalina detectata la podul de la Mehadia, a fost caracterizata ca locala, favorizata probabil de atmosfera bogat ionizata si de prezenta unor gaze corozive, ca de exemplu cele sulfuroase, datorate apelor termale din zona.

S-au studiat metalografic si niturile taiate cu ocazia prelevării probelor. Examinarea acestora a relevat structuri cristaline cu:

- o retea perlitica pe fond feritic, cu granulatia mica, pentru sectiunea transversala prin tija, figura 3.10.a;
- o retea perlitica pe fond feritic, cu granulatia reala fina, pentru sectiunea longitudinala prin tija, figura 3.10.b;
- o retea perlitica pe fond feritic, dar cu o granulatia mai mare, pentru sectiunea transversala prin capul nitului, figura 3.10.c;
- o retea perlitica pe fond feritic, cu aspect structural de ecruisare, cauzat de de solicitari puternice, in sectiunea dintre tija-capul nitului, figura 3.10.d;

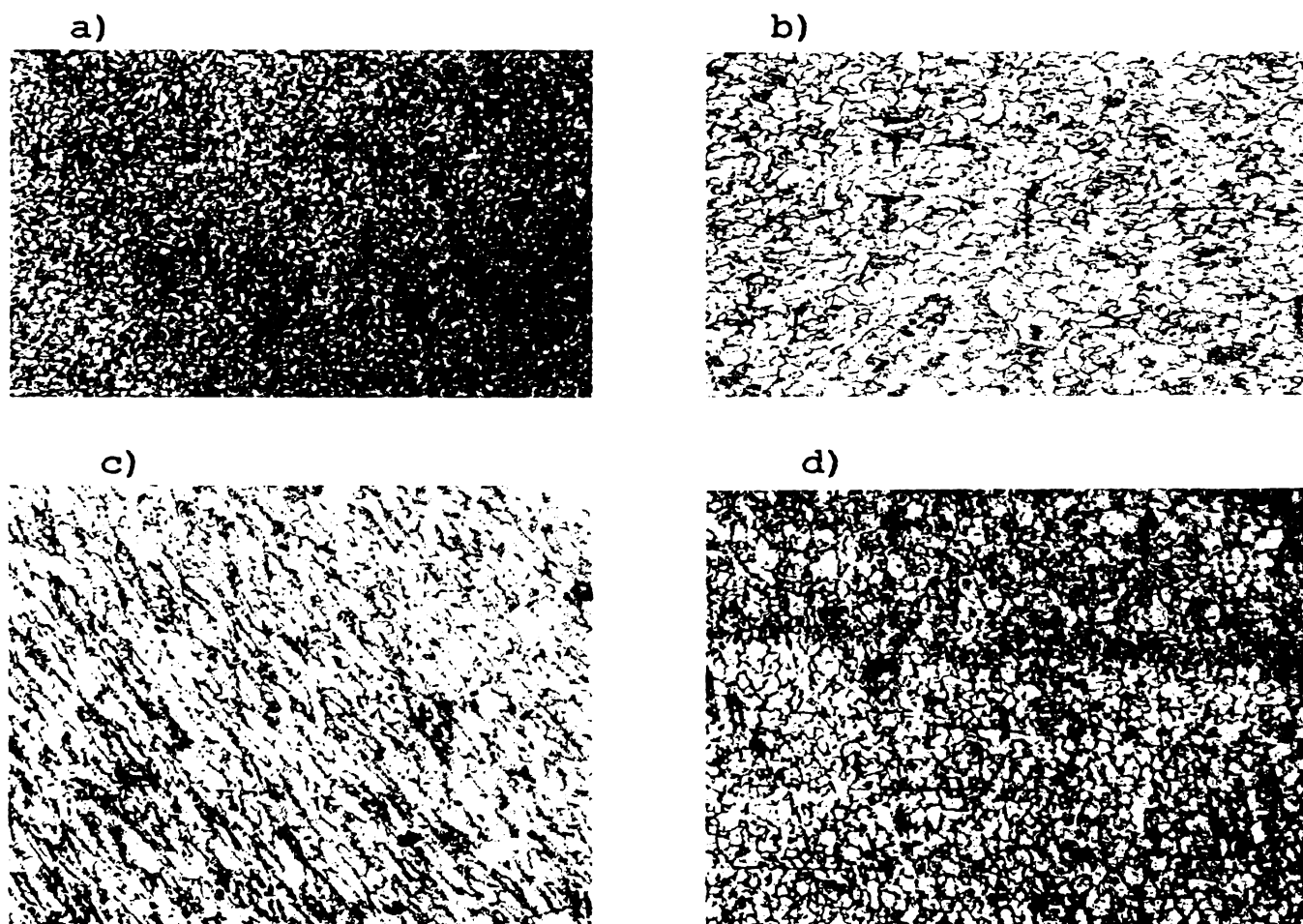


FIG. 3.10. Analiza metalografica a niturilor

- a) sectiune longitudinala prin tija nitului
- b) sectiune transversala prin tija nitului
- c) sectiune transversala prin capul nitului
- d) sectiunea transversala dintre tija si capul nitului.

Este binecunoscut ca in imbinari niturile slabite lucreaza defectuos. In figura 3.11, se prezinta un aspect macroscopic al unui nit ce a lucrat cu joc a tijei in gaura, prezentand deformatii locale date de pachetul de platbenzi.

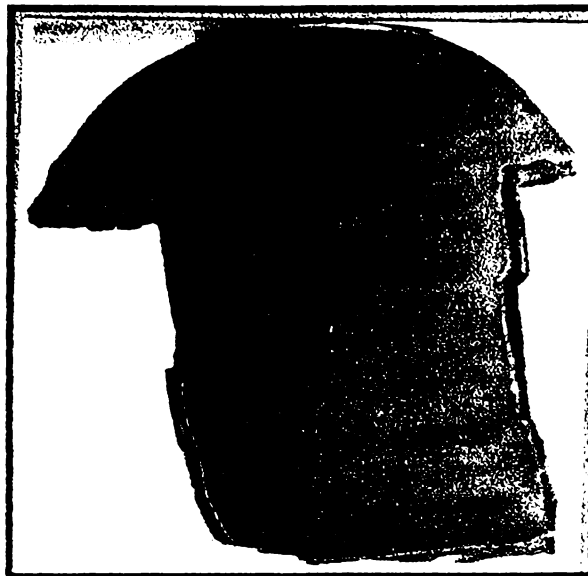


FIG. 3.11. Aspectul macroscopic al unui nit

### 3.4. PRELUCRAREA STATISTICA A REZULTATELOR EXPERIMENTALE SI ANALIZA INFLUENTEI DIFERITILOR PARAMETRI

#### 3.4.1. Bazele prelucrării statistice a rezultatelor experimentale

Pentru a aprecia pe baze statistice si probabilistice calitatea si caracteristicile otelului utilizat la constructia podurilor metalice vechi, rezultatele incercarilor experimentale efectuate pe esantioanele reprezentative, constituite din probele de otel, au fost supuse unei prelucrari statistice efectuata, dupa acelasi algoritm, pentru fiecare dintre cele doua colectivitati, **A** si **B**, asa cum au fost ele definite in paragraful 3.1.

Asocierea fiecărei grupe de rezultate din tabelele 3.1.a si 3.1.b, incercarii experimentale efectiv realizate, a condus la transformarea caracteristicilor compozitiei chimice si a caracteristicilor mecanice, specificate in coloanele 3-18 ale tabelelor de mai sus, in **variabile aleatoare**, pe care in referirile generale le vom nota cu **X**.

Prelucrarea efectiva a datelor experimentale, in concordanta cu suportul teoretic prezentat in paragrafele corespondente din capitolul II (§2.1 si §2.3), s-a efectuat prin parcurgerea, pentru fiecare variabila, a urmatoarelor etape:

- a) Gruparea datelor si determinarea frecventelor intervalelor de grupare;
- b) Calculul principalilor parametri statistici;
- c) Depistarea valorilor aberante ale masurarilor;
- d) Verificarea caracterului repartitiilor experimentale;
- e) Estimarea parametrilor colectivitatilor.

#### 3.4.2. Gruparea datelor si determinarea frecventelor intervalelor de grupare

La efectuarea celor  $n$  determinari experimentale, pentru fiecare din marimile analizate ( $n=25$  pentru colectivitatea A si  $n=22$  pentru colectivitatea B), s-au obtinut experimental valorile sirului  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , care reprezinta cate o selectie extrasa din colectivitatea statistica. Explicarea acestor valori, inscrise in tabelele datelor primare 3.1.a si 3.1.b, s-a realizat, asa cum am aratat in paragraful 2.1.1,

prin gruparea lor in intervale de grupare. Determinarea numarului de intervale de grupare,  $n_g$ , marimea intervalului,  $\Delta$ , si caracteristica intervalului,  $x_i$ , s-a bazat pe cercetari similare asupra otelurilor din constructii existente [3.1] si dupa [3.15] s-au folosit relatiile:

$$n_g = 1 + 3,222 \cdot \lg n; \quad \Delta = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n_g} \quad (3.1a); (3.1b)$$

in care:

$n$  - volumul esantionului (numarul datelor achizitionate);

$x_{\max}$ ,  $x_{\min}$  - valoarea maxima, respectiv minima a parametrului urmarit;

$x_i$  - valoarea de la mijlocul intervalului  $i$ .

Pentru fiecare interval de grupare,  $i$ , rezultat din aplicarea relatiei (3.1a), s-au determinat urmatoarele frecvente de aparitie:

→ frecventa absoluta,  $f_{ai}$ ,

$$f_{ai} = n_i \quad (3.2)$$

→ frecventa absoluta cumulata,  $f_{aci}$

$$f_{aci} = n_1 + \dots + n_{i-1} + n_i \quad (3.3)$$

in care  $n_i$  reprezinta numarul de valori ale variabilei  $X$  din intervalul de grupare  $i$ .

→ frecventa relativa,  $f_{ri}$ ,

$$f_{ri} = n_i / n \quad (3.4)$$

→ frecventa relativa cumulata,  $f_{rci}$ ,

$$f_{rci} = f_{r1} + \dots + f_{ri-1} + f_{ri} \quad (3.5)$$

in care  $f_{ri}$  reprezinta frecventele relative ale intervalelor de grupare  $i$ .

Gruparea datelor si determinarea frecventelor s-a afectuat pentru toti parametrii avuti in vedere si mentionati anterior, deveniti variabile aleatoare, utilizand programul automat orientat pe calcul tabelar EXCEL 7.0 [3.18], rulat sub WINDOWS '97, in care s-au introdus corespunzator formulele (3.2)-(3.5); ca exemplu, celulele tabelului 3.4.a contin rezultatele astfel obtinute, aferente variabilei aleatoare  $R_e$  [N/mm<sup>2</sup>], obtinute prin prelucrarea valorilor experimentale din coloana (7) a tabelului 3.1.a, pentru care, cu  $n=25$ ,  $x_{\min}=214$  si  $x_{\max}=358$  inlocuite in relatiile (3.1), rezulta  $n_g=6$  si  $\Delta=26$  N/mm<sup>2</sup>, iar celulele tabelului 3.4.b contin rezultatele, aferente variabilei aleatoare continutul de C [%], obtinute prin prelucrarea valorilor experimentale din coloana (3) a tabelului 3.1.b, pentru care, cu  $n=22$ ,  $x_{\min}=0,07$  si  $x_{\max}=0,18$  inlocuite in aceleasi relatii, rezulta  $n_g=6$  si  $\Delta=0,02$ .

TABELUL 3.4.a

REPARTITIA FRECVENTELOR PE GRUPE pentru variabila aleatoare  $R_e$  [N/mm<sup>2</sup>]  
(colectivitatea A, poduri construite pâna in anul 1910)

Interval de grupare "i"	Limita inferioara	Limita superioara	Caracteristica grupei $X_i$	Frecvente de aparitie			
				$f_{ai}$	$f_{aci}$	$f_{ri}$	$f_{rci}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	214	240	227	3	3	0,12	0,12
2	240	266	253	5	8	0,20	0,32
3	266	292	279	8	16	0,32	0,64
4	292	318	318	4	20	0,16	0,80
5	318	344	331	3	23	0,12	0,92
6	344	370	357	2	25	0,08	1,00
<b>SUMA</b>	-	-	-	<b>25</b>	-	<b>1,00</b>	-

TABELUL 3.4.b

REPARTITIA FRECVENTELOR PE GRUPE pentru variabila aleatoare C [%]  
(colectivitatea B, poduri construite dupa anul 1910)

Interval de grupare "i"	Limita inferioara	Limita superioara	Caracteristica grupei	Frecvente de aparitie			
				$f_{ai}$	$f_{aci}$	$f_{ri}$	$f_{rci}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	0,07	0,09	0,08	2	2	0,091	0,091
2	0,09	0,11	0,10	3	5	0,136	0,227
3	0,11	0,13	0,12	7	12	0,318	0,545
4	0,13	0,15	0,14	4	16	0,182	0,727
5	0,15	0,17	0,16	3	19	0,136	0,864
6	0,17	0,19	0,18	3	22	0,136	1,000
<b>SUMA</b>	-	-	-	<b>22</b>	-	<b>1,000</b>	-

Toate rezultatele obtinute prin prelucrarea statistica a valorilor obtinute prin incercarile experimentale de laborator, pentru populatiile statistice A si B, sunt prezentate in anexa Anexa A.III-1 pentru colectivitatea A, respectiv in Anexa A.III-2 pentru colectivitatea B.

Evidentierea repartitiei experimentale a variabilelor prezentate in tabelele 3.4.a si 3.4.b, s-a putut realiza si prin reprezentare grafica, asa cum se arata in figura 3.12, respectiv, in figura 3.13.



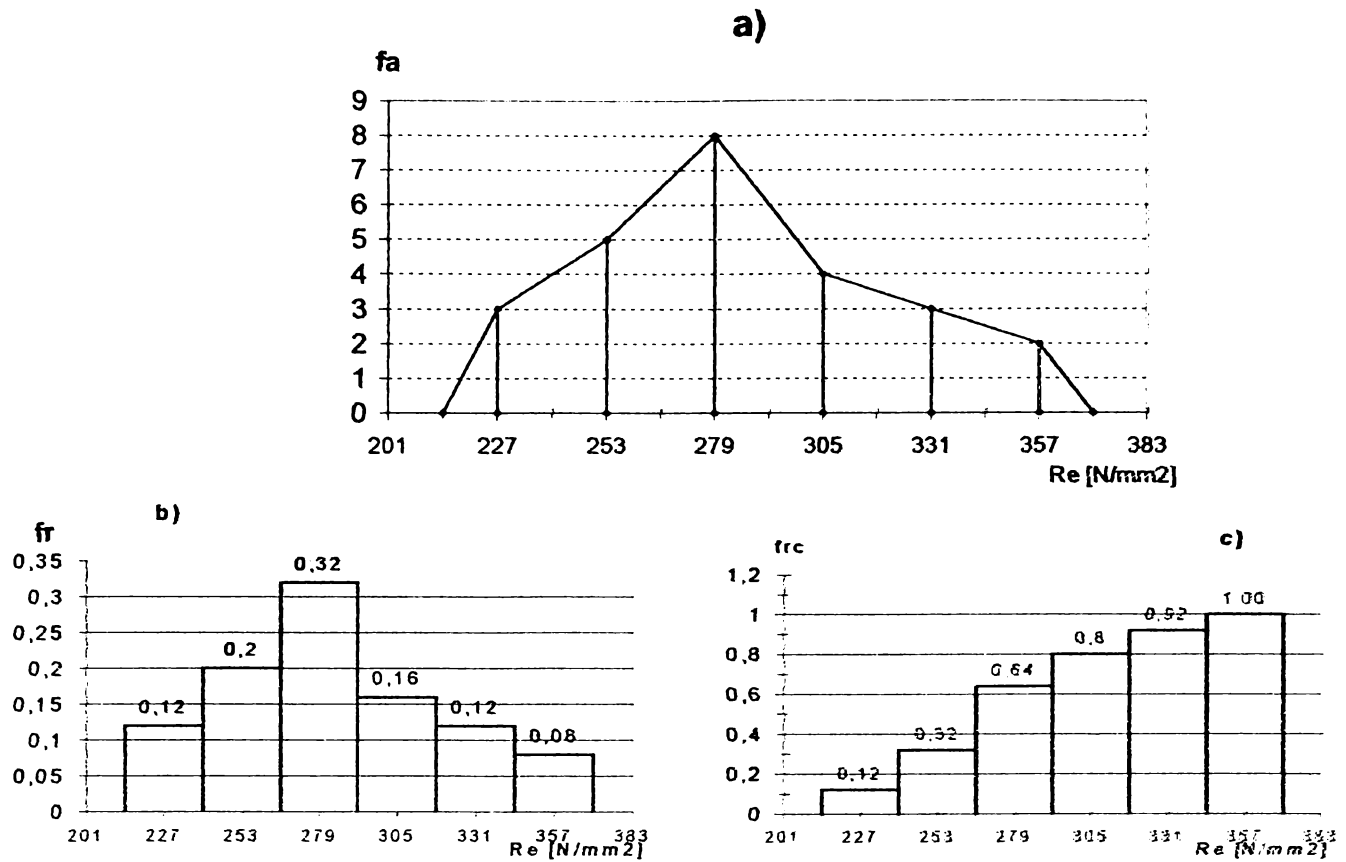


FIG. 3.12. Repartitia frecvențelor variabilei  $R_e$  [N/mm<sup>2</sup>] (A). a) - poligonul frecvențelor absolute; b) - histograma frecvențelor relative; c) - histograma frecvențelor relative cumulate.

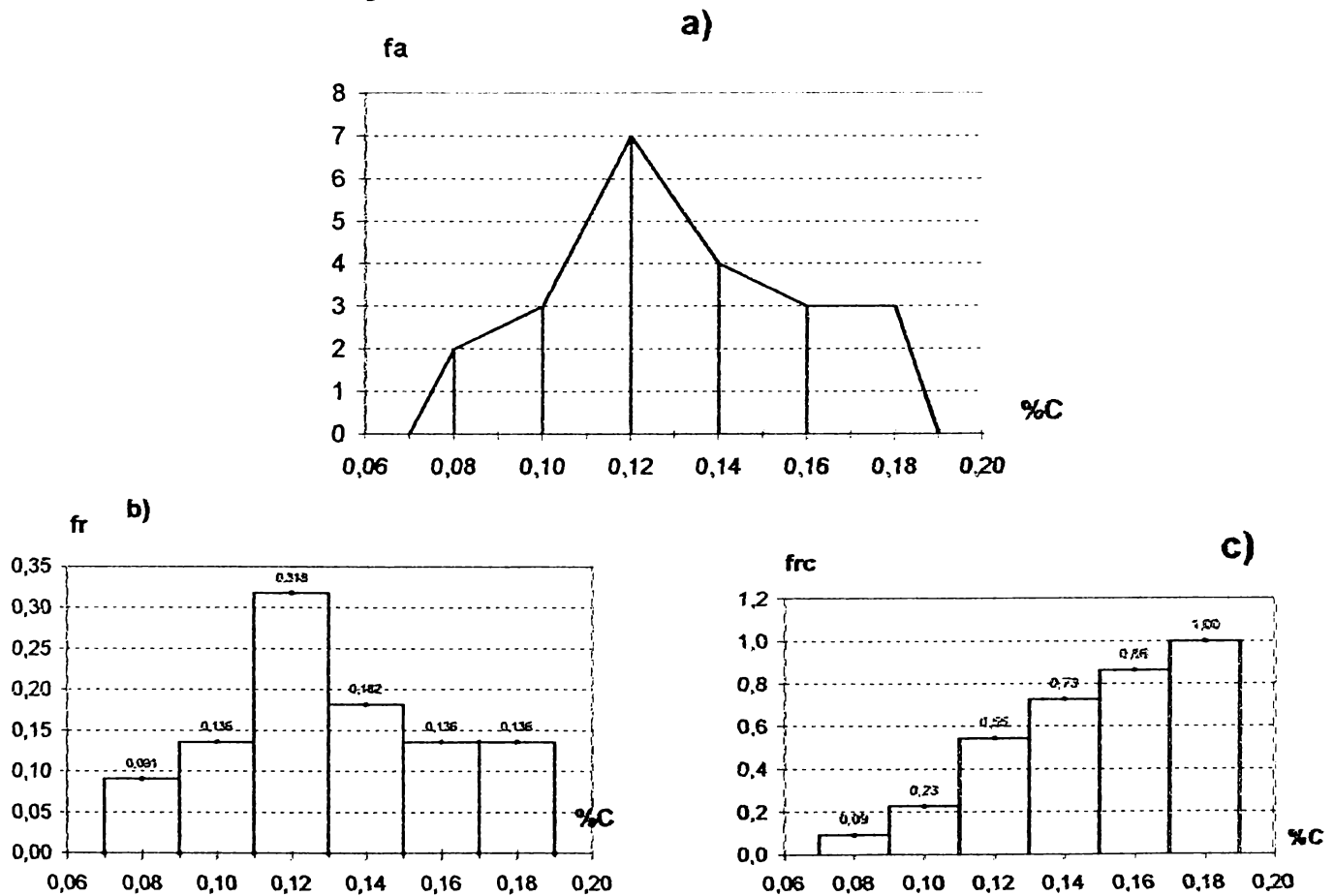


FIG. 3.13. Repartitia frecvențelor variabilei  $C$  [%], (B). a) - poligonul frecvențelor absolute; b) - histograma frecvențelor relative; c) - histograma frecvențelor relative cumulate.

### 3.4.3 Calculul principalilor parametri statistici

Pentru determinarea cat mai exacta a repartitiilor experimentale s-au calculat, pentru toate variabilele analizate, indicatorii de localizare si de variabilitate statistica, prin aplicarea relatiilor prezentate in paragraful 2.1.2.1, determinandu-se pentru fiecare variabila aleatoare X, urmatoarele:

- **Media aritmetica,  $m_x$** , a variabilei X:

$$m_x = \sum_{i=1}^n f_{ri} \cdot x_i \quad (2.9a)$$

in care:  $f_{ri}$  -frecventa relativa in intervalul i;  
 $x_i$  -valoarea varibilei in mijlocul intervalului i.

- **Dispersia** (patratul abaterii standard),  $S_x^2$ , a variabilei X:

$$S_x^2 = \sum_{i=1}^n f_{ri} \cdot (x_i - m_x)^2 \quad (2.16a)$$

In analiza statistica a datelor experimentale se mai foloseste de asemenea, asa cum se arata in [3.46], si dispersia nedeplasata,  $s_x$ , care se calculeaza cu relatia:

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 \quad (2.16b)$$

- **Abaterea standard** (abaterea medie patratica),  $S_x$ , a variabilei in raport cu media variabilei X:

$$S_x = \sqrt{S_x^2} \quad (2.18a)$$

- **Coeficientul de variatie,  $V_x$** , al variabilei aleatoare X:

$$V_x \% = \frac{S_x}{m_x} \cdot 100 \quad (2.21a)$$

Media aritmetica si abaterea standard, masurate in aceleasi unitati ca si variabila X, coeficientul de variatie procentual, precum si dispersia, s-au determinat pentru toate cazurile, utilizand facilitatile oferite de programele de calcul EXCEL 7.0 [3.18] si MATHE-ASS [3.24], executabile sub WINDOWS '97.

Rezultatele obtinute sunt prezentate in tabelele 3.5.a si 3.5.b;

**TABELUL 3.5a**

INDICATORI STATISTICI AI VARIABILELOR ALEATOARE X  
(valori experimentale obtinute pe epruvete din tabliere construite pâna in 1910)

Nr. crt.	Indicator statistic	VARIABILA ALEATOARE										KV (J) la temperatura:		
		C %	Mn %	Si %	P %	S %	Re N/mm <sup>2</sup>	Rm N/mm <sup>2</sup>	A %	KCU J/cm <sup>2</sup>	-20°C	0°C	+20°C	
		(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	
1	$m_x$	0,127	0,431	0,038	0,034	0,044	275	363	32,4	138,2	16,3	40,6	88	
2	$S_x^2$	,0009	,0108	,0007	,0003	,0003	1246,9	1439,7	68,75	3453	58,67	1357	1975	
3	$S_x$	0,030	0,104	0,027	0,016	0,016	41,9	38,7	8,12	58,54	8,31	20,8	44,44	
4	$V_x, \%$	23,8	24,1	70,4	47,3	37,3	15,3	10,7	25,1	42,4	51,1	51,2	53	
1	Stahibau nr.5/1985	0,16	0,100	0,100	0,047	0,056	220-279	356-377	17,3-19,3	-	-	-	-	
1	INCERTRANS fier pudlat	0,04-0,11	0,150-0,480	0,070-0,310	0,121-0,320	0,014-0,043	216	311	5,10	-	-	-	-	
1*	OL 34	0,17	0,60	-	0,055	0,055	210	330	31	-	-	-	-	

\* valori maxime pentru compozitia chimica si minime pentru caracteristici mecanice prevazute in STAS 500/2-80.

**TABELUL 3.5.b**

INDICATORI STATISTICI AI VARIABILELOR ALEATOARE X  
(valori experimentale obtinute pe epruvete din tabliere construite dupa 1910)

Nr. crt.	Indicator statistic	VARIABILA ALEATOARE									KV (J) la temperatura:				
		C %	Mn %	Si %	P %	S %	Re N/mm <sup>2</sup>	Rm N/mm <sup>2</sup>	A %	KCU J/cm <sup>2</sup>	-20°C	-10°C	0°C	+10°C	+20°C
		(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
1	$m_x$	0,132	0,465	0,049	0,031	0,041	265	371	41	158,4	27,3	42,5	53,7	85,4	103,5
2	$S_x^2$	,0012	,0106	,0011	,0013	,0004	452,06	569,99	49,7	3715	237,3	500,5	653,2	1331	995,9
3	$S_x$	,0348	,1030	,0334	,0181	,0221	21,26	23,87	7,05	60,95	15,4	22,37	25,56	36,49	31,56
4	$V_x, \%$	25,9	22,1	69,4	58,3	52,3	8,0	6,4	17,2	38,5	56,2	52,7	47,6	42,7	30,5
1*	OL 37.1n	0,25	0,85	0,070	0,065	0,065	240	360	25	-	-	-	-	-	-
1*	OL 37.2s	0,22	0,85		0,055	0,055	240	360	25	69	-	-	-	-	27

\* valori maxime pentru compozitia chimica si minime pentru caracteristici mecanice prevazute in STAS 500/2-80.

#### 3.4.4. Identificarea si eliminarea rezultatelor aberante ale masurarilor

Rezultatul prelucrării statistice a datelor va fi cu atat mai precis cu cat volumul informatiei primare utilizate este mai mare si informatiile mai exacte. Analizand un sir de date masurate experimental se poate intampla ca unele valori sa fie anormal mai mari sau mai mici decat restul rezultatelor, acestea fiind denumite rezultate aberante ale masuratorilor. Conform [3.28] prin rezultate aberante se inteleg rezultatele afectate de erori grosolane iar aceste

rezultate trebuiesc puse in evidenta si apoi eliminate din seriile de date care se prelucreaza statistic.

Punerea in evidenta a rezultatelor aberante se poate face utilizand:

- criteriul  $r_{\max}$  ( $r_{\min}$ );
- metoda STAS, care utilizeaza testul GRUBB.

**1. Criteriul  $r_{\max}$  ( $r_{\min}$ ),** care dupa [3.22], [3.46] se bazeaza pe testul ROMANOVSKI si foloseste relatia :

$$r_{\max, \min} = \frac{|m_x - x_{\max, \min}|}{S_x \cdot \sqrt{\frac{n-1}{n}}} \quad (3.6)$$

in care:  $x_{\max, \min}$  este valoarea maxima respectiv minima din sirul de date;

$m_x$  este media aritmetica a sirului de date;

$S_x$  este abaterea medie patratica (standard).

Daca  $r_{\max, \min} > r_{\alpha, v}$ , atunci valoarea  $x_{\max, \min}$  se considera gresita si va fi eliminata din sirul de date analizat. Valoarea lui  $r_{\alpha, v}$  se citeste din tabele (anexa VII in [3.22]) in functie de nivelul de semnificatie  $\alpha$  si  $v = n-2$  grade de libertate.

**2. metoda GRUBB de identificare a rezultatelor aberante ale masurarilor,** adoptata in STAS 11278-79 [3.40]. Procedeu consta in ordonarea crescatoare a valorilor masurate si apoi calcularea lui:

$$U_1 = \frac{m_x - x_1}{S_x} \text{ si/sau } U_n = \frac{x_n - m_x}{S_x} \quad (3.7a); (3.7b)$$

in care  $m_x$  se determina folosind relatia (2.9a) iar  $s_x$  prin extragerea radacinii patrata din relatia (2.16b), dupa care  $U_1$  si/sau  $U_n$  se compara cu valorile marimii  $h$ , indicate in tabelele 2-4, pentru volumul esantionului  $n$  dat si nivelul de semnificatie  $\alpha$  ales:

$$\alpha = P(U_1 \geq h) \text{ si/sau } \alpha = P(U_n \geq h) \quad (3.8a); (3.8b)$$

In mod uzual in calculele practice se adopta nivelul de semnificatie  $\alpha = 0,05$ .

Daca  $U_1 \geq h$  si/sau  $U_n \geq h$ , ipoteza privind caracterul aberant al rezultatelor  $x_1$  si/sau  $x_n$  poate fi acceptata si, implicit, rezultatele respective se elimina din sirul de valori.

In ambele cazuri, dupa identificarea si eliminarea unui rezultat aberant se recalculeaza, pentru sirul de valori ramase, media respectiv abaterea standard, cu relatiile (2.9a), respectiv (2.19c) si se reia procedura pentru identificarea altor rezultate aberante in sirul de valori

ramase. Iteratiile se repeta pana cand ipoteza privind caracterul aberant al unor astfel de rezultate se respinge.

Daca  $U_1 < h$  si/sau  $U_n < h$ , ipoteza se respinge si implicit, toate rezultatele se pastreaza in sirul de valori, care se supun prelucrarii statistice.

Aplicarea acestor criterii, exemplificata in continuare, si cu unele rezultate prezentate in tabelul 3.6, a condus la depistarea de valori aberante doar la proba **A.P13.b2**, pentru valoarea  $KV_{-20^{\circ}C} = 66$  J, care a fost eliminata si anuntata in acest sens in tabelul 3.1.a, prin fondul rosu al casetei corespunzatoare, parametri statistici fiind determinati pentru sirul cu numai 11 valori.

Pentru proba A.P13.b2, valoarea masurata a energiei de rupere la temperatura  $-20^{\circ}C$  a fost de 66(J), reprezentand valoarea maxima a sirului, iar parametrii statistici determinati pentru sirul de 12 valori masurate sunt:  $m_x = 18,75$ (J) si  $S_x = 16,57$ (J);

- aplicand metoda  $r_{max,min}$ , se calculeaza:

$$r_{max} = \frac{|18,75 - 66|}{16,57 \sqrt{\frac{11}{12}}} = 2,987 > r_{0,05;10} = 2,387,$$

deci ipoteza de valoare aberanta se accepta si valoarea va fi eliminata din sirul de date.

- aplicand metoda STAS, se obtine:

$$U_{12} = \frac{66 - 18,75}{16,57 \sqrt{\frac{12}{11}}} = 2,73 > h_{0,05;12} = 2,29,$$

cu aceeaasi concluzie ca mai sus.

TABELUL 3.6  
IDENTIFICAREA VALORILOR ABERANTE ALE MASURATORILOR  
EXPERIMENTALE

Variabila	Numar valori "n"	Proba	Valoarea Masurata Analizata	Parametri statistici		1. Metoda $r_{max,min}$			2. Metoda STAS		OBS.
				$m_x$	$S_x$	$r_{max,min} \leq r_{\alpha;9}$		$U_{1,n} < h_{\alpha;n}$			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	$r_{max,min}$	v	$r_{\alpha;v}$	$U_{1,n}$	$h_{\alpha;n}$	(12)
KV -20°C	12	A.P13.b2	66	18,75	16,57	2,987	10	2,387	2,73	2,290	Respinge
KV -20°C	11	A.P08.d1	8(J)	16,3	8,31	0,883	9	2,343	0,806	2,230	Accepta
KV -20°C	22	B.04.b1	10(J)	27,4	15,4	1,217	20	2,664	1,162	2,835	Accepta
KV -20°C	22	B.P02.1	65(J)	27,4	15,4	2,564	20	2,664	2,589	2,835	Accepta
KV -10°C	11	B.P04.b1	13(J)	42,5	22,37	1,38	9	2,343	1,254	2,230	Accepta
KV -10°C	11	B.P02.1	79(J)	42,5	22,37	1,713	9	2,343	1,633	2,230	accepta
%C	25	A.P13.b2	0,07	0,127	0,03	1,973	23	2,717	1,894	2,870	accepta
%Si	25	A.P19.c1	0,100	0,038	0,027	2,343	23	2,717	2,249	2,870	accepta



### 3.4.5. Verificarea caracterului repartitiei experimentale

In vederea incadrarii repartitiei experimentale (de selectie) intr-o anumita clasa de repartitie teoretica, s-a efectuat verificarea caracterului repartitiei, pentru fiecare variabila aleatoare X din categoria parametrilor compozitiei chimice, a rezistentelor mecanice si a celor de ductilitate si tenacitate ale otelurilor studiate.

Deoarece in urma calcularii frecventelor s-a constatat ca repartitiile de frecventa prezinta cate un singur maxim, s-a considerat, dupa [3.22], ca repartitia experimentală a fiecărei variabile X analizate, urmează o lege de distributie normală. Verificarea suplimentară a acestei ipoteze, bazată și pe observatia conform căreia, după [3.10], [3.15], [3.26], rezultatele obținute prin măsuratori fizice sau analize chimice repetate în aceleași condiții, variază în jurul unei valori, s-a efectuat în două moduri, prin aplicarea:

1. a testului Pearson ( $\chi^2$ , hi-patrat);
2. a testului Kolmogorov.

#### 3.4.5.1. Verificarea normalitatii distributiei experimentale cu testul Pearson

Dacă se notează cu  $np_i$  frecvențele repartitiei normale teoretice în cazul unui volum de selecție  $n$ , unde  $p_i$  este probabilitatea de apariție în intervalul "i" și abaterile dintre frecvențele absolute experimentale și frecvențele repartitiei teoretice normale (Gauss) sunt:

$$fa_i - np_i \quad (3.9)$$

atunci testul Pearson (hi-patrat) constă în calcularea expresiei:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n_g} \frac{(fa_i - np_i)^2}{np_i} \quad (3.10)$$

și compararea ei cu repartitia  $\chi^2_{\alpha, \nu}$ , unde  $\alpha$  este nivelul de semnificație ales iar  $\nu = n_g - 2 - 1$ , reprezintă gradele de libertate ale repartitiei, ele rezultând prin scăderea din numărul intervalelor de grupare  $n_g$ , a numărului parametrilor statistici estimați pe baza selecției (de obicei doi, media și abaterea standard) și a unei unități.

Dacă:

- $\chi^2 > \chi^2_{\alpha, \nu}$ , **se respinge** ipoteza că repartitia de selecție este o repartitie normală;
- $\chi^2 \leq \chi^2_{\alpha, \nu}$ , **nu se respinge** (se acceptă) ipoteza că repartitia de selecție este o repartitie normală.

calculeaza din expresia functiei de repartitie [3.2], [3.22], sau se extrag din tabelele cu valorile functiei (anexa II din [3.26] sau tabelul 2.2 din Anexa A.II-2.).

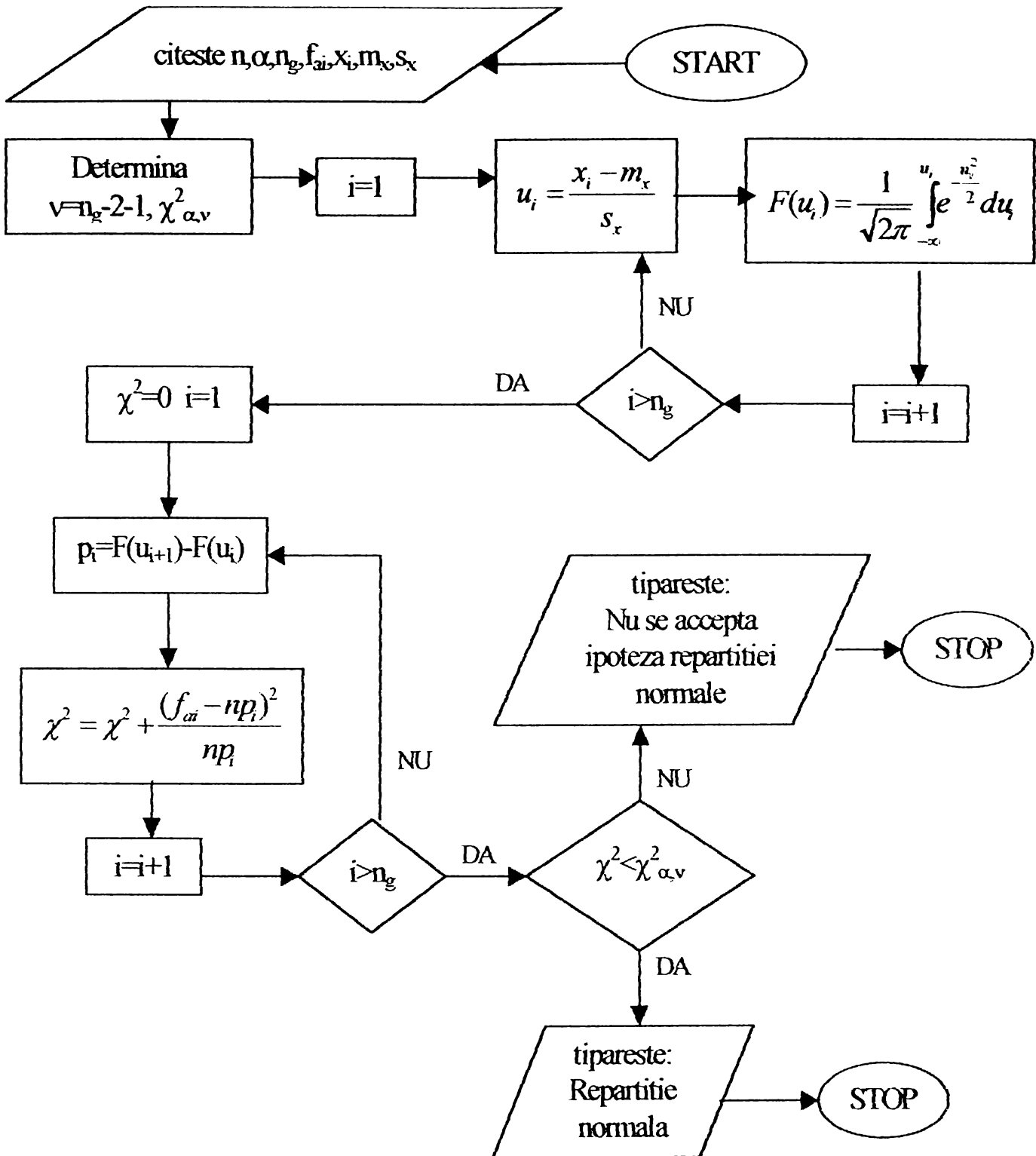


FIG. 3.14 Logigrama pentru testul PEARSON

### 3.4.5.2. Verificarea normalitatii distributiei experimentale cu testul KOLMOGOROV

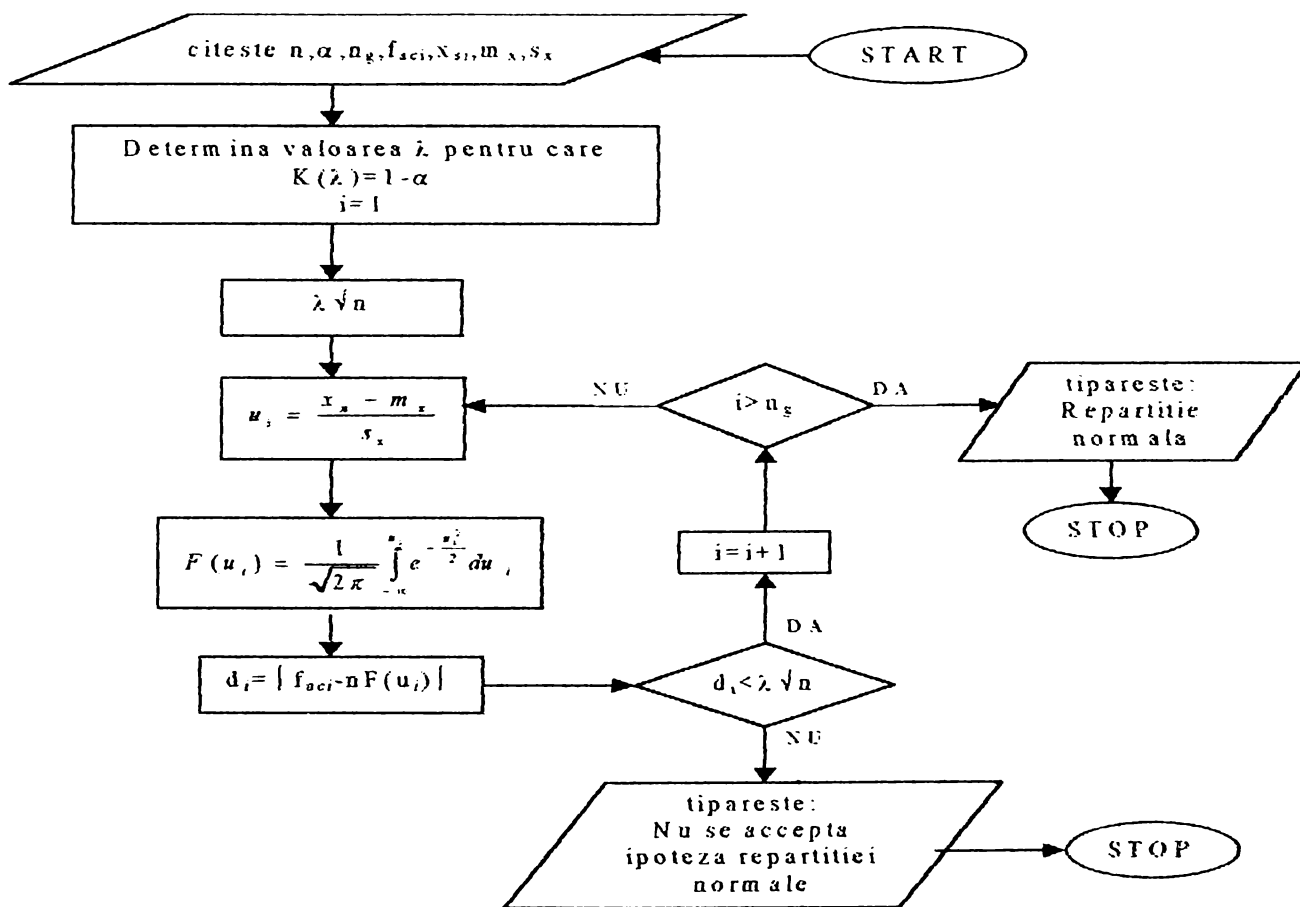
Testul Kolmogorov permite a se stabili apropierea functiei de repartitie teoretica  $F^*(x)$  de o functie de repartitie experimentala  $F(x)$  in raport cu diferenta cea mai

mare dintre ordonatele acestora  $D = \max |F(x) - F^*(x)|$  considerand ca cele doua functii sunt continue. Cu el se poate verifica corespondenta dintre functia de repartitie de selectie (frecventele absolute cumulate ale repartitiei experimentale) si functia de repartitie teoretica normala.

Daca se noteaza variabila aleatoare  $d_n$ :

$$d_n = fca_i - nF(u_i) \quad (3.11)$$

se obtine o repartitie studiata de Kolmogorov care reprezinta probabilitatea ca  $d_n$  sa nu depaseasca o valoare data, de obicei nivelul de semnificatie  $\alpha = 0,05$ . Functia de repartitie a lui Kolmogorov se noteaza  $K(\lambda)$  iar valorile ei se gasesc calculate si intabelate, pentru  $\lambda$  cuprins intre 0,34 si 1,81, in anexa V din [3.26].



**FIG. 3.15** Logigrama pentru testul KOLMOGOROV

Aplicarea criteriului consta in verificarea ca valoarea maxima a functiei  $K(\lambda)$  sa nu depaseasca valoarea critica  $\lambda\sqrt{n}$ , calculata pentru un anumit nivel de semnificatie  $\alpha$  dat,  $K(\lambda) = 1 - \alpha$ , adica:

$$|fca_i - nF(u_i)|_{\max} < \lambda\sqrt{n} \quad (3.12)$$

Si in acest caz verificarea s-a facut tot cu programul EXCEL 7.0, pentru  $\alpha = 0,05$ , dupa algoritmul din figura 3.15, utilizand si functia din tabelul 2.2 Anexa A II-2.

Pentru cazul variabilei  $R_e$  ( $N/mm^2$ ) rezultatele obtinute sunt prezentate in tabelul 3.7.a pentru verificarea cu testul Pearson si in tabelul 3.7.b pentru verificarea cu testul Kolmogorov, ambele teste confirmand ipoteza ca repartitia de selectie este o repartitie normala.

**TABELUL 3.7a**

Interval de grupare "j"	Caracteristica grupei	Frecvența $f_{ai}$	Testul PEARSON				
			$u_i$	$F(u_i)$	$p_i$	$np_i$	$(f_{ai} - np_i)^2 / np_i$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	227	3	-1,14	0,1922	0,1922	4,805	0,678049
2	253	5	-0,41	0,3897	0,1975	4,9375	0,0000791
3	279	8	0,33	0,6217	0,232	5,800	0,834483
4	318	4	1,07	0,8159	0,1942	4,855	0,150572
5	331	3	1,80	0,93189	0,1156	2,8997	0,003466
6	357	2	2,54	0,9811	0,0493	1,2317	0,479162
<b>SUMA</b>		<b>25</b>					$\chi^2=2,14652$

**TABELUL 3.7b**

Interval de grupare "j"	Limita sup. a grupei	Frecvența $f_{aci}$	Testul KOLMOGOROV			
			$u_i$	$F(u_i)$	$n \cdot F(u_i)$	$f_{aci} - n \cdot F(u_i)$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	240	3	-1,14	0,1922	4,805	-1,805
2	266	8	-0,41	0,3897	9,7425	1,7425
3	292	16	0,33	0,6217	15,5425	0,4575
4	318	20	1,07	0,8159	20,3975	0,3975
5	344	23	1,80	0,93189	23,2972	0,29725
6	370	25	2,54	0,98116	24,529	0,471
MAXIM. ABSOLUT =						<b>1,805</b>

Prelucrarea statistica pentru toate variabilele aleatoare analizate este redata in Anexele A.III-1 pentru colectivitatea A si A.III-2 pentru colectivitatea B.

### 3.4.6. Verificarea caracterului întâmplator al împrastierii valorilor masurate

Daca procesul de executie, montaj si exploatare a podurilor metalice vechi a fost afectat de actiunea cauzelor intamplatoare, caracteristicile actuale de calitate ale materialului pot fi considerate ca oscileaza in jurul centrului campului (intervalului) de toleranta. Daca inasa, alaturi de cauzele intamplatoare, actioneaza si cauze sistematice, valorile caracteristicilor observate in experimente se vor concentra in jurul unui alt centru de grupare, obtinandu-se in acest fel o alta repartitie.

Din acest motiv, pentru a avea certitudinea ca valorile masurate ale variabilelor (marimilor) analizate nu sunt afectate de erori sistematice, am considerat necesara si

verificarea caracterului intamplator al variatiei valorilor actuale ale caracteristicilor de calitate ale materialului, apeland pentru efectuarea acestei verificari la **metoda diferentelor succesive** [3.22], o metoda care mai laborioasa fiind elimina posibilitatea existenta in cazul utilizarii metodei iteratiilor, folosita in [3.1], de obtinere a unor concluzii contradictorii.

Conform acestei metode, conditia de acceptare a ipotezei caracterului intamplator al imprastierii valorilor caracteristicilor actuale de calitate ale materialului, este:

$$r = \frac{q^2}{s^2} > r_a \quad (3.13)$$

in care dispersiile  $q^2$  si  $s^2$ , se calculeaza cu relatiile:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 \quad (3.14)$$

$$q^2 = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i)^2 \quad (3.15)$$

in care:  $x_i$  si  $x_{i+1}$  sunt valorile caracteristicii analizate cu numarul de ordine "i", respectiv "i+1" in sirul valorilor masurate, n este numarul total al valorilor masurate si validate iar  $m_x$  este media sirului, iar  $r_a$  reprezinta valoarea maxima a raportului pentru un nivel de incredere  $\alpha$  acceptat.

Valoarea  $r_a$  se poate determina, in functie de precizia cu care s-au masurat si inregistrat datele experimentale, cu relatiile:

- pentru masurari precise, ale datelor experimentale,

$$r_a = 1 - z_a \sqrt{\frac{n-2}{(n-1)(n+1)}} \quad (3.16)$$

- pentru masurari mai putin precise, ale datelor experimentale,

$$r_a = 1 - \frac{z_a}{\sqrt{(n+1)}} \quad (3.17)$$

In relatiile (3.16) si (3.17),  $z_a$  reprezinta valoarea variabilei normale normate, corespunzatoare nivelului de incredere  $\alpha$ , si ea se determina cu ajutorul functiei Laplace. Practic, conform relatiei (2.37), rezulta pentru  $\alpha=0,05$ :

$\Phi(z_{0,05}) = \frac{1}{2} - 0,05 = 0,45$  pentru care se gaseste in Anexa nr.1 din [3.22] sau in tabelul 2.6 din anexa A.II-6, (valorile functiei Laplace),  $z_\alpha = z_{0,05} = 1,645$ .

Verificarile s-au efectuat pe baza algoritmului din figura 3.16, utilizand programul EXCEL 7.0 [3.18], si au confirmat ipoteza caracterului intamplator al imprastierii



valorilor masurate, astfel incat rezultatele obtinute pot constitui baza unor concluzii corecte. In tabelul 3.8, se exemplifica cele de mai sus pentru cazul variabilei limita de curgere aparenta,  $Re$  [ $N/mm^2$ ]

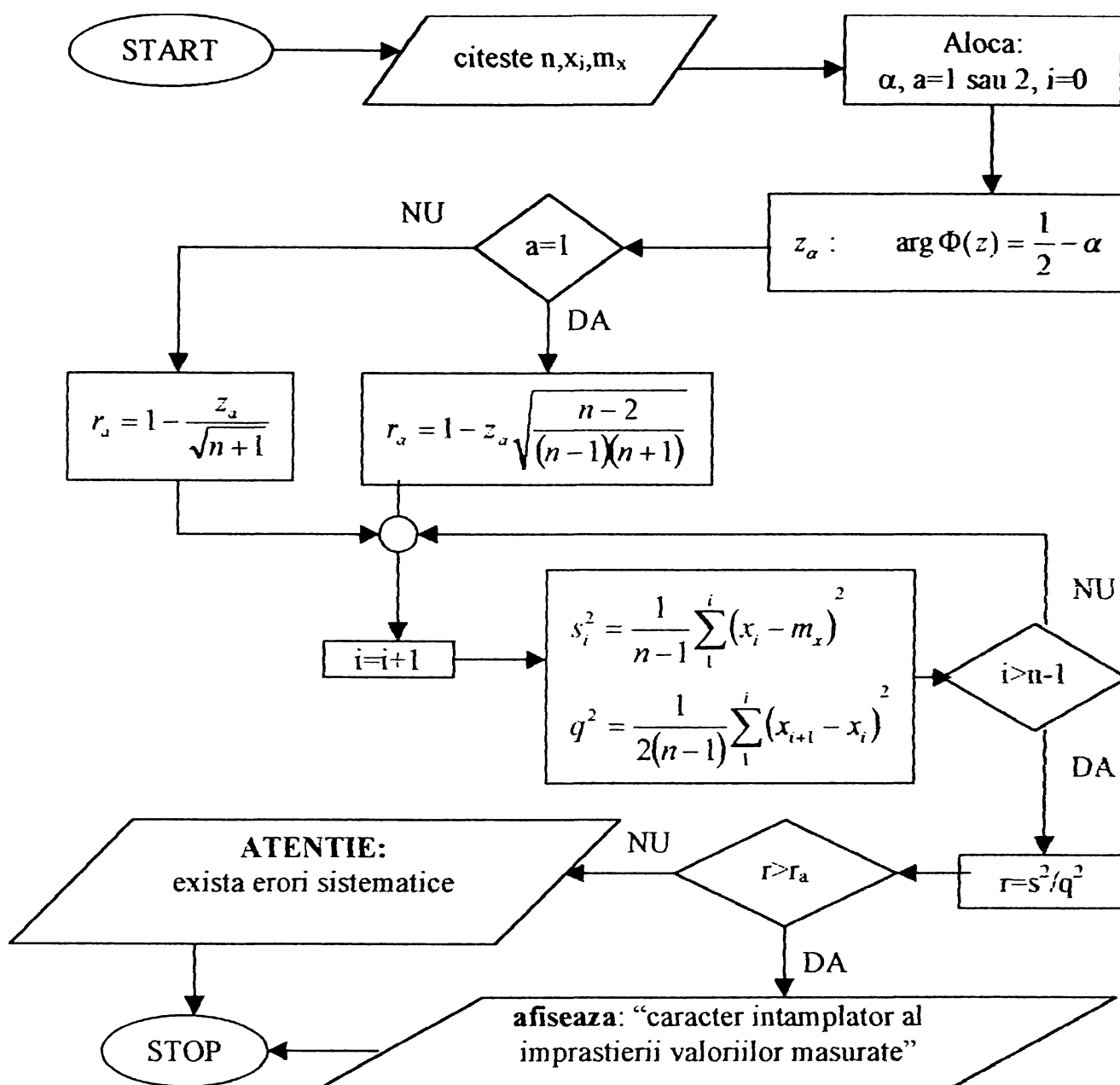


FIG. 3.16 Logigrama pentru verificarea caracterului intamplator al imprastierii valorilor

TABELUL 3.8

Colectivitatea	Caracteristica analizata	Dispersii calculate		Verificarea caracterului intamplator: $r > r_a$		Acceptarea ip. caracterului intamplator
		$s^2$	$q^2$	$r = s^2/q^2$	$r_a$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
A	Re	1115,98	1071	1,042	0,684	Da
	%C	0,001	0,0006	1,601		Da
B	Re	473,21	400,69	1,181	0,665	Da
	%C	0,0014	0,00055	2,581		Da

### 3.5. DETERMINAREA STATISTICA A PARAMETRILOR COLECTIVITATILOR ANALIZATE

#### 3.5.1. Estimarea parametrilor statistici

Parametrii statistici, calculati pentru fiecare dintre variabilele aleatoare reprezentand o caracteristica oarecare a colectivitatii studiate, asa cum a fost stabilit in paragraful 2.4.2. permit, dupa [3.12], **estimarea parametrilor ce caracterizeaza colectivitatea** de provenienta a esantionului respectiv, iar repartitiile frecventelor

relative obtinute in selectii si apreciate, conform celor aratate mai sus la punctul 3.4.5, ca repartitii normale, pot fi considerate aproximatii ale repartitiilor teoretice ale probabilitatilor pentru colectivitatea aferenta lor.

Avand in vedere si tolerantele acceptate in tehnica, pentru estimarea parametrilor colectivitatii poate fi utilizata, dupa [3.26], determinarea unui interval de valori intre care acestia se incadreaza, calculul efectuandu-se pe baza parametrilor esantioanelor studiate, prin acordarea unui anumit **nivel de incredere** (probabilitate) intervalului determinat.

Parametrii rezultatelor incercarilor experimentale efectuate pentru cele doua colectivitati, a caror dispersie nu este cunoscuta, sunt media  $m_x$  si abaterea standard  $S_x$ , iar nivelul de incredere pentru intervalele cautate se alege  $\alpha = 0,05$ .

Prin folosirea unei repartitii t-Student, utilizand pentru media  $\mu$ , variabila aleatoare t, data de schimbarea de variabila cu relatia:

$$t = \frac{m_x - \mu}{S_x} \cdot \sqrt{n} \quad (3.18)$$

iar pentru dispersia  $\sigma^2$ , de schimbarea de variabila:

$$\chi^2 = \frac{n \cdot S_x^2}{\sigma^2} \quad (3.19)$$

conduce, conform lucrarii mentionate anterior [3.26], la expresia intervalului de incredere cu risc bilateral, astfel:

→ pentru media  $\mu$

$$m_x - t_{\alpha/2} \cdot \frac{S_x}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq m_x + t_{\alpha/2} \cdot \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad (3.20)$$

iar

→ pentru dispersia  $\sigma^2$

$$\frac{n \cdot S_x^2}{\chi_{\frac{\alpha}{2}; g}^2} \leq \sigma^2 \leq \frac{n \cdot S_x^2}{\chi_{1-\frac{\alpha}{2}; g}^2} \quad (3.21)$$

in care:

$$g = n - 1,$$

iar  $t_{\alpha; g}$  rezulta din anexa III,

iar  $\chi_{\frac{\alpha}{2}; g}^2$ , respectiv  $\chi_{1-\frac{\alpha}{2}; g}^2$  din anexa II, din [3.31]

Ca exemplu, se prezinta determinarea intervalului de incredere mentru media  $\mu$  si abaterea standard  $\sigma$  ale celor doua colectivitati studiate, in cazul variabilei de cel mai mare interes, si anume limita de curgere aparenta,  $R_e$  [N/mm<sup>2</sup>]. Rezultatele obtinute, pornind de la parametrii  $m_x$  si  $S_x$ , calculati si prezentati in tabelele 3.5a si 3.5b, prin utilizarea relatiilor (3.20) si (3.21), sunt prezentate in tabelul 3.9.

**TABELUL 3.9**

DETERMINAREA INTERVALULUI DE INCREDERE CU  
PROBABILITATEA  $p$  PENTRU PARAMETRII STATISTICI DETERMINATI

Colectivitate a	Parametrii ststistici determinati	Parametrul estimat	argumentul repartitiei			Intervalul estimat	
			$t_{\alpha; g}$	$\chi_{\frac{\alpha}{2}; g}^2$	$\chi_{1-\frac{\alpha}{2}; g}^2$	limita inferioara	limita superioara
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
<b>A</b> , n=25 v=24, $\alpha=0.05$	$m_x=275$ $S_x=41,2$	$\mu$	2,064	-	-	<b>258</b>	<b>292</b>
		$\sigma^2$	-	39,364	12,401	791,3	2512
		$\sigma$				<b>28,1</b>	<b>50,1</b>
<b>B</b> , n=22 v=21, $\alpha=0.05$	$m_x=265$ $S_x=21,3$	$\mu$	2,080	-	-	<b>255</b>	<b>274</b>
		$\sigma^2$	-	35,479	10,283	281,3	970,6
		$\sigma$				<b>16,8</b>	<b>31,2</b>

Astfel, se poate afirma cu probabilitatea  $P=1-\alpha$ , adica 95%, ca media limitei de curgere aparente a colectivitatii A se situeaza intre valorile 258 N/mm<sup>2</sup> si 292 N/mm<sup>2</sup>, iar abaterea standard a acesteia, intre valorile 28,1 N/mm<sup>2</sup> si 50,1 N/mm<sup>2</sup>.

In mod similar, pentru colectivitatea B, se poate afirma cu probabilitatea  $P=1-\alpha$ , adica 95%, ca media limitei de curgere aparente se situeaza intre valorile 255 N/mm<sup>2</sup> si 274 N/mm<sup>2</sup>, iar abaterea standard a acesteia, intre valorile 16,8 N/mm<sup>2</sup> si 31,2 N/mm<sup>2</sup>.

### 3.5.2. Estimarea valorica a caracteristicilor materialului metalic din tablierele vechi

Deoarece programul de studii si incercari experimentale conceput pentru expertizarea unor tabliere vechi, prezentat in paragraful 3.1, a fost conceput ca pe una din directii, sa se poata determina valorile caracteristice ale principalelor caracteristici fizico-mecanice ale otelului din tablierele podurilor de cale ferata vechi, finalizarea prelucrarii statistice a datelor obtinute din experimente s-a efectuat astfel incat marimile obtinute sa fie adaptabile conceptului de siguranta probabilistica (paragraful 2.2 si 2.3) si criteriilor referitoare la conditiile tehnice de calitate prescrise in normativele actuale [3.27], [3.34].

Stabilirea modalitatii de prelucrare finala a datelor experimentale a fost determinata de urmatoarele aspecte:

→ Tendinta prescriptiilor actuale de calcul a structurilor metalice, care definesc caracteristicile otelului in mod probabilistic, printr-un anumit fractil, notat  $x_p$ , al repartitiei, denumit apoi ca marime caracteristica sau normata (de exemplu rezistenta, compozitia chimica etc.).

→ Analiza critica cantitativa a indicatorilor statistici: dispersie, abatere standard si coeficient de variatie (tabelele 3.5a si 3.5b), rezultati in urma prelucrarii statistice a datelor inregistrate experimental, releva valori care corespund cu cele mentionate in literatura [3.12], [3.15], [3.22], [3.26], in cazul caracteristicilor mecanice si semnificativ mai mari, in cazul compozitiei chimice procentuale pe produs. Tinand cont insa de importanta ultimului factor mentionat asupra caracteristicilor mecanice si tehnologice ale otelurilor (alaturi de influenta altor factori analizati in paragraful 3.5), precum si de celelalte aspecte semnalate, s-au impus ca necesare:

- efectuarea unui studiu teoretic asupra corelatiilor intre rezultatele experimentale obtinute pentru caracteristicile mecanice si cele ale compozitiei chimice, urmat de compararea concluziilor formulate cu cele prezentate in literatura;
- alegerea unor astfel de variante pentru prelucrarea finala a datelor experimentale, incat forma de prezentare a rezultatelor sa faciliteze posibilitatea de analiza a criteriilor de incadrare a otelului intr-o anumita marca, respectiv clasa de calitate si sa se aprecieze valorile caracteristice ale rezistentelor, compozitiei chimice si ale tenacitatii.

Drept urmare, programul de studii a fost completat, ulterior prelucrarii statistice obisnuite (determinarea indicatorilor statistici ai variabilelor aleatoare) a datelor experimentale, prin introducerea punctelor 8) si 9) in

paragraful 3.1, iar finalizarea prelucrării statistice a datelor experimentale, pentru estimarea caracteristicilor fizico-mecanice și tehnologice a materialului, s-a realizat în următoarele variante:

1. **Evaluarea fractililor  $x_p$**  ai repartițiilor variabilelor aleatoare, explicit asociați cu o probabilitate  $p$  de a exista valori mai mici decât  $x_p$ :

$$P(X \leq x_p) = p \quad (2.24.a)$$

respectiv, cu probabilitatea  $(1-p)$  de a exista valori mai mari decât  $x_p$ :

$$P(X > x_p) = 1 - P(X \leq x_p) = 1 - p \quad (2.25.a)$$

2. **Determinarea intervalelor de toleranțe statistice** ale variabilelor cu repartiții normale de probabilitate, pe baza datelor provenite din măsurători, conform STAS 7122/6-87 [3.41].

### 3.5.2.1. Evaluarea fractililor variabilelor aleatoare

Evaluarea fractililor variabilelor aleatoare s-a efectuat, în funcție de indicatorii de localizare a variabilei  $m_x$  și de imprecizie  $S_x$ , așa cum am arătat, după [3.15], în paragraful 2.1.2.2., cu relația:

$$x_p = m_x \pm k \cdot S_x = m_x (1 \pm k \cdot V_x) \quad (2.26.a)$$

în care  $k$ , reprezintă numărul de abateri standard care trebuie adunat (în cazul fractililor superiori) sau scăzut (în cazul fractililor inferiori) mediei  $m_x$ , stabilit în funcție de probabilitatea  $p$  și forma repartiției, care se găsește întăbelat în [3.15], valorile lui fiind prezentate în tabelul 3.17.

Calculul fractililor  $x_p$  s-a efectuat, pentru toate caracteristicile analizate în paragraful 3.4.2., pentru patru probabilități,  $p = 99\%$ ;  $97,72\%$ ;  $95\%$  și  $90\%$ , pe baza relației (2.26a), cu mențiunea că evaluarea realizată corespunde principal relației (2.24a) în cazul caracteristicilor mecanice și de tenacitate (fractili inferiori), respectiv relației (2.25a) în cazul compoziției chimice procentuale (fractili superiori).

Valorile fractililor determinați precum și estimarea, conform standardului [3.27], a marcii și clasei de calitate a oțelurilor analizate, sunt prezentate în tabelul 3.10



**EVALUAREA CRITERIILOR DE CALITATE A OTELULUI**  
 pe baza fractiilor variabilelor aleatoare, calculati pentru probele din:  
 A. tablurile metalice construite pana in anul 1910;  
 B. tablurile metalice construite dupa in anul 1910;

Caz	VARIABLE ALEATOARE Marimi statistice	COMPOZITIA CHIMICA					CARACTERISTICI MECANICE, DE TENACITATE si DUCTILITATE										TABELUL 3.10		
		%C	%M n	%Si	%P	%S	Re [N/mm <sup>2</sup> ]	Rm [N/mm <sup>2</sup> ]	A %	KCU [J/cm <sup>2</sup> ]	KV, la temperatura: [J]								
		(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	-20°C	-10°C	±0°C	+10°C	+20°C	Marca	Clasa de calitat	Grad de dezoxy	
A	Media aritmetica, $m_x$	0,127	0,431	0,038	0,034	0,044	275	363	32,4	138,2	16,3	-	40,6	-	88	OL37	1	n	
	Abaterrea standard, $S_x$	0,030	0,104	0,027	0,016	0,016	41,9	38,7	8,1	58,5	8,3	-	20,8	-	44,4				
	$X_p$ pentru:	k=1,281 p=90%	0,165	0,564	0,073	0,054	0,064	221,3	313,4	22	63,2		-		-				
		k=1.645 p=95%	0,177	0,602	0,082	0,060	0,070	206	299	19,1	41,9	0,602	-	6,38	-				14,96
		k=2,000 p=97,72%	0,187	0,639	0,092	0,066	0,076	191	286	16,2	21,2	*	-	*	-				*
k=3,090 p=99%	0,220	0,752	0,121	0,083	0,093	146	244	7,3	*	*	-	*	-	*					
B	Media aritmetica, $m_x$	0,132	0,465	0,049	0,031	0,041	265	371	41	158,4	27,4	42,5	53,7	85,4	103,5	OL37	1	s	
	Abaterrea standard, $S_x$	0,034	0,103	0,034	0,018	0,021	21,3	23,9	7,1	61	15,4	22,4	25,6	36,5	31,6				
	$X_p$ pentru:	k=1,281 p=90%	0,176	0,597	0,093	0,054	0,068	238	340	32	80,3	7,67	13,84	20,96	52,56				63,07
		k=1.645 p=95%	0,188	0,634	0,105	0,061	0,075	230	332	29,4	58,12	2,07	5,70	11,65	50,73				51,6
		k=2,000 p=97,72%	0,200	0,671	0,117	0,067	0,083	222	323	26,9	36,48	*	*	2,58	49,74				60,38
k=3,090 p=99%	0,237	0,783	0,154	0,086	0,106	199	297	19,2	*	*	*	*	49,3	65,9					

NOTA: \* valori neconcludente, cauzate de dispersia mare a variabilelor;

TABELUL 3.10.

Contributii la determinarea capacitatii portante a podurilor metalice existente in vederea mentinerii lor in exploatare

### 3.5.2.2. Determinarea intervalelor de tolerante statistice

Determinarea intervalelor de tolerante statistice ale variabilelor aleatoare rezultate din masuratori experimentale, s-a efectuat prin calculul limitelor de tolerante ale intervalelor de variatie, asa cum este specificat in [3.41]. Limitele acestor intervale se numesc **limite de tolerante naturale de tip  $(P, \gamma)$** , in care  $\gamma$  reprezinta o probabilitate data cu care intervalul respectiv contine cel putin o proportie  $P$ , de asemenea precizata, din populatia analizata. Metoda prezentata este aplicabila daca:

- esantioanele de date sunt obtinute in mod aleatoriu,
- datele sunt independente intre ele, si
- caracterul normal (sau apropiat de acesta) al populatiei din care provine caracteristica analizata, este verificat, conditii care, asa cum am aratat anterior, in cazul de fata sunt indeplinite.

In [3.41], limitele de tolerante naturale de tip  $(P; \gamma)$  sunt definite astfel: daca  $x_1, x_2, \dots, x_n$  sunt datele obtinute experimental prin masurarea caracteristicii  $X$  de  $n$  ori, atunci:

$$L_i = L_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \text{ si}$$

$$L_s = L_s(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

sunt limita inferioara, respectiv superioara de tolerante de tip  $(P; \gamma)$ , cu conditia ca:

$$\text{Prob} \left\{ \int_{L_i}^{+\infty} f(x; m; \sigma) \cdot dx \geq P \right\} = \gamma, \text{ respectiv} \quad (3.22)$$

$$\text{Prob} \left\{ \int_{-\infty}^{L_s} f(x; m; \sigma) \cdot dx \geq P \right\} = \gamma \quad (2.23)$$

in care  $\gamma < 1$ , reprezinta o probabilitate data, cu care intervalul respectiv contine cel putin o proportie  $P$  din colectivitatea studziata; pentru  $P$  si  $\gamma$  sunt considerate urmatoarele valori uzuale:

$$P = 0,90; 0,95; 0,99$$

$$\gamma = 0,95; 0,99.$$

Pentru cazul in care media si abaterea standard a colectivitatii sunt considerate necunoscute, calculul limitelor de tolerante naturale de tip  $(P; \gamma)$ , se face, pastrand notatiile utilizate pana acum, astfel:

- pentru intervale unilaterale de tolerante la stanga  $[L_i, +\infty)$ , respectiv la dreapta  $(-\infty, L_s]$ , cu relatiile (3.24), respectiv (3.25):

$$L_i = m_x - k_2(n; P; \gamma) \cdot S_x \quad (3.24) \text{ si } (3.25)$$

$$L_s = m_x + k_2(n; P; \gamma) \cdot S_x$$

- pentru intervale bilaterale de tolerante  $[L_i, L_s]$ , cu relatiile (3.26), respectiv (3.27):

$$L_i = m_x - k'_2(n; P; \gamma) \cdot S_x \quad (3.26) \text{ si } (3.27)$$

$$L_s = m_x + k'_2(n; P; \gamma) \cdot S_x$$

Corespunzator datelor experimentale analizate, prezentate in tabelele 3.1a si 3.1b, cu indicatorii lor statistici, din tabelele 3.5a si 3.5b, pentru calculul intervalului de tolerante statistice s-au ales perechile de valori:

$$1. P = 0,90 \quad \text{si} \quad \gamma = 0,95 \quad (3.28)$$

$$2. P = 0,95 \quad \text{si} \quad \gamma = 0,95, \quad (3.29)$$

dintre perechile uzuale prescrise in standardul [3.41].

Rezultatele calculelor efectuate cu relatiile (3.24) pentru caracteristicile mecanice si cu relatiile (3.25) pentru compositia chimica, in care coeficientii  $k$  s-au introdus cu valorile corespunzatoare, obtinute din tabelul 3 al standardului mentionat, sunt prezentate in tabelul 3.11.

EVALUAREA CRITERIILOR DE CALITATE A OTELULUI

pe baza intervalelor de tolerante naturale, calculati pentru probele din:

A. tablierele metalice construite pana in anul 1910;

B. tablierele metalice construite dupa in anul 1910;

Caz	VARIABLE ALEATOARE Marimi statistice	COMPOZITIA CHIMICA					CARACTERISTICI MECANICE, DE TENACITATE si DUCTILITATE										TABELUL 3.11		
		%C	%Mn	%Si	%P	%S	Re [N/mm <sup>2</sup> ]	Rm [N/mm <sup>2</sup> ]	A %	KCU [J/cm <sup>2</sup> ]	KV, la temperatura: [J]					Marca	Clasa de calitat	Grad de dezox	
										-20°C	-10°C	±0°C	+10°C	+20°C					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)				
A	Media aritmetica, m <sub>x</sub>	0,127	0,431	0,038	0,034	0,044	275	363	32,4	138,2	16,3	-	40,6	-	88	-	-	n	
	Abaterea standard, S <sub>x</sub>	0,030	0,104	0,027	0,016	0,016	41,9	38,7	8,1	58,5	8,3	-	20,8	-	44,4				
	p=95% Lim. inferioara L <sub>I</sub>						179	274	13,8	4,14	*	-	*	-	*				
	Lim.superioara L <sub>S</sub>	0,196	0,669	0,099	0,070	0,080													
	p=90% Lim. inferioara L <sub>I</sub>						198	292	17,5	30,8	*	-	*	-	6,52				
	Lim.superioara L <sub>S</sub>	0,182	0,622	0,087	0,063	0,073													
B	Media aritmetica, m <sub>x</sub>	0,132	0,465	0,049	0,031	0,041	265	371	41	158,4	27,4	42,5	53,7	85,4	103,5	OL32	-	s	
	Abaterea standard, S <sub>x</sub>	0,034	0,103	0,034	0,018	0,021	21,3	23,9	7,1	61	15,4	22,4	25,6	36,5	31,6				
	p=95% Lim. inferioara L <sub>I</sub>						216	316	24,9	18,8	*	*	*	1,83	31,2				
	Lim.superioara L <sub>S</sub>	0,209	0,700	0,127	0,072	0,089													
	p=90% Lim. inferioara L <sub>I</sub>						226	327	28	46,5	*	1,45	6,80	18,44	45,6				
	Lim.superioara L <sub>S</sub>	0,194	0,654	0,111	0,064	0,079													

NOTA: \* valori neconcludente, cauzate de dispersia mare a variabilelor;

TABELUL 3.11.

Contributii la determinarea capacitatii portante a podurilor metalice existente in vederea mentinerii lor in exploatare

### 3.6. INTERPRETAREA FINALA A REZULTATELOR

#### 3.6.1. Analiza corelatiilor dintre parametrii analizati

Comportarea in exploatare, sub incarcările reale, a elementelor structurilor de rezistenta ale podurilor metalice existente, cu vechime mare, alcatuite din profile laminate la cald, este influentata dupa [3.11], de caracteristicile de utilizare ale otelurilor, dependente la randul lor de factorii metalurgici caracteristici tehnologiei de fabricare, cum sunt:

- procedeul de elaborare, compozitia chimica si procedeul de dezoxidare la elaborare;
- marimea granulatiei;
- regimul de temperaturi si gradul de deformare in procesul de laminare.

Factorii mentionati au dupa [3.27], o influenta semnificativa atat asupra caracteristicilor mecanice ale otelurilor cat si asupra celor de tenacitate si plasticitate.

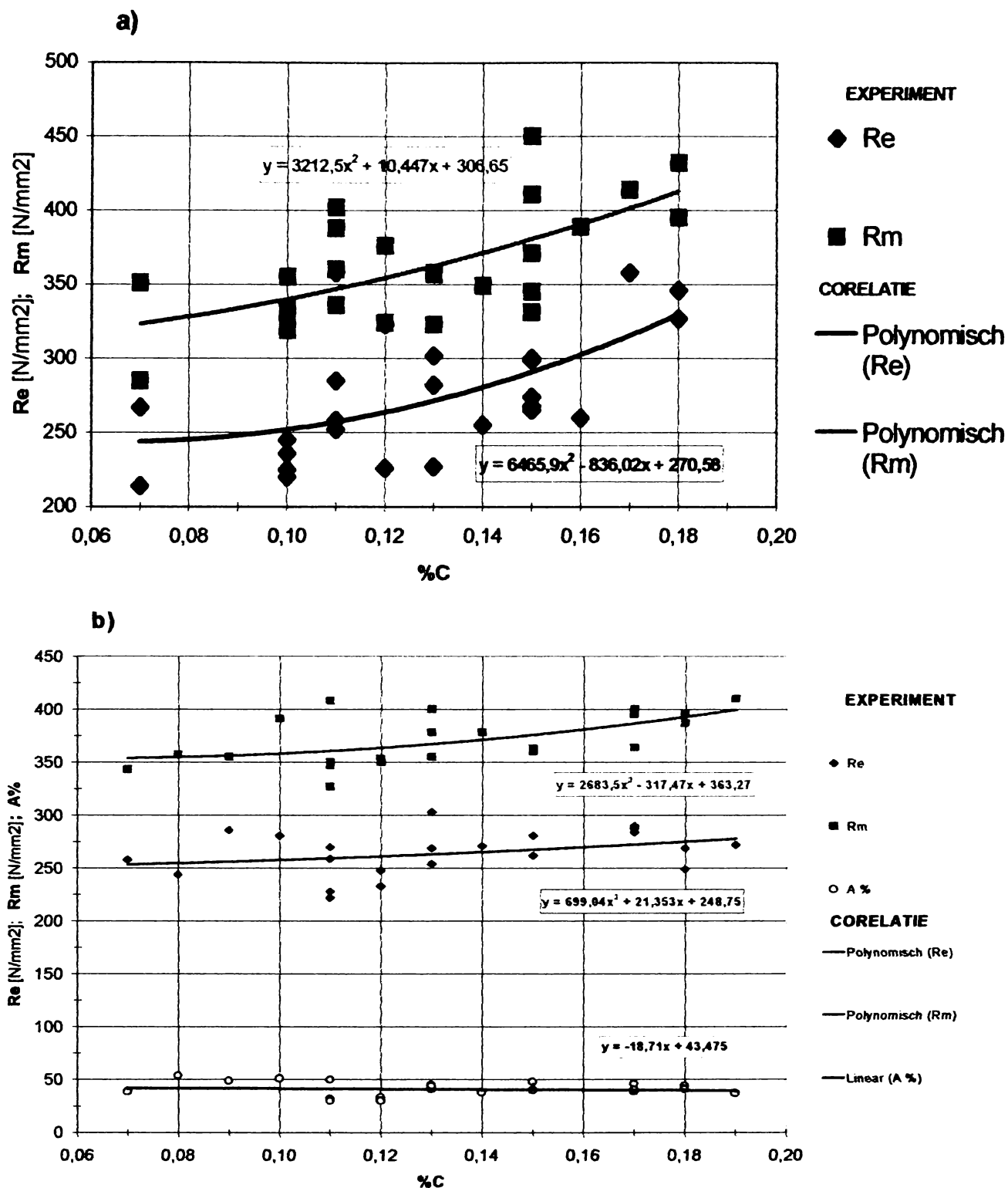
Dependenta intre caracteristicile de rezistenta, respectiv cele de ductilitate si tenacitate, pe de o parte si continutul in procente ale carbonului si manganului, ca si a celorlalte elemente depistate la analizele chimice, pe de alta parte, s-a evaluat prin calcularea functiilor de corelatie, de tipul  $y = f(X)$ , pe baza valorilor caracteristicilor in cauza masurate experimental. Aceste functii de corelatie intre diversii parametri analizati, au fost determinate prin regresie, utilizand metoda celor mai mici patrate, iar pentru  $f(x)$  functii polinomiale de gradul unu si doi, ai caror coeficienti s-au determinat cu ajutorul programelor de calcul [3.18], [3.24], executabile sub Windows.

Aceste corelatii s-au reprezentat si grafic, alaturi de valorile experimentale, utilizand facilitatile grafice ale programului EXCEL 7.0, reprezentand functii liniare pentru rezultate experimentale cu o dispersie redusa si functii polinomiale de gradul doi, sau uneori chiar trei, pentru parametri cu o dispersie mai mare a valorilor masurate, cele mai semnificative corelatii fiind prezentate in continuare.

In Anexa A.III-5 se prezinta expresiile tuturor curbilor de corelatie analizate.

Caracteristicile mecanice si de deformabilitate ale otelului sunt influentate de compozitia chimica . Dupa [3.8] carbonul este elementul chimic care influenteaza intr-o masura importanta structura si proprietatile otelului. Cresterea continutului de carbon are efecte favorabile asupra proprietatilor de rezistenta inasa ii reduce sensibil tenacitatea. Principalul factor de control pentru realizarea caracteristicilor de rezistenta garantate la orice marca de otel, este, conform [3.5], continutul procentual in elementele carbon (%C) si mangan (%Mn).





**FIG. 3.17** Influenta continutului de carbon asupra caracteristicilor de rezistenta, ale otelului probelor prelevate din tabliere: **a) construite pâna în anul 1910;**  
**b) construite dupa anul 1910.**

La probele analizate, având în vedere continutul relativ redus de carbon, în medie cca. 0,12% la oțelul din tablierele construite înainte de anul 1910 și 0,13% la cele după 1910, nu s-a remarcat o scădere semnificativă a ductilității în măsura creșterii rezistențelor odată cu creșterea continutului procentual de carbon, așa cum rezulta din graficele prezentate în figurile 3.17 și 3.18.

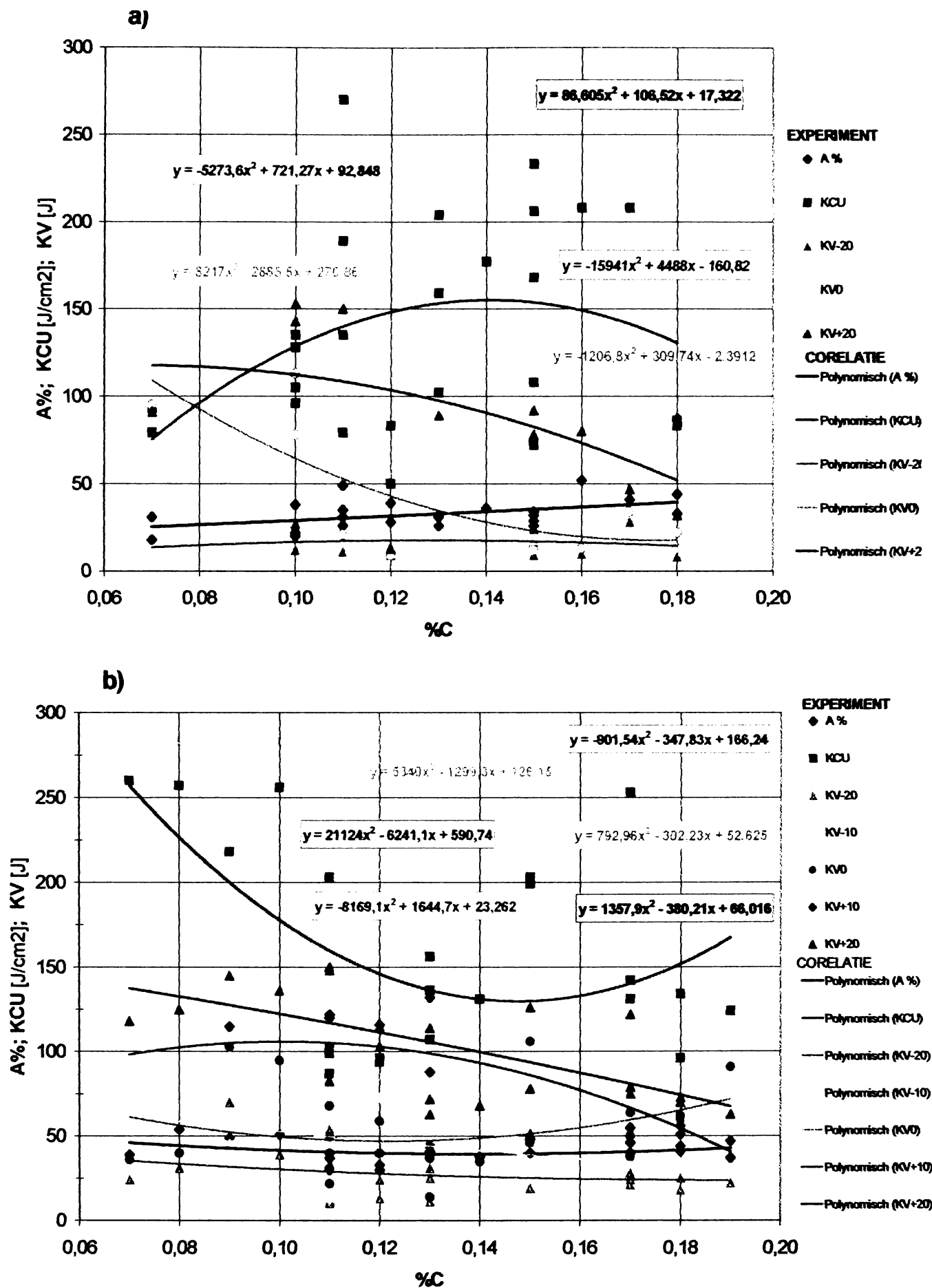
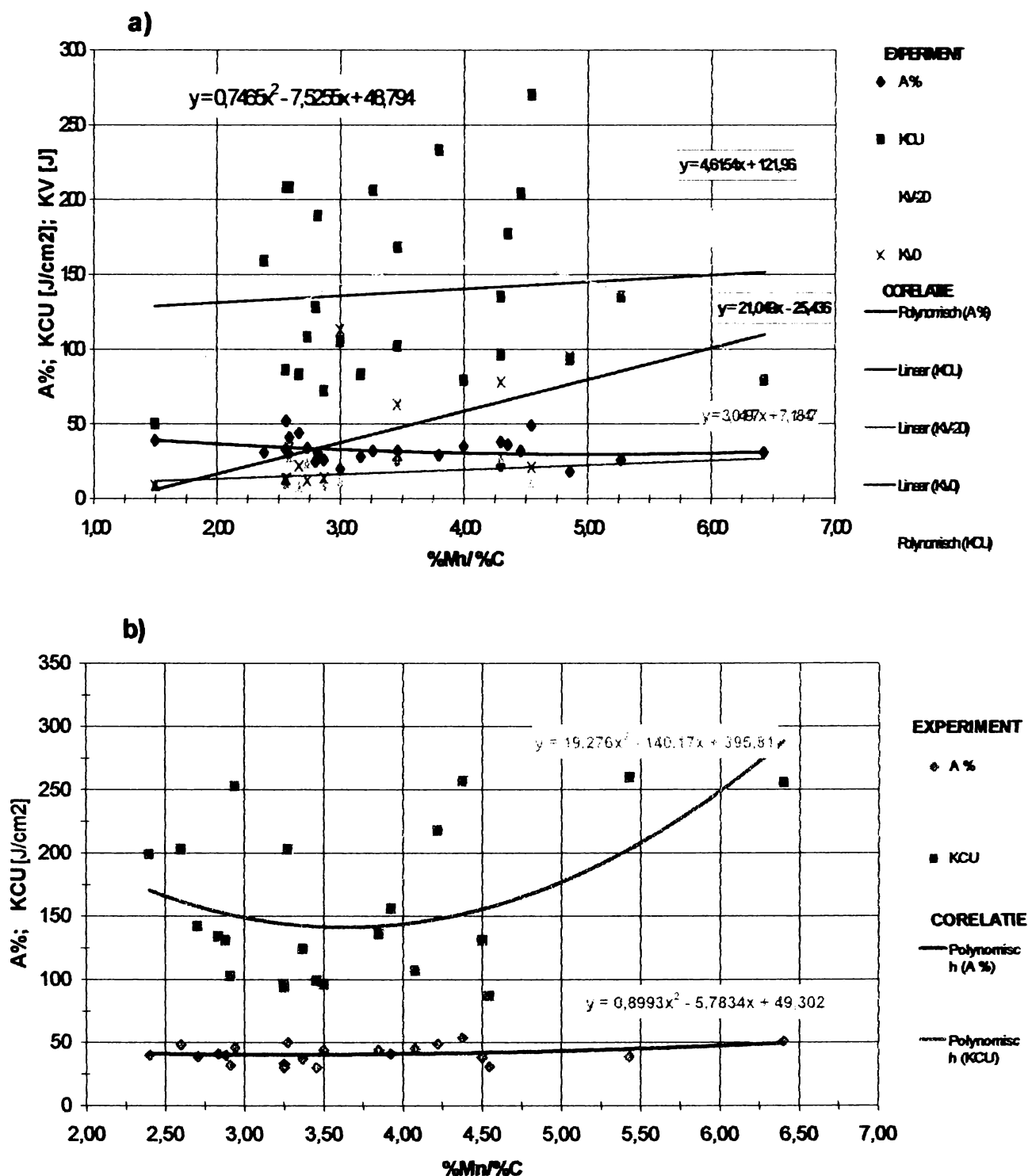
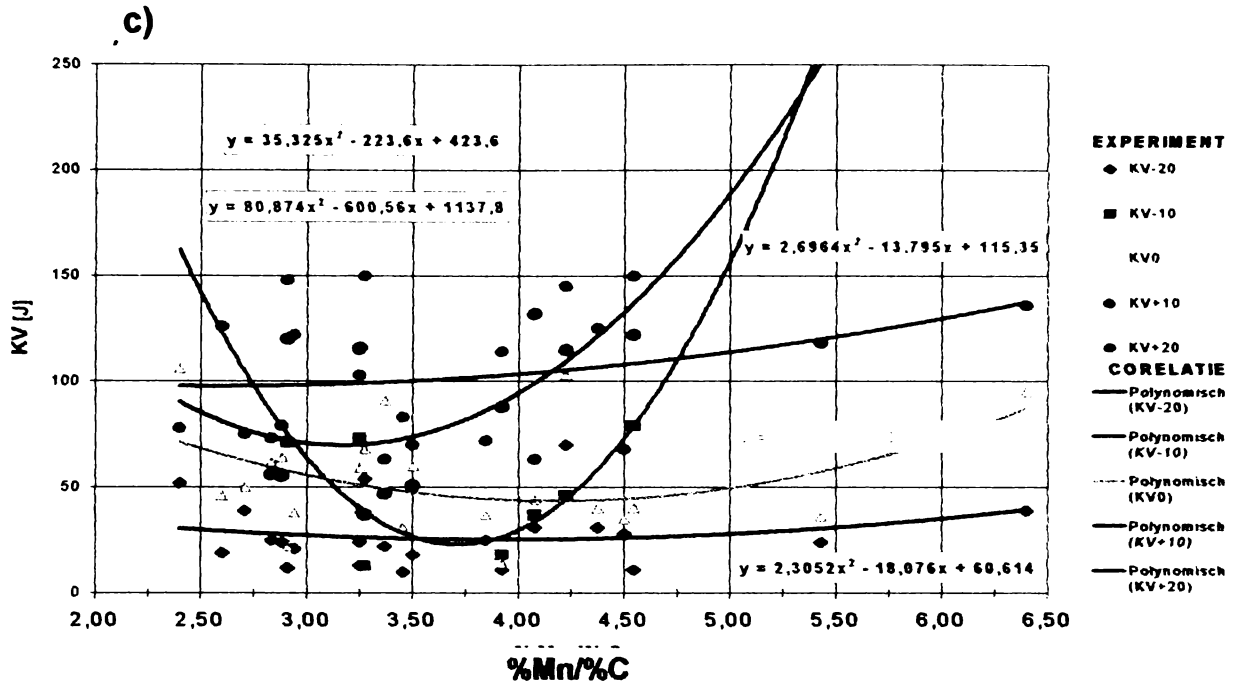


FIG. 3.18 Influenta continutului de carbon asupra caracteristicilor de ductilitate si tenacitate, ale otelului probelor prelevate din tabliere:

- a) construite pâna în anul 1910;
- b) construite dupa anul 1910.

**Manganul** actioneaza ca un dezoxidant puternic al otelului si contribuie la finisarea granulatiei; prezenta lui imbunatateste proprietatile mecanice, marind rezistenta si tenacitatea. Teoretic, in [3.7] se sustine ca o crestere a raportului intre continutul de mangan si cel de carbon (%Mn/%C), are ca efect o marire a tenacitatii, in special la temperaturi negative. Efectul favorabil al manganului atat asupra caracteristicilor de rezistenta cat si a celor de tenacitate este confirmat si de graficele obtinute experimental, prezentate in figura 3.19, din care rezulta imbunatatirea caracteristicilor de tenacitate odata cu cresterea raportului dintre continutul procentual de mangan si carbon.



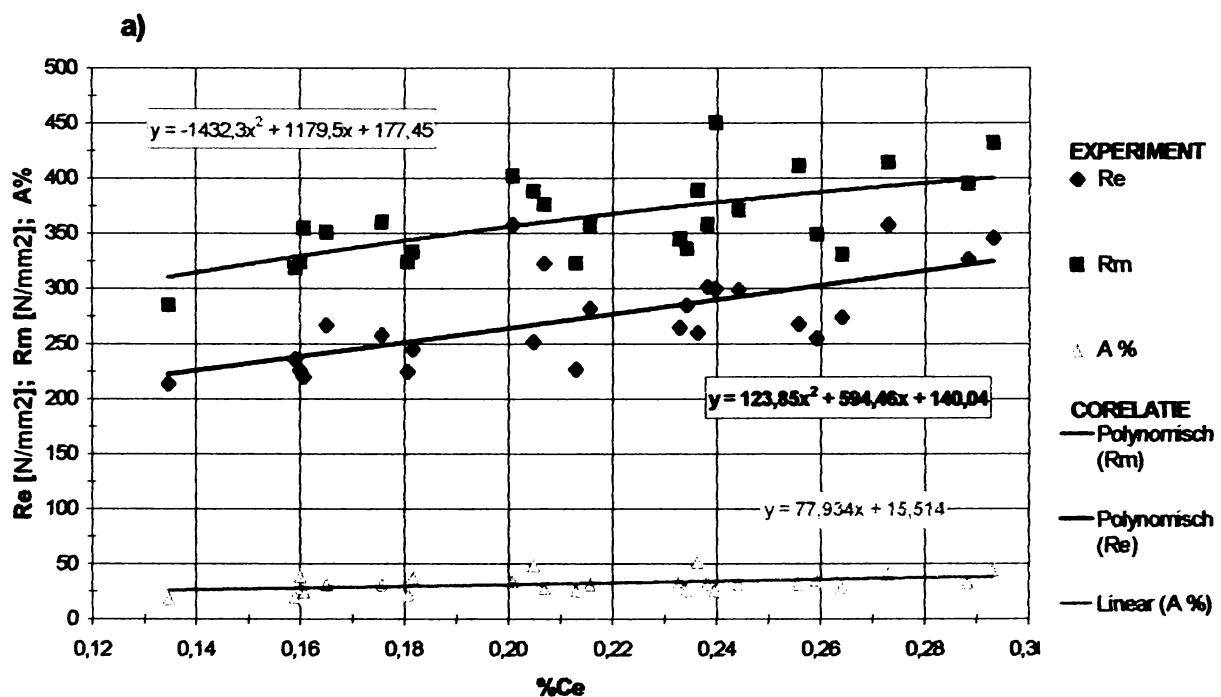


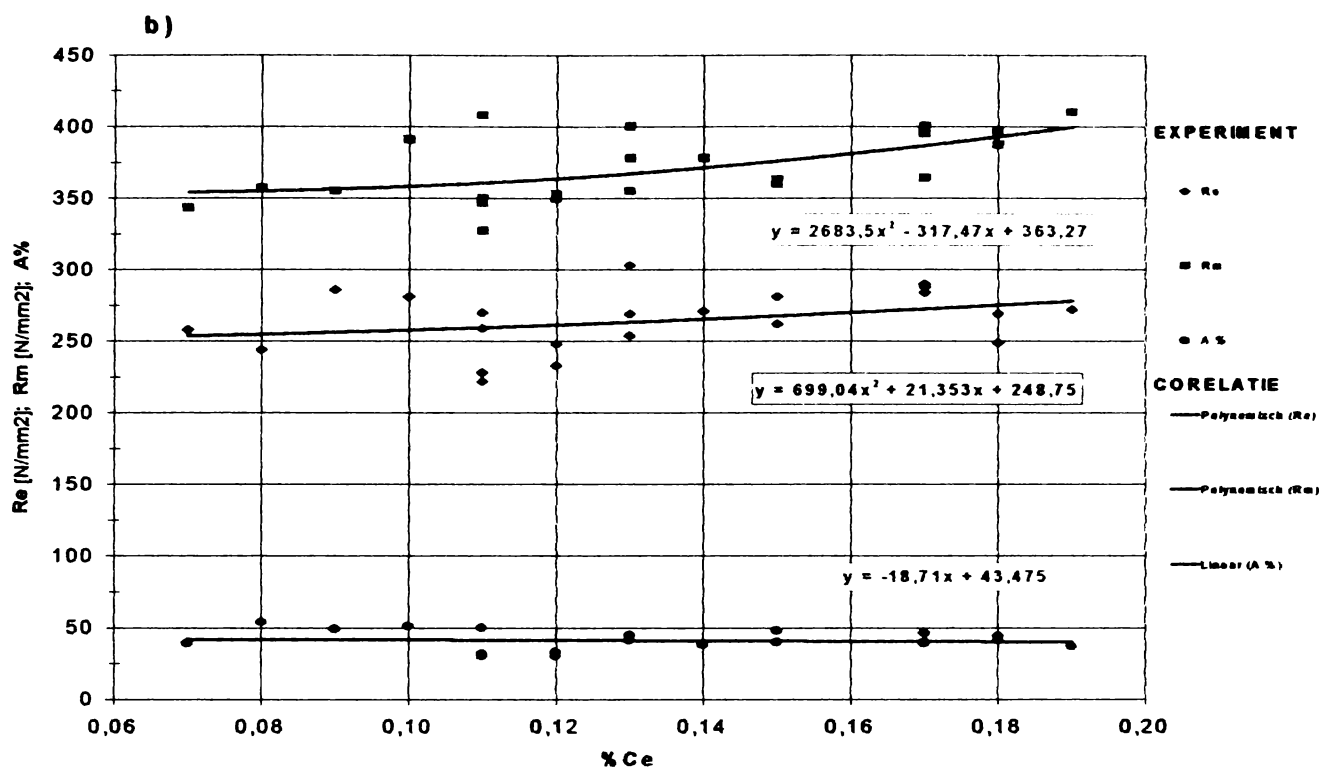
**FIG. 3.19** Influenta raportului mangan/carbon asupra caracteristicilor de ductilitate si tenacitate, ale otelului probelor prelevate din tabriere:

- a) construite pâna in anul 1910;
- b), c) construite dupa anul 1910.

Influenta simultana a elementelor componente asupra rezistentelor mecanice se poate reliefa (fig. 3.20), asa cum am aratat in [3.4], prin **carbonul echivalent**, calculat dupa [3.44], cu relatia:

$$C_e(\%) = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr}{5} + \frac{\%Ni}{4} + \frac{\%Cu}{13} + \frac{\%P}{2} \quad (3.30)$$



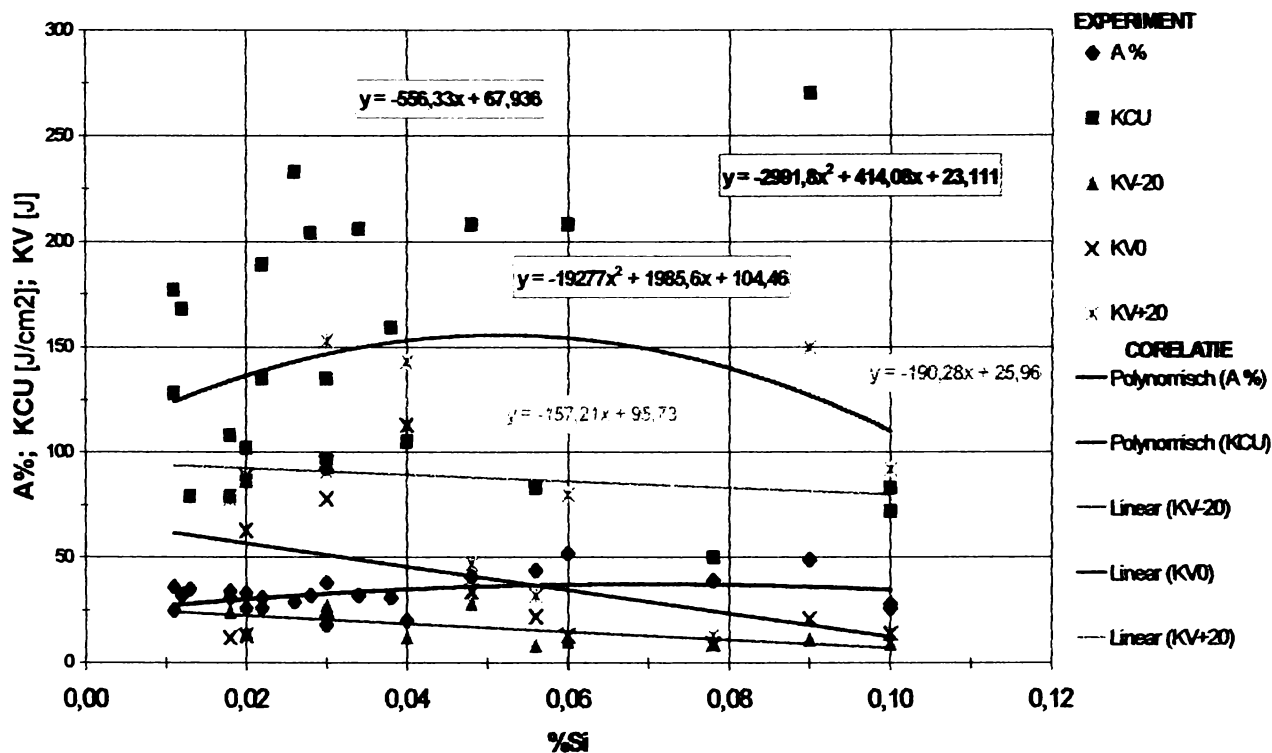


**FIG. 3.20** Influenta continutului echivalent in carbon asupra caracteristicilor de rezistenta si ductilitate, ale otelului probelor prelevate din tabliere:

- a) construite pâna in anul 1910;
- b) construite dupa anul 1910.

**Siliciul**, ca si manganul, actioneaza ca un dezoxidant al otelului, contribuind si la reducerea segregarii zonale. In proportie mai mare el duce însa, la o crestere a granulatiei si în consecinta actioneaza defavorabil asupra tenacitatii.

a)





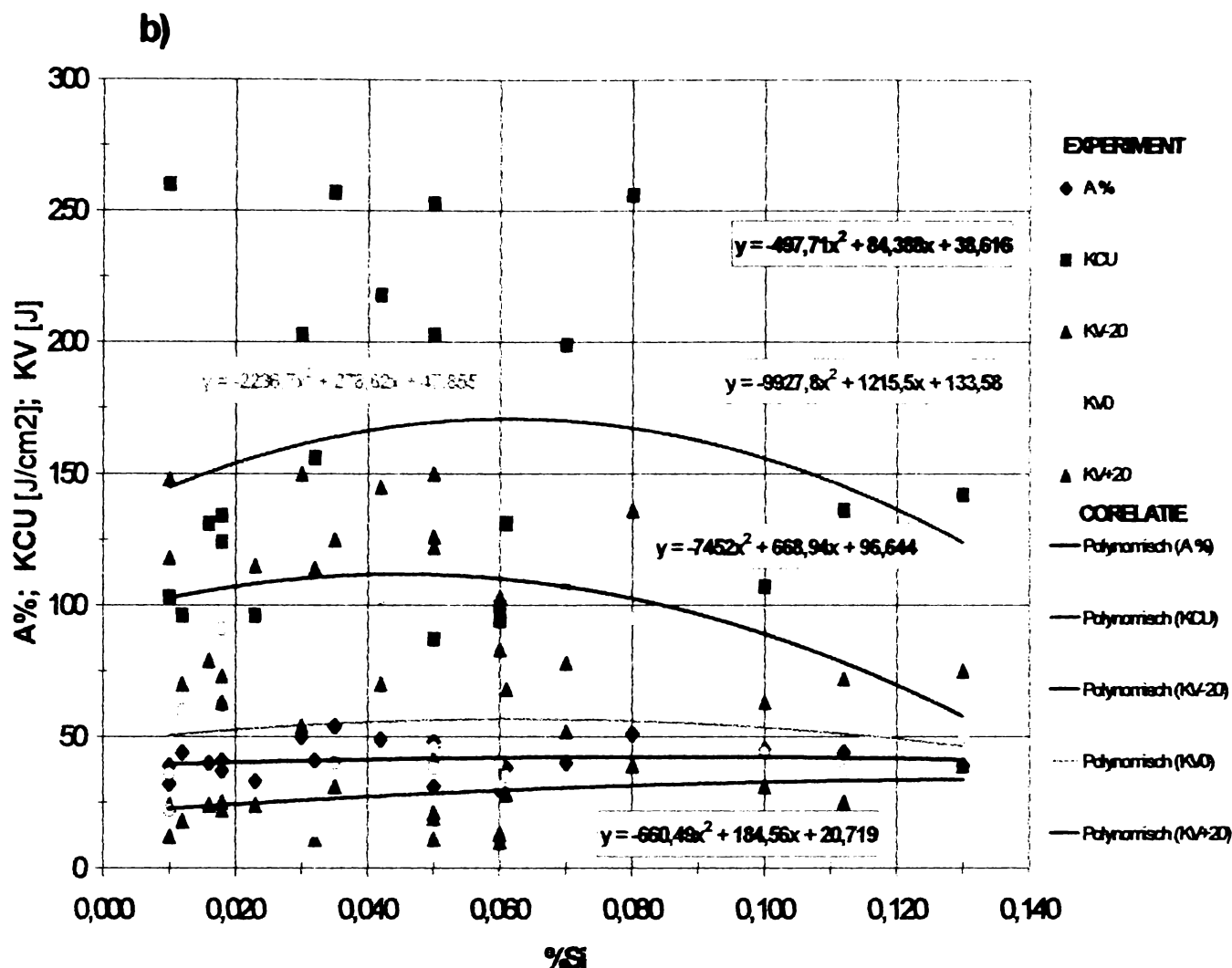
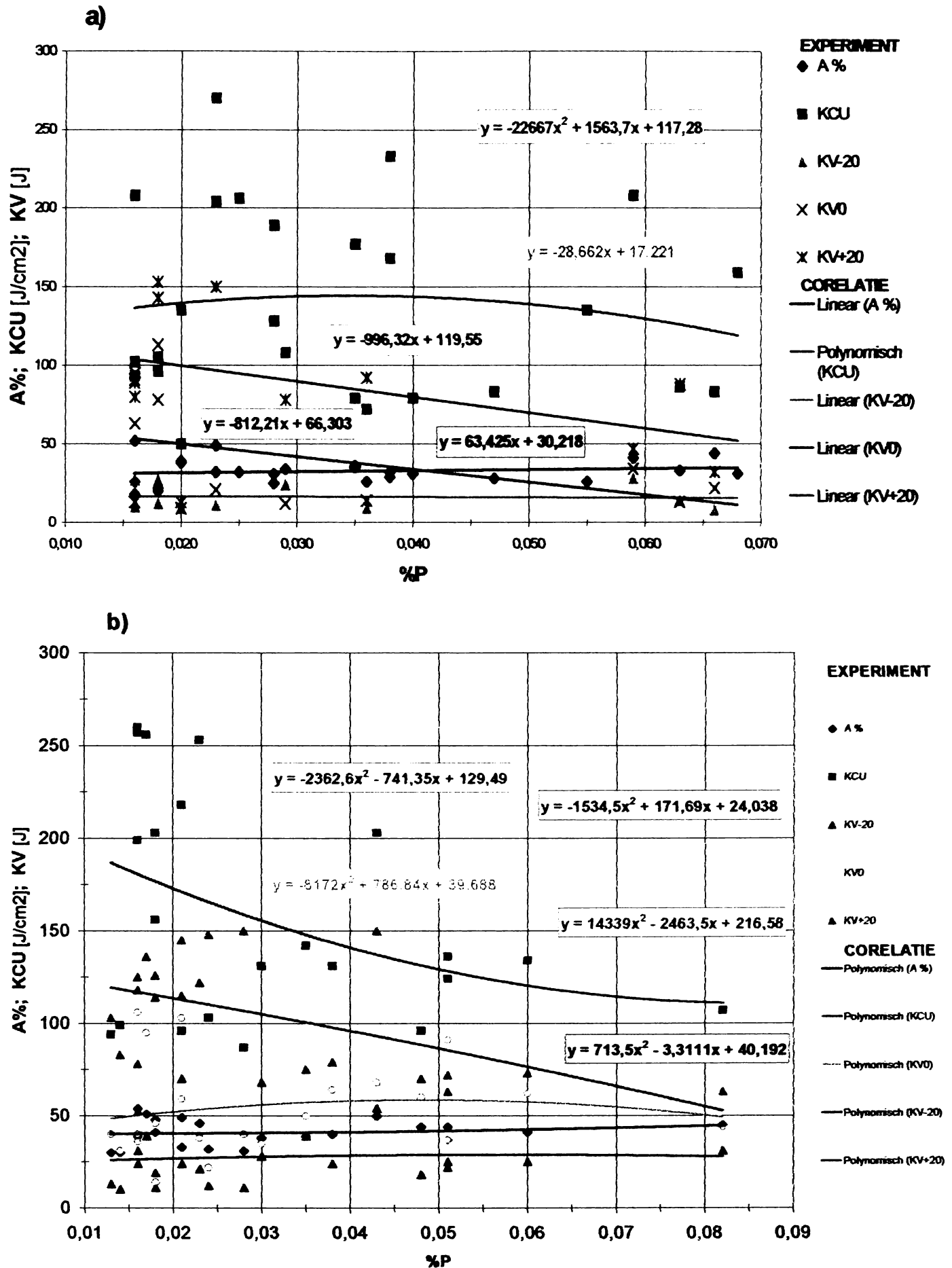


FIG. 3.21 Influenta continutului de siliciu asupra caracteristicilor de ductilitate si tenacitate, ale otelului probelor prelevate din tabliere:

- a) construite pâna în anul 1910;
- b) construite dupa anul 1910.

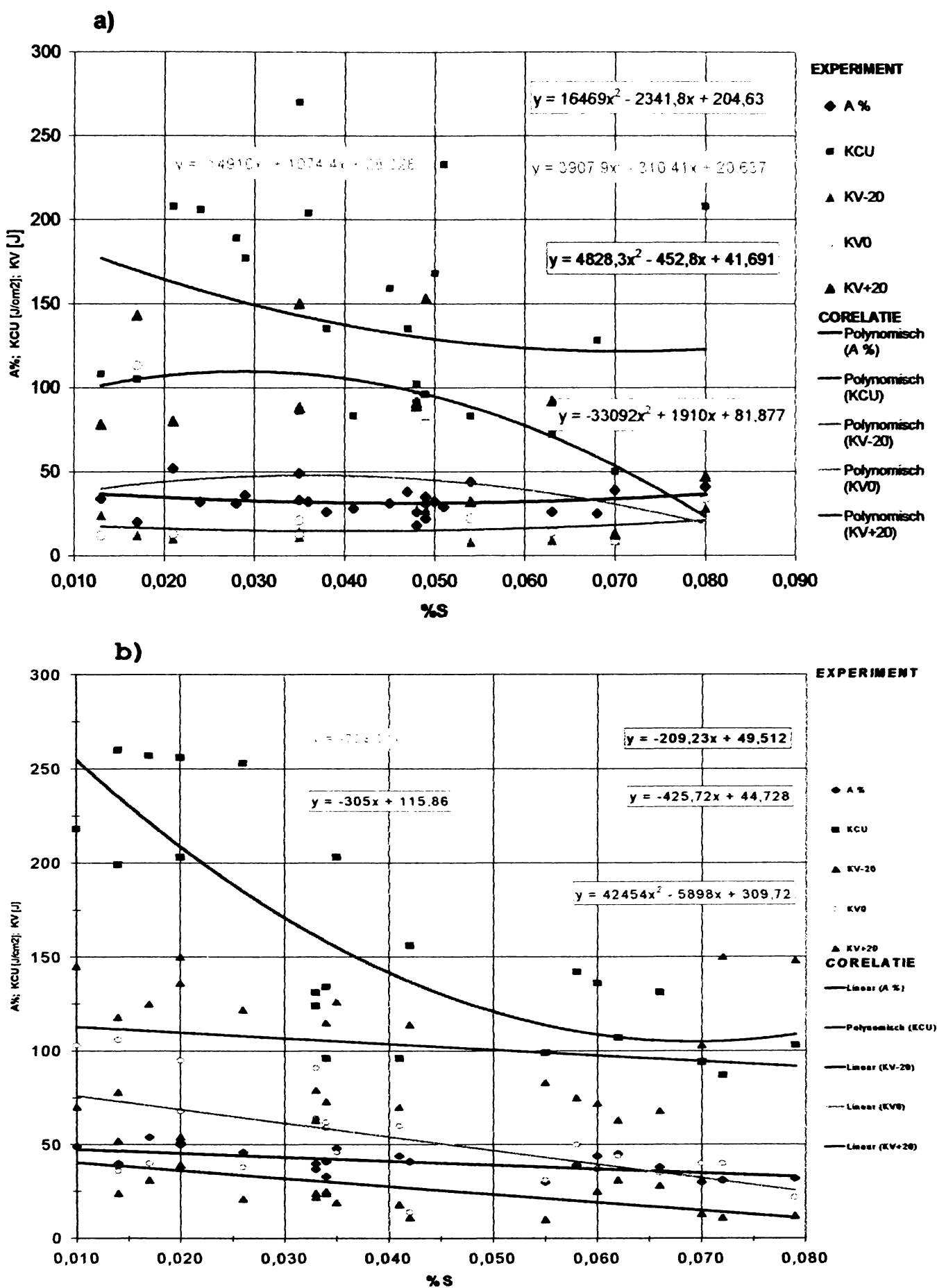
Sulfur si fosforul sunt considerate ca impuritati daunatoare in otel si ca urmare continutul lor trebuie sa fie cat mai redus. Sulfurul formeaza diferiti compusi cu puncte de topire joase, care favorizeaza fisurarea la cald, importanta in cazul sudarii, in timp ce fosforul formeaza structuri cu proprietati fragile si tenacitate redusa si favorizand segregatia contribuie la formarea structurilor in benzi de laminare.



**FIG. 3.22** Influenta continutului de fosfor asupra caracteristicilor de ductilitate si tenacitate, ale otelului probelor prelevate din tabliere:

a) construite pâna în anul 1910;

b) construite dupa anul 1910.



**FIG. 3.23** Influenta continutului de sulf asupra caracteristicilor de ductilitate si tenacitate, ale otelului probelor prelevate din tabliere:

**a) construite pâna în anul 1910;**

**b) construite după anul 1910.**

Majoritatea proprietatilor mecanice ale otelurilor sunt dependente de marimea cristalului din sistemul de cristalizare, numit graunte. La temperatura ambianta, limita de curgere, rezistenta la rupere, duritatea, rezistenta la oboseala si rezistenta la sollicitari prin soc, cresc atunci cand dimensiunea grauntelui scade [3.9].

**Dimensiunea grauntelui** are cea mai mare influenta asupra proprietatilor care sunt legate de primele faze ale deformarii, deoarece in aceasta situatie obstacolele constituite de limitele grauntilor exercita o influenta maxima. Din acesta cauza limita de curgere depinde mai mult de dimensiunile grauntilor, decat rezistenta la rupere.

**Structura ferito-perlitica** a otelurilor moi, ce se prezinta dupa [3.9] sub forma unei solutii de interstitie cu retea atomica deformata de patrunderea altor elemente ca fosfor, hidrogen, azot, este influentata de continutul in carbon si mangan. Transformarile structurale din cursul procesului de elaborare al otelului si de laminare a semifabricatelor, ca si unele eventuale tratamente termice, determina comportarea otelului din structurile aflate in exploatare.

Influenta factorilor mentionati mai sus, asupra proprietatilor mecanice ale otelului din tablurile analizate, poate fi pusa in evidenta si prin analiza microstructurii probelor metalografice prelevate din aceleasi esantioane ca si epruvetele pentru incercarile mecanice.

Caracteristicile de deformare ale unui metal pot fi afectate daca se produce o precipitare sau o transformare de faza datorita deformarii. Aparitia unei reactii de precipitare in decursul procesului de deformare prin laminare, va produce o marire a tensiunii de curgere, dar, ceea ce este mai important, va aparea si o apreciabila scadere a ductilitatii, care poate conduce la aparitia fisurilor.

Fragilitatea produsa datorita precipitarii apare de obicei cand prelucrarea prin deformare este efectuata la o temperatura putin mai joasa decat cea corespunzatoare liniei solidus din diagrama fier-carbon [3.9], ipoteza plauzibila avand in vedere tehnologiile de laminare de la sfarsitul secolului trecut.

Spre exemplificare, in figura 3.5, se poate urmarii comparativ atat efectul continutului de carbon cat si cel al gradului de finisare a structurii cristaline asupra caracteristicilor de rezistenta, ductilitate si tenacitate astfel: structura cu granulatie mai mare din figura 3.5c, reprezentand proba A.P08.d1 cu 18% carbon si 0,48% mangan, prezinta caracteristici de rezistenta superioare cu cca. 21% celor rezultate pe proba B.P08.a1, care are 0,17% carbon si

0,46% mangan, dar cu caracteristici de tenacitate net inferioare, energia de rupere la  $-20^{\circ}\text{C}$  fiind cu % mai mica, (vezi și tabelele 3.1a și 3.1b), situație datorată în mod cert diferențelor între tehnologiile procesului de laminare din  $\approx 1859$  și 1912. În același timp la alte probe, ca de exemplu B.P02.1 (figura 3.6), cu o compoziție chimică mai săracă în carbon, 0,11% carbon și 0,50% mangan, cu o structură ferito-perlitică cu graunți uniformi, real fini, în condițiile unor caracteristici mecanice acceptabile,  $R_e = 286 \text{ N/mm}^2$ , apare o tenacitate foarte bună, energia de rupere la  $-20^{\circ}\text{C}$ , de 52J.

### 3.6.2. Valori caracteristice ale materialului metalic

În urma prelucrării tuturor datelor experimentale obținute prin încercări de laborator a probelor prelevate din tablărele vechi existente în exploatare, bazat pe norma [3.27], dar mai ales pe principiile de siguranță probabilistică adoptate de Eurocodes, prezentate detaliat în capitolul II, acceptând probabilitatea de 95%, se pot prezenta următoarele concluzii:

1) **Sub aspectul compoziției chimice**, oțelul se încadrează în categoria oțelurilor moi cu un conținut redus de carbon ( $\approx 12-13\%$ ), nefiind diferite semnificative între cele două categorii de probe analizate, în funcție de anul de construcție, înainte sau după 1910. Compoziția procentuală se încadrează în valorile maxime admise în [3.27] pentru oțelul marca OL 37, cu o ușoară depășire (de cca. 7,7%) a conținutului maxim de sulf, în cazul oțelurilor de după 1910.

2) **Privitor la gradul de dezoxidare**, am concluzionat că raportat la conținutul maxim de siliciu de numai 0,105%, oțelul se poate încadra ca **semicalmat**.

3) **Sub aspectul rezistențelor mecanice**, estimate prin fractila de 5%, se constată ușoare deosebiri între oțelul pus în opera până în anul 1910 față de cel de după acest an.

Astfel, pentru limita de curgere aparentă, mărimea cea mai relevantă în calculul rezistenței secțiunilor transversale ale elementelor componente, se propune adoptarea următoarelor valori:

☞ pentru tablăre cu anul de construcție până în 1910,  
 $f_y = 205 \text{ N/mm}^2$ ;

☞ pentru tablăre cu anul de construcție după 1910,  
 $f_y = 230 \text{ N/mm}^2$ .



Analizand critic aceste valori, raportate la metodologia de calcul deterministica prevazuta in [3.42], prin care rezistenta admisibila pentru otelurile vechi (Thomas) se calculeaza aplicand un coeficient de siguranta  $c=1,5$  fata de limita de curgere, acceptata la valoarea de  $220\text{N/mm}^2$ , se constata ca estimarea probabilistica arata o supraapreciere a capacitatii portante prin metoda actuala cu cca. 6%.

4) **Sub aspectul caracteristicilor de ductilitate si tenacitate**, unele rezultate sunt neconcludente sau chiar contradictorii, in special in cazul incercarilor de incovoiere prin soc. Respectand fractila de 5%, otelurile elaborate inainte de anul 1910 pot fi cu greu incadrate in clasa 1 de calitate dupa [3.27] (cu garantarea incadrarii valorilor compozitie chimice, a rezistentelor si alungirii la rupere in valorile prescrise in standard), dar in mod cert, pot fi incadrate in **clasa de calitate 1a**, in timp ce otelurile elaborate dupa anul 1910 pot fi incadrate in **clasa de calitate 1** sau, dupa fractila de 10% (deci pentru o curba de repartitie a rezistentelor determinata cu o asigurare de 90%) chiar in **clasa de calitate 2** (cu garantarea si a cifrei de rezilienta KCU cat si a energiei de rupere KV la valorile prevazute in standard). Aceste aspecte pot fi justificate printr-un grad considerabil de imprastiere al valorilor experimentale ( $V_x \approx 51,1 \div 53\%$  pentru KV la otelurile de pana la 1910 si  $V_x \approx 30,5 \div 56,2\%$ , la cele de dupa 1910) care dupa [3.9] este cauzat atat de variatiile locale ale proprietatilor otelului cat si de dificultatile practice de realizare a unor crestaturi perfect reproductibile, cunoscut fiind ca forma crestaturii si adancimea ei reprezinta marimi critice pentru aceste incercari desi la verificarea valorilor inregistrate experimental nu s-au semnalat, asa cum am aratat in 3.4.4/2, influente ale vreunor erori sistematice.

Avand in vedere constatarile descrise anterior, am considerat ca din punct de vedere practic sunt mai importante informatiile privind tenacitatea materialului determinata pe baza caracterului ruperii, decat incadrarea sa intr-o anumita clasa de calitate, pe baza valorilor din standard. Am procedat, asadar, la o cercetare suplimentara a modului de rupere a epruvetelor la incercarile de incovoiere prin soc, care a constatat in:

- analiza vizuala a sectiunii transversale dupa rupere;
- determinarea temperaturii de tranzitie;
- determinarea caracterului ruperii prin analiza masuratorilor de cristalinitate si fibrozitate a casurii epruvetelor KCU, conform STAS 10026-75 [3.43].

## A. Analiza vizuala a sectiunii transversale a epruvetei rupte

Examinarea aspectului suprafetelor de rupere, urmata de calificarea tipului de rupere -prin alunecare daca suprafata este fibroasa, respectiv prin clivaj daca suprafata este cristalina- si calculul energiei absorbite pentru rupere, corelate cu datele privind compozitia chimica procentuala a otelului analizat, dau indicatii asupra caracteristicilor de tenacitate ale materialului dar pot sesiza si existenta altor factori perturbatori ai rezultatelor obtinute.

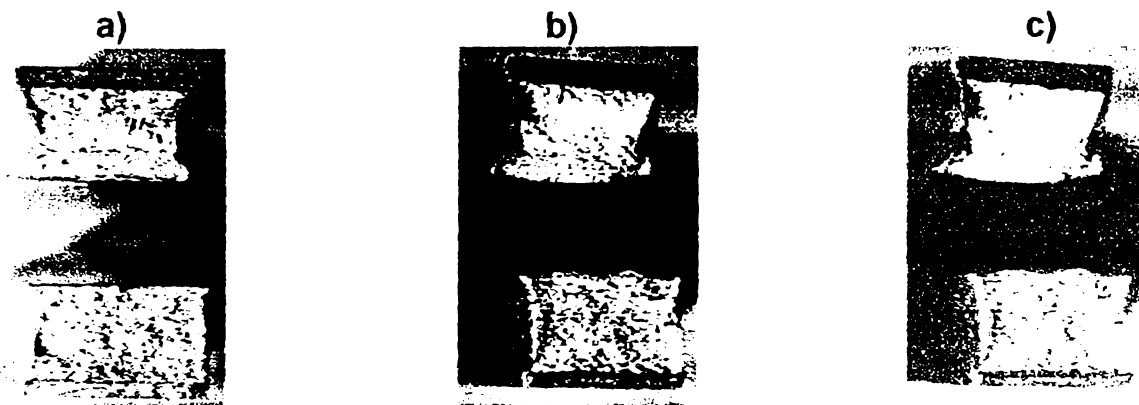


FIG. 3.24 Suprafete de rupere la incercarea de incovoiere prin soc a epruvetelor cu crestatura in V, prelevate din:

- a) podul Sag-Timiseni, proba A.P08.d1 (1859)
- b) podul Sag-Timiseni, proba B.P08.a1 (1912)
- c) proba martor din OL 37.1k (1990)

Analizand aspectul suprafetelor de rupere ale epruvetelor din figura 3.24 pe baza compozitiei chimice procentuale, ale carei valori s-au prezentat in tabelele 3.1a si 3.1b, se constatata caracterul relativ tenace al comportarii materialului ( $KV-20^{\circ}C=28J$ ) prin prezenta unei zone fibroase la proba B.P08.a1, fata de caracterul fragil ( $KV-20^{\circ}C=8J$ ) dat de zona complet cristalina, la ruperea probei A.P08.d1.

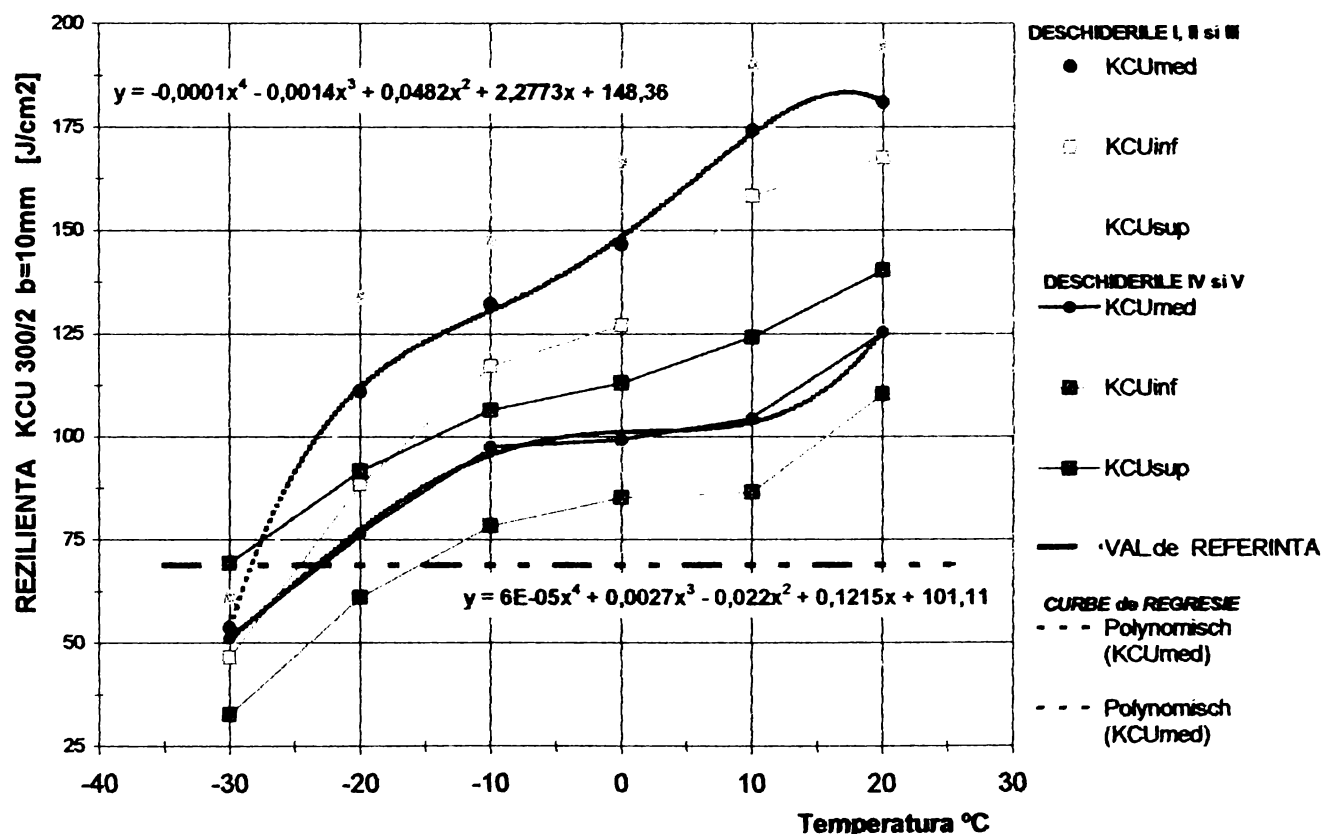
Se remarca aspectul diferit fata de ruperea unei epruvete martor, realizata din OL 37.1k de provenienta prezenta.

## B. Determinarea temperaturii de tranzitie

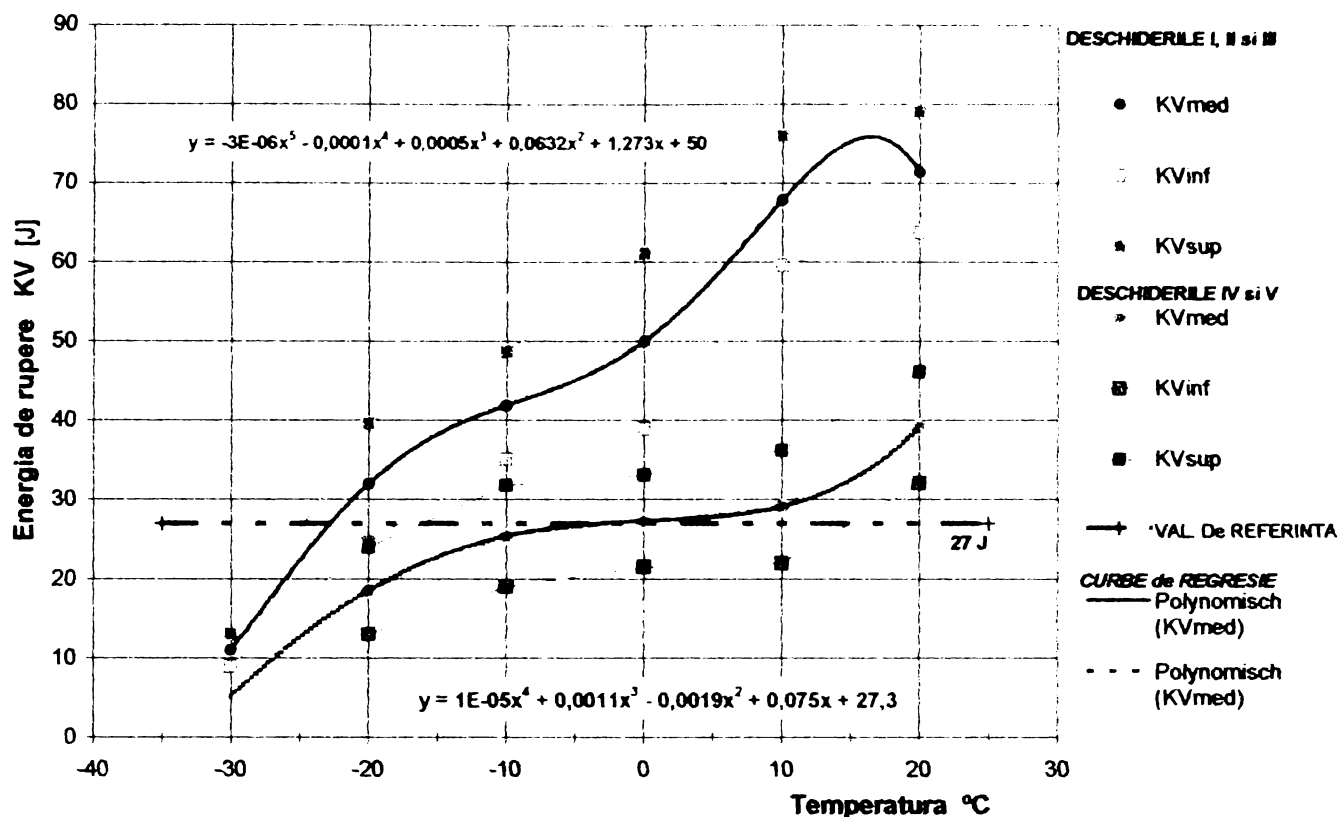
Conform [3.20] valorile rezilientei unui otel, cu toata dispersiunea rezultatelor, se poate admite ca raman oarecum constante la temperaturi obisnuite de la o anumita temperatura, valorile incep sa descreasca, ajungand ca la o temperatura scazuta sa aiba valori foarte mici. valorile rezilientelor in functie de temperatura pot fi reprezentate grafic in asa numita curba de variatie a rezilientei (curba de tranzitie) iar intersectia acestuia cu orizontala

corespunzatoare valorii minime admise  $K_0$ , care este de  $69 \text{ J/cm}^2$  pentru KCU si de  $27 \text{ J}$  pentru KV, conduce la determinarea temperaturii critice, sub care foarte probabil, comportarea metalului poate deveni fragila. In acest fel, in situatia in care din cauza valorilor mai reduse ale energiei de rupere, nu putem realiza o incadrare a otelului intr-o clasa de calitate, devine totusi posibila determinarea unei temperaturi critice, la atingerea careia sistemul de observare si control instituit in mod obisnuit trebuie amplificat.

Ca exemplu se prezinta situatia podului de la Sag-Timiseni (P-08), pentru care, cu valorile medii masurate si cu valorile limita, inferioara respectiv superioara, ale intervalului de incredere determinat printr-o repartitie student cu probabilitatea  $p=95\%$ , inscrise in tabelul 3.13, se arata in figura 3.25, curbele de tranzitie pentru rezilienta KCU, din care rezulta ca pentru deschiderile IV si V, temperatura medie de tranzitie este de  $-23^\circ\text{C}$ , limita inferioara a intervalului de incredere fiind la  $-15^\circ\text{C}$ , in timp ce pentru si III aceasta este de  $-28^\circ\text{C}$ , respectiv, in figura 3.26, curbele de tranzitie pentru energia de rupere KV, din care rezulta ca pentru deschiderile IV si V, temperatura medie de tranzitie este de  $\pm 0^\circ\text{C}$ , limita inferioara a intervalului de incredere fiind la  $+15^\circ\text{C}$ , in timp ce pentru deschiderile I, II si III aceasta este de  $-22^\circ\text{C}$ .



**FIG. 3.25** Curbe de tranzitie pentru rezilienta KCU, la podul de la Sag-Timiseni



**FIG. 3.26** Curbe de tranzitie pentru **energia de rupere KV**, la podul de la Sag-Timiseni

**TABELUL 3.13**

**VALORI MEDII ALE ENERGIEI DE RUPERE MASURATA PE EPRUVETE CRESTATE IN U si V, cu b=5mm, si ECHIVALATA PENTRU EPRUVETE NORMALE cu b=10mm**

Temperatura	Rezilienta						Energia de rupere					
	Deschiderile I, II si III [J/cm <sup>2</sup> ]			Deschiderile IV si V [J/cm <sup>2</sup> ]			Deschiderile I, II si III [J]			Deschiderile IV si V [J]		
	KCU med	KCU inf	KCU sup	KCU med	KCU inf	KCU sup	KV med	KV inf	KV Sup	KV med	KV inf	KV sup
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
-30°	53.73	46.5	60.95	51.12	32.79	69.44	11.4	9.6	13.5	-	-	-
-20°	111.07	88.45	133.69	76.42	61.15	91.69	32.5	23.0	43.5	18.4	13.6	24.3
-10°	132.22	117.12	147.32	97.5	78.5	106.5	42.6	35.5	49.9	26.7	19.2	33.2
0°	146.6	126.98	166.22	99.17	85.32	113.01	50.6	40.0	63.1	27.4	21.8	33.1
+10°	174.15	158.3	189.9	104.37	86.57	124.16	67.9	58.1	76.7	29.5	22.7	37.7
+20°	180.98	167.5	194.4	125.33	110.34	140.31	71.8	64.0	80.4	39.84	32.2	47.2



### C. Determinarea caracterului ruperii prin analiza masuratorilor de cristalinitate si fibrozitate a casurii epruvetelor KCU

In general tenacitatea unui metal se apreciaza prin examinarea valorilor caracteristice dinamice date prin cele doua moduri de exprimare, KCU si KV, prin care se evidentiaza caracterul comportarii metalului din punctul de vedere al susceptibilitatii la rupere fragila. Din cauza concluziei echivoce, privind tenacitatea metalului rezultata din complexitatea caracteristicii dinamice exprimata prin energia de rupere, vezi punctul B, in care se remarca diferente apreciabile între temperatura critica determinata din curbele de tranzitie KCU fata de cea din curbele KV, fapt evidentiat si in [3.16], la aprecierea comportarii metalului din acest punct de vedere, tendinta actuala este sa se ia in considerare si aspectul microscopic al sectiunii de rupere. La o epruveta incercata la incovoiere dinamica prin soc, in general, sectiunea de rupere prezinta doua parti distincte: o parte centrala cu aspect cristalin, graunatos si lucios si o parte periferica, fibroasa si mata. Partea cristalina si lucioasa se datoreste ruperii fragile, iar cea fibroasa suferind deformari inainte de rupere, este consecinta unei ruperi tenace. La aprecierea tenacitatii, respectiv a fragilitatii, STAS 10026-75 [3.43], stabileste urmatoarele notiuni:

- **Cristalinitatea Cr**, ca fiind raportul dintre aria rupturii cristaline si aria sectiunii transversale a epruvetei,

$$\%Cr = (A_r/A_0) \times 100 \quad (3.31)$$

- **Fibrozitatea Fb**, ca fiind raportul între aria rupturii fibroase si aria sectiunii transversale a epruvetei,

$$\%Fb = (A_b/A_0) \times 100 \quad (3.32)$$

Aprecierea tenacitatii se face cu metoda prin comparare, la care scara de apreciere a caracterului tenace (fibrozitatea in procente) la ruperea unei epruvete cu latimea de 10 mm, cu crestatura in U sau V, si cu adancimea de 2 mm, este reprezentata, dupa [3.16], in figura 3.27.

Pe aceasta baza, s-au analizat casurile epruvetelor incercate, rezultatele obtinute fiind exemplificate tot pentru podul de la Sag-Timiseni, cu valorile numerice in tabelul 3.14, respectiv prezentate grafic in figura 3.28, unde se poate observa susceptibilitatea ruperii fragile, la deschiderile IV si V, chiar la temperaturi pozitive situate in jurul valorii de +10°C.



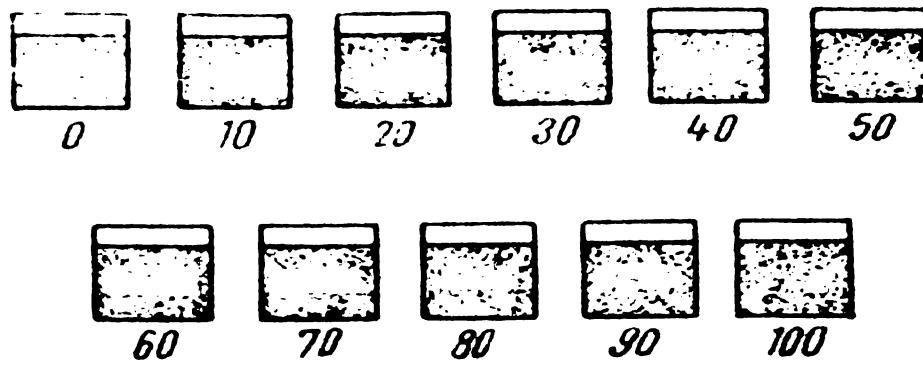


FIG. 3.27 Scara de apreciere a fibrozitatii

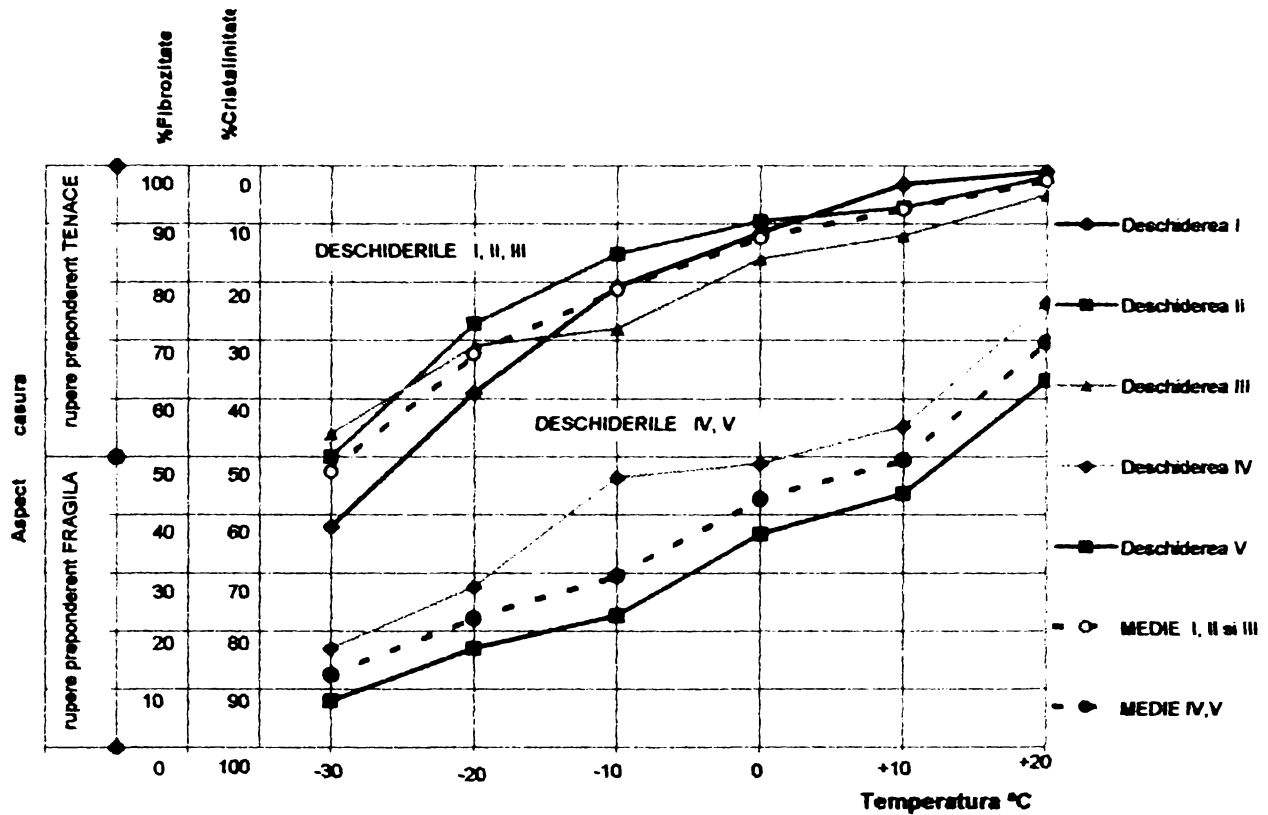


FIG. 3.28 Graficul rezultatelor examinarii caracteristicilor casurii la epruvetele KCU 300/2/5

TABELUL 3.14

REZULTATELE INTERPRETARII ASPECTULUI CASURII EPRUVETELOR KCU IN % DE CRISTALINITATE SI % DE FIBROZITATE

Temperatura	Deschiderea I		Deschiderea II		Deschiderea III		Deschiderea IV		Deschiderea V		Media I-III		Media IV-V	
	Cr (%)	Fb (%)	Cr (%)	Fb (%)	Cr (%)	Fb (%)	Cr (%)	Fb (%)	Cr (%)	Fb (%)	Cr (%)	Fb (%)	Cr (%)	Fb (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
-30°	62	38	50	50	46	54	83	17	92	8	52.6	47.4	87.5	12.5
-20°	39	61	27.2	72.8	31	69	72.4	27.6	83	17	32.4	67.6	77.8	22.2
-10°	20.8	79.2	15.2	84.8	28	72	63.6	46.4	77.3	22.7	21.3	78.7	70.5	29.5
0°	11.6	88.4	9.62	90.4	16	84	51.2	48.8	63.3	36.7	12.4	87.6	57.3	42.7
+10°	3.2	96.8	7.2	92.8	12	88	44.8	55.2	56.4	43.6	7.5	92.5	50.6	49.4
+20°	1	99	2	98	5	95	23.6	76.4	37	63	2.6	97.4	30.3	69.7

### 3.7. CONCLUZII SI CONTRIBUTII LA STUDIILE SI CERCETARILE EFECTUATE

Studiile si cercetarile experimentale efectuate au avut ca obiectiv obtinerea informatiilor asupra imperfectiunilor structurale ale materialului metalic incorporat in tablierile podurilor vechi, necesare alcatuirii bazei de date pentru determinarea caracteristicilor fizico-mecanice si tehnologice ale materialului care sa fie utilizate in efectuarea verificarilor necesare pentru aprecierea capacitatii portante a podurilor aflate in exploatare in cadrul unei metodologii unitare, bazata pe principii de siguranta probabilistice.

Pentru realizarea obiectivului propus, a fost elaborat si pus in aplicare un program de studii si cercetari experimentale in mai multe etape, prin care s-au urmarit:

- 1) Studiul si evaluarea caracteristicilor fizico-mecanice si tehnologice ale materialului metalic din elementele structurii de rezistenta ale fiecarui tablier vechi analizat, prevazut in programul de expertizare a podurilor metalice aflate in exploatare pe raza Regiunii CF Timisoara, in vederea identificarii calitatii materialului metalic pentru alegerea corecta a valorilor rezistentelor admisibile necesare procesului de calcul.
- 2) Verificarea si prelucrarea statistica a datelor experimentale obtinute in etapa anterioara in vederea aprecierii globale a calitatii otelului din tablierile vechi si implicit a rezistentelor caracteristice necesare pentru efectuarea verificarilor la starile limita in cadrul unui concept de siguranta probabilistic.
- 3) Concluzii asupra comportarii in exploatare a materialului metalic din tablierile vechi aflate in exploatare.

**Parcursul primei etape** a programului mentionat a necesitat prelevarea din elementele structurii de rezistenta a unor probe de metal, din care s-au conferctionat apoi epruvetele standardizate necesare efectuării incercarilor mecanice si tehnologice precum si probele de laborator pentru efectuarea Analizelor chimice si metalografice.

Valorile marimilor caracteristice (rezistente, alungiri la rupere, cifre de rezilienta si duritate, compositie chimica procentuala, etc.) determinate ca valori medii ale celor masurate pe seriile de probe prelevate, in cadrul incercarilor experimentale efectuate in laborator, s-au utilizat pentru aprecierea calitatii otelului fiecarui tablier, servind astfel

la fundamentarea rapoartelor de analiza si de sinteza ale expertizelor prevazute, prezentate in paragraful 1.5, [3.45], pe baza carora s-au luat, in cadrul legal existent, deciziile privind exploatarea podurilor in discutie.

Aceleasi valori, alaturi de rezultatele unor cercetari similare efectuate cu alte ocazii, au constituit baza de date primare ale variabilelor aleatoare care au fost analizate statistic in etapa a doua.

**Etapa a doua**, in care s-au analizat pe baze probabilistice, in mod unitar pentru intregul ansamblu de tabliere vizate, toate caracteristicile sistemului de calitate observate, a condus la obtinerea unor rezultate finale, cu caracter mai general, care au permis sa se faca, dupa aceleasi principii de siguranta ca cele acceptate in EUROCODES cu probabilitatea  $p=95\%$ , aprecieri asupra **valorilor caracteristice** ale marimilor fizico-mecanice si tehnologice ale otelului din tablierele vechi, construite pana in anul 1930, care sa fie utilizabile in cadrul unui nou concept de verificare a capacitatii portante a podurilor metalice vechi aflate in exploatare, bazat pe starile limita, similar cu alte prescriptii actuale [3.46], [3.21].

S-a propus astfel, ca pentru tabliere construite pana in anul 1910 (deci cele care au peste 90 de ani vechime, probabil construite din otel de convertizor Thomas) rezistenta caracteristica sa fie  $f_y = 205 \text{ N/mm}^2$ , iar pentru cele construite dupa 1910, rezistenta caracteristica sa fie  $f_y = 230 \text{ N/mm}^2$ , fata de rezistenta caracteristica acceptata in EC 3-2, pentru Fe 235 (simbolul pentru OL 37.1, cu care in buna parte otelul vechi este asimilabil) care este  $f_y=235\text{N/mm}^2$ .

Avand in vedere comportarea otelului vechi comparabila cu cea a otelului moale actual se propune pentru coeficientul de siguranta partial privind materialul  $\gamma_m$ , mentinerea aceleiasi valori din EC 3, adica  $\gamma_m = 1,10$ .

Rezultatele finale obtinute pe baze probabilistice, interpretate si in conformitate cu prevederile STAS 500/2-80, au relevat ca in cursul timpului cat structura si elementele ei s-au aflat in exploatare, s-au produs unele modificari ale proprietatilor fizico-mecanice si tehnologice ale materialului metalic

In acest sens s-a constatat ca doar valorile compozitiei chimice procentuale pe produs, obtinute cu probabilitatea de 5% de a exista valori mai mari, permit (cu o usoara neconcordanta in cazul sulfului) incadrarea otelului in marca OL 37, in timp ce in cazul caracteristicilor mecanice si tehnologice (mai ales cele de ductilitate si tenacitate) s-au semnalat neconcordante valorice, atat in ceea ce priveste alungirea la rupere cat si valorile energiei de rupere prin

soc, fata de valorile acceptate in standard [3.27] pentru OL 37 clasa de calitate 1 sau 2.

Aceasta observatie a rezultat pe baza sesizarii unei cresteri a rezistentelor mecanice, respectiv a limitei de curgere aparenta si a rezistentei la rupere, concomitent cu scaderea caracteristicilor de deformabilitate, alungirea la rupere mai mica in medie cu 3,3% fata de valoarea minima acceptata in standard pentru OL 37.1, si diminuarea caracteristicilor de tenacitate, in special cu scaderea temperaturii, in unele cazuri chiar mult sub limita minima admisa in norme.

Interpretarea calitativa a modificarilor mentionate, in acceptiunea teoriei metalurgiei mecanice [3.9] a condus la formularea concluziei producerii in timp a fenomenului de imbatranire mecanica si prin deformare a materialului mecanic. Astfel, in otelul supus investigatiilor, cresterea limitei de curgere, analizata dupa [3.9] la nivelul microstructurii materialului metalic, ca marime asociata tensiunii necesare invingerii rezistentei opuse la alunecare de catre atomii interstitiali, se datoreaza difuziei atomilor de carbon si azot catre dislocatii, unde formeaza noi atmosfere de atomi interstitiali blocate de dislocatii, iar reducerea capacitatii de deformare plastica este cauzata de precipitarea azotului liber, sub forma de nitruri si carbonitruri, in zona rosturilor dintre cristale.

Evolutia fenomenului de imbatranire mecanica este favorizata dupa [3.9], de incarcari repetate, variatii de temperatura si suprasolicitari, a caror actiune se manifesta prin blocarea planurilor de alunecare a straturilor de ferita si crearea de tensiuni la nivelul retelei cristaline, micșorand astfel tenacitate a otelului. In cazul tablierelor metalice astfel de factori sunt generati in perioada de exploatare si ei se manifesta prin actiunea repetata a trecerii convoaielor reale aflate in circulatie, a diferentelor de temperatura datorate actiunilor climatice si favorizate de plasarea structurii in atmosfera libera (fara protectia unor elemente de inchidere ca in cazul halelor, spre exemplu) cat si de suprasolicitarile produse la trecerea unor convoaie speciale.

In **etapa a treia**, avand in vedere rezultatele obtinute si concluziile formulate in etapa a doua, s-au dezvoltat cercetarile privind ruperea materialului metalic, in acest sens analizandu-se toate datele experimentale raportate la caracterul ruperii sub aspectul energiei consumate pentru ruperea epruvetelor incercate la incovoiere prin soc.

Am apreciat ca in cadrul metodologiei de verificare a tablierelor metalice existente este necesar ca pentru fiecare tablier sa se execute incercari de incovoiere prin soc, pe epruvete Mesnager si Charpy, cel putin cate doua serii a cinci



probe pentru fiecare temperatura, pentru a caror valoare medie si limite ale intervalului de incredere, obtinute cu probabilitatea  $p=95\%$ , sa se traseze curbele temperaturii de tranzitie, respectiv sa se analizeze aspectul casurii epruvetelor rupte, asa cum s-a aratat in paragraful 3.6.2, in functie de care sa se stabileasca valoarea temperaturii critice, absolut necesara pentru organizarea adecvata a activitatilor de inspectie si supraveghere necesare exploatarei in conditii de siguranta si prevenirii unor accidente nedorite.

Incercarea de determinare a temperaturii critice numai prin calcul, fara a recurge la incercari experimentale de rupere prin soc, dupa metoda prezentata in anexa C a lui EC 3-2 [3.46], aplicata pentru otelurile vechi, nu a condus la rezultate acceptabile, obtinanduse o temperatura critica foarte scazuta ( $T_{min} \approx -60^{\circ}C$ ), fapt infirmat de cercetarile facute si de constatarile practice obtinute in exploatarea curenta a podurilor metalice existente.

### BIBLIOGRAFIE Capitolul III

- 3.1. Alic, C., I., *Contributii la evaluarea gradului de siguranta al halelor metalice din siderurgie, tinand seama de conditiile reale de exploatare*, teza de doctorat, Universitatea "POLITEHNICA" Timisoara, 1998.
- 3.2. Bob, C., *Verificarea calitatii, sigurantei si durabilitatii constructiilor*, Editura Facla, Timisoara, 1989.
- 3.3. Boldus, D., Bondariuc, V., Bancila, R., Gadeanu, L., *Reabilitarea podurilor metalice de pe linia ferata ingusta Hunedoara-Craciuneasa*, Lucrarile celei de a VIII-a Conferinta Internationale de Constructii Metalice, vol. 2, pag.401-411, Editura Mirton, Timisoara 1997.
- 3.4. Bondariuc, V., Bancila, R., Boldus, D., *Poduri metalice*, vol.1, Editura Trefla, Bucuresti 1997.
- 3.5. Chesa, A., *Alegerea si utilizarea otelurilor*, Editura Tehnica, Bucuresti 1984.
- 3.6. Cioclov, D. D., *Mecanica ruperii materialelor*, Editura Academiei, Bucuresti 1977.
- 3.7. Dalban, C., Juncan, N., Chesaru, E., *Constructii metalice*, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti 1983.
- 3.8. Dalban, C., Juncan, N., Varga, A., *Constructii metalice*, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti 1976.
- 3.9. Dieter, G. E. Jr., *Metalurgie mecanica*, traducere din lb. engleza, Editura Tehnica, Bucuresti 1977.
- 3.10. Ferry Borges, J., Castanheta, M., *Siguranta structurilor*, Editura Tehnica, Bucuresti 1972.



- 3.11. Gadeanu, L., Regep, Z., Mercea, Gh., *Constructii metalice*, Litografia IPTVT, Timisoara 1989.
- 3.12. Georgescu, D., Frangopol, D., *Analiza sigurantei structurilor metalice*, vol.1, Litografia ICB, Bucuresti 1978.
- 3.13. Acad. Iacob, C., Craciunescu, A., Trandafir, R., *Matematici clasice si moderne*, voi.2, Editura Tehnica, Bucuresti 1979.
- 3.14. Iordanescu, D., Georgescu, C., *Constructii pentru transporturi in Romania*, Editura Centralei de Constructii Cai Ferate, CCCF Bucuresti, 1986.
- 3.15. Lungu, D., Ghiocel, D., *Metode probabilistice in calculul constructiilor*, Editura Tehnica, Bucuresti 1978.
- 3.16. Mocanu, D. R., s.a. *Inercarea materialelor*, vol.1, Editura Tehnica, Bucuresti 1982.
- 3.17. Mocanu, D. R., s.a. *Inercarea materialelor*, vol.2, Editura Tehnica, Bucuresti 1982.
- 3.18. Nossiter, J., C., *Utilizare EXCEL 5 pentru Windows*, Editura Teora, Bucuresti 1998, ISBN 973-601-359-6.
- 3.19. Petersen, Ch., *Stahlbau, Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten*, 2., verbesserte Auflage, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1990, ISBN 3-528-18837-5;
- 3.20. Popescu, V., *Constructii metalice*, editia a treia, Editura Tehnica, Bucuresti 1975.
- 3.21. Popescu, V., Patrinoche, N., Chesaru, E., *Calitatea si siguranta constructiilor*, Editura Tehnica, Bucuresti 1987.
- 3.22. Popovici, M., Antonescu, V., *Ghid pentru controlul statistic al calitatii produselor industriale*, Editura Tehnica, Bucuresti 1973.
- 3.23. Resa, T., *Probleme de statistica rezolvate pe calculator*, Editura Facla, Timisoara 1984.
- 3.24. Schultheiß, B., *MATHE-ASS*, vers. 6.1, programe de calcul matematic si statistic, Haushach 1988.
- 3.25. Stico, W., Kosteas, D., Graf, W. *Comportarea la oboseala a podurilor vechi din fier pudlat*, revista STAHLBAU, nr. 5/1986.
- 3.26. Taloi, O., Bratu, C., Florian, E., Berceanu, E., *Optimizarea proceselor metalurgice*, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti 1983.
- 3.27. \*\*\* *STAS 500/2-80; Oteluri de uz general pentru constructii. Marci*, Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1980.
- 3.28. \*\*\* *STAS 2015/2-85; Fonte si oteluri. Luarea si pregatirea probelor pentru analiza spectrala*, Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1985.
- 3.29. \*\*\* *STAS 200-85; Incercarile metalelor. Incercarea la tractiune*, Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1985.
- 3.30. \*\*\* *STAS 1400-75; Incercarile metalelor; Incercarea la incovoiere prin soc pe epruvete crestate in U*, Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1975.
- 3.31. \*\*\* *STAS 7511-81; Incercarile metalelor. Incercarea la incovoiere prin soc pe epruvete crestate in V*, Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1987.

- 3.32. \*\*\* STAS 770-80; *Incercarile metalelor, Incercarea de indoire la rece*, Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1980.
- 3.33. \*\*\* STAS 165-76; *Incercarile metalelor. Incercarea de durutate Brinell*, Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1976.
- 3.34. \*\*\* SR EN 10025-1994; *Produse laminate la cald din oteluri de constructii nealiate. Conditii tehnice de livrare*, Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1994.
- 3.35. \*\*\* *Studii pentru poduri de sosea construite intre anii 1883-1890*, Contract nr.2089/37.18, INCERTRANS Bucuresti.
- 3.36. \*\*\* STAS 1911-75; *Poduri de cale ferata. Prescriptii de proiectare*; Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1975.
- 3.37. \*\*\* STAS 500/1-89; *Oteluri de uz general pentru constructii. Conditii tehnice generale de calitate*, Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1980.
- 3.38. \*\*\* STAS R 10025-79; *Incercarea de incovoiere prin soc pe epruvete cu crestatura in U si V; Tabel comparativ al rezilientei si energiei de rupere penru epruvete cu latimea b=7.5;5.0;2.5 mm*, Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1979.
- 3.39. \*\*\* STAS 5949-80; *Analiza metalografica a probelor de otel*, Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1980.
- 3.40. \*\*\* STAS 11278-79; *Identificarea rezultatelor aberante ale masuratorilor*, Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1979.
- 3.41. \*\*\* STAS 7122/6-87; *Interpretarea statistica a datelor; Determinarea intervalelor de tolerante naturale pentru repartitia normala*, Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1987.
- 3.42. \*\*\* SR 1911-95; *Proiect de revizuire STAS 1911-75 referitor la proiectarea podurilor metalice noi de cale ferata si pentru verificarea podurilor metalice existente de cale ferata*; Contract nr.340c/1994, Institutul de Constructii Bucuresti, Catedra de poduri, 1996.
- 3.43. \*\*\* STAS 10026-75 ; *Incercarea de incovoiere prin soc pe epruvete crestate in U si V. Determinarea cristalinitatii si fibrizitatii rupturii*, Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1975.
- 3.44. \*\*\* Euronorm EN 10025; *Produits laminés à chaud en aciers de construction non-alliés d'usage général*; CEN Bruxelles, 1987.
- 3.45. \*\*\* *Incerari de laborator si 'in situ' ale podurilor metalice CF din cadrul Regionalei CF Timisoara, cu vechime mare in exploatare*, Contract de cercetare nr.6077/97.46./1986, INCERTRANS Bucuresti si IPTV Timisoara.
- 3.46. \*\*\* ENV 1993-2:1997; *EUROCODE 3: Design of Steel Structures, Part 2: Steel bridges* ; European Committee for Standardization, CEN/TC250/SC3, Brussels, 1997.
- 3.47. \*\*\* DS 805; *Bestehende Eisenbahnbrücken Bewertung der tragsicherheit und konstruktive Hinweise*; Hauptverwaltung der Deutschen Bundesbahn, München, 1991.

## Capitolul IV

### STUDII TEORETICE SI EXPERIMENTALE PENTRU ANALIZA COMPORTARII IN EXPLOATARE A PODURILOR METALICE DE CALE FERATA VECHI

#### 4.1 CONSIDERATII GENERALE. DOMENIUL ABORDAT

##### 4.1.1. Obiective generale

Asigurarea unui grad de siguranta necesar unei exploatare normale a tablierului pe parcursul duratei normale de exploatare se realizeaza in cadrul activitatii de proiectare a structurii. In cazul podurilor metalice vechi aceasta ipoteza nu este suficienta deoarece proiectarea lor s-a facut dupa norme si principii care astazi sunt considerate ca depasite iar in timp incarcările care actioneaza, cu precadere cele utile din convoaie, au crescut in mod simtitor. De aceea evaluarea sigurantei structurilor existente dupa scurgerea unei lungi perioade de exploatare este necesara. Aceasta actiune implica adoptarea unui concept de siguranta pe baza caruia sa se faca verificarile si o analiza critica a tuturor factorilor, sau cel putin a principalilor factori, care influenteaza comportarea reala a structurilor sub incarcările actuale.

Pentru realizarea acestui demers, tinand seama de observatiile de mai sus, sunt necesare studii teoretice si cercetari experimentale, abordate mai intai la general iar apoi cu referiri concrete la tablierele existente, privind urmatoarele probleme:

- 1) Caracteristicile generale si specifice ale alcatuirii constructive a tablierelor vechi;
- 2) Analiza legaturilor dintre elementele componente ale suprastructurii podurilor, in scopul definirii schemelor necesare verificarii prin calcul a sigurantei actuale a elementelor componente ale tablierului;
- 3) Cercetari experimentale asupra materialului metalic inglobat in structura de rezistenta a tablierelor, fie pentru a confirma caracteristicile fizico-mecanice avute in vedere la proiectare, fie pentru a aprecia valorile prezente ale

acestor caracteristici, necesare la modelarea fizica a structurii reale.

4) Evaluarea modului de comportare a elementelor componente ale structurii de rezistenta si a ansamblului tablierului sub incarcările actuale de exploatare, pe baza studiului comparativ al rezultatelor obtinute din incercari experimentale "in situ" a tablierelor, cu cele obtinute prin analiza teoretica a structurii, efectuata printr-un calcul plan in conformitate cu prevederile normelor in vigoare sau printr-un calcul de conlucrare spatiaala a elementelor tablierului, efectuate in varianta unui calcul linear elastic (de ordinul I).

5) Evaluarea efectului dinamic al convoaielor.

6) Evaluarea traficului real si a vatamarilor pe care acesta le produce elementelor structurii de rezistenta.

Aspectele prezentate, detaliate succesiv in paragrafele acestei lucrari, sunt bazate si exemplificate pe mai multe tabliere vechi supuse unei ample actiuni de expertizare a starii lor tehnice si ele vor constitui baza de date necesara stabilirii unor proceduri de investigare a sigurantei podurilor metalice vechi pentru mentinerea lor in exploatare.

#### **4.1.2. Programul de expertizare a podurilor vechi**

In cadrul Regionalei CF Timisoara, cunoscuta ca regionala cu cea mai densa si lunga retea de cai ferate din tara, un mare numar de poduri metalice cu deschidere importanta, sunt vechi avand deja 80-90 de ani in exploatare. O caracteristica generala a acestor poduri este aceea ca cele mai multe au trecut succesiv de la administratia CF Austro-Ungara la CFR, apoi unele din nou la MAV in timpul ultimului razboi mondial, si apoi din nou la CFR, au trecut peste ele si doua razboaie mondiale si astfel documentatiile tehnice ale acestor poduri sunt sumare, incomplete sau chiar lipsesc.

Cu toate ca podurile sunt in exploatare, cele mai multe gasindu-se pe doua linii magistrale (magistralele 900 si 200) si, cu unele exceptii, nu au aparut inca fenomene de deteriorare excesiva care sa fie ingrijoratoare si sa constituie un semnal de alarma cu masuri imediate, in anul 1986 s-a considerat necesar demararea unui program complex pentru analizarea comportarii lor in exploatare care sa furnizeze informatii precise asupra starii tehnice reale a acestor poduri, care fie au atins fie se apropie de atingerea duratei normate de exploatare.

Programul experimental s-a extins pana in anul 1992, fiind sustinut in comun de catre Institutul de Cercetari si



Proiectari Tehnologice in Transporturi (INCERTRANS Bucuresti, Universitatea "Politehnica" Timisoara, prin disciplina de Poduri Metalice si Regionala CF Timisoara, fiind finantat de acesta din urma [4.1]. Acest program a cuprins un numar de 20 de poduri metalice vechi, situate pe principalele linii de cale ferata din sud-vestul Romaniei, unele cu mai multe deschideri diferite intre ele, cele mai semnificative fiind prezentate in tabelul 4.1, unde se arata si principalele lor caracteristici constructive.

## **4.2. PREZENTAREA PODURILOR METALICE VECHI STUDIATE**

### **4.2.1. Forma si dimensiunile principale ale podurilor metalice vechi**

Forma si dimensiunile principale ale podurilor metalice existente, solutionarea alcatuirii constructive a structurii de rezistenta si comportarea lor in exploatare sunt conditionate de rolul lor functional de satisfacere a cerintelor de transport pe calea ferata. Pentru asigurarea continuitatii caii, in stransa legatura si dependenta de caracteristicile naturale ale amplasamentului (forma reliefului, a albiei, etc.), tablierele metalice sunt diferite ca forma si alcatuire, atat de la un pod la altul cat si uneori in cadrul aceluiasi pod, de la o deschidere la alta.

In linii generale insa, un tablier metalic vechi poate fi caracterizat ca fiind o structura spatiala, alcatuita din bare dispuse in plane de referinta, astfel:

a) in doua plane verticale, paralele intre ele, corespunzand **grinzilor principale**, a caror caracteristici principale de identificare sunt deschiderea si tipul grinzii;

b) intr-un plan orizontal la care se gaseste calea, corespunzand platelajului caii, identificat prin deschidere, marimea panoului si latimea tablierului;

c) intr-un plan orizontal, paralel cu cel al platelajului, dar situat la partea opusa fata de inaltimea grinzilor principale.

Aceasta dispunere a elementelor componente trebuie sa asigure "gabaritul de libera trecere" pe pod, asa incat elementele de la punctele a) si b) se intalnesc intotdeauna, tablierele respective fiind cunoscute sub denumirea de **poduri deschise** iar elementele de la punctul c) apar numai in anumite conditii de dimensiuni geometrice sau dispunere a caii, podurile respective fiind denumite **poduri inchise**.

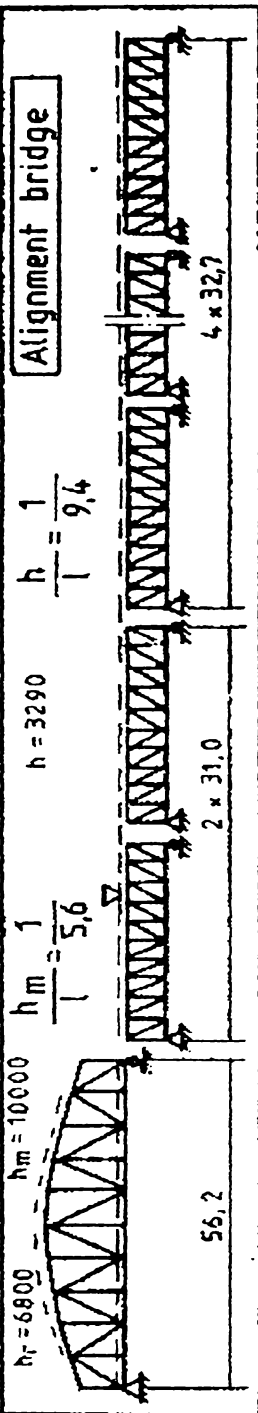
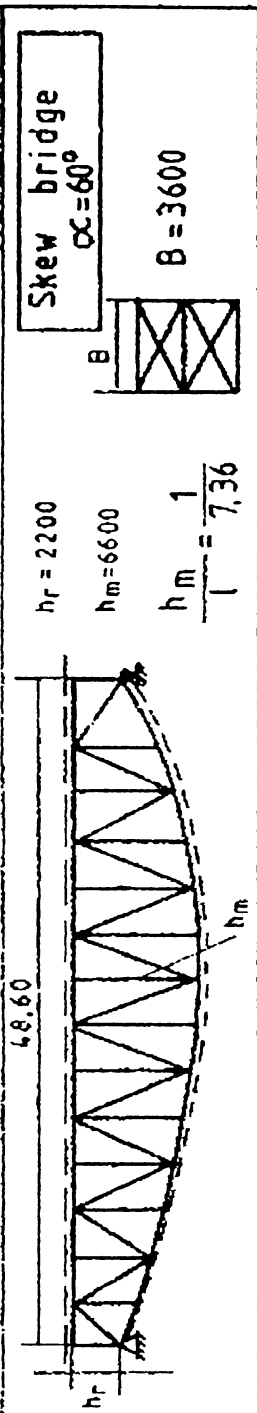
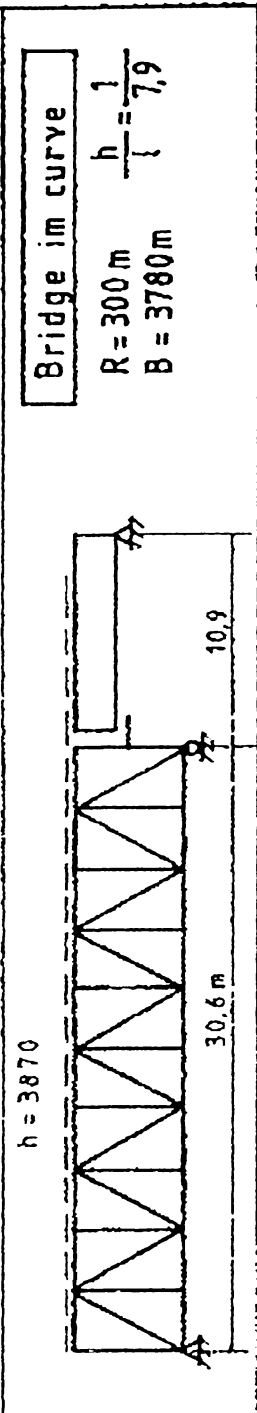
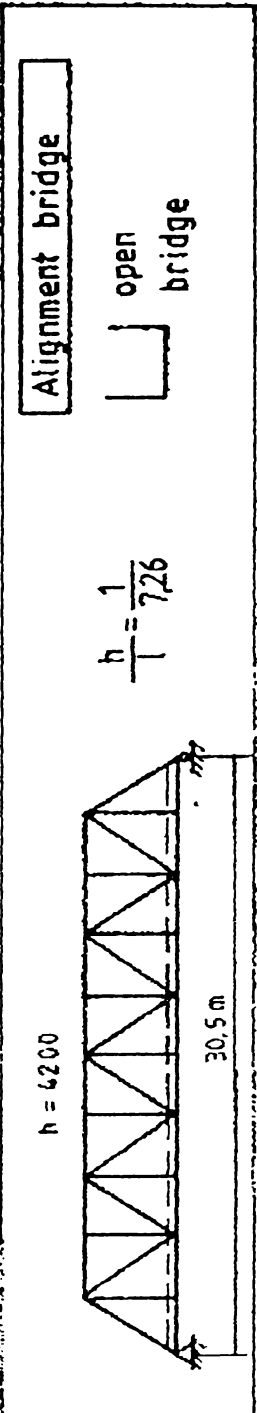
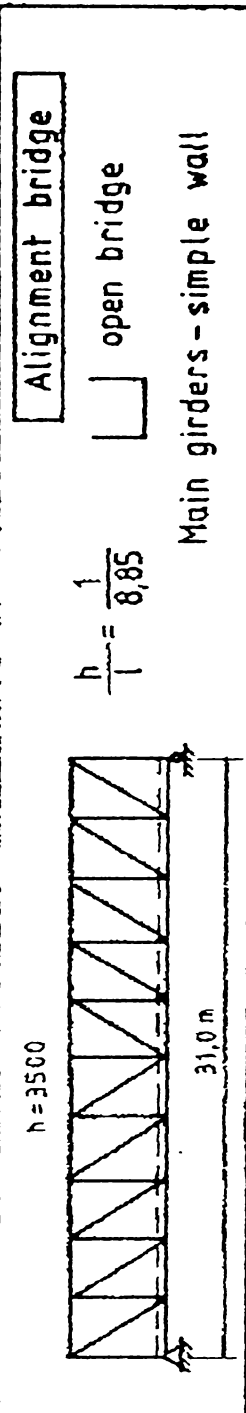


TABELUL 4.1

DISPOZIȚIA GENERALĂ ȘI DETALII CONSTRUCTIVE  
pentru tablierelor supuse expertizării

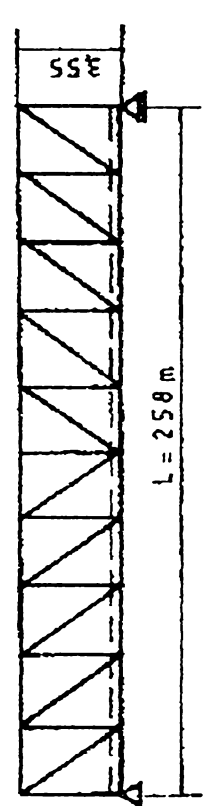
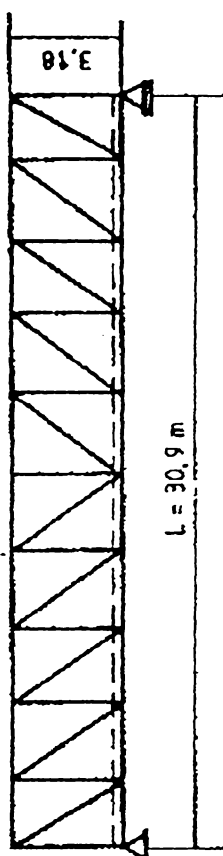
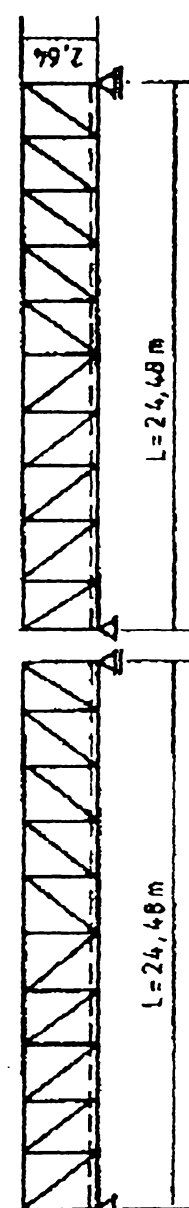
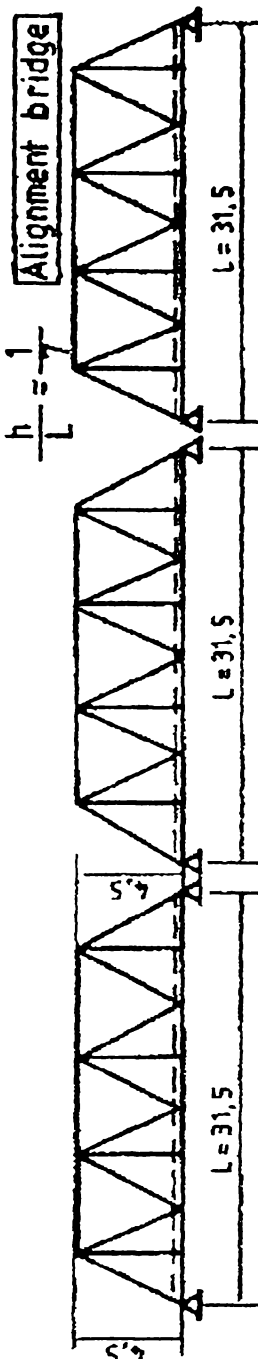
Span	Year of construction	Place	General view
L = 101,760 m	1912 (Reșița)	Mehadia	<p>Alignment bridge  <math>h_r = 71,00</math>  <math>h_m = 15000</math>  <math>\frac{h_m}{l} = \frac{1}{6,78}</math>                      (interrupted stringers)</p>
L = 81,6 m	1911 (Reșița)	Valea Cernei	<p>Alignment bridge  <math>h_r = 5000</math>  <math>h_m = 12000</math>  <math>\frac{h_m}{l} = \frac{1}{6,8}</math>                      (interrupted bridge)</p>
L = 71,76 m	Reșița	Balta Sărata	<p>Alignment bridge  <math>h_r = 4300</math>  <math>h_m = 9000</math>  <math>\frac{h_m}{l} = \frac{1}{7,9}</math></p>
L = 51,025 x x66,675 x x37,020 x x2 x30,830	1912	Șag	<p>Skew bridge  <math>\alpha = 12^\circ 30'</math>  <math>h_r = 3535</math>  <math>h_m = 7500</math>  <math>h_r = 3590</math>  <math>h_m = 10350</math>  <math>h_r = 3250</math>  <math>h_m = 6000</math></p>
L = 2 x 76,8 + + 3 x 51,4	1912 (Győr)	Arad	<p>Alignment bridge                      simple supported stringers and cross girders  <math>l = 2 \times 76,8</math>  <math>h_r = 7100</math>  <math>h_m = 12510</math>  <math>l = 3 \times 51,4</math>  <math>h = 7100</math>  <math>\frac{h_m}{l} = \frac{1}{6,13}</math>                      tie member  <math>h = 7100</math>  <math>\frac{h}{l} = \frac{1}{7,23}</math></p>

TABELUL 4.1 (continuare)

0	1	2	3
L = 56,2 + 2 x 31,0 + + 4 x 32,7 m L <sub>tot</sub> = 249 m	1927 1907 (Resita) 2 x 31,0 + + 4 x 32,7	Brănișca	 <p>Alignment bridge</p>
L = 48,6 m	1933 (Resita)	Siatina - Timiș	 <p>Skew bridge  <math>\alpha = 60^\circ</math>                      B = 3600</p>
L = 30,6 m + + 10,9 m	1931 (Resita)	Armeniș	 <p>Bridge in curve                      R = 300 m  <math>\frac{h}{l} = \frac{1}{7,9}</math>                      B = 3780 m</p>
L = 30,5 m	1941	Beregsău	 <p>Alignment bridge                      open bridge  <math>\frac{h}{l} = \frac{1}{726}</math></p>
L = 31,0 m	1910 (Resita)	Domașnea Cornea	 <p>Alignment bridge                      open bridge  <math>\frac{h}{l} = \frac{1}{8,85}</math>                      Main girders - simple wall</p>

TABELUL 4.1 (continuare)

\* Possible year of construction 1912

0	1	2	3
L = 25,8 m	*	Birda - Gătaia Km 15 + 860	 <p>Alignment bridge <math>\frac{h}{L} = \frac{1}{7,26}</math> L = 258 m</p>
L = 30,9 m	*	Birda - Gătaia Km 16 + 454	 <p>Alignment bridge <math>\frac{h}{L} = \frac{1}{9,7}</math> L = 30,9 m</p>
L = 2 x 24,48 m	*	Birda - Gătaia Km 15 + 183	 <p>Alignment bridge <math>\frac{h}{L} = \frac{1}{9,27}</math> L = 24,48 m</p>
L = 3 x 31,5 m	1965	Jabăr	 <p>Alignment bridge <math>\frac{h}{L} = \frac{1}{7}</math> L = 31,5 m</p>

#### 4.2.2. Clasificarea podurilor metalice studiate

Intrucat podurile analizate in cadrul programului experimental prezentat in paragraful anterior cuprind o mare varietate de structuri, pentru sistematizarea analizei globale a rezultatelor obtinute si a prezentarii unor concluzii si observatii cu caracter mai general, care sa poata servi ca baza pentru o metodologie de verificare, s-a efectuat o clasificare a tipurilor de structuri intalnite, luand in considerare urmatoorii parametri:

- 1) tipul grinzilor principale,
- 2) pozitia caii,
- 3) caracteristicile traseului,

functie de care au rezultat tipurile constructive pentru tabliere metalice, prezentate codificat in tabelul 4.2 si avand semnificatiile rezultate din cuvintele marcate cu literele aldine.

**TABELUL 4.2**  
**TIPURI CONSTRUCTIVE DE TABLIERE METALICE**

Tipul grinzilor principale	Pozitia caii	caracteristicile orizontale ale traseului	
		aliniament	caracteristici speciale (curba, oblic)
GIP grinzi cu inima plina	jos	GIPCJ-a	GIPCj-c GIPCJ-o GIPCJ-o,c
	sus	GIPCS-a	GIPCS-c GIPCS-o GIPCS-o,c
GZ grinzi cu zabrele	jos	GZCJ-a	GZCJ-c GZCJ-o GZCJ-o,c
	sus	GZCS-a	GZCS-c GZCS-o GZCS-o,c

Fiecare tip constructiv respectand criteriile generale principale de alcatuire constructiva, cunoscute si unanim respectate la timpul executiei lor, prezinta inasa si unele particularitati de alcatuire specifice, provenite din proiectare sau din modificari in timpul perioadei de exploatare, care vor fi analizate in subparagrafele urmatoare.

#### 4.2.2.1. Tabliere de tipul Grinzi cu Zabrele Cale Jos

Aceste tabliere sunt cele mai reprezentative pentru podurile cu deschidere mai mare de 25-30 de metri. Ele se intalnesc de obicei peste albiile minore, mai ales cand se impune o inaltime de constructie redusa, si prezinta urmatoarele particularitati: sunt alcatuite din doua grinzi principale cu zabrele, sistemul de grinzi ale caii si un sistem de contravantuiri si legaturi orizontale si verticale.

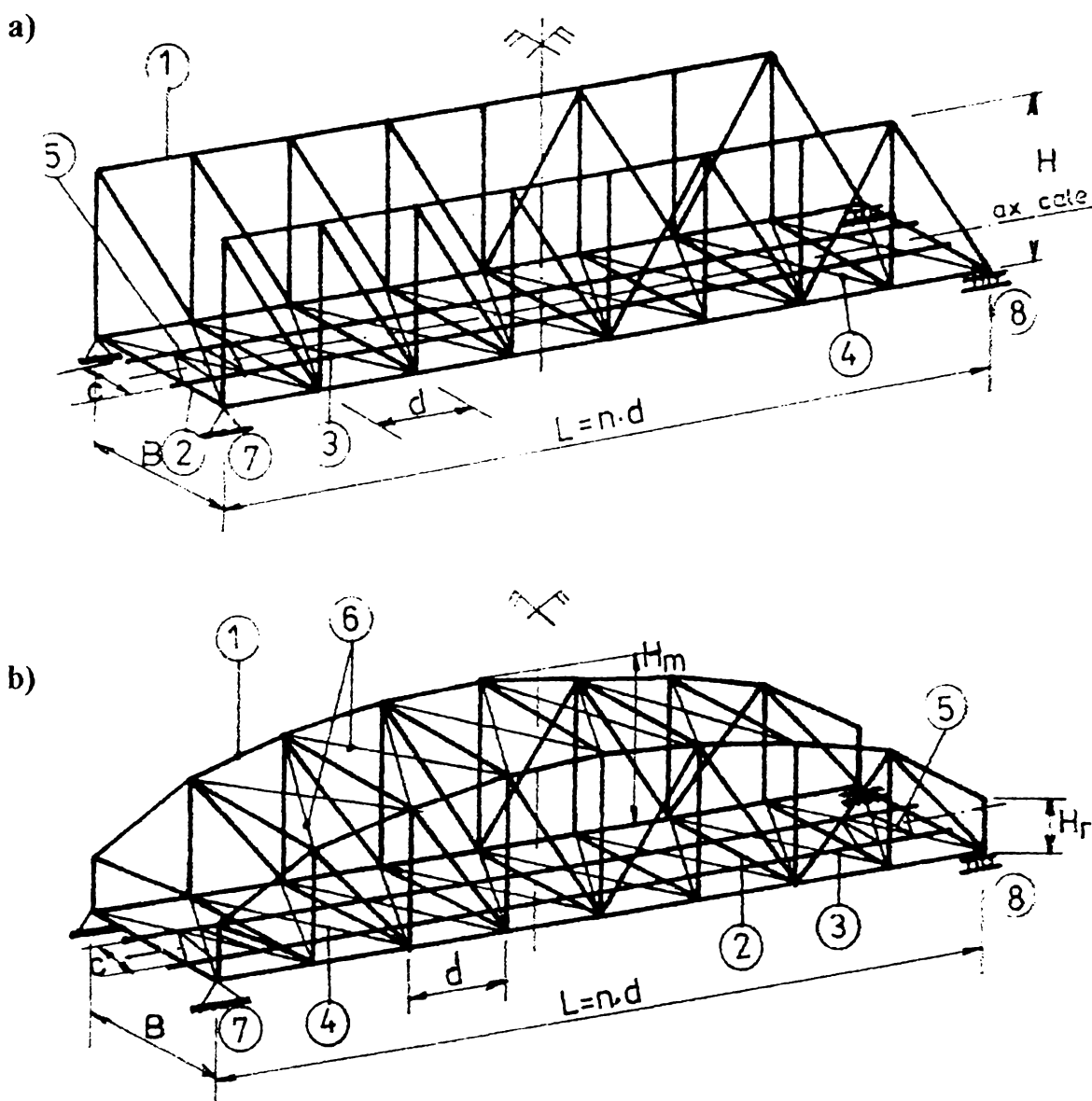


FIG. 4.1. Ansamblu spatial tabliere de tipul GZCJ;

a) grinzi principale cu zabrele cu talpi paralele;

b) grinzi principale cu zabrele cu talpi poligonale.

Elementele componente ale structurii de rezistenta sunt aratate in figura 4.1:

-1:grinda principala cu zabrele (GPZ),

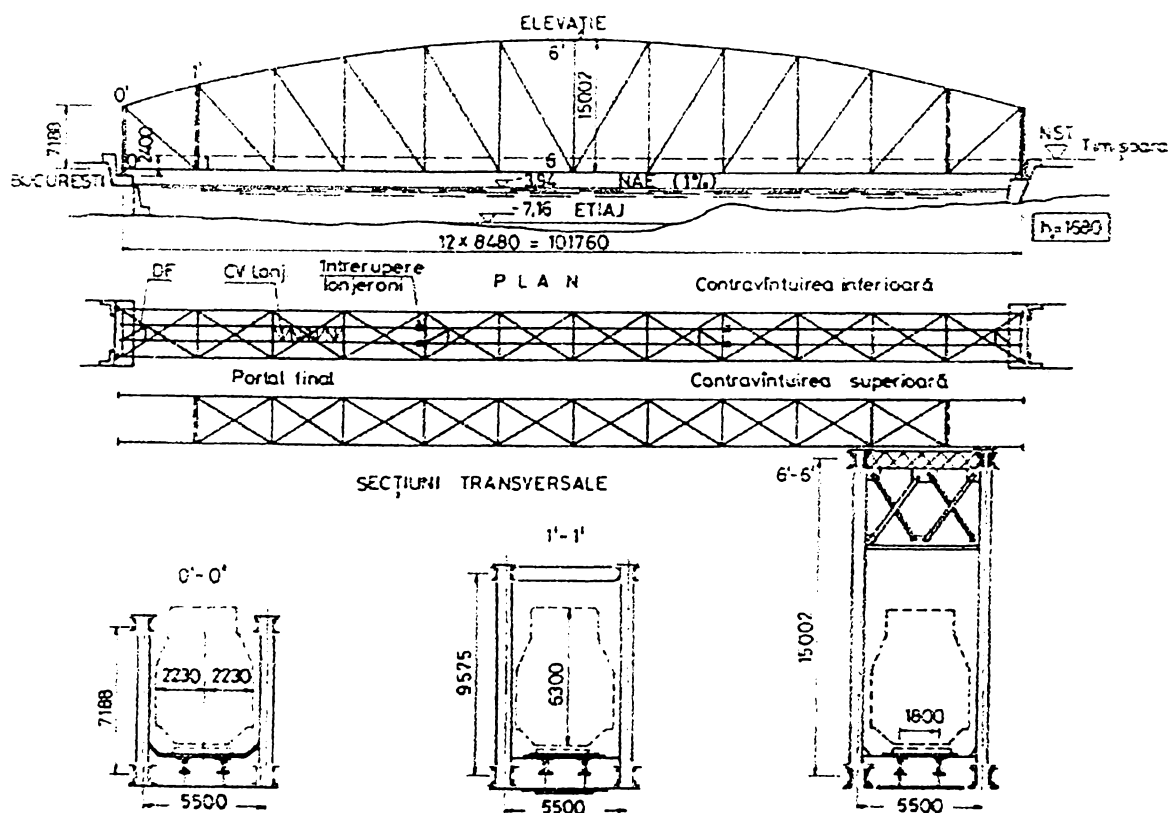


- 2: antretoaze (A),
- 3: lonjeroni (L),
- 4: contravantuirea generala (CVG),
- 5: contravantuirea lonjeronilor (CVL),
- 6: contravantuirea superioara (CVS),
- 7: contravantuiri verticale transversale (CVT)
- 8: aparate de reazem fixe (ARF) si
- 9: aparate de reazem mobile (ARM).

Ansamblul plan format din antretoaza, montantul (diagonala) grinzii cu zabrele si dupa caz, rigla contravantuirii superioare formeaza un element transversal, numit portal (cadru transversal) care asigura rigiditatea transversala a tablierului si stabilitatea talpii superioare comprimate a grinzii cu zabrele.

Din acest tip constructiv de tablriere metalice s-au analizat un numar de 10 tablriere, totalizand 15 deschideri (podurile situate la Valea Cernei, Mehadia, Balta Sarata, Sag-Timiseni, Sacalaz, Arad, Branisca, s.a.).

Pentru exemplificare, in figura 4.2 se prezinta dispozitiile generale ale podurilor de tipul GZCJ cu talpa poligonala de la Mehadia si Balta Sarata respectiv dispozitiile generale ale podurilor de tipul GZCJ cu talpi parabolice sau paralele de la Arad, in figura 4.3 si de la Sag-Timiseni in figura 4.4.



**FIG. 4.2a. Dispozitia generala a podului CF de la MEHADIA**

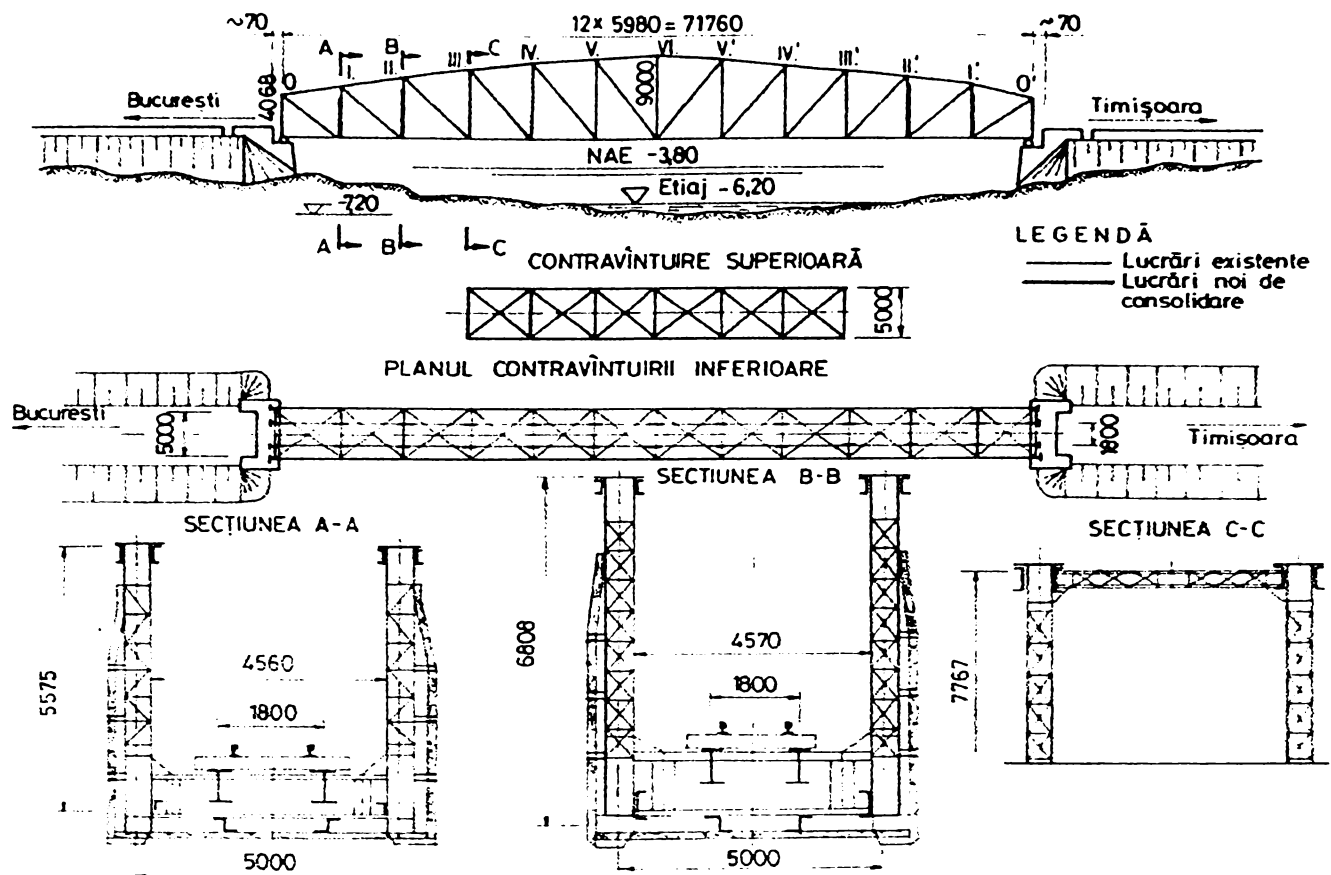


FIG. 4.2b. Dispozitia generala a podului CF de la BALTA SARATA

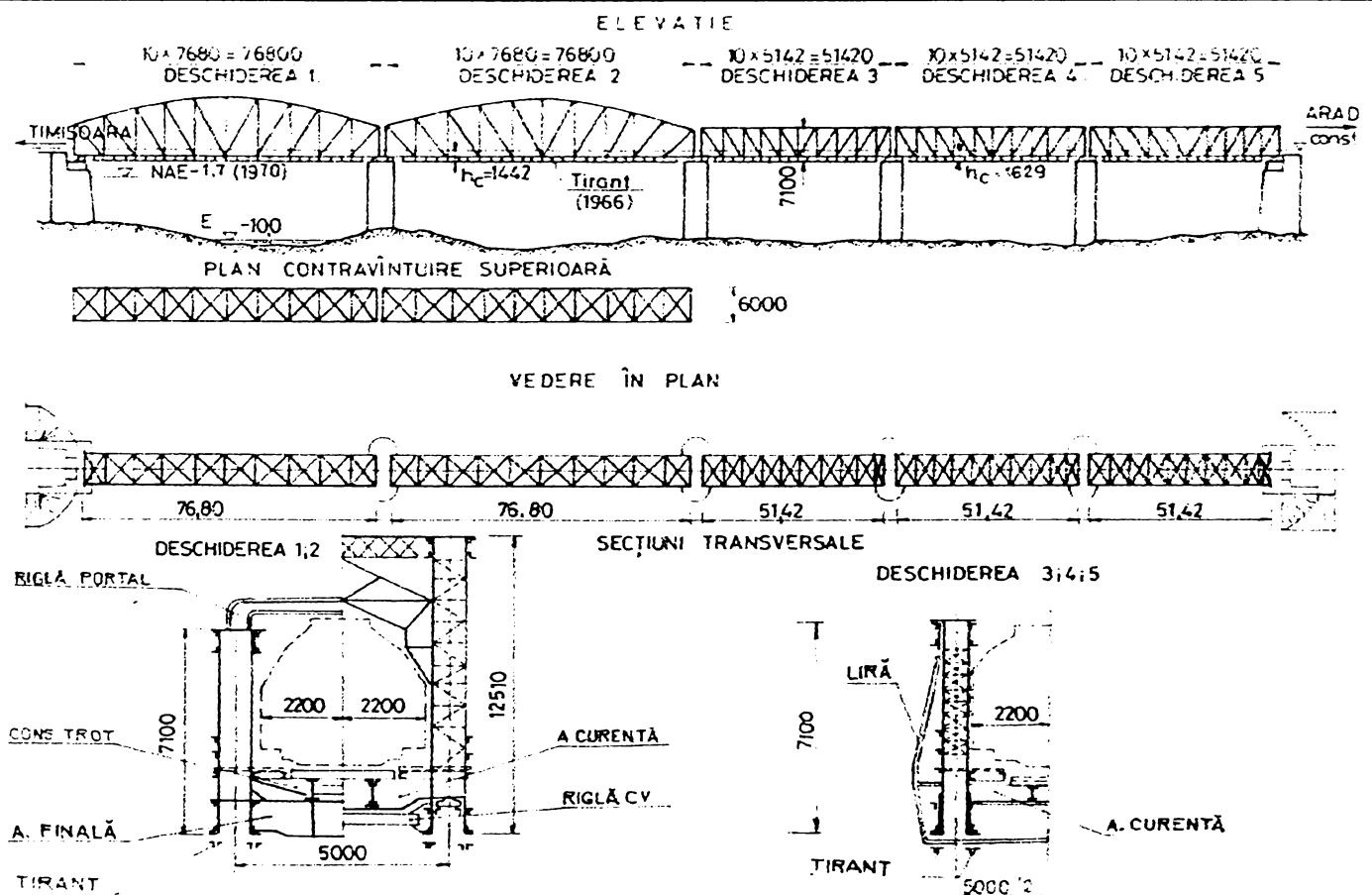


FIG. 4.3. Dispozitia generala a podului CF de la Arad

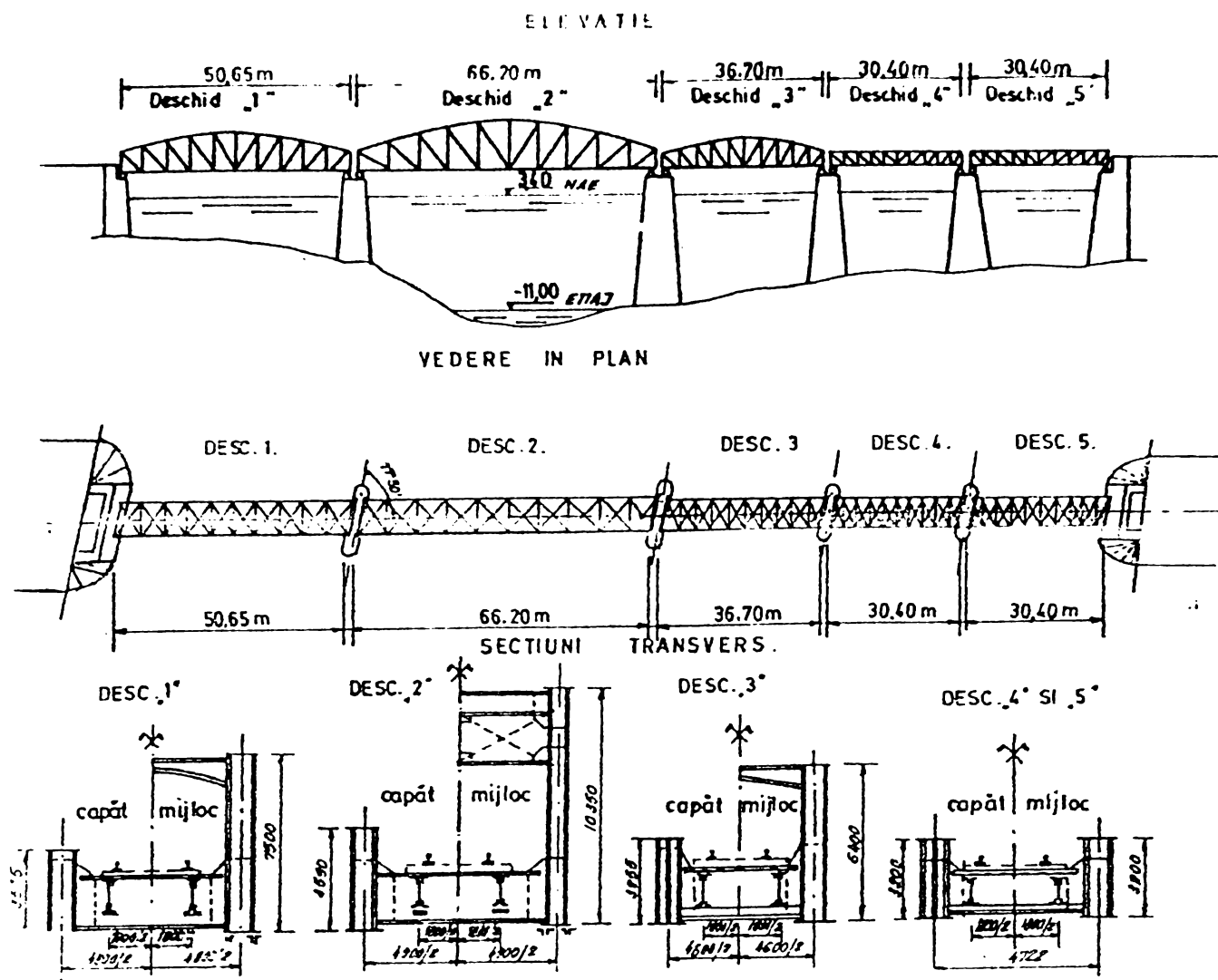


FIG. 4.4. Dispozitia generala a podului CF de la SAG-Timiseni

#### 4.2.2.2. Tabliere de tipul GZCS

Aceste tabliere se gasesc mai ales in zonele cu relief mai accidentat (defileul Timis-Cerna, de exemplu) ele fiind asemanatoare in multe privinte cu cele prezentate in paragraful anterior, mai ales in ceea ce priveste existenta si realizarea constructiva a elementelor componente.

Deosebirea principala este legata de pozitia caii, aceasta gasindu-se la nivelul talpii superioare, intreaga structura de rezistenta fiind dezvoltata sub cale iar tablierele fiind inchise, gasindu-se intotdeauna legaturi in planul vertical transversal intre cele doua grinzi principale si o contravantuire orizontala sau cel putin legaturi transversale la nivelul talpii inferioare. Grinzile principale cu zabrele pot avea aceleasi forme ca si in cazul tablierelor GZCJ, fiind inasa dezvoltate in jos fata de nivelul caii.

Elementele componente ale structurii de rezistenta sunt aratate in figura 4.5:

- 1:grinda principala cu zabrele (GPZ),
- 2:antretoaze (A),
- 3:lonjeroni (L),
- 4:contravantuirea generala (CVG),
- 5:contravantuirea lonjeronilor (CVL),
- 6:contavantuirea inferioara (CVS),
- 7:contravantuiri verticale transversale (CVT)
- 8:aparate de reazem fixe (ARF) si
- 9:aparate de reazem mobile (ARM).

La unele tabliere apare si dispozitivul de franare (DF) montat in timpul operatiilor de consolidare la convoiul T8.5.

Ansamblul plan format din antretoaza, montantul (diagonala) grinzii cu zabrele si dupa caz, rigla contravantuirii superioare formeaza un element transversal, numit portal (cadru transversal) care asigura rigiditatea transversala a tablierului.

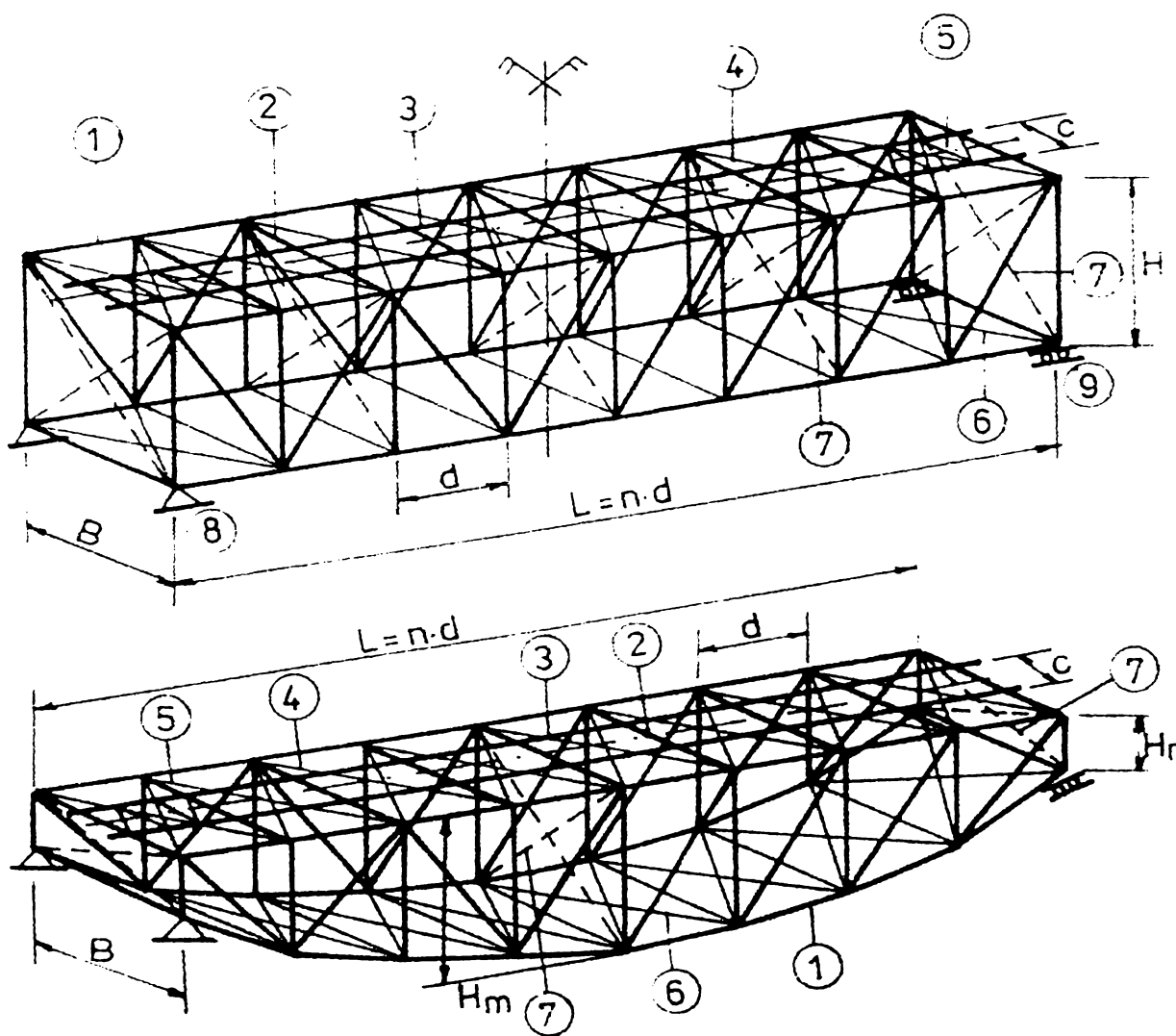


FIG. 4.5. Ansamblu spatial tabliere de tipul GZCS;  
 a) grinzi principale cu zabrele cu talpi paralele;  
 b) grinzi principale cu zabrele cu talpi poligonale.

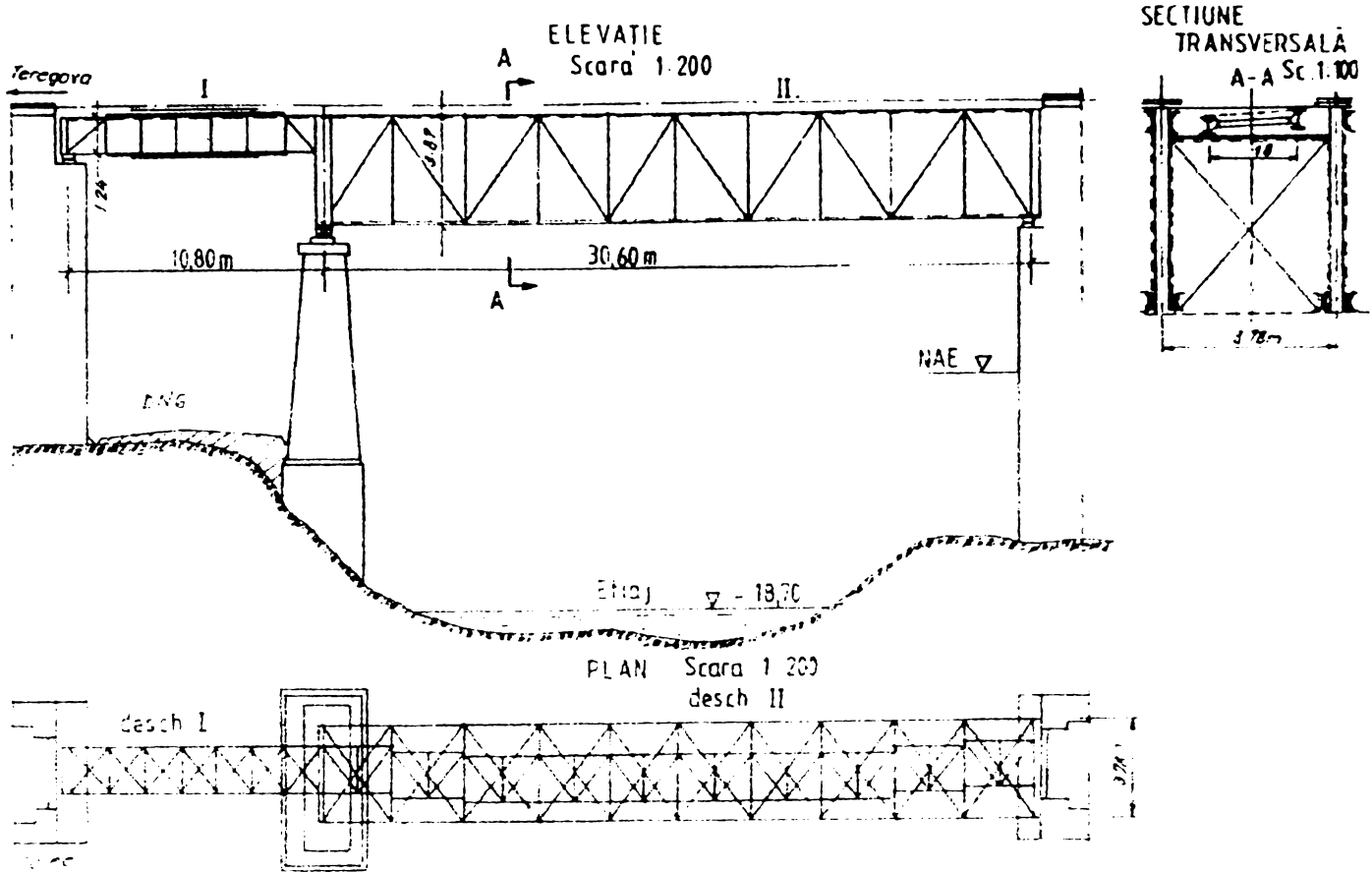


FIG. 4.6. Dispozitia generala a podului CF de la ARMENIS

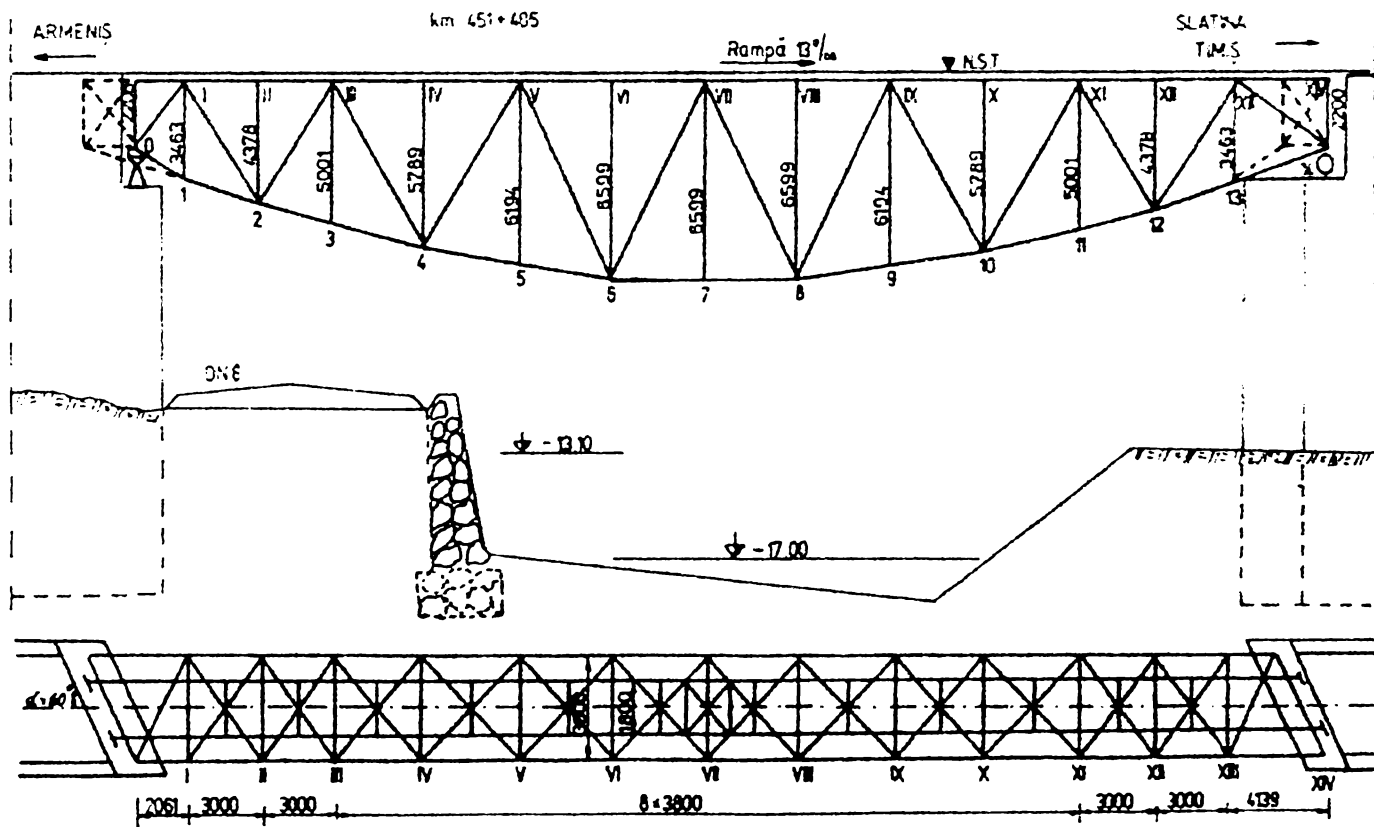


FIG. 4.7. Dispozitia generala a podului CF de la SLATINA-Timis



#### 4.2.2.3. Tabliere de tipul GIP

Aceste tabliere se gasesc mai ales in zonele cu relief plat sau la deschideri mici, ele fiind asemanatoare in multe privinte cu cele prezentate in paragrafele anterioare (GZCS si GZCJ), mai ales in ceea ce priveste existenta si realizarea constructiva a elementelor componente.

Deosebirea principala este legata de tipul constructiv al grinzilor principale, acestea fiind in acest caz realizate ca grinzi cu inima plina nituite. Calea este plasata fie la partea superioara fie la partea inferioara a grinzilor principale. In cazul tablierelor de tipul GIPCS traversele caii sunt rezemate si prinse direct de talpa superioara a grinzilor principale iar la cele de tipul GIPCJ sunt prezente grinziile caii in aceeasi alcatuire ca la tablierele cu grinzi cu zabrele.

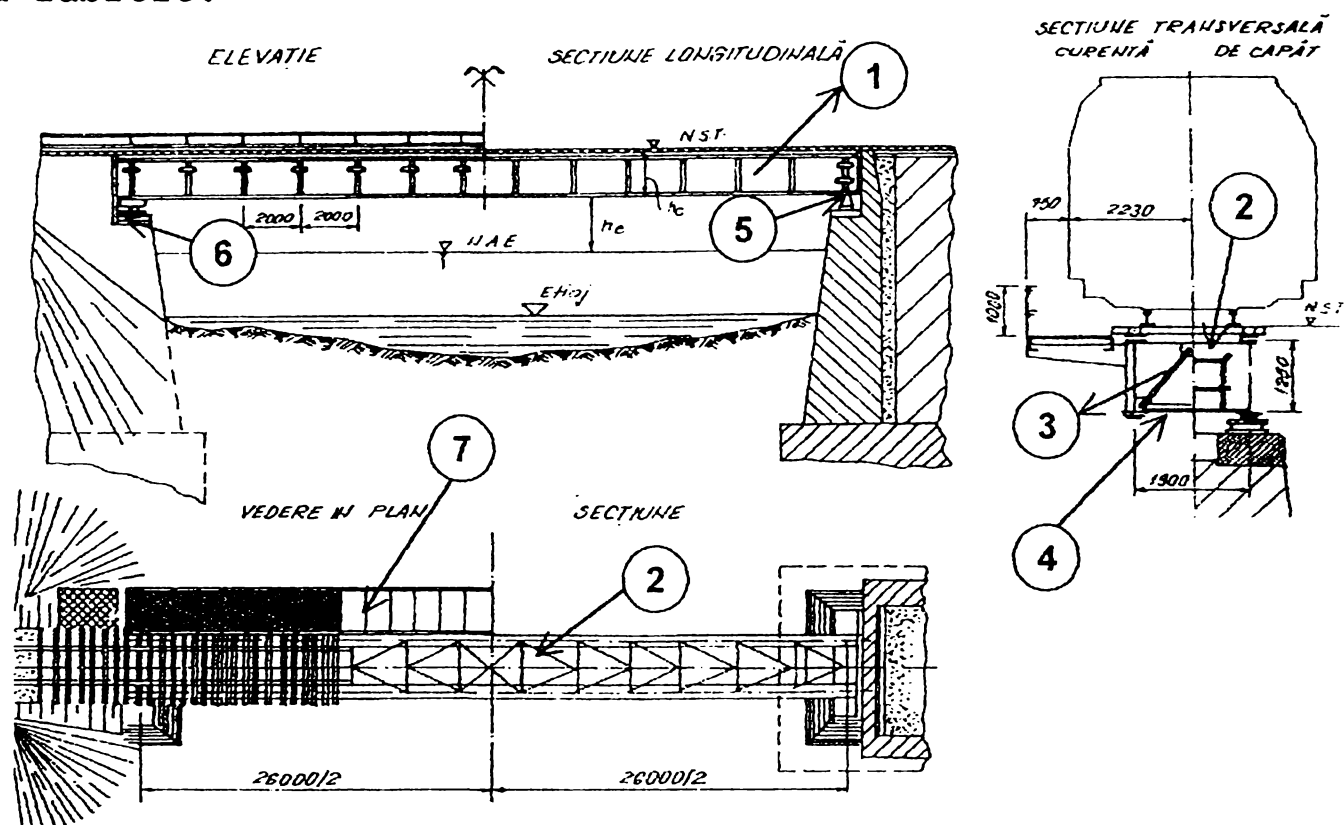


FIG. 4.8. Dispozitia generala tablier GIPCS

In cadrul programului experimental au aparut numai tabliere de tipul GIPCS. Elementele componente ale structurii de rezistenta sunt aratate in figura 4.8:

- 1:grinda principala cu inima plina (GIP),
- 2:contravantuirea generala (CVG),
- 3:contravantuiiri verticale transversale (CVT),
- 4:legaturi (contavantuirea) inferioare (LI, CVI),
- 5:aparate de reazem fixe (ARF),
- 6:aparate de reazem mobile (ARM) si
- 7:trotuar (Tr).

### **4.2.3. Alcatuirea structurala a podurilor metalice vechi**

Solutiile de alcatuire constructiva a podurilor metalice existente, prezentate in paragraful anterior, cat si cele prezentate in literatura [4.2],[4.3],[4.13], evidentiaza faptul ca tabliererele vechi au cateva elemente componente specifice, care constituie elementele principale de rezistenta ale structurii, cu rol de preluare si transmitere a incarcarii la infrastructura, asigurand o rigiditate corespunzatoare mentinerii parametrilor functionali ai caii, elemente care sub o forma sau alta se regasesc intotdeauna in compunerea unui tablier.

Cele mai importante elemente componente ale unui tablier sunt: grinzile (platelajul) care sustin calea, denumite grinzile caii, grinzile principale si elementele de legatura spatiala (sistemul de contravantuiri) care vor fi analizate in subparagrafele urmatoare.

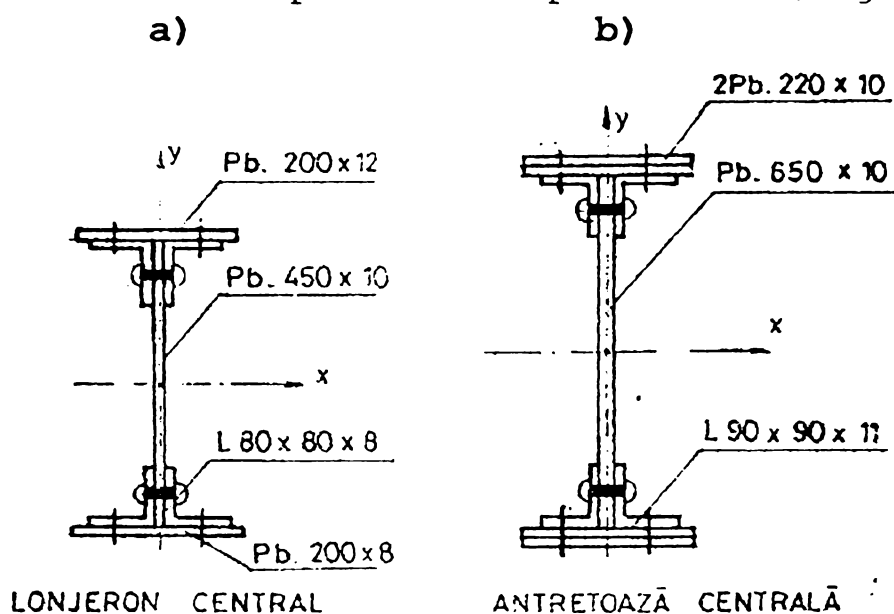
#### **4.2.3.1. Grinzile caii**

Reteaua de grinzi de rezistenta dispuse ortogonal, lonjeronii in lungul tablierului si antretoazele transversal lui, pe care se descarca calea poarta denumirea de grinzile caii. Calea alcatuita din traverse, sine, material marunt si elemente de prindere, asezata pe aceasta retea de grinzi, se numeste "cale deschisa" si ea reprezinta solutia intalnita la toate podurile vechi.

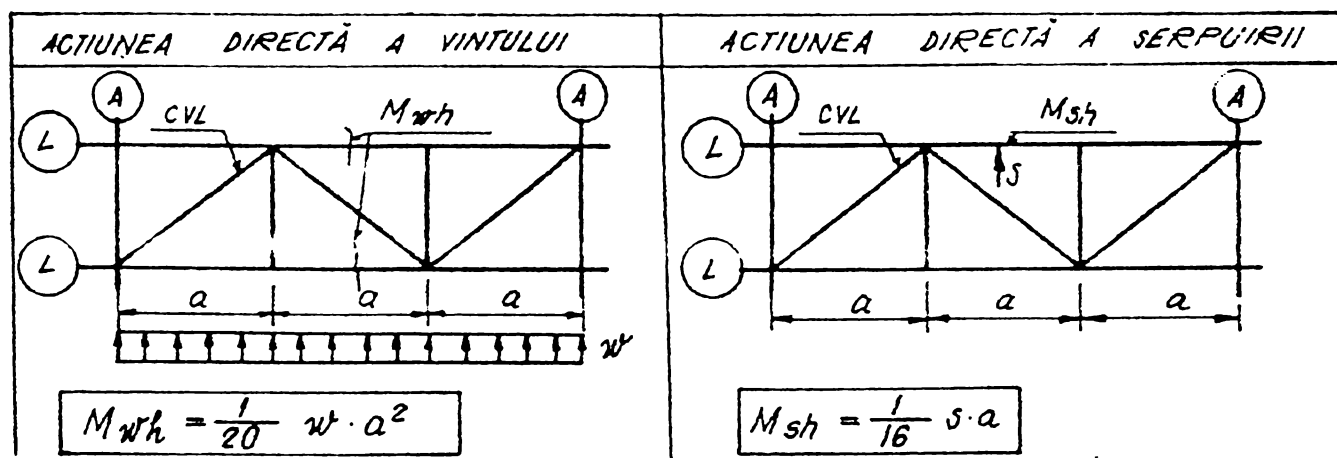
Rolul principal al retelei de grinzi de la nivelul caii este acela de a prelua actiunile provenite din greutatea caii si din convoi si a le transmite grinzilor principale. Deoarece aceste actiuni sunt preponderent gravitationale, grinzile caii se executa ca grinzi cu inima plina cu sectiunea dublu T, realizate din platbenzi si corniere, imbinat cu nituri (figura 4.9.a) si dispuse cu axa maxima de inertie in planul retelei. Cum insa apar si actiuni orizontale, ca de exemplu serpuirea, franarea, forta centrifuga si actiunea vantului, care nu pot fi preluate de grinzile caii ca elemente solitare, din cauza rigiditatii lor scazute fata de axa verticala, se executa un sistem de legaturi, numit contravantuirea lonjeronilor (figura 4.9.c) ansamblul rezultat formand un sistem cu zabrele capabil sa preia si actiunile orizontale.

Antretoazele sunt grinzi dispuse transversal pentru a face legatura intre grinzile principale si servesc la rezemarea lonjeronilor, fiind incarcate pe langa greutatea

lor proprie si cu reactiunile lonjeronilor si a lonjeronilor de trotuar. Fiind elemente supuse la incovoiere si sectiunea lor este tot cu inima plina insa cu o inaltime mai mare (cca.900-1200 mm) si cu talpile mai dezvoltate, realizate dintr-un pachet de cel putin doua platbenzi (figura 4.9.b).



c)



**FIG. 4.9** Sectiuni caracteristice pentru grinziile caii (P-08)  
 a) lonjeroni cu imbinari nituite; b) antretoaze cu imbinari nituite.  
 c) contravantuirea lonjeronilor si actiunile din gruparea a II-a

In unele cazuri inasa ele sunt realizate ca grinzi cu zabrele, mai ales antretoazele podurilor cu latime mai mare.

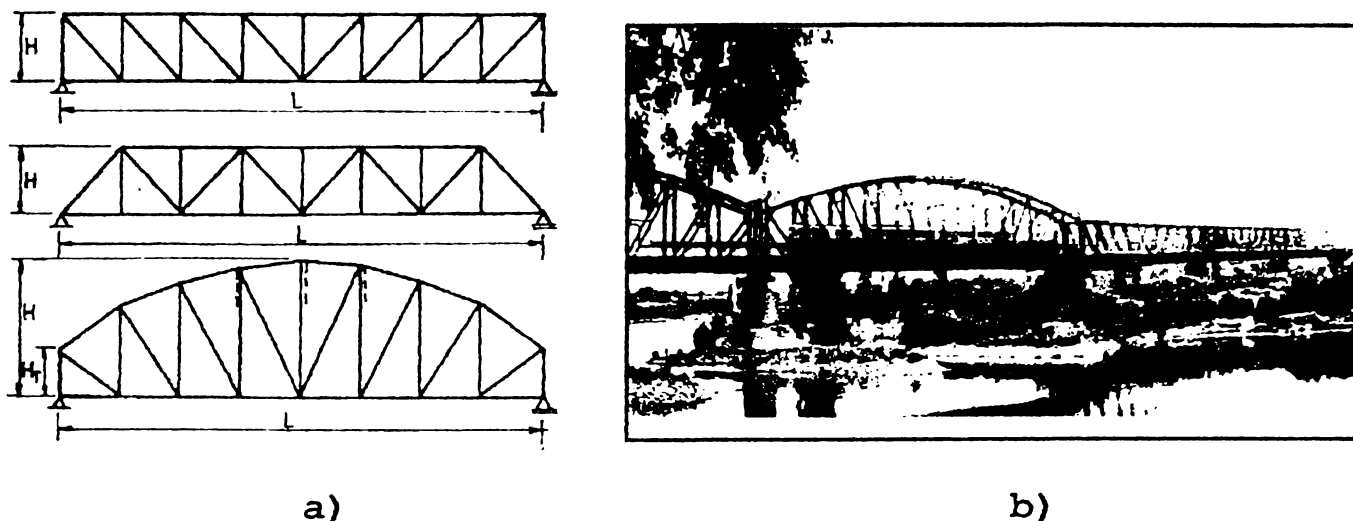
#### 4.2.3.2. Grinzile principale

Grinzile principale sunt realizate la podurile vechi ca grinzi simplu rezemate cu inima plina sau cu zabrele, asa cum rezulta si din clasificarea din paragraful 4.2.1.

Grinzile principale cu inima plina sunt alcatuite in mod similar cu antretoazele, dar cu deosebirea ca au sectiunea mai puternica adaptata solicitarilor mai mari. In lucrarea de

fata ne-am ocupat in mod special de grinzile cu zabrele pentru ca reprezinta solutia cea mai des intalnita la deschideri peste 25-30 m.

Grinzile principale cu zabrele ale podurilor metalice vechi (figura 4.10) prezinta urmatoarele caracteristici:



**FIG. 4.10.** Grinda principala cu zabrele:

**a)** sisteme geometrice; **b)** realizarea practica, podul de la Arad.

- talpile grinzilor principale cu zabrele sunt fie paralele intre ele (la deschideri mai mici) fie una este poligonala, in acest caz nodurile ei inscriindu-se pe o parabola, cu inaltimea maxima, masurata fata de axul talpii de la nivelul caii, cuprinsa in limitele raportului  $(L/5,6 - L/9,7)$  valoare mai mica comparativ cu intervalul optim prezentat in literatura vremii [4.2] ca fiind  $(L/5 - L/6,5)$ ;
- talpa de la nivelul caii este intotdeauna rectilinie pentru a permite asezarea caii cu usurinta;
- diagonalele sunt de regula descendente, concepute astfel incat din incarcările gravitationale sa fie solicitate la intindere iar din convoi preponderent la intindere dar se intalnesc si cazuri cu diagonale alternante, situatie in care diagonalele ascendente sunt solicitate preponderent la compresiune;
- sectiunile barelor talpilor sunt realizate ca sectiuni compuse deschise, de regula cu doi pereti, fiind alcatuite din platbenzi si corniere sau profile U, solidarizate cu placute sau zabrelute, prinse cu nituri cu cap semirotund. In unele cazuri, la poduri foarte vechi (construite inainte de 1890), talpile au sectiunea cu perete simplu, in forma de T, fapt care face sa aiba o rigiditate foarte scazuta fata de axa verticala si in consecinta o comportare slaba la compresiune, ceea ce limiteaza marimea ponourilor la 3-4 m (de exemplu podurile P-09 si P-10).

Principalele tipuri de sectiuni pentru bare sunt aratate in figura 4.11 alaturi de gradul de risc, stabilit in [4.4].

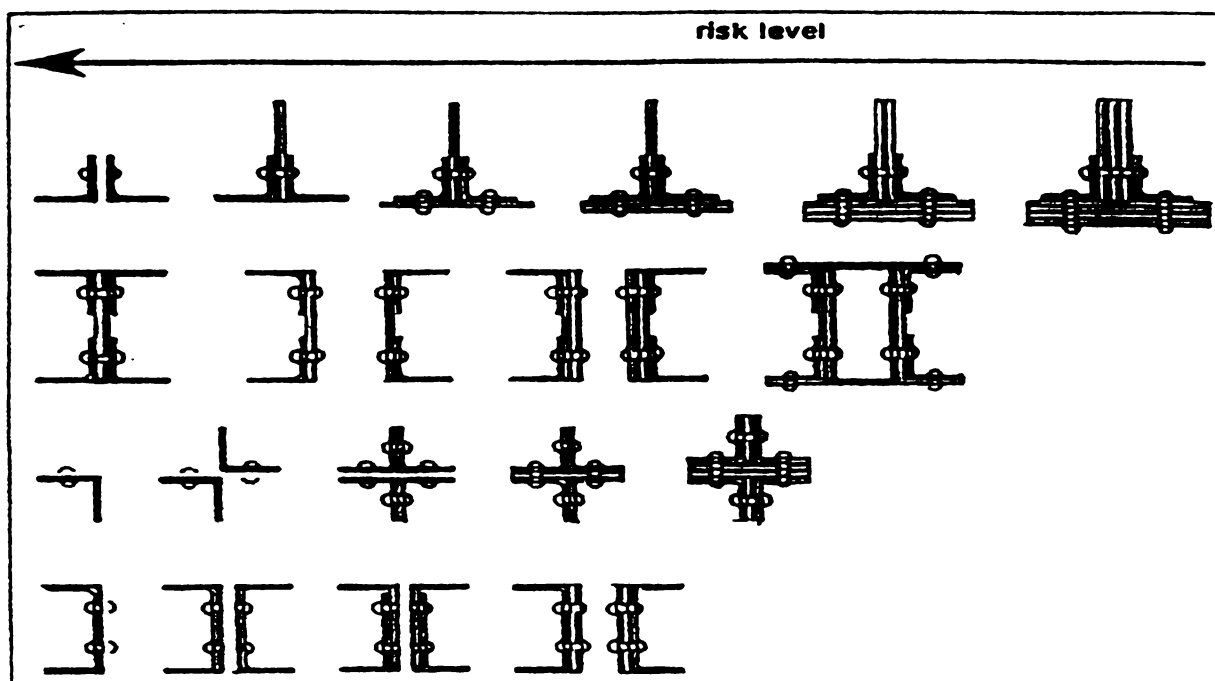


FIG. 4.11 Sectiuni caracteristice ale barelor GZ

#### 4.2.3.3. Elemente de legatura spatiala

Stabilitatea si rigiditatea sistemului spatial al structurii tablierelor metalice alcatuite din bare, sunt asigurate prin dispunerea unui ansamblu de contravantuiri, care in functie de pozitia lor si elementele pe care le leaga pot fi:

- **contravantuiri orizontale**, cum sunt cele longitudinale plasate intre talpile superioare ale lonjeronilor (CVL) sau cele longitudinale plasate intre grinzile principale, la nivelul talpii inferioare in cazul tablierelor cu calea jos deschise si la nivelul ambelor talpi in cazul tablierelor cu calea jos inchise si a celor cu calea sus;
- **contravantuiri verticale**, cum sunt cele transversale plasate intre lonjeroni, cele transversale plasate intre grinzile principale in cazul tablierelor cu calea sus sau cele plasate la partea superioara a cadrelor transversale la tablierele cu calea jos inchise, atunci cand inaltimea montantilor grinzii principale este mare asa incat aceste contravantuiri sa poata fi plasate peste limita pe inaltime a gabaritului de libera trecere.

Sistemele de contravantuiri avand ca rol principal preluarea actiunii fortelor orizontale -atat longitudinale, provenite din franare sau demarare cat mai ales transversale provenite din vant, mersul serpuit al vehiculelor sau a fortei centrifuge - ce se exercita asupra tablierului,

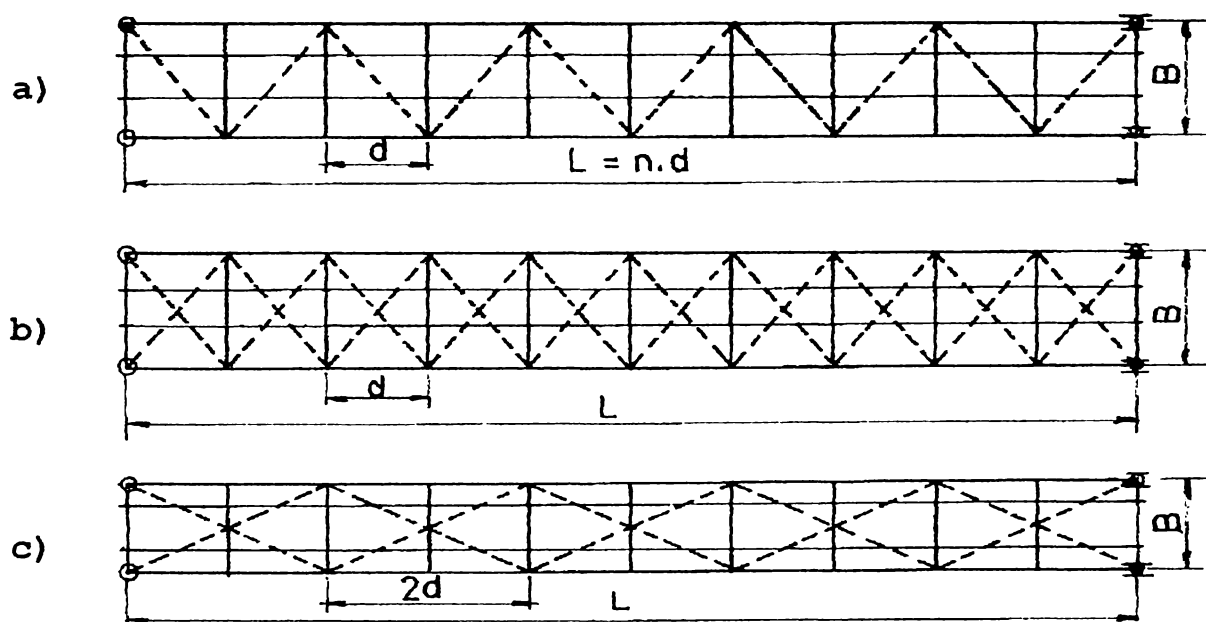


contribuie semnificativ si la realizarea conlucrării spatiale între elementele structurii. Prin existenta sistemului de contravanturiri, mai ales la tablierele inchise, se asigura conlucrarea spatiala între cadrele transversale sub forma unei conlucrări la deplasare, fenomen favorabil cadrelor direct incarcate, ce contribuie la o comportare mai avantajoasa a acestora in exploatare.

Contravantuirile transversale verticale, pe langa o rigidizare de ansamblu a tablierului, contribuie la cresterea rigiditatii la torsiune si la o conlucrare a grinzilor principale, in special la preluarea incarcarilor verticale si orizontale nesimetrice la podurile oblice si in curba. Aceste contravanturiri sunt plasate intr-un numar de sectiuni transversale in lungul elementului sau a tablierului, care difera de la un pod la altul dar sunt intotdeauna prezente in sectiunile din planul reazemelor la tablierele cu calea sus. In acest caz, contravantuirea verticala transversala prezinta si particularitatea ca bara transversala inferioara este foarte rigida, ea servind si pentru sprijinirea preselor hidraulice in cazul ridicării tablierului.

Ca realizare constructiva se intalnesc preponderent doua sisteme de dispunere a barelor contravantuirilor:

- a) cu diagonale alternante (fig. 4.12.a),
- b) cu diagonale incrucisate (fig.4.12b si fig.4.12c).



**FIG. 4.12.** Sisteme constructive la contravanturiri:  
a) cu diagonale alternante;  
b) cu diagonale incrucisate pe un panou;  
c) cu diagonale incrucisate pe doua panouri.

#### **4.2.4. Analiza legaturilor dintre elementele componente ale podurilor metalice**

Legaturile dintre elementele componente ale podurilor metalice -grinzi principale, grinzile caii, sisteme de contravantuiri si portale- au rolul de a mentine rigiditatea si stabilitatea ansamblului structural al intregii suprastructuri si de a asigura conditiile corespunzatoare de transmitere la infrastructura, a incarcarilor preluate de fiecare element structural. Aceste legaturi, analizate in vederea stabilirii schemelor necesare pentru analiza statica a structurii si pentru verificarea elementelor ei componente, se pot clasifica dupa diferite criterii. Conform normei [4.5] de exemplu, in functie de rigiditatea respectiv de rezistenta lor, legaturile pot fi:

**a. Legaturi de tip articulata,** atunci cand nu pot dezvolta momente sau cand, valoric, acestea nu sunt semnificative in posibilitatea exercitarii unei influente defavorabile asupra elementelor structurii.

**b. Legaturi rigide,** atunci cand deformatiile lor nu influenteaza semnificativ nici repartizarea sollicitarilor in structura si nici deformatia structurii in ansamblul ei.

**c. Legaturi semi-rigide,** atunci cand rigiditatea lor, variabila in functie de intensitatea momentului incovoietor, nu este nici nula ca in cazul legaturilor perfect articulate, nici infinita ca in cel al legaturii de tip incastrare perfecta, ci are o valoare finita dupa una din componentele legaturii. Din aceasta categorie fac parte si majoritatea legaturilor dintre elementele sub forma de bare, ce intra in alcatuirea suprastructurii podurilor metalice vechi. Estimarea modului de comportare sub incarcari a unei astfel de legaturi, presupune cunoasterea gradului de interactiune dintre elemente, respectiv a curbei moment-rotire ( $M-\theta$ ).

Clasificarea legaturilor in functie de rezistenta lor are in vedere indeosebi comportarea respectivei legaturi sub incarcari dupa formarea articulatiilor plastice, fiind, de aceea utilizata in cadrul metodelor de analiza globala rigid-plastica si elastic-plastica a structurilor. In metodele de analiza elastica insa, pentru oricare dintre tipurile de modelare a structurilor, ipotezele de calcul formulate in aceeasi norma [4.5], prevad drept categorii de legaturi cele de tip articulata respectiv rigid, mentionate ca reprezentative pentru structurile alcatuite din bare si in alte lucrari [4.7] [4.5] [4.6] [4.8].

Dupa [4.8], in functie de modul de realizare al legaturilor, acestea pot fi:

a. **Legaturi care transmit numai forte** (reactiuni), corespunzand unor rezemari simple, ce permit rotirea barelor in limitele valorilor rezultate din deformatiile elastice, ca cele exemplificate in figura 4.13 sau cand apar articulatii mecanice concepute special pentru rezemarea elementelor, asa cum este cazul podului de la Arad (P-17), exemplificat in figura 4.14.

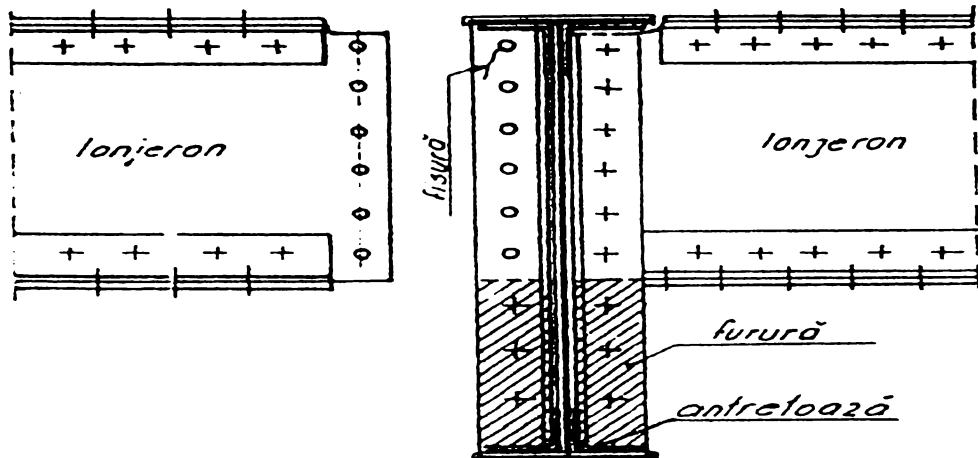


FIG. 4.13 Lonjeron simplu rezemat elastic

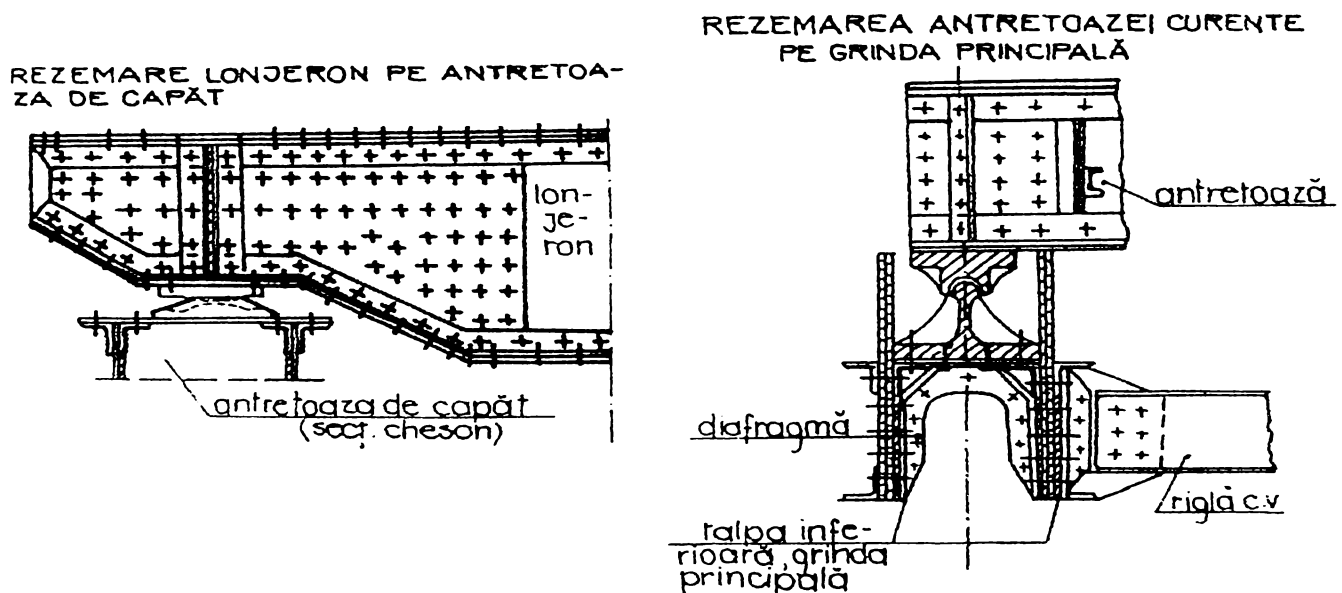


FIG. 4.14 'Cale flotanta' la podul de la Arad (antretoaze rezemate cu articulatii mecanice pe grinzile principale cu zabrele si rezemare articulata a lonjeronului pe antretoaza finala)

b. **Legaturi care transmit forte si momente**, corespunzand unei rezemari cu continuitate, exemplificata pentru cazul rezemarii lonjeronilor cu scaun si platbanda de continuitate in figura 4.15 sau pentru cazul imbinarii dintre antretoaza si grinda principala cu inima plina in figura 4.16a si 4.16b sau cu zabrele, in figura 4.16c.

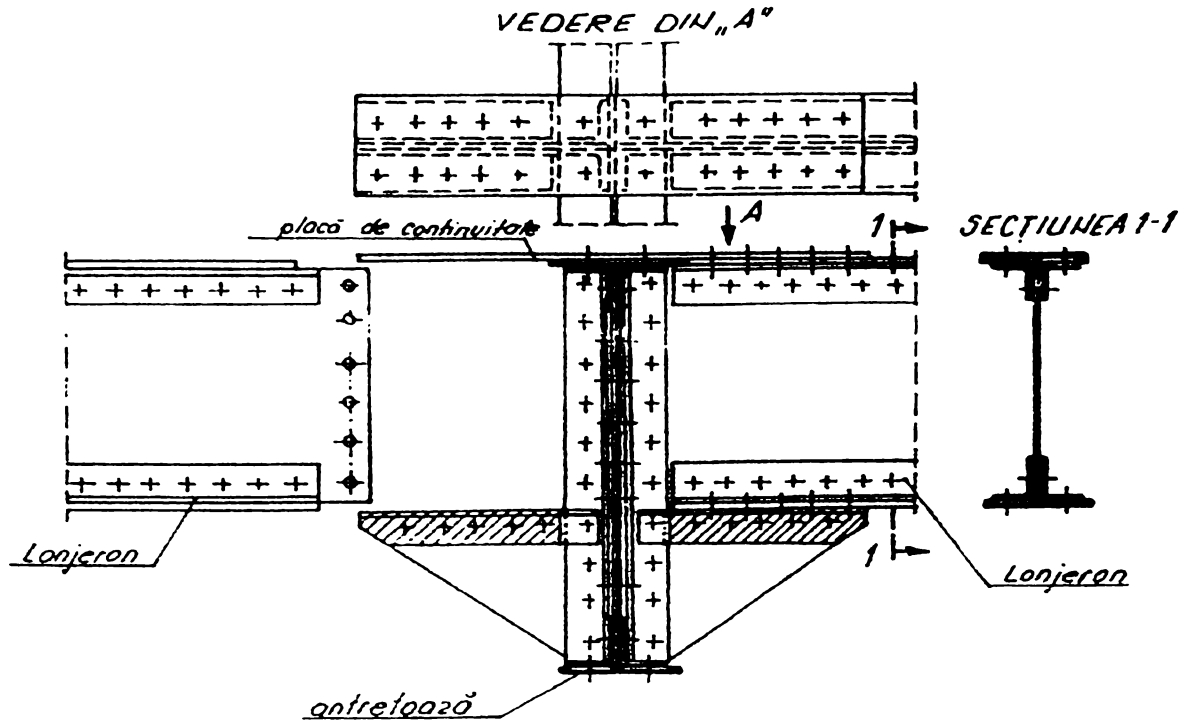


FIG. 4.15 Lonjeron rezemat cu scaun si platbanda de continuitate - prindere rigida

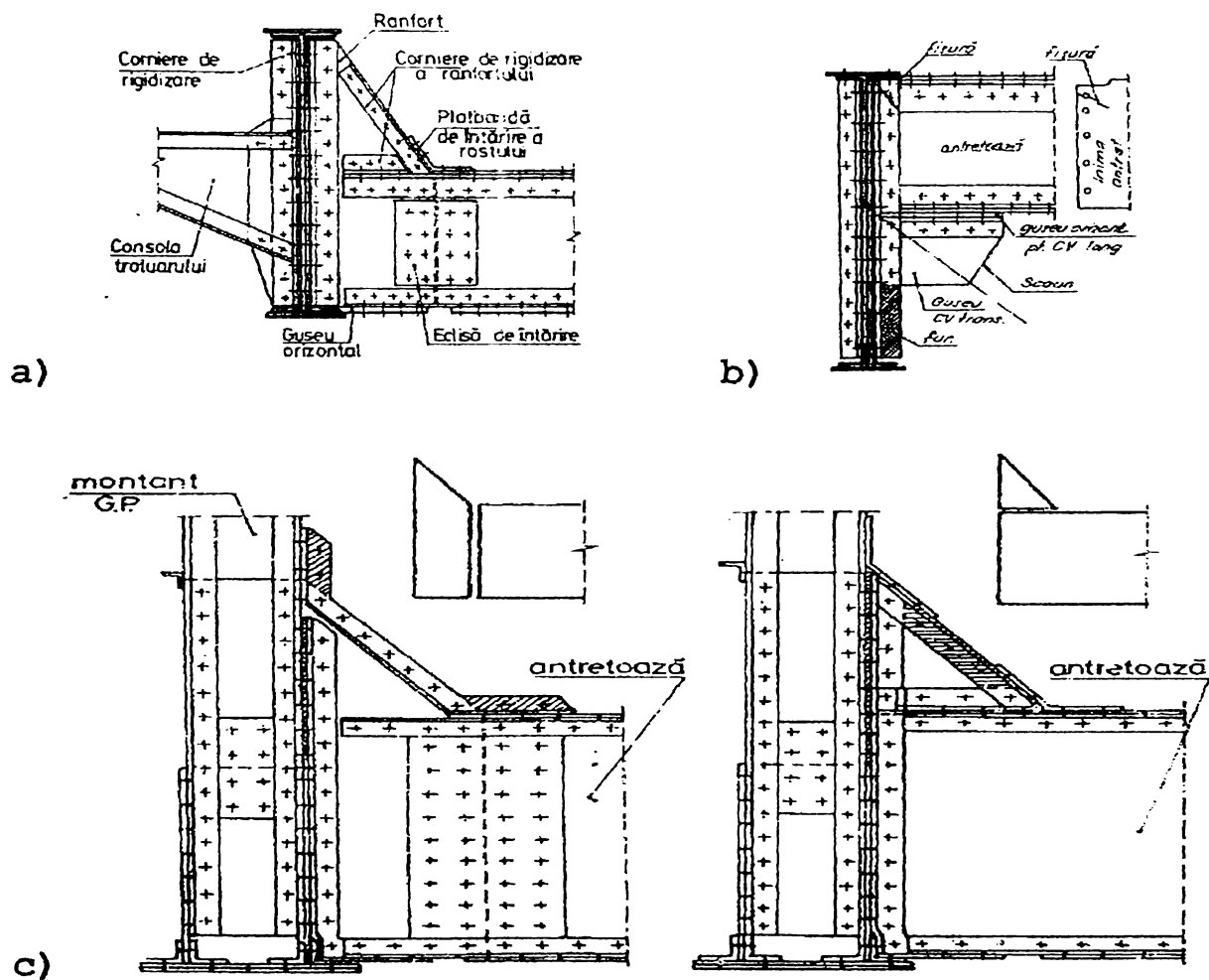


FIG. 4.16 Imbinare rigida intre antretoaza si grinda principala: a) cu inima plina cale jos; b) cu inima plina cale sus; c) cu zabrele cale jos.

La unele poduri mai vechi, la care nu s-au executat consolidari cu ocazia reparatiilor capitale (RK) efectuate sau la cele cu lungime mare, la care continuitatea lonjeronilor se intrerupe in anumite sectiuni (P-02), analiza legaturilor dintre elementele componente releva existenta unor rezemari elastice, care din punctul de vedere al rigiditatii se situeaza in categoria legaturilor semirigide iar sub incarcari se comporta ca incastrari elastice. O astfel de legatura este cea dintre lonjeroni si antretoaze, realizata cu scaunul de sustinere a lonjeronului dar fara platbanda de continuitate, ca in figura 4.17 sau legatura dintre lonjeronul final si antretoaza de capat, ca in figura 4.18.

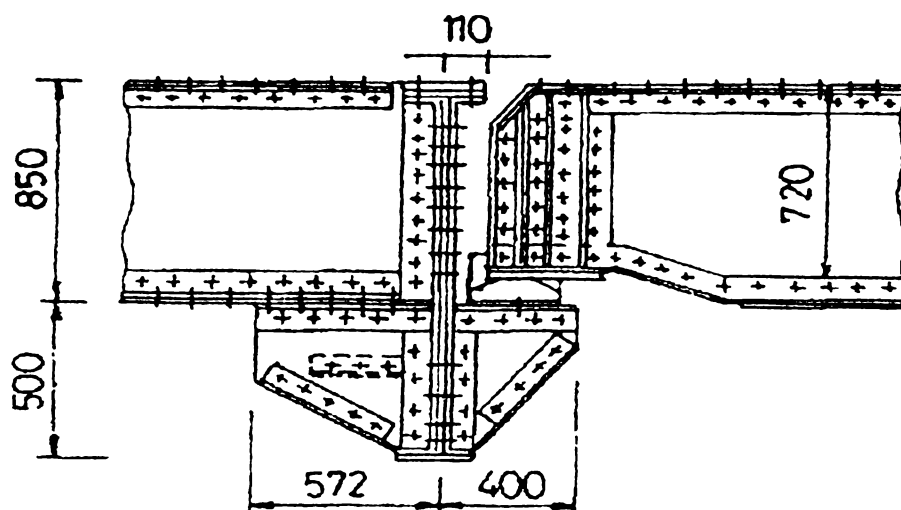


FIG. 4.17 Intreruperea lonjeronului in panoul curent, la podul P-02 de la Mehadia

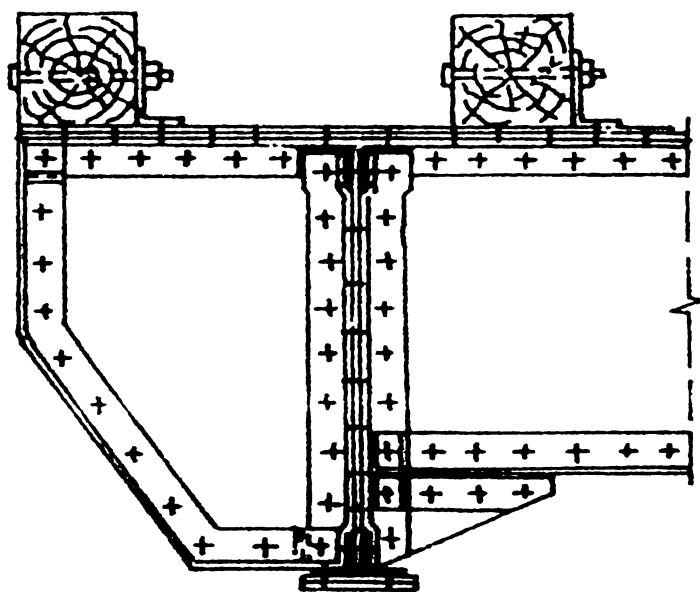


FIG. 4.18 Consola lonjeronului



In aceasta ultima situatie chiar daca legatura este realizata rigid, de tipul celei aratate in figura 4.15, este evidenta posibilitatea de rotire, datorita torsiunii antretoazei. O astfel de legatura poate fi asimilata cu o legatura semirigida, de tipul incastrarii elastice, ce asigura in domeniul elastic atat transmiterea sollicitarilor de calcul cat si preluarea rotirilor si deplasarilor generate de aceste sollicitari.

Concluziile rezultate in urma analizarii principalelor tipuri de legaturi intre elementele componente ale podurilor metalice vechi, efectuata in acest paragraf cu exemplificari pentru podurile P-02, P-04, P-08 si P-17, au fost utilizate in continuare pentru alcatuirea schemelor statice si de incarcare ale elementelor si ansamblului structural al podurilor analizate.

### 4.3. STRUCTURA TABLIERULUI SI MODUL EI DE CALCUL

Estimarea prin calcul a comportarii sub incarcari a suprastructurii podurilor metalice, necesita stabilirea schemelor statice si de incarcare ale elementelor componente, scheme pe baza carora, prin intermediul legaturilor dintre elemente, se pot apoi asambla schemele statice si de incarcare ale ansamblului tablierului.

In acest paragraf se prezinta mai intai stabilirea schemelor statice si de incarcare necesare calculului plan al principalelor elemente ce alcatuiesc structura de rezistenta a tablierului unui pod de cale ferata linie simpla, iar apoi, alcatuirea schemelor statice si de incarcare pentru calculul de conlucrare spatiala a ansamblului tablierului, exemplificarile fiind facute, din cauza spatiului limitat al acestei disertatii, doar pentru cateva, dar cele mai semnificative, dintre podurile expertizate, prezentate in tabelul 4.1.

#### 4.3.1. Scheme statice si de incarcare pentru calculul plan al elementelor suprastructurii metalice

##### • Grinzile caii

In toate cazurile, cu exceptia uneori a tablierelor de tipul GIPCS cu distanta redusa dintre grinzile principale cand grinzile caii lipsesc, podurile metalice de cale ferata au in compunere sistemul de grinzi ale caii, asa cum am aratat in paragraful 4.2.3.1.

Aceasta retea compusa din lonjeroni-care sustin in mod direct calea asezata pe traverse din lemn, si antretoaze, se poate analiza studiind fiecare grinda componenta in mod separat, adoptand schemele statice si de incarcare care rezulta din pozitia fiecareia in ansamblul retelei.

Ca schema statica, lonjeronii pot fi considerati [4.9], functie de modul de realizare a prinderilor de antretoaze, fie ca grinzi simplu rezemate, figura 4.19.a, fie ca grinzi continue, insa pe reazeme elastice, figura 4.19.b, avand in vedere deformatiile elastice ale antretoazelor.

Solutia statica de grinda simplu rezemata prezinta, comparativ cu solutia grinda continua, avantajele repartizarii independente a solicitarilor in lungul grinzii cat si o mai buna comportare sub incarcari mobile si variabile produse de convoaiele de exploatare, deoarece fenomenul de oboseala se desfasoara in regim oscilant, cu  $\sigma_{max}$  si  $\sigma_{min}$ , de acelasi semn, pe cand la grinda continua exista

posibilitatea inversarii semnului eforturilor unitare la nivelul aceleiasi fibre, ceea ce este mult mai defavorabil.

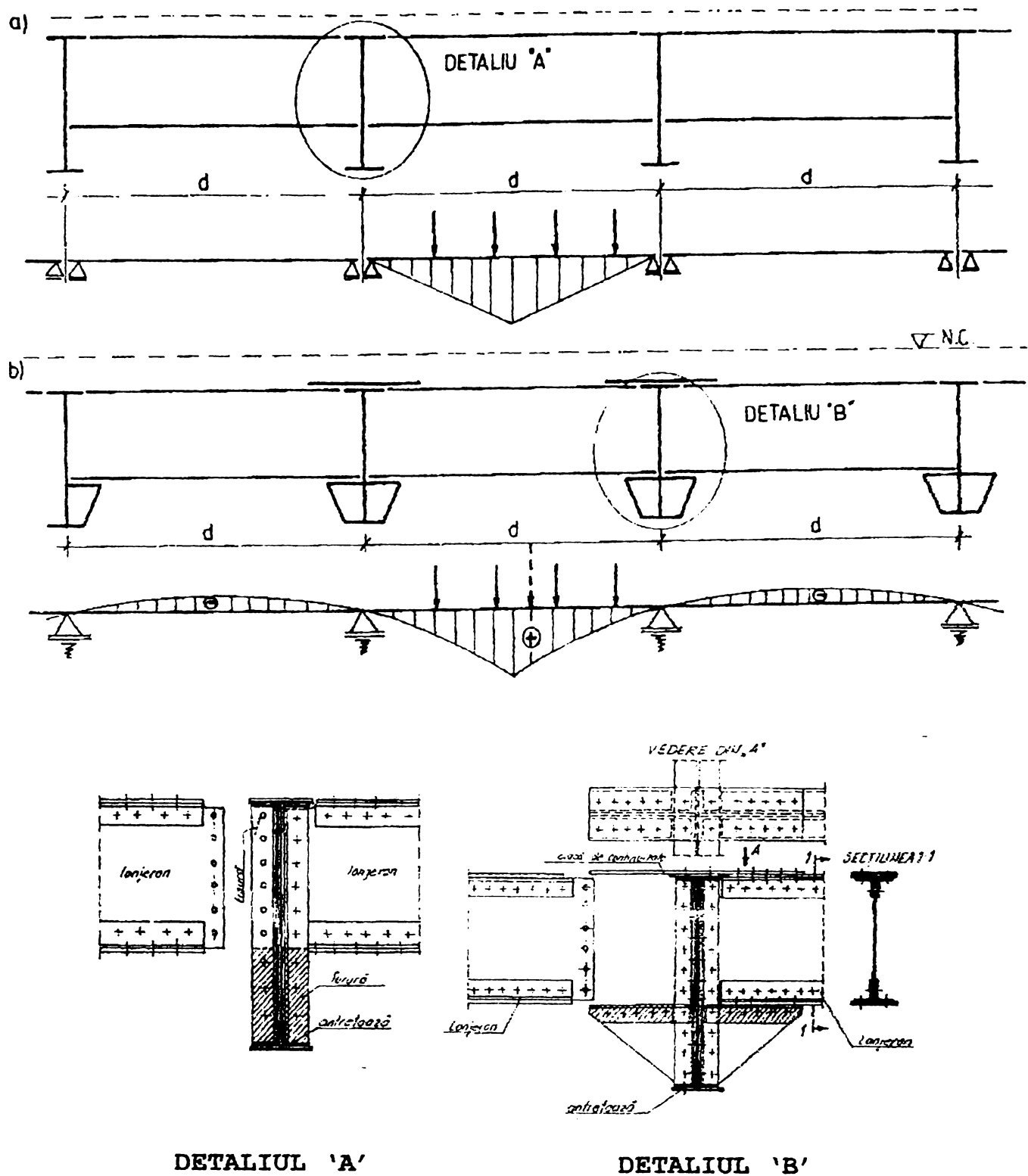


FIG. 4.19 Scheme statice si de incarcare a lonjeronilor:  
 a) lonjeronul ca grinda simplu rezemata;  
 b) lonjeronul ca grinda continua pe reazeme tasabile.

Solutia statica de grinda continua pe langa avantajul unei distributii mai uniforme a sollicitarilor in lungul

grinzii, conducand la deschideri comparabile, la valori de calcul semnificativ mai mici ca in cazul grinzii simplu rezemate, asigura si o rigiditate sporita, astfel incat conditia de incadrare a sagetii fata de sageata admisa este mai usor de respectat, fapt important mai ales la trecerea la viteze de circulatie mari ( $v > 120$  km/h). Se subliniaza faptul ca in toate cazurile analizate deschiderile lonjeronului sunt egale intre ele, rezultand intotdeauna (cu exceptia panourilor finale la podurile oblice) prin impartirea deschiderii podului intr-un numar intreg de panouri, asa incat toate inconvenientele generate de deschideri inegale sunt excluse.

Schemele de incarcare aferente schemelor statice prezentate au fost alcatuite conform normelor in vigoare [4.9], considerand:

a) **incarcările permanente**, provenite din greutatea proprie a tablierului si a caii;

b) **incarcările temporare** provenite, dupa caz, din actiunea convoiului de calcul standardizat, T 8.5, sau a convoaielor de incercare, formate, dupa caz, din 1÷4 locomotive diesel-electrice de tipul LDE 2100.

Pozitia convoaielor in sensul longitudinal al lonjeronilor a fost stabilita pe baza formei liniilor de influenta a momentului incovoietor, asa incat sa se obtina in sectiunea lonjeronului solicitarea maxima din incarcările gravitacional- verticale (practic s-a utilizat pozitia convoiului pentru determinarea momentului maxim-maximorum,  $M_{max\ max}$ ).

La podurile in curba s-a tinut cont si de efectul fortei centrifuge asa cum prevede standardul [4.10].

Pentru verificarile din gruparea a II-a, s-au considerat in plus reactiunile orizontale ale convoiului provenind din: serpuire, actiunea vantului pe structura si convoi si din franarea-demararea convoiului.

Antretoazele sunt incarcate intr-o pozitie fixa, determinata de imbinarea lonjeron-antretoaza, cu reactiunile lonjeronilor si cu reactiunile lonjeronilor de trotuar. In cazul cel mai des intalnit, cu trotuare de serviciu (si nu publice) incarcarea cu oameni pe trotuare nu aduce influente semnificative, asa incat nu vom insista asupra ei. Schema de incarcare a unei antretoaze este prezentata in figura 4.20.

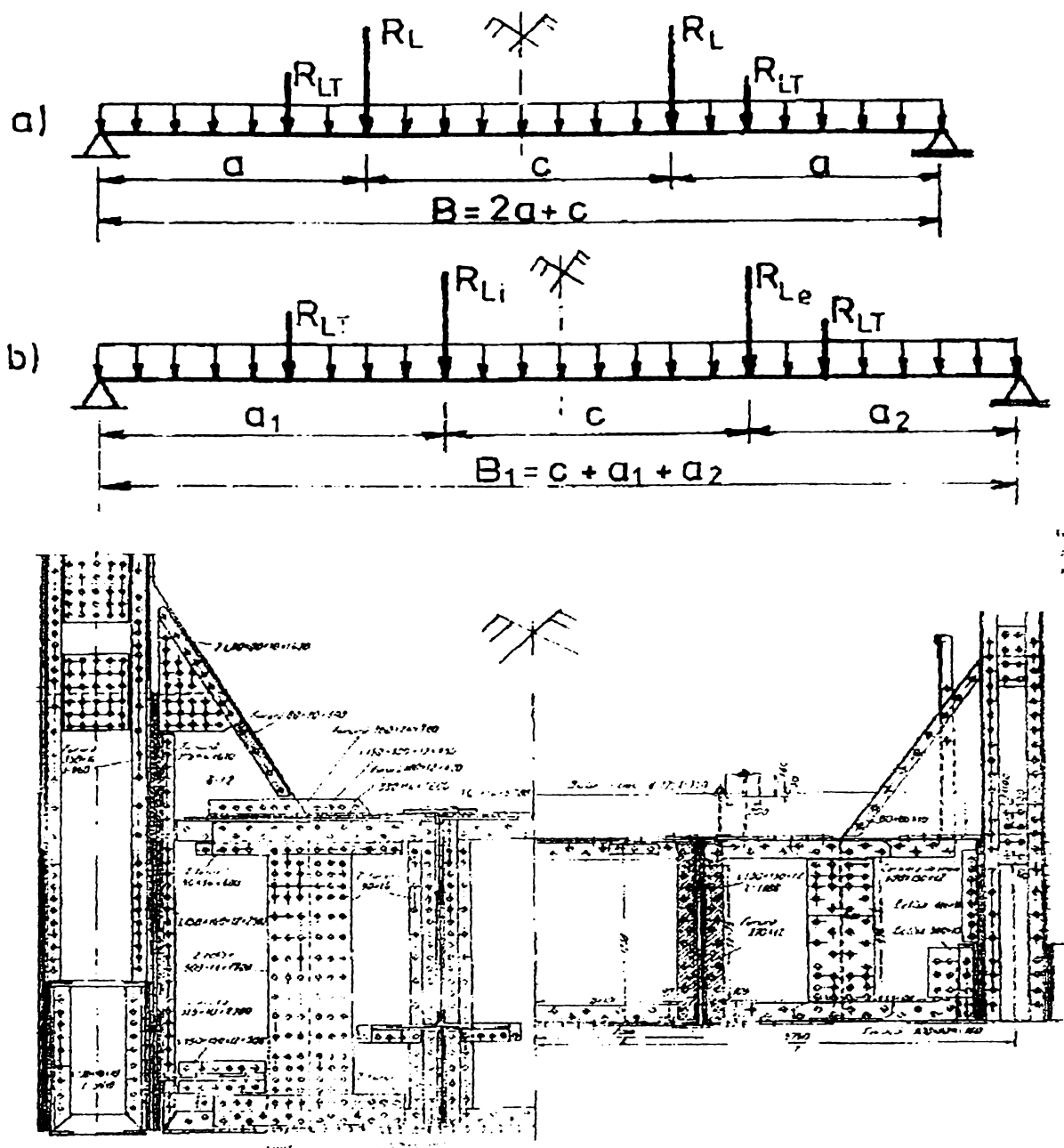


FIG. 4.20. Schema statica si de incarcare a antretoazei

• Grinzile principale

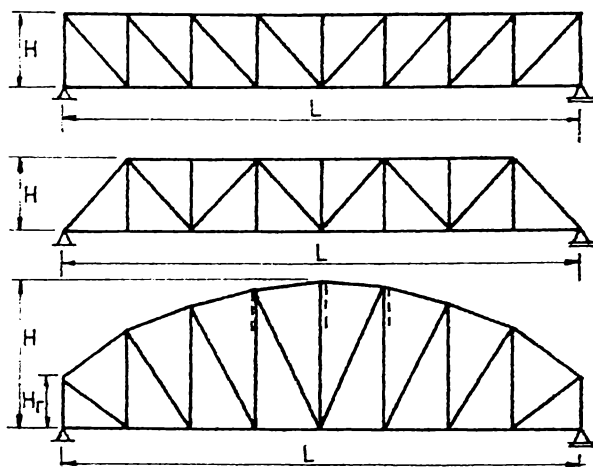
Din analiza alcatuirii structurale a podurilor metalice vechi, ca elemente principale de rezistenta au rezultat grinzile principale, dispuse independent acoperind intotdeauna fiecare deschidere, realizate cu inima plina sau cu zabrele, cu inaltime constanta sau variabila (de obicei de forma dreptunghiulara sau parabolica) cu sectiunea barelor cu simplu sau dublu perete. Aceste grinzi sunt rezemate pe cuzinetii infrastructurilor prin intermediul aparatelor de reazem, unul fix si unul mobil, care prin alcatuirea lor constructiva reprezinta articulatii mecanice. Reazemele fixe



permit rotirea libera a sectiunii de capat, introducand un grup de reactiuni dupa directia verticala si orizontal-longitudinala iar reazemele mobile permit atat rotirea cat si deplasarea sectiunii de capat, introducand numai reactiuni verticale.

Barele componente (talpi, diagonale si montanti) se reprezinta prin axa centrului de greutate al sectiunii transversale intersectandu-se in nodurile teoretice, fata de care se stabilesc si dimensiunile teoretice ale barelor. Barele sunt prinse in noduri cu ajutorul niturilor (figura 4.21) asa incat nodurile prezinta o anumita rigiditate, in procesul de calcul aparand ca necunoscute atat eforturile axiale din bare cat si momentele incoivoietoare care apar datorita rigiditatii nodurilor, rotirea libera a barelor in nod fiind impiedicata. Ecuatiile de echilibru static sunt insuficiente pentru determinarea starii de eforturi (forte axiale si momente in noduri) din structura asa incat problema apare ca o structura static nedeterminata, gradul de nedeterminare statica fiind egal cu numarul de noduri, suficient de mare ca o rezolvare manuala a sistemului de ecuatii de conditie sa fie accesibila. Aceasta necesita un program de calcul automat si evident echipamentele hard adecvate. Aceasta insa nu mai constituie o problema in prezent, dat fiind larga raspandire a calculatoarelor personale cu performante tot mai uluitoare.

#### SCHEMA GEOMETRICA



#### DETALIU NOD REAL

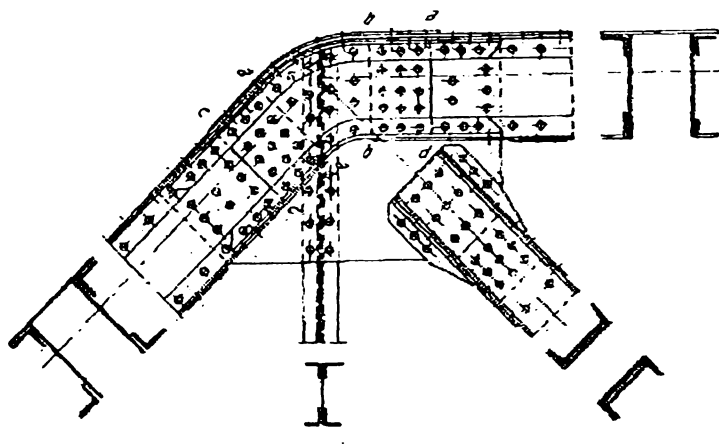


FIG. 4.21. Scheme geometrice si realizarea reala a nodurilor la grinzile principale cu zabrele

Cu toate acestea normele in vigoare [4.9] prevad utilizarea unei scheme geometrice simplificate (figura 4.22) in care nodurile sunt considerate articulatii perfecte, starea de eforturi din bare (numai forte axiale) fiind usor de determinat prin calcule simple.

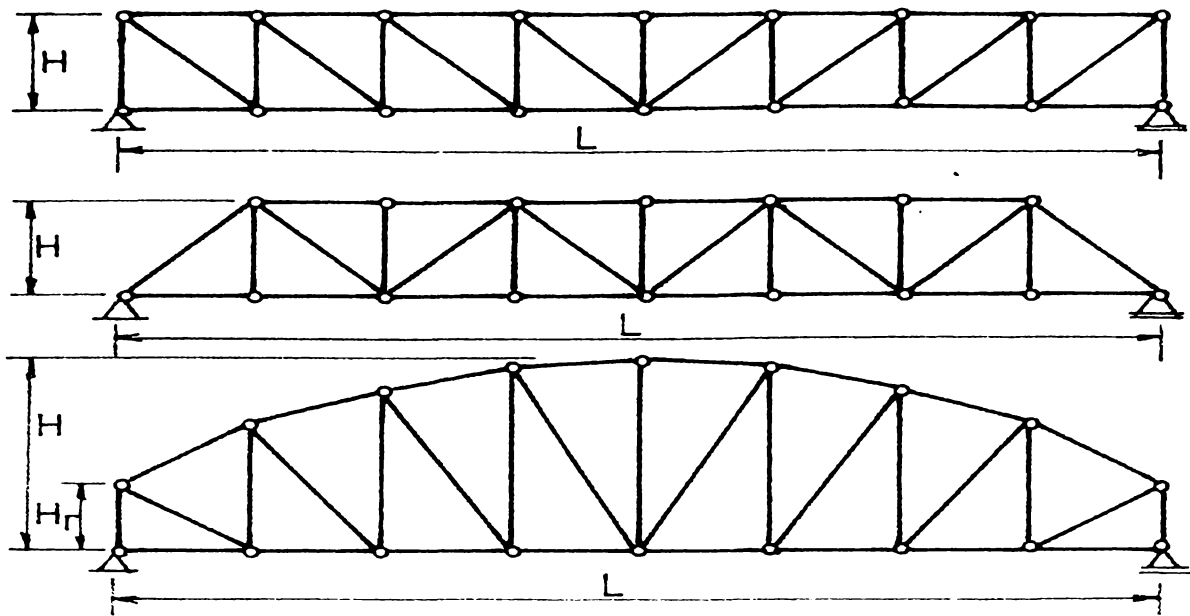


FIG. 4.22. Scheme de grinzi cu zabrele cu noduri articulate

La dimensionare sau verificare se tine cont de efectul momentelor incovoietoare provenite din rigiditatea nodurilor, prin majorarea efortului unitar provenit din forta axiala cu un coeficient  $\rho$ , dupa relatia:

$$\sigma_{ij(N,M)} = \rho_{ij} \cdot \sigma_{ij(N)} \quad (4.1)$$

unde coeficientul  $\rho$  se determina in functie de rigiditatea barei, asa cum se arata in figura 4.23.

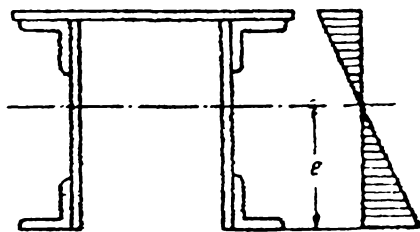


FIG. 4.23. Rigiditatea nodurilor grinzilor cu zabrele

Schema statica astfel descrisa, preferata in verificarile simple si rapide, necesita efectuarea unor calcule simple, putin laborioase comparativ cu situatia anterior descrisa.

Pentru calculul starii de eforturi din barele grinzilor principale pe baza schemei statice adoptate in figura 4.21, toate incarcările care actioneaza sunt modelate sub forma unor scheme de incarcare. Desi incarcarea grinzilor principale se face exclusiv prin intermediul antretoazelor, schemele de incarcare tin cont de liniile de influenta ale eforturilor din fiecare bara, pozitiile convoaielor, de calcul sau de incercare, stabilindu-se pe aceasta baza, asa cum se arata in figura 4.25.a pentru podul P-17, sub convoiul

de incercare format din 4 locomotive LDE 2100 si in figura 4.25.b sub convoiul de calcul T 8,5.

La grinzile cu zabrele cu talpa parabolica liniile de influenta sunt mai dificil de trasat deoarece pentru fiecare panou exista alt punct de intersectie al axelor talpilor superioara si inferioara, ceea ce face ca pentru diagonale si montanti, desi forma se pastreaza, valorile numerice ale ordonatelor de referinta corespunzatoare reazemelor sa fie diferite la fiecare panou. Pentru trasarea liniilor de influenta se pot determina valorile numerice ale ordonatelor in punctele caracteristice pe baza algoritmului prezentat in [4.11] si exemplificat in figura 4.24, printr-un program de calcul in EXCEL 7.0.

**Daca se noteaza cu:**

- $n = 1, 2, \dots$  -numarul panoului care cuprinde bara in discutie (la podurile vechi, asa cum rezulta si din tabelul 4.1, acest numar este cuprins intre 8 si 12);
  - $h_0, h_1, h_2, \dots$  -inaltimile montantilor, incepand cu cel de reazem;
  - $h_{st}, h_{dr}$  -inaltimea montantului din stanga, respectiv dreapta panoului;
  - $c_n$  -distanța punctului de intersectie al axelor talpilor din panoul 'n' fata de reazemul din stanga (A);
  - $d_n$  -distanța de la punctul  $c_n$  la diagonala din panoul 'n';
  - $h(A)$  -ordonata de referinta corespunzatoare reazemului din stanga (A);
  - $h(B)$  -ordonata de referinta corespunzatoare reazemului din dreapta (B);
  - $\eta_{st}, \eta_{dr}$  -ordonata din linia de influenta corespunzatoare punctului din stanga, respectiv dreapta al panoului care contine diagonala sau montantul,
- atunci, aplicand relatiile geometrice determinam distantele:

$$c_n = \frac{d \cdot h_{st}}{h_{dr} - h_{st}} - (n-1)d \quad (4.2)$$

$$d_n = \frac{(c_n + n \cdot d) \cdot h_{st}}{\sqrt{h_{st}^2 + d^2}} \quad (4.3)$$

iar din conditiile de echilibru static, rezulta ordonatele corespunzatoare reazemelor cu relatiile:

**a) pentru diagonale:**

$$h(A) = \frac{c_n}{d_n} ; \quad (4.4a)$$

$$h(B) = -\frac{L + c_n}{d_n} \quad (4.4b)$$

b) pentru montanti:

$$h(A) = -\frac{c_n}{c_n + n \cdot d} ; \quad (4.5a)$$

$$h(B) = \frac{L + c_n}{c_n + n \cdot d} \quad (4.5b)$$

Pe baza ordonatelor calculate pentru reazemele A si B cu relatiile (4.4)-(4.5), se traseaza triunghiurile cu varful in reazemul opus dupa care se calculeaza, prin asemanare de triunghiuri, ordonatele din linia de influenta corespunzatoare punctelor marginale ale panoului si se aplica corectia necesara pentru transmiterea indirecta pe lungimea panoului.

Ca date de intrare programul necesita: numarul de panouri n, deschiderea grinzii L si a panoului d, inaltimile montantilor. Pentru exemplificare se prezinta rezultatele calcului ordonatelor din liniile de influenta pentru grinda cu zabrele parabolica a podului de la Arad.

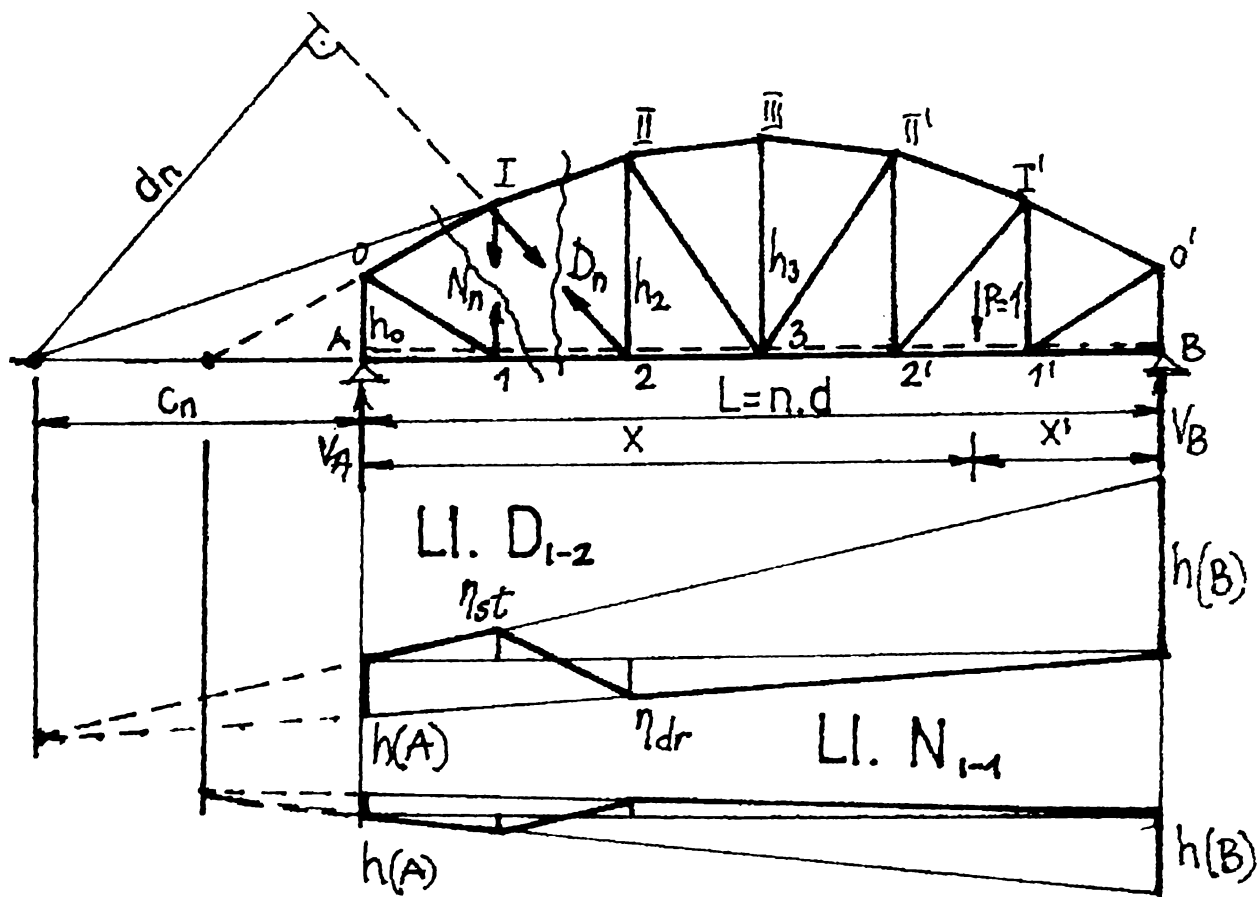


FIG. 4.24 Schema de calcul a coeficientilor liniilor de influenta

TABELUL 4.3

**CALCULUL COEFICIENTILOR**  
din LINIILE DE INFLUENTA A EFORTURILOR AXIALE

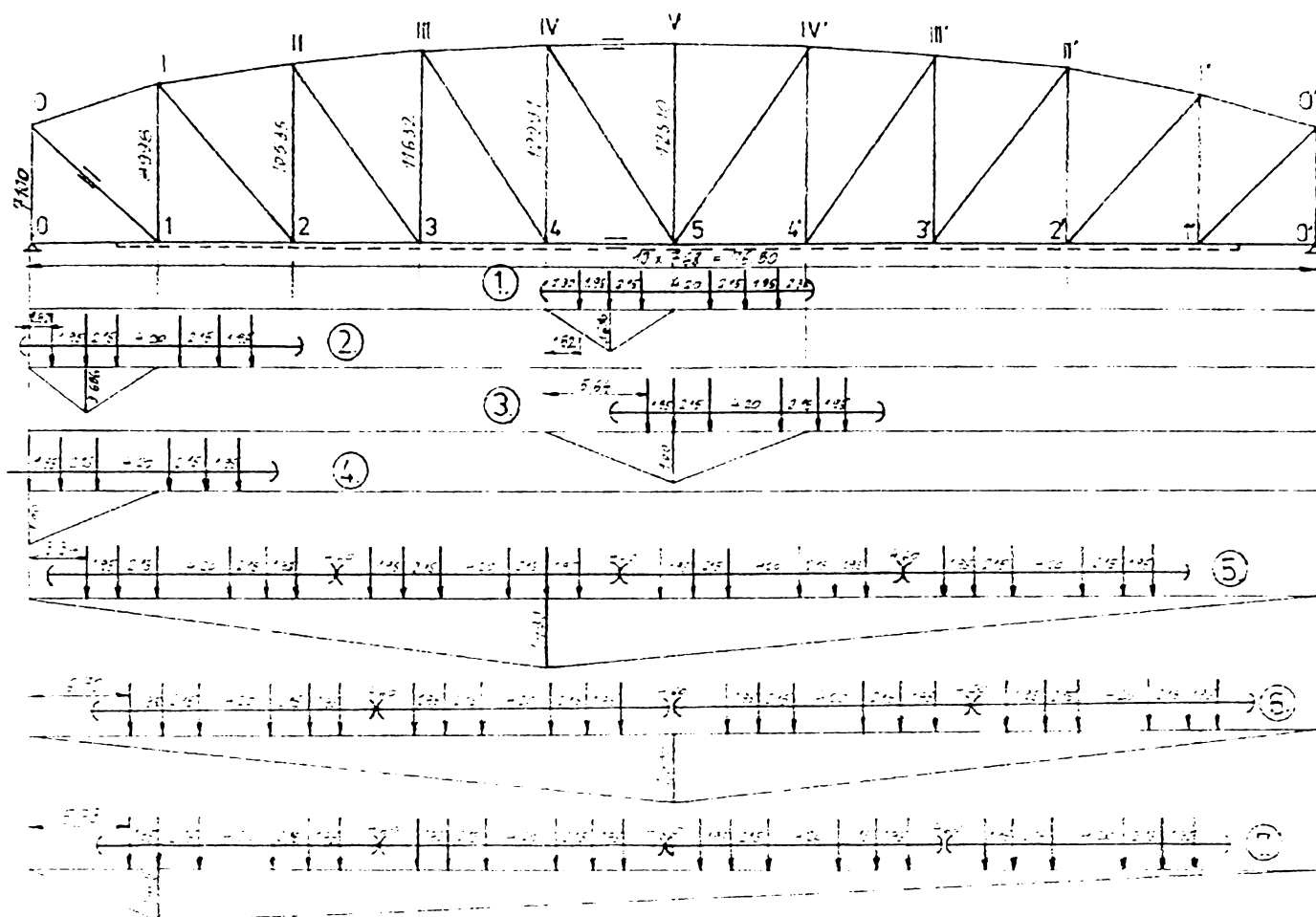
PODUL ARAD, deschiderea a II-a (gz talpa sup. parabolica)							
DIAGONALE descendente		panou II		panou IV			
n panouri=	10	panou I		panou III		panou V	
L=	d=	h0(A)=	h1=	h2=	h3=	h4=	h5=
76800	7680	7100	8998	10535	11632	12291	12510
	C <sub>n</sub>		28729,19	37280,73	58394,6	112519,6	400306,8
	d <sub>n</sub>		24715,86	40039,35	65805,04	119535,5	372048,2
	h(A)		1,162	0,931	0,887	0,941	1,076
	eta-stg.	0	-0,285	-0,411	-0,475	-0,513	
	h(B)		-4,270	-2,849	-2,054	-1,584	-1,282
	eta-dr.		1,046	0,745	0,621	0,565	0,538
MONTANTI		panou II		panou IV			
n panouri=	10	panou I		panou III		panou V	
L=	d=	h0(A)=	h I=	h II=	h III=	h IV=	h V=
76800	7680	7100	8998	10535	11632	12291	12510
	C <sub>n</sub>		28729,19	37280,73	58394,6	112519,6	400306,8
	d <sub>n</sub>		24715,86	40039,35	65805,04	119535,5	372048,2
	H(A)	-1	-0,789	-0,708	-0,717	-0,786	-0,912
	eta-dr			-0,631	-0,496	-0,430	-0,393
	H(B)	0	2,898	2,167	1,660	1,322	1,088
	eta-stg		0,290	0,433	0,498	0,529	0,544
TALPA SUPERIOARA		panou II		panou IV			
n panouri=	10	panou I		panou III		panou V	
L=	d=	h0(A)=	h I=	h II=	h III=	h IV=	h V=
76800	7680	7100	8998	10535	11632	12291	12510
	h(A)		-0,879	-1,379	-2,338	-2,509	-3,071
	h(B)		-7,913	-5,948	-4,669	-3,763	-3,071
	eta-max		-0,791	-1,103	-1,636	-1,505	-1,535
TALPA INFERIOARA		panou II		panou IV			
n panouri=	10	panou I		panou III		panou V	
L=	d=	h0(A)=	h I=	h II=	h III=	h IV=	h V=
76800	7680	7100	8998	10535	11632	12291	12510
	h(A)		0	0,854	1,458	1,981	2,499
	h(B)		0	7,682	5,832	4,622	3,749
	eta-max		0	0,768	1,166	1,387	1,500

4.3.2. Scheme statice si de incarcare pentru calculul de conlucrare spatiala

Modelarea structurii de rezistenta a suprastructurii podurilor metalice vechi in vederea efectuarii unui calcul de conlucrare spatiala, analizata in cap.I al lucrarii presupune stabilirea schemelor statice si de incarcare ale ansamblului tablierului, tinand cont de tipul si natura legaturilor



dintre elementele componente si de modul de preluare al incarcarii aferente fiecarui element al structurii.



**FIG. 4.25a** Scheme si pozitia de incarcare pentru convoaiele de incercare statica formate din 4 locomotive de tipul LDE 2100:

- 1) - **moment maxim pe lonjeronii din panoul central 4-5;**
- 2) - **moment maxim pe lonjeronii din panoul marginal 0-1;**
- 3) - **reactiuni maxime pe antretoaza centrala  $5_{amonte}-5_{aval}$ ;**
- 4) - **reactiuni maxime pe antretoaza finala  $0_{amonte}-0_{aval}$ ;**
- 5) - **efort axial maxim in talpa inferioara, panoul central 4-5;**
- 6) - **efort axial maxim in talpa superioara, panoul central IV-V;**
- 7) - **efort axial maxim in diagonala de reazem, in panoul 0-1.**

Determinarea schemei statice si a celei de incarcare necesare calculului spatial al structurii de rezistenta a unui pod metalic vechi, este exemplificata in continuare pentru cazul podului , considerand urmatoarele aspecte:

- 1) structura spatiala a tablierului rezulta din asamblarea, in principal a trei categorii de elemente plane, dispuse ortogonal intre ele, respectiv:
  - in plan vertical longitudinal, grinzile principale;

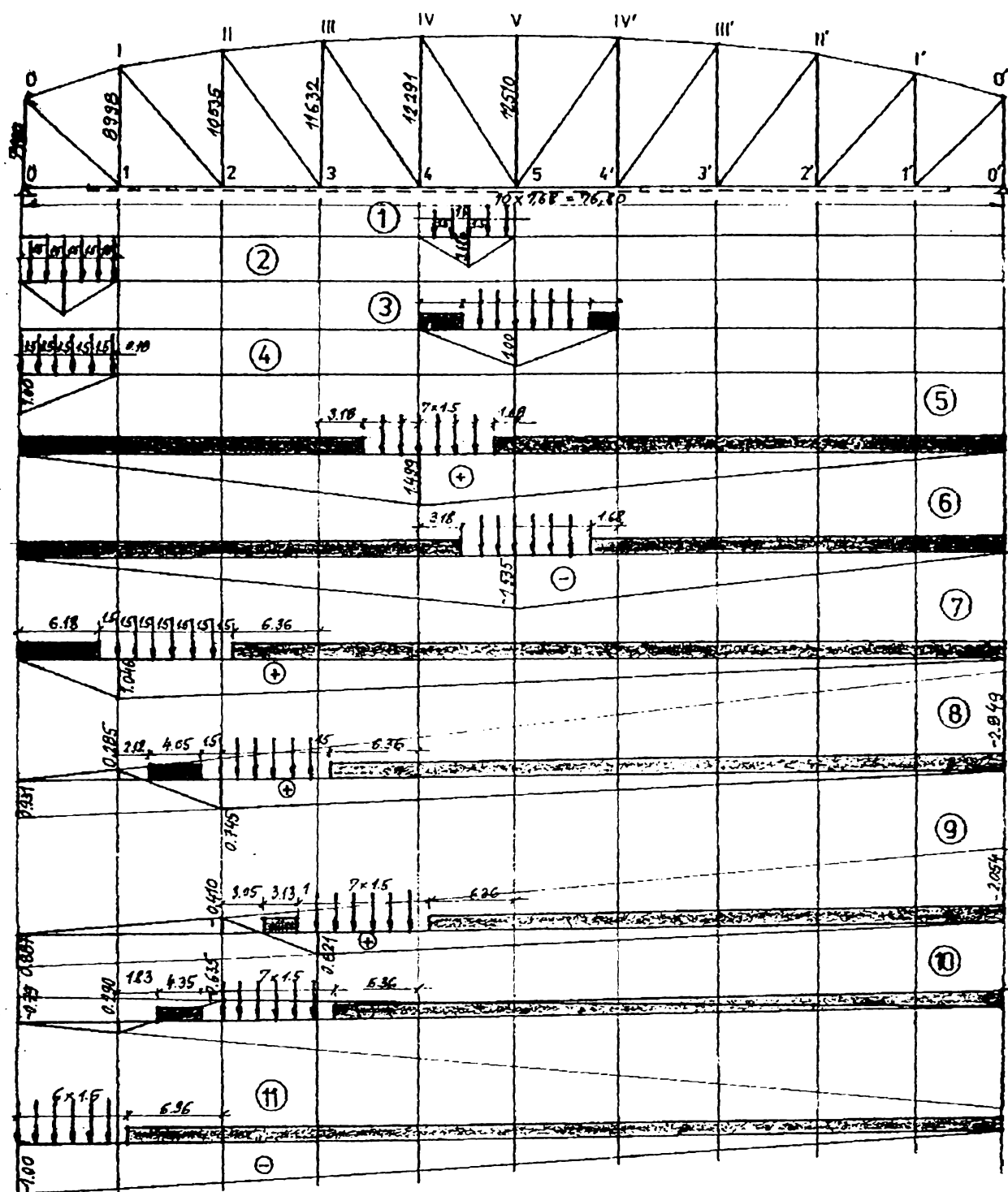


FIG. 4.25b Scheme si pozitia de incarcare pentru convoiul de calcul T8,5:

- 1) - moment maxim pe lonjeronii din panoul central 4-5;
- 2) - moment maxim pe lonjeronii din panoul marginal 0-1;
- 3) - reactiuni maxime pe antretoaza centrala  $5_{amonte}-5_{aval}$ ;
- 4) - reactiuni maxime pe antretoaza finala  $0_{amonte}-0_{aval}$ ;
- 5) - efort axial maxim in talpa inferioara, panoul central 4-5;
- 6) - efort axial maxim in talpa superioara, panoul central IV-V;
- 7) - efort axial maxim in diagonala de reazem, 0-1;
- 8) - efort axial maxim in diagonala I-2;
- 9) - efort axial maxim in diagonala II-3;
- 10) - efort axial maxim in montantul 1-I.
- 11) - efort axial maxim in montantul de reazem 0-0.

- in **plan orizontal longitudinal**, la nivelul caii, reseaua de grinzi ale caii (lonjeronii in sens longitudinal contravantuiti intre ei si antretoazele in sens transversal, imbinate cu lonjeronii in punctele de intersectie);
- in **plan orizontal transversal** (contravantuirile) la talpa de la nivelul caii, in cazul tablierelor deschise sau la ambele talpi in cazul tablierelor inchise.

2) in ansamblul structurii podului se produce, datorita existentei legaturilor reale dintre elementele situate in planele anterior mentionate, **fenomenul conlucrarii spatiale**, al carui grad de manifestare este influentat de o serie de factori ca:

- existenta in structurile reale a unor defecte si imperfectiuni generate de calitatea materialelor si a executiei;
- modificari ale sectiunii initiale ca urmare a unor deteriorari produse in timpul exploatarii sau a coroziunii;
- rigiditatea si modul de alcatuire al imbinarilor dintre elemente;
- tipul si solutia constructiva a tablierului.

Astfel, pentru podurile studiate (tabelul 4.1) evidentiind principalele elemente componente ale structurii de rezistenta a tablierului analizate in § 4.2.2., a rezultat geometria ansamblului spatial al structurii, dupa unul din modelele prezentate in figurile 4.1 sau 4.5.

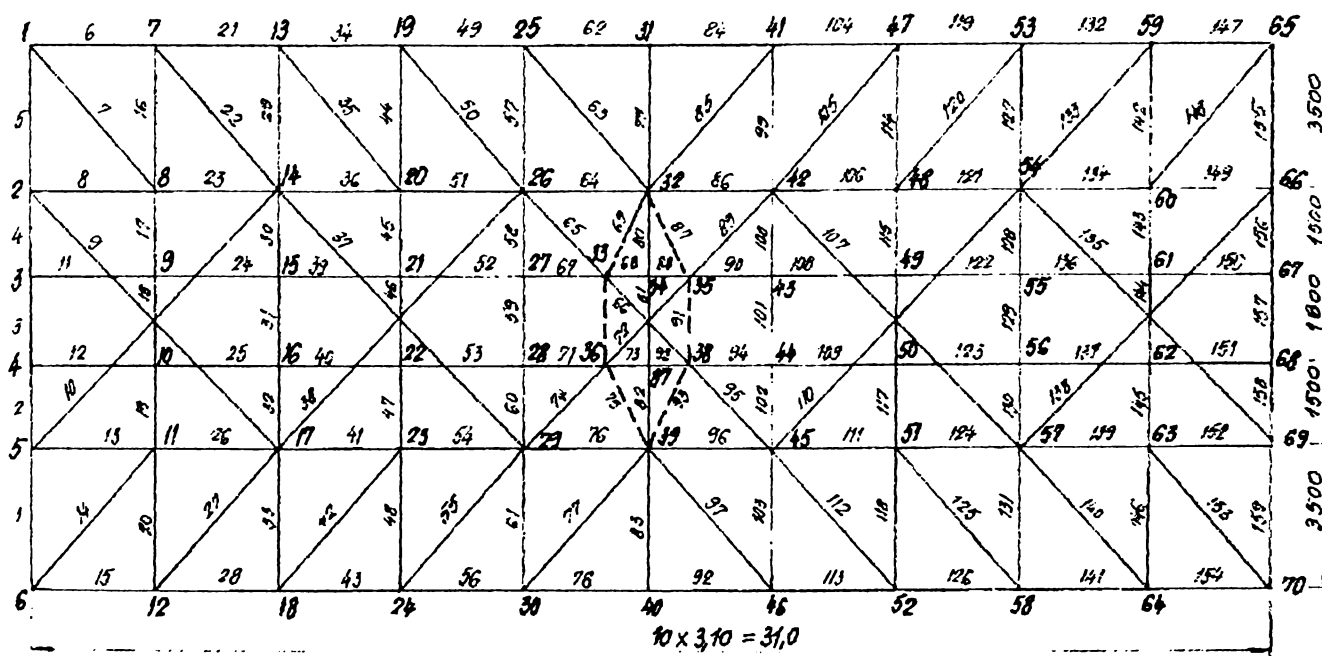
Schema statica a ansamblului spatial al structurii tablierului, cuprinzand:

- **grinzile principale cu noduri rigide**, rezemate la capete prin aparate de reazem speciale simple sau articulate in sens longitudinal si fixe in sens transversal;
- **antretoazele**, dispuse in sens transversal si prinse rigid in nodurile talpii de la nivelul caii ale grinzii principale;
- **lonjeronii**, dispusi in sens longitudinal, paraleli cu grinzile principale, la nivelul caii si rezemati prin prinderi rigide pe antretoaze;
- **sistemele de contravantuiri orizontale** plasate la nivelul talpilor grinzilor principale;
- **dispozitivele impotriva franarii**, plasate in sectiunile unde apar in structura podului ( la capetele sau mijlocul tablierului), facand legatura intre

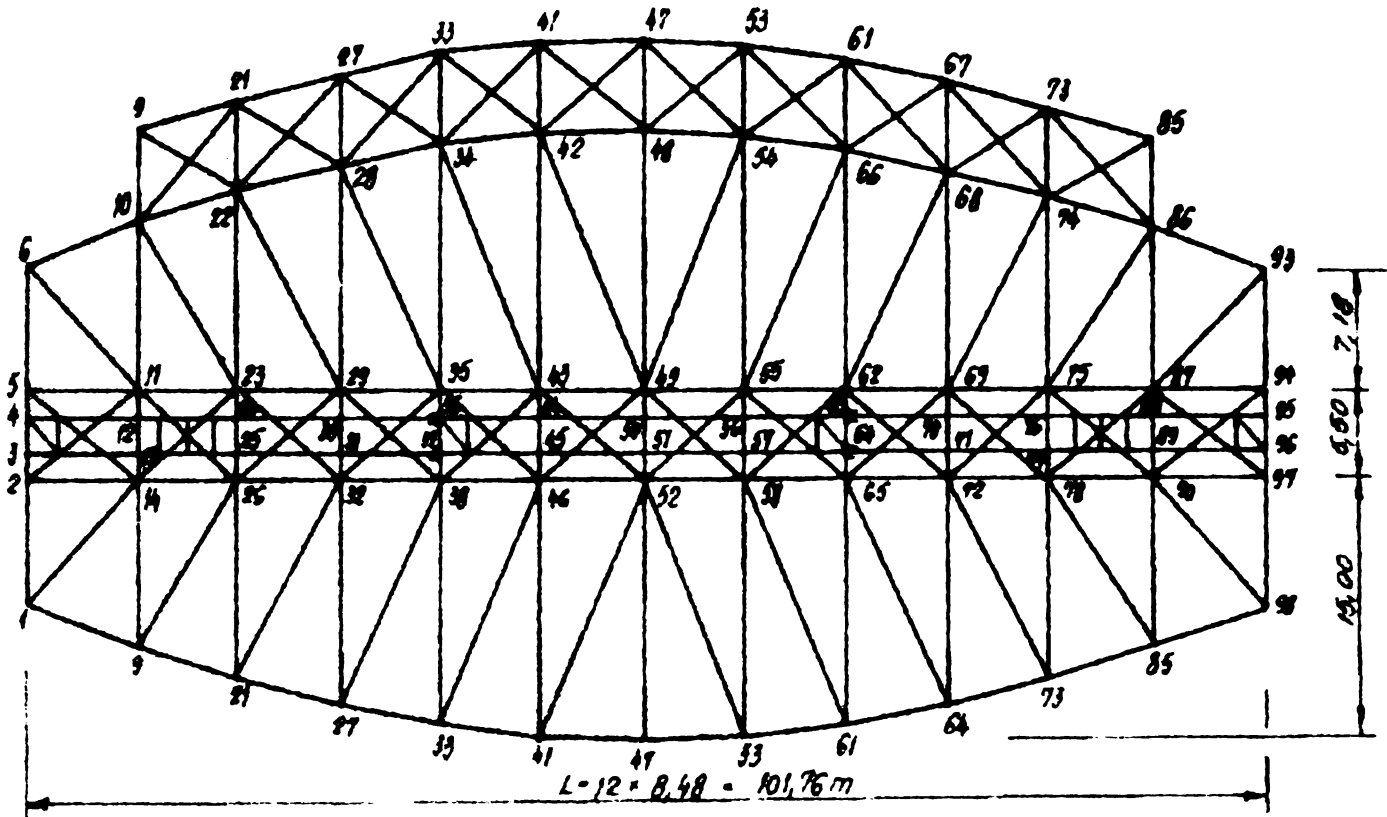
lonjeroni (contravantuirea lonjeronilor) si nodurile grinzilor principale de la talpa de la nivelul caii, a fost adoptata in urma analizarii gradelor de libertate ale legaturilor dintre elementele componente, respectiv a restrictiilor geometrice impuse sub forma unor rotiri ori deplasari, total sau partial impiedicate prin existenta respectivelor legaturi.

Modul de declarare al gradelor de libertate corespunzatoare acestor legaturi, in sistemul de coordonate generale (o:X,Y,Z) figurat, trebuie sa respecte cerintele programului de calcul automat utilizat pentru calculul structurii. Pentru calculul practic, in vederea simplificarii alcatuirii schemei de calcul spatial, se poate reprezenta schema spatiala rabatuta in planul grinzilor caii (planul oXZ), pozitia reala a nodurilor structurii din celelalte plane fiind marcata prin coordonate Y, respectiv Z, corespunzatoare. Acest mod de reprezentare a schemei structurii spatiale este exemplificat in figura 4.26.a, pentru un tablier cu calea jos deschis, podul P-03 (Domasnea), in figura 4.26.b, pentru un tablier cu calea jos inchis, podul P-02 (Mehadia), in figura 4.26.c pentru un tablier cu calea flotanta, podul P-17 (Arad) iar in figura 4.27, pentru un tablier cu calea sus, podul P-05 (Slatina-Timis).

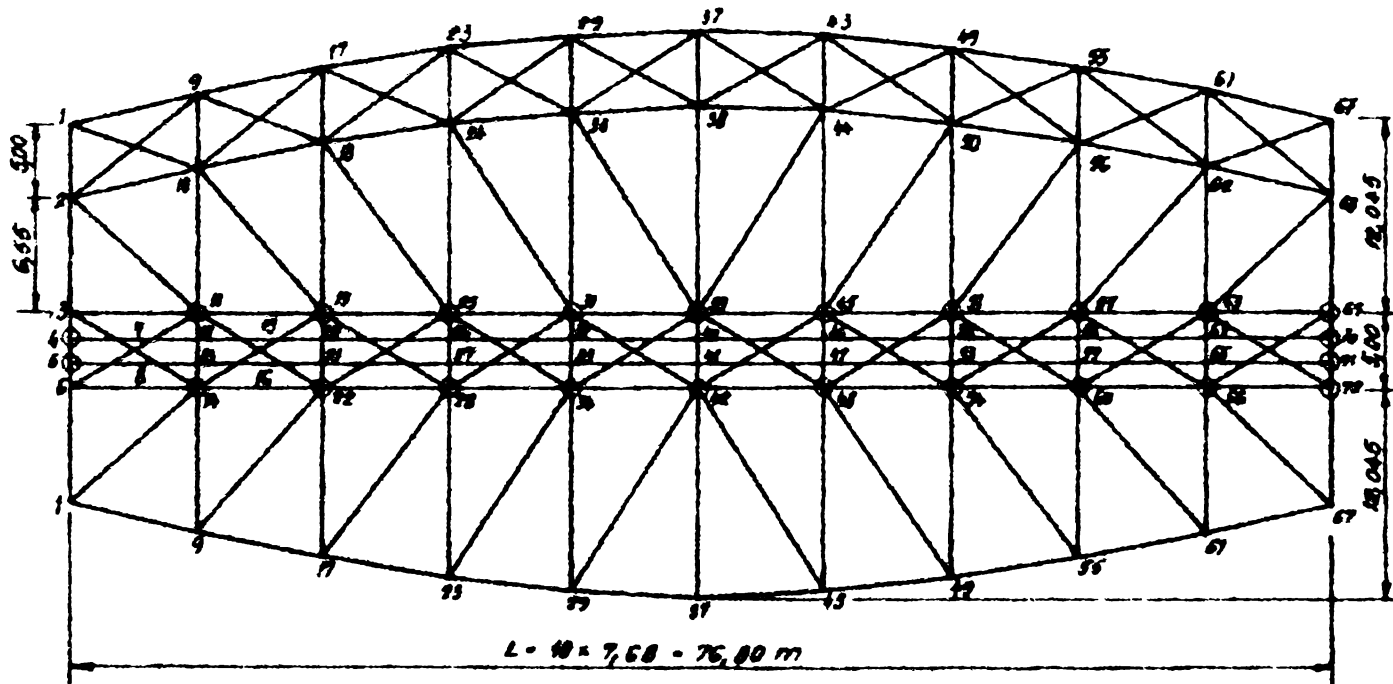
a) 70 noduri; 159 bare.



b) **NOTA:** = intrerupere lonjeroni; 98 noduri; 258 bare.

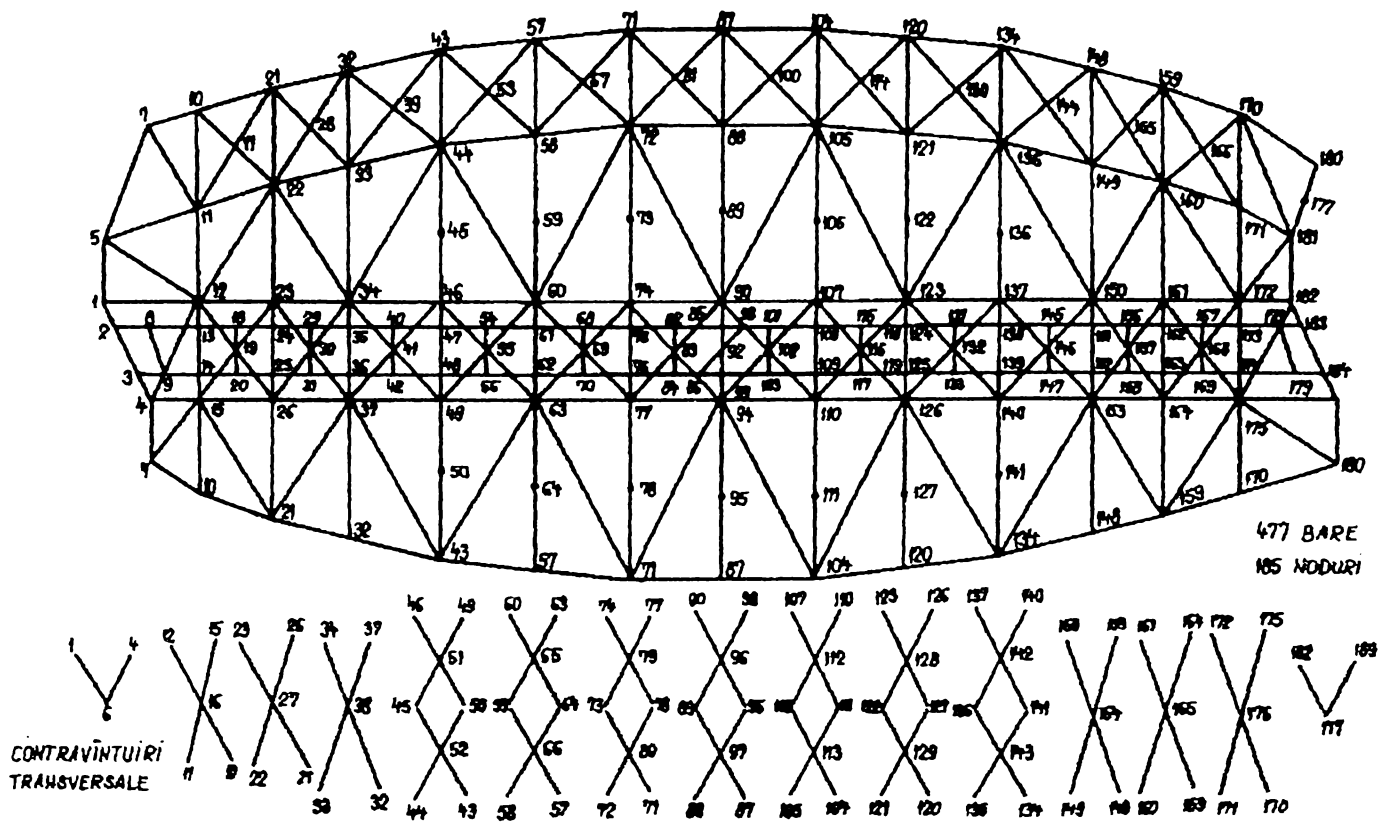


c) **NOTA:** ⊙ reazem articulată; 72 noduri; 192 bare.



**FIG. 4.26.b** Discretizarea structurii tablierului pentru:  
 a) podul de la Domasnea,  $L=31,0m$ , GZCJ, aliniament;  
 b) podul de la Mehadia,  $L=101,76m$  GZCJ;  
 c) podul de la ARAD, deschiderea I si 2,  $L=76,80m$  GZCJ-cale flotanta.





**FIG. 4.27** Discretizarea structurii tablierului pentru podul de la Slatina Timis,  $L=48,0$  m, GZCS, aliniament, oblicitate  $\alpha=60^\circ$

Schemele de incarcare ale ansamblului spatial al tablierului rezulta, in general, din evaluarea acelorasi actiuni considerate si pentru calculul plan, cu mentiunea plasarii lor specifice, corespunzator geometriei spatiale, in nodurile si pe elementele structurii unde se manifesta prezenta lor reala in concordanta cu situatiile cele mai defavorabile, stabilite din configuratia liniilor de influenta.

Schemele statice si de incarcare aferente ansamblului spatial al tablierului, au constituit elementele de baza pentru modelarea fizica a structurii de rezistenta, in vederea efectuarii calculului de conlucrare spatiala. Declararea pozitiei incargarilor pe schema statica de ansamblu a structurii s-a efectuat in concordanta cu cerintele programului de calcul automat utilizat pentru calculul structurii. In general , aceasta declarare se poate face fata de sistemul general de axe de coordonate ( $o: X, Y, Z$ ) sau daca programul utilizat permite, fata de sistemul local de axe ( $o_i: X_i, Y_i, Z_i$ ) atasat fiecarei bare "i", corespondenta cu ansamblul realizandu-se prin program, in functie de declararea nodurilor si a barelor.

### 4.3.3. Definirea schemei ideale si a schemei reale a structurii

Existenta imperfectiunilor si a defectelor care afecteaza structura de rezistenta a podurilor metalice existente aflate in exploatare si influenta lor asupra comportarii structurii sub incarcari, impune, in vederea determinarii sigurantei in exploatare, necesitatea definirii schemei reale de calcul a structurii in momentul analizei, schema care poate fi diferita fata de schema ideala initiala.

Schema ideala de calcul a suprastructurii podului poate fi considerata ca fiind cea conforma cu proiectul de executie, adica alcatuita din bare drepte, fara abateri dimensionale ale sectiunilor lor transversale, avand legaturi fie de tipul articulatiilor fie de tipul incastrarilor perfecte, cu materialul metalic neafectat de imperfectiuni structurale de natura concentrarilor de tensiuni sau variatii ale limitei de curgere iar inexactitatile geometrice provenite din montajul structurii cat si cele datorate exploatarei (consumarea contrasagetilor, eliminarea unor bare, slabiri ale imbinarilor, etc.), neglijabile. Pe baza unei scheme de calcul astfel determinata, ideala din punct de vedere geometric si mecanic, se poate efectua modelarea fizica a structurii de rezistenta a tablierului, necesara calculului plan sau de conlucrare spatiala, intr-o prima faza, aproximativa, a procesului de analiza a podului.

Schema cea mai apropiata de situatia reala a podului, numita schema de calcul reala a suprastructurii podului, se poate defini tinand seama de imperfectiunile, inexactitatile si abaterile care afecteaza inevitabil structura in perioada de executie, montaj si exploatare, deosebind-o de structura ideala, utilizata cel mai adesea, datorita simplificarii si facilitatilor pe care le prezinta, in calculele de verificare.

In acest sens, definirea schemelor de calcul reale ale tablierelor studiate, s-a efectuat luand in considerare urmatoarele aspecte:

- 1) din punct de vedere fizic, materialul metalic al elementelor structurii difera de materialul ideal, atat din cauza manifestarii imperfectiunilor structurale existente in otel inca din procesul de fabricatie (care la otelurile vechi au o dispersie ridicata) cat si a modificarilor microstructurale survenite in timp, care pot influenta proprietatile fizico-mecanice; cantitativ, aceste modificari

trebuie evaluate, de exemplu prin studii si cercetari asupra corelatiilor dintre rezultatele analizelor compozitie chimice, a analizei metalografice si a proprietatilor fizico-mecanice ale materialului, obtinute pe esantioane din structura.

2) din punct de vedere geometric, structura reala este, in mod inevitabil, diferita de cea ideala, datorita atat abaterilor si inexactitatilor provenite din faza de executie si montaj cat si deformatiilor si deplasarilor survenite in faza de exploatare; cantitativ, imperfectiunile geometrice mentionate trebuie evaluate prin studii si masuratori tehnico-topografice efectuate asupra structurii aflate in exploatare, cum ar fi: releveul sectiunii barelor si a dimensiunilor geometrice, masuratori asupra atacului prin coroziune, masuratori ale contrasagetilor, masuratori ale geometriei si positionarii axului caii fata de axul tablierului, modificari ale geometriei survenite in perioada de exploatare (de exemplu asigurarea gabaritului pentru electrificare care a condus la eliminarea sau inlocuirea unor bare din structura), modificari survenite in urma lucrarilor de reparatii capitale sau interventii in urma unor accidente sau calamitati.

3) din punct de vedere al actiunilor, convoaiele reale aflate in circulatie sunt diferite de convoaiele de calcul sau incercare si ca urmare vor produce o alta stare de eforturi si deformatii in structura spatiala, care genereaza vatamari care nu pot fi evaluate numai pe baza convoaielor de calcul; cantitativ, efectul produs de convoaiele de calcul se apreciaza prin masuratori asupra traficului prezent si studii asupra traficului trecut si viitor.

Definirea unei astfel de scheme a structurii de rezistenta, considerata schema reala deoarece modeleaza cat mai fidel posibil comportarea structurii, necesita efectuarea unor studii si cercetari experimentale laborioase si adesea costisitoare, ale caror rezultate sa dea posibilitatea alcatuirii bazei de date privind atat starea materialului metalic inglobat in structura cat si starea tehnica a tablierului.

Programul de studii teoretice si cercetari experimentale, prezentat in paragraful 1.5, intocmit si derulat pentru analiza comportarii in exploatare a podurilor metalice vechi din Regionala CF Timisoara, rezultatele obtinute si interpretarea lor, utilizate apoi pentru modelarea fizica si geometrica a structurilor reale, sunt prezentate detaliat in subcapitolele urmatoare.

#### 4.3.4. Calculul structurii; ipoteze si rezultate

In cadrul programului de cercetari asupra podurilor metalice existente s-au efectuat si analize teoretice, prin calcul, a starii de eforturi unitare din structura, in doua faze, determinate de necesitatile procesului de expertizare, si anume:

- **faza I-a**, legata de efectul incercarilor cu convoaie de proba;
- **faza a II-a**, legata de efectul incercarilor din convoiul de calcul standardizat, T 8,5.

Principalele etape de calcul sunt prezentate succint in logigrama din figura 4.28.

In prima etapa printr-un calcul plan simplificat conform [4.9], s-au determinat pozitiile cele mai defavorabile ale convoiului de incercare, pentru elementele in care se efectueaza masuratori, cu care apoi s-a determinat starea de eforturi unitare si deformatii din acele elemente care s-a comparat cu rezultatele obtinute prin masuratorile directe respectiv cu cele obtinute prin analiza structurii intr-un calcul de conlucrare spatiala a elementelor componente, condus pe schema de calcul spatiala, definita asa cum am aratat in paragraful 4.3.2. Comparatia intre valorile eforturilor unitare masurate si cele calculate spatial a pus in evidenta modul acceptabil de discretizare a structurii sub forma unui sistem spatial de bare cu noduri rigide.

In continuare, in etapa a II-a, s-a trecut la incarcarea structurii spatiale cu convoiul de calcul standardizat, T 8,5 utilizand aceeasi schema de discretizare spatiala, in care s-au considerat toate elementele principale ale structurii: lonjeroni, antretoaze, grinzile principale, contravantuiri si dispozitive de franare. In mod simplificat s-a admis ca elementele de rezistenta ale caii se gasesc in acelasi plan cu talpa grinzii principale de la nivelul caii (talpa inferioara la GZCJ, respectiv talpa superioara, la GZCS). S-a tinut seama si de particularitatile constructive ale fiecarui tablier ca: intreruperea lonjeronilor, cale flotanta, etc.

Pentru analiza situatiilor extreme asupra fiecarui element, pozitiile convoiului de calcul s-au ales pentru fiecare bara, in functie de linia de influenta respectiva, concretizandu-se in ipoteze de incarcare distincte, atat pentru incarcările verticale din gruparea I-a fundamentala cat si pentru incarcările orizontale din gruparea a II-a fundamentala suplimentata, conform standardului in vigoare [4.10].



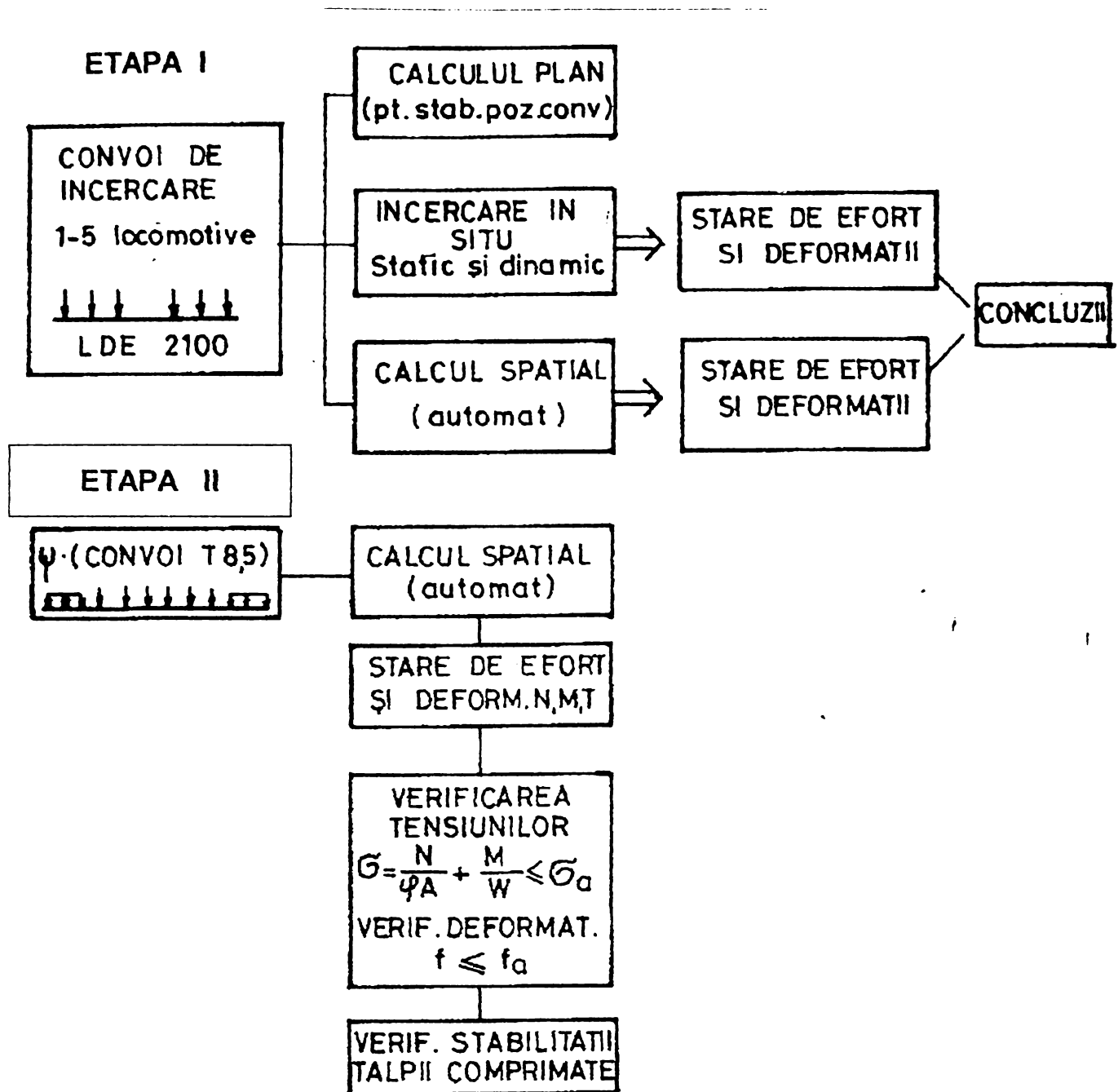


FIG. 4.28 Logigrama operatiilor de calcul ale structurii

Calculul automat al structurii spatiale s-a efectuat, in cazul podurilor analizate, cu ajutorul unui calculator de tipul CORAL 4021, utilizand programul specializat de calcul al structurilor din bare cu noduri rigide, GIPSI 02, elaborat la COCC Bucuresti [4.12]. Datele de intrare in program s-au introdus prin intermediul display-ului.



In final programul furnizeaza starea de deformatie, prin deplasările elastice ale nodurilor structurii și starea de eforturi sectionale (N, T, M) la capetele barelor, cu care se pot determina eforturile unitare din secțiunea transversala a elementelor in discutie și compara cu valorile lor admisibile. In acest fel se poate aprecia capacitatea de rezistență și rigiditate a structurii, in funcție de valorile numerice obtinute luandu-se măsurile care se impun.

Complexitatea structurilor, concretizata printr-un număr mare de noduri și bare, numărul relativ mare de date de intrare aferent ipotezelor de incarcare, cantitatea considerabila a rezultatelor oferite de program (unele neinteresante din punctul de vedere al verificarilor) conduc la un volum ridicat de munca.

In ultimii ani inșă, tehnica computerelor a progresat foarte mult, in prezent buna dotare cu PC-uri alături de existenta unei multimi de programe de analiza a structurilor, chiar mai evolute, faciliteaza acest mod de calcul.

#### 4.4. INCERCARI DE PROBA

##### 4.4.1. Incercari functionale pentru determinarea starii de eforturi si deformatii din structura

Pentru determinarea prin masuratori experimentale a starii de eforturi unitare si deformatii din structura tablierului s-a conceput si aplicat un amplu program de masuratori experimentale sub efectul unor convoaie de proba, care au actionat atat in regim static cat si in regim dinamic, la diferite trepte de viteza. Programul de incercari si masuratori "in situ" a fost conceput ca sa furnizeze informatii legate de starea de deformatie din structura, prin masuratori asupra sagetilor, respectiv asupra starii de tensiune din structura, prin masuratori asupra eforturilor unitare in punctele semnificative pe diversele elemente componente, utilizand tehnici specifice de masurare, si care apoi sa fie comparate cu rezultatele similare obtinute prin calcul. In urma acestor comparatii se vor putea stabili corelatii intre estimarile prin calcul si comportarea structurii reale, pe care sase bazeze metodologia de verificare a capacitatii portante a tablierelor podurilor metalice existente.

Incercarile si masuratorile experimentale necesare a fi efectuate pe structura reala au fost corelate si cu dotarea tehnica cu aparatura de masura si inregistrare si se refera la:

1) **determinarea starii de coroziune** a tablierului concretizata prin relevee a starii de coroziune a principalelor elemente de rezistenta si a imbinarilor podului, completate cu indicarea unor coeficienti de slabire a sectiunilor initiale datorita coroziunii;

2) **masuratori de deplasari** generale ale structurii, in regim static si dinamic, prin inregistrarea modificarilor contrasagetilor initiale si a sagetilor elastice sub actiunea statica a convoiului sau sub actiunea lui in mers;

3) **masuratori ale eforturilor unitare** in puncte caracteristice, utilizand tehnicile cunoscute din tensometria electrezistiva.

Pentru fiecare pod in parte s-a intocmit un proiect de incercare care a detaliat toate fazele masuratoriloae si incercarilor si a stabilit, in functie de criteriile generale prezentate mai sus dar si de particularitatile fiecărei structuri, tehnicile de masurare precum si echiparea podului cu traductori electrezistivi in punctele de masurare cat si ipotezele de incarcare cu precizarea pozitiilor convoaielor de proba.

#### 4.4.2. Operatii pregatitoare pentru efectuarea incercarilor de proba

Inercarea "in situ" a fiecarui pod, operatie complexa, foarte laborioasa si costisitoare, a presupus desfasurarea unor actiuni pregatitoare distincte si bine evidentiate in cadrul proiectului de incercare.

Principalele etape ale acestui proces si continutul lor sunt prezentate in continuare:

1) Stabilirea elementelor, a sectiunilor caracteristice si a punctelor in care se fac masuratori si alegerea unui sistem de identificare ulterioara a acestora, necesar la prelucrarea rezultatelor masuratorilor; Pentru fiecare pod s-au analizat:

- lonjeronii, in deschiderea marginala si centrala;
- antretoaza finala in camp;
- antretoaza centrala in camp;
- barele cu efort maxim ale grinzilor principale cu zabrele (panoul maxim de la talpa superioara, un panoul maxim de la talpa inferioara, diagonala de reazem, un montant);
- alte elemente.

2) Stabilirea, pe baza liniilor de influenta ale efortului sectional caracteristic al fiecarui element, a pozitiiilor cele mai defavorabile a convoiului de incercare in regim static, atribuirea unei identitati fiecarei pozitii si apoi materializarea acestor pozitii prin insemnarea pe calea podului (de obicei prin repere, trasate cu vopsea pe sina, care indica pozitia primei roti a locomotivei calde).

3) Echiparea tablierului cu tehnica si echipamentele necesare pentru efectuarea masuratorilor si inregistrarea datelor. Echiparea tablierelor s-a facut cu traductori electrorezistivi (TER) cu rezistenta ohmica  $R = 120\Omega$  si baza de masura activa  $L = 10\text{mm}$  (tip TER 10 H120 avand  $K=2,00$ ), pe suport celulozic pentru masuratori in regim static si pe suport poliamic sau poliamidic pentru masuratori in regim dinamic, de fabricatie Hottinger sau Vishay.

Echiparea elementelor analizate s-a facut dupa cum urmeaza (figura 4.29):

- **pentru lonjeroni**, cate 4 TER montati la mijlocul panoului, la nivelul fibrelor extreme, pe talpa inferioara si superioara, simetric fata de axa verticala a sectiunii transversale (figura 4.30a);
- **pentru antretoaze**, cate 4 TER montati la mijlocul grinzii, la nivelul fibrelor extreme, pe talpa inferioara si superioara, simetric fata de axa verticala a sectiunii transversale;

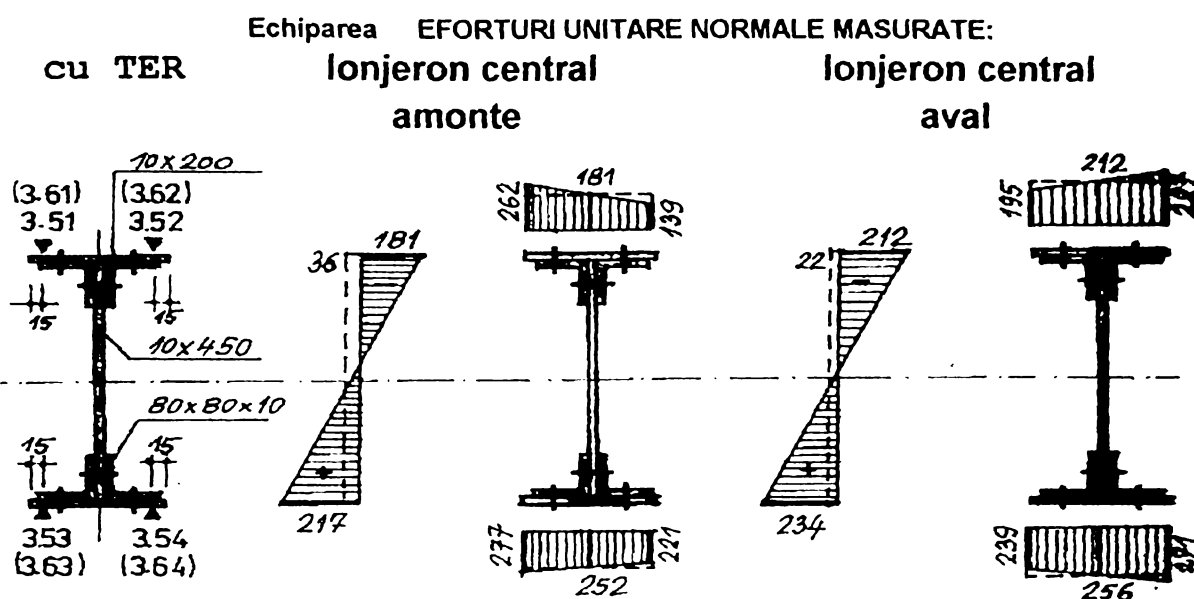


FIG. 4.29 Echiparea punctelor de masura cu traductori electrorezistivi, TER si valorile tensiunilor normale masurate

- pentru talpa superioara si inferioara a grinzii principale, cate 4 TER montati la mijlocul panourilor centrale pe cele doua grinzi principale, la nivelul fibrelor extreme ale sectiunii transversale, simetric fata de axa verticala a sectiunii transversale.
- pentru diagonalele cele mai solicitate ale grinzilor principale, cate 4 TER montati la mijlocul panourilor centrale pe cele doua grinzi principale, la nivelul fibrelor extreme ale sectiunii transversale, simetric fata de axa verticala a sectiunii transversale.
- pentru alte elemente (montanti, contravantuiri, rigle, etc.), cate 2 TER, montati in punctele extreme ale sectiunii transversale.



FIG. 4.30 Montajul si protectia traductorilor electrorezistivi

Pentru masurarea apasarilor pe sina aduse de roțile convoiului s-au dispus, la capetele podului, **cantare tensometrice**, un montaj (figura 4.30b) de 8 traductori care se monteaza pe fiecare sina si permite masurarea si inregistrarea apasarilor pe roata. Aceste cantare au fost utilizate pentru verificarea valorilor apasarilor pe roata, rezultate din fisele tehnice ale locomotivelor convoiului de incercare, respectiv pentru masurarea si inregistrarea greutatii trenurilor din traficul real prezent.

In general, pe fiecare pod analizat s-au montat cel puțin, 44 TER pentru inregistrarea eforturilor unitare in elementele structurii si 16 TER in cantarele tensometrice. Acesti traductori s-au lipit cu adezivi rapizi speciali (de tip cianoacrilici) in sectiunile si punctele stabilite in proiectul de incercare si au fost protejati in mod corespunzator cu masuri specifice de protectie aplicate in mai multe straturi. Pentru inregistrarea rezultatelor s-a realizat un lant de masura constituit din: traductorii elecromagnetici, cabluri tensometrice de legatura cu 4 fire si blindaj de protectie contra curenților paraziti, cutii de comutare tip Vishay cu 10 canale si punți de masura tensometrice autocompensate termic tip VISHAY cu precizie de rezolutie in efort unitar de 3 daN/cm<sup>2</sup>. Rezolutia de masurare este mai buna in barele cu eforturi mai mari asa incat s-au ales pentru masurare barele si sectiunile cu eforturi sectionale maxime.

Pentru incercarile in regim dinamic s-au folosit inregistratoare cu 6 canale, tip RAPET-KYOVA (Japonia), cu spot UV si inregistrare pe hartie fotosensibila autodevelopanta. Incercarile s-au facut la minimum trei trepte de viteza, cuprinse intre viteza minima de 5 km/h si viteza maxima de circulatie admisa pe sectia de circulatie adiacenta podului. Convoaiele pentru incercarile dinamice vor fi atat convoaiele de proba, folosite la incercarile statice cat si trenurile reale aflate in circulatie.

#### **4.4.3. Incercari, masuratori si determinari "in situ"**

##### **4.4.3.1. Aprecierea starii de coroziune**

Pentru aprecierea starii de coroziune a elementelor de rezistenta ale structurii s-a combinat, in functie si de conditiile locale specifice, examinarea vizuala amanuntita cu una din urmatoarele metode:

I) **metoda masuratorilor directe**, care s-a aplicat la elementele accesibile pe ambele fete, prin masurarea directa a dimensiunilor cu sublerul sau micrometrul, dupa indepartarea prealabila a straturilor de vopsea de protectie.



II) **metoda combinata**, masuratori directe la care s-au adaugat masuratori cu aparate de masurat grosimi cu fascicol ultrasonic, pe elemente curatate de vopseaua de protectie. S-au folosit aparate de tipul UNIPAM 545 LC, cu citire digitala si precizie de 0,1 mm. Aparatele s-au calibrat pe elemente etalon extrase din structura tablierului iar apoi s-a determinat viteza de propagare a undelor ultrasonice in metalul respectiv, pe epruvete prelucrate, folosind un aparat transmisie-receptie, de tip UNIPAM 543, care permite masurarea timpului de parcurs al fascicolului US cu precizia de 0,02  $\mu$ sec. Prin comparare cu viteza de propagare a fascicolului US in elementul etalon s-a putut determina viteza de propagare in stratul de vopsea.

III) **metoda de masurare globala**, prin care s-au facut masuratori pentru elementele accesibile numai pe o singura fata (de exemplu, la eclisele joantelor) masurandu-se cu aparate cu US grosimea metalului iar cu aparate electromagnetice (ultrametrul tip A-91 sau A-80 NCO) grosimea stratului de vopsea.

Pentru fiecare pod din seria celor analizate s-a efectuat o examinare vizuala a intregului tablier insistandu-se asupra grinzilor caili, a zonelor in care poate stagna apa si asupra nodurilor talpii inferioare. Pentru fiecare deschidere s-au ales apoi elementele considerate vizual mai atacate de rugina si s-au efectuat masuratori cu aparatura din dotare.

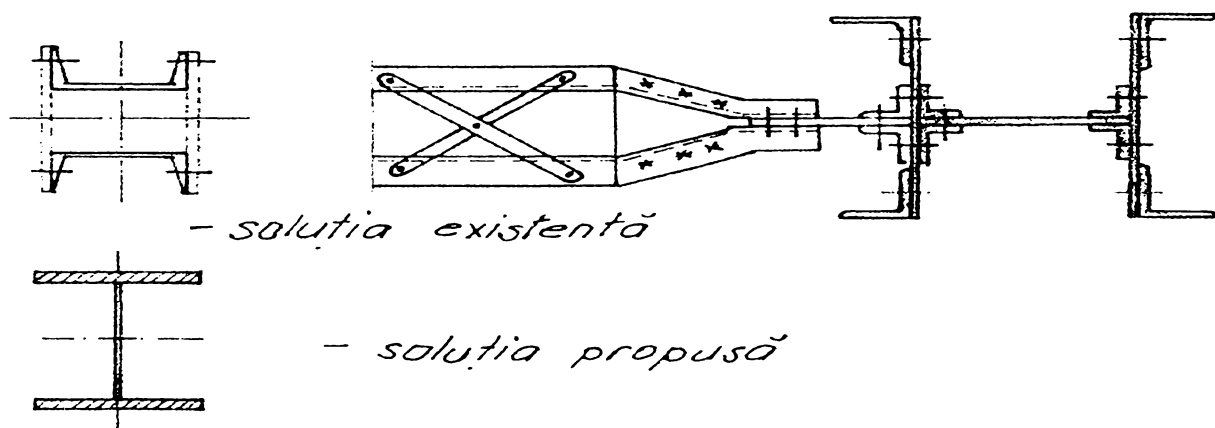


FIG. 4.31. Realizarea constructiva gresita a barelor contravanturii generale si solutia de remediere

Cu unele exceptii, contravantuirea generala a podului de la Mehadia gresit conceputa (figura 4.31) si in urma expertizei inlocuita, masuratorile efectuate prin sondaj in cate doua sectiuni, a elementelor considerate mai vulnerabile nu au relevat decat atacuri reduse, strict locale care nu pot fi extrapolate ca reduceri de sectiune, micile diferente intrand in tolerantele de masurare si executie.

Trebuie mentionat ca masuratorile s-au efectuat cu precadere in campul elementelor zonele imbinarilor neputand fi verificate prin desfacere, in timpul incercarilor. Pentru podul de la Sag-Timiseni, la care ulterior s-au inlocuit tablierele ultimelor trei deschideri, s-au verificat prin desfacere imbinarile dintre: platbenzile talpilor, lonjeron-antretoaza si antretoaza-grinda principala, care nu prezentau urme de scurgeri de rugina la nituri si s-a constatat ca acestea se pastreaza in stare foarte buna raportata la situatia de montaj. Aceasta constatare a confirmat observatiile similare facute la incercarile "in situ", cu ocazia desfacerii zabrelutelor de solidarizare a sectiunilor compuse, din care s-au confectionat epruvetele pentru incercarile fizico-mecanice si metalografice (figura 4.32a), despre care s-a vorbit in capitolul II.

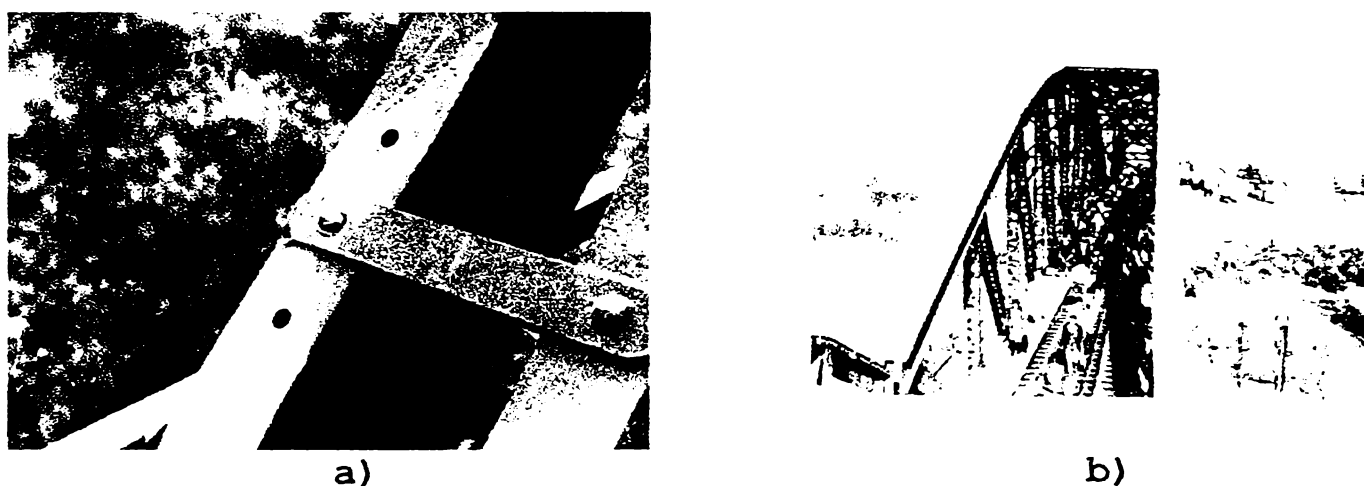


FIG.4.32 Starea de conservare a tablierului de la Sag-Timiseni  
a) Diagonala sub imbinarea zabrelutelor; b) ansamblu tablier.

#### 4.4.3.2. Masuratori de deformatii

Masuratorile de deformatii au constat in:

1) **masurarea contrasagetilor** existente in structura;

Normele actuale [4.10] prevad ca podurile metalice sa fie executate cu o contrasageata, masurata la mijlocul deschiderii, data de formula:

$$f_{cs} = f_g + \frac{1}{4} \cdot f_p \quad (4.6)$$

unde:  $f_g$  reprezinta sageata din greutatea permanenta;

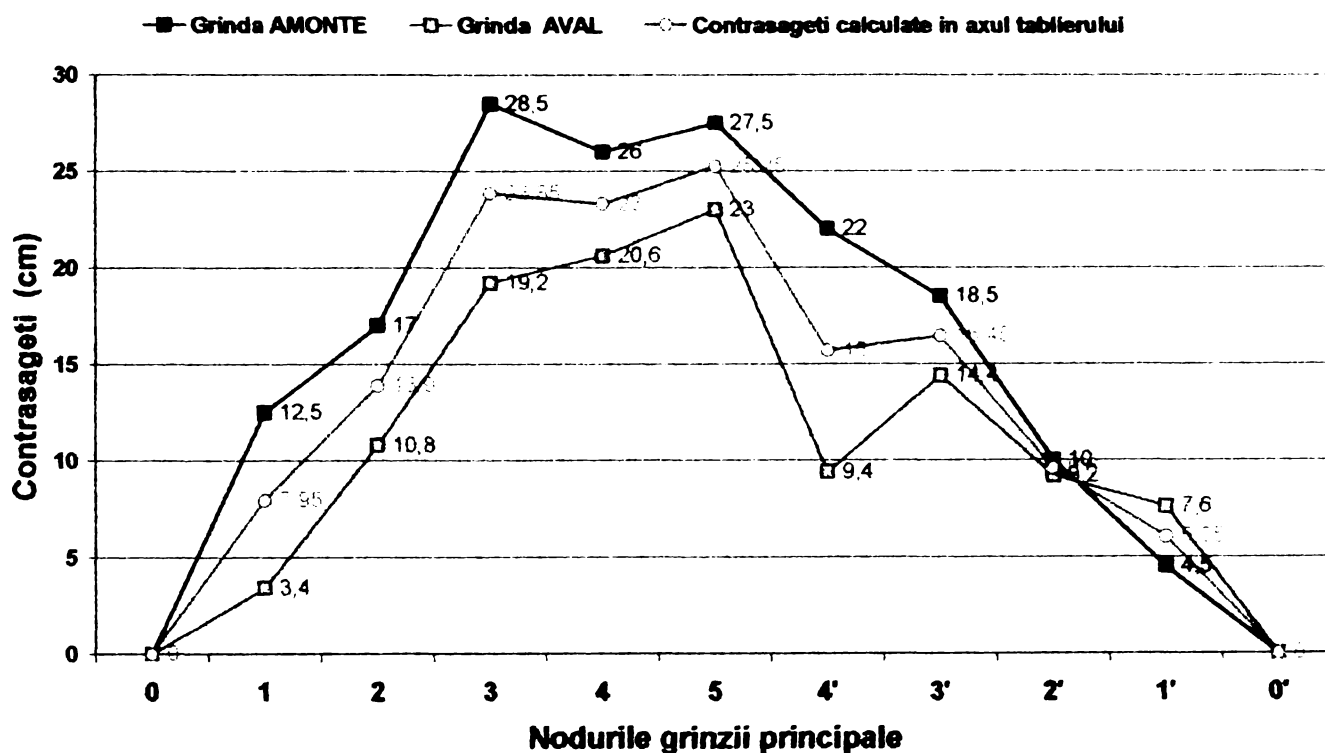
$f_p$  reprezinta sageata din convoi,  $f_{pmax} = L/500$ ,

iar absenta contrasagetilor pune in evidenta eventuale jocuri in imbinari sau eventuale avarii si reparatii care nu sunt in evidenta precum si o crestere a coeficientilor dinamici.

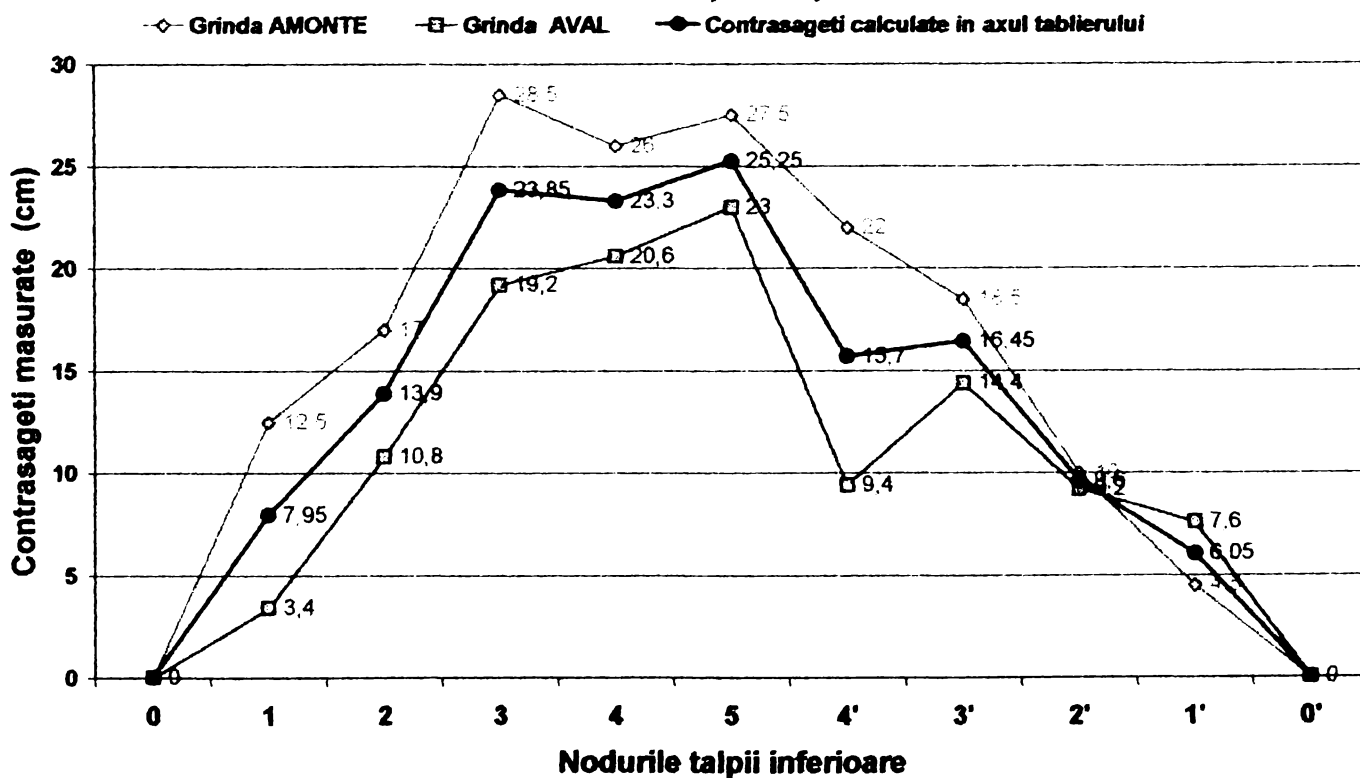
Contrasagetile existente in prezent s-au masurat prin metode optice folosind o nivela de precizie, masuratorile efectuandu-se pe talpa superioara a antretoazelor langa imbinarea cu grinda principala.

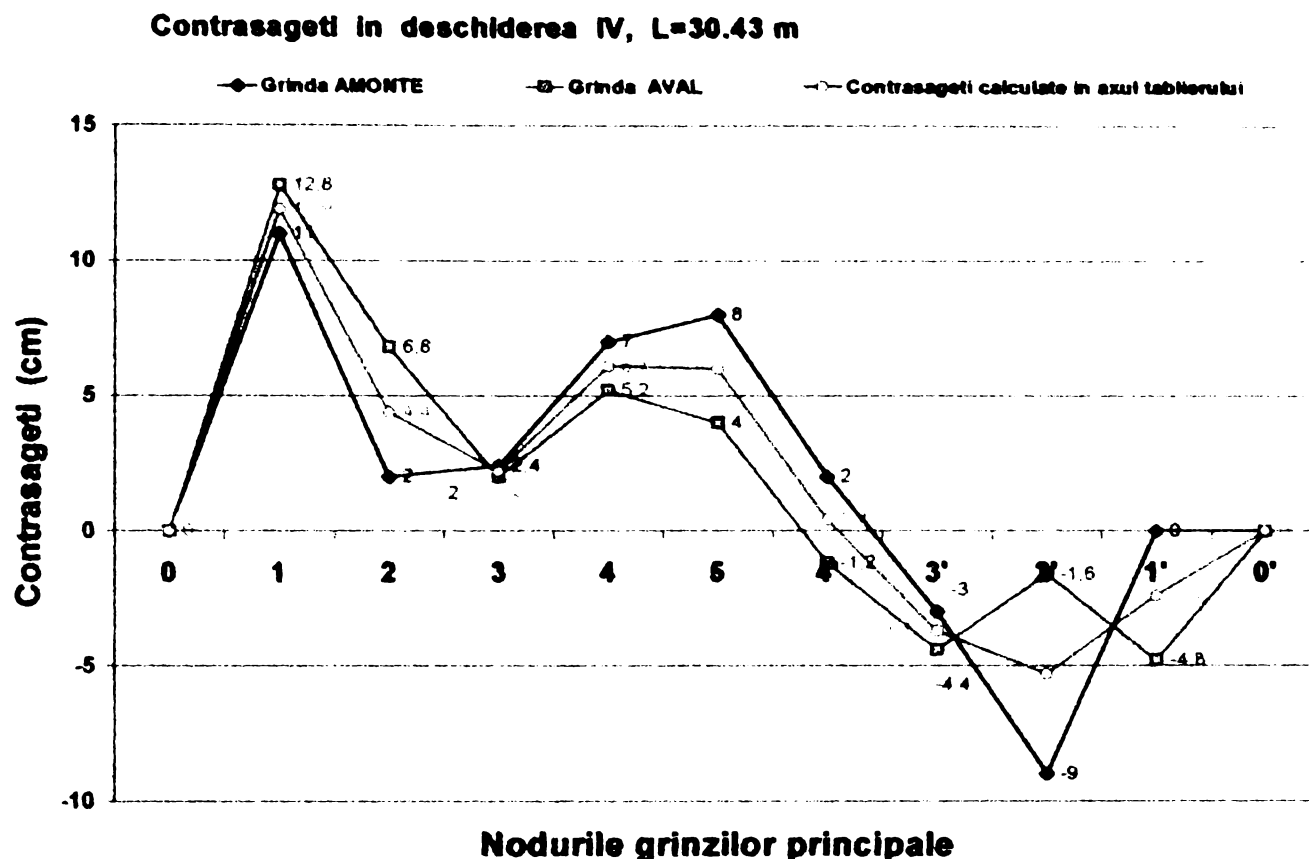
In graficele din figura 4.33 sunt aratate contrasagetile masurate pentru cele doua grinzi principale (amonte si aval) in deschiderile I(a), II(b) si IV(d).

**Contrasageti in deschiderea I, L=50.65 m**



**Deschiderea II, L=66.22 m**





**FIG. 4.33** *Contrasageti masurate la Podul P-08 Sag-Timiseni*

2) **masurarea sagetilor elastice** sub convoaiele de proba in regim static, in pozitia de moment maxim-maximorum a convoiului, utilizand metoda firului de invar autocompensat, prin citirea directa pe mire montate pe structura. Desi s-a analizat si utilizarea metodei optice cu nivela, cu precizie mai buna, s-a renuntat la aceasta deoarece era prea complicata, necesitand si masuratori de tasari ale aparatelor de reazem (ale infrastructurilor), metoda precedenta asigurand o precizie suficienta, de 0,5 mm, permitand si o citire rapida in puncte multiple, cu efect favorabil asupra timpului de desfasurare a incercarilor, limitat de inchiderile de circulatie posibil a fi obtinute si de timpul de imobilizare a locomotivelor necesare pentru convoiul de incercare.

In regim static s-au masurat sagetile la toate deschiderile sub convoiul de incercare, folosind metoda firului de invar autocompensat tensionat la  $(0,7-0,8)R_c$ , cu o precizie de citire  $\pm 0,5$  mm. Pentru comparatie s-au si calculat sagetile masurate cat si sagetile maxime din actiunea convoiului de calcu standardizat.

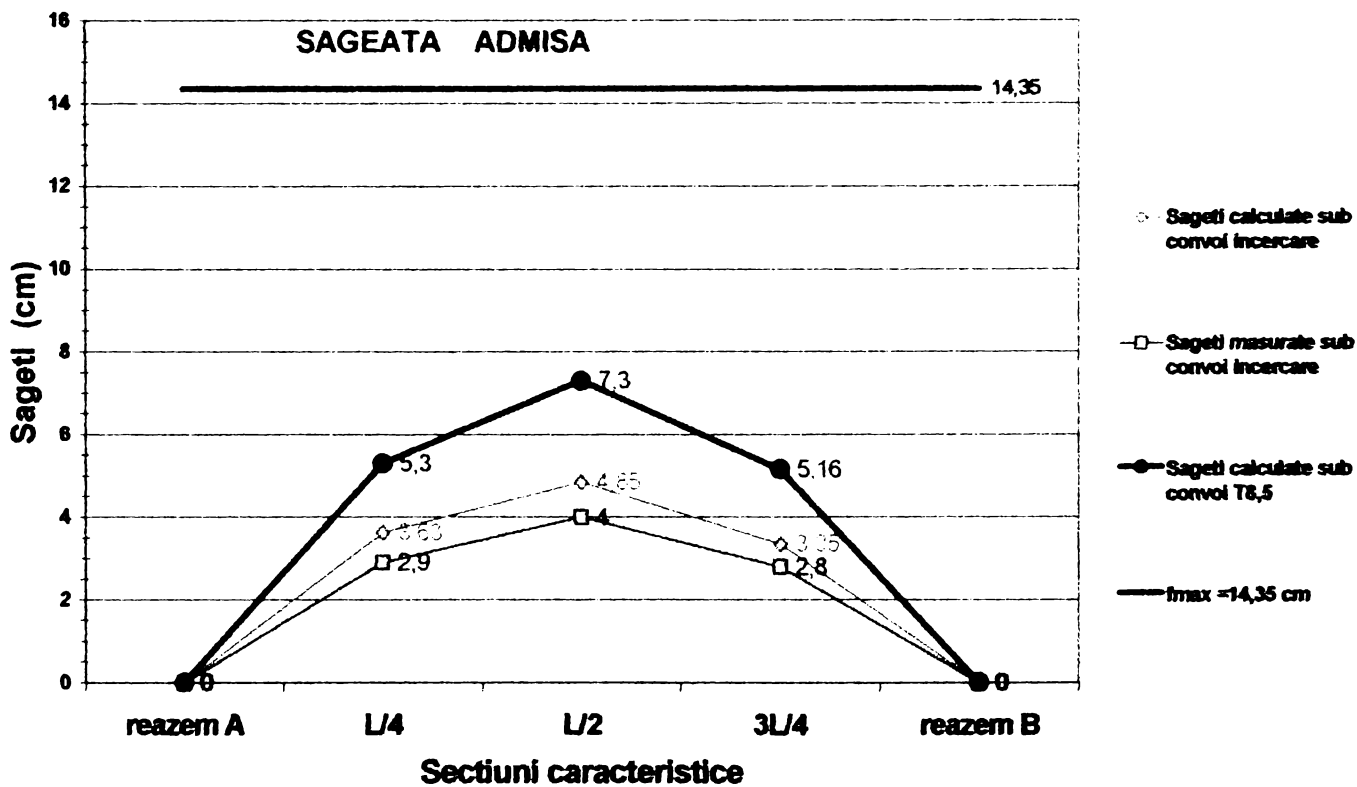
Pentru cateva dintre tabliere rezultatele sunt prezentate in tabelul 4.4.

TABELUL 4.4

Sageti masurate si calculate

Tablier	L (m) $f_s=L/500$ (cm)	Sageti sub convoiul de incercare (cm)				$\frac{f_{calculat}}{f_{masurat}}$ (maxim)	Sageti sub convoiul standardizat T 8.5 (cm)			$\frac{L}{f_{calculat}}$ (maxim)
		sectiunea	L/4	L/2	3L/4		L/4	L/2	3L/4	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mehadia	101.76	calculate	4.47	6.34	4.43	1.399	6.38	9.05	6.26	1124
	20.35	masurate	2.93	4.53	2.83					
Balta Sarata	71.76	calculate	3.63	4.85	3.35	1.213	5.30	7.30	5.16	983
	14.35	masurate	2.90	4.00	2.80					
Arad II	76.80	calculate	3.29	3.97	3.18	1.301	4.61	5.64	4.45	1362
	15.36	masurate	2.65	3.05	2.70					
Arad III	51.40	calculate	3.12	3.86	3.12	1.513	4.63	5.73	4.49	897
	10.28	masurate	2.00	2.55	1.95					
Branisca	56.20	calculate	-	1.80	-	1.200	-	4.85	-	1159
	11.24	masurate	-	1.50	-					

Podul BALTA SARATA, L=71.76 m





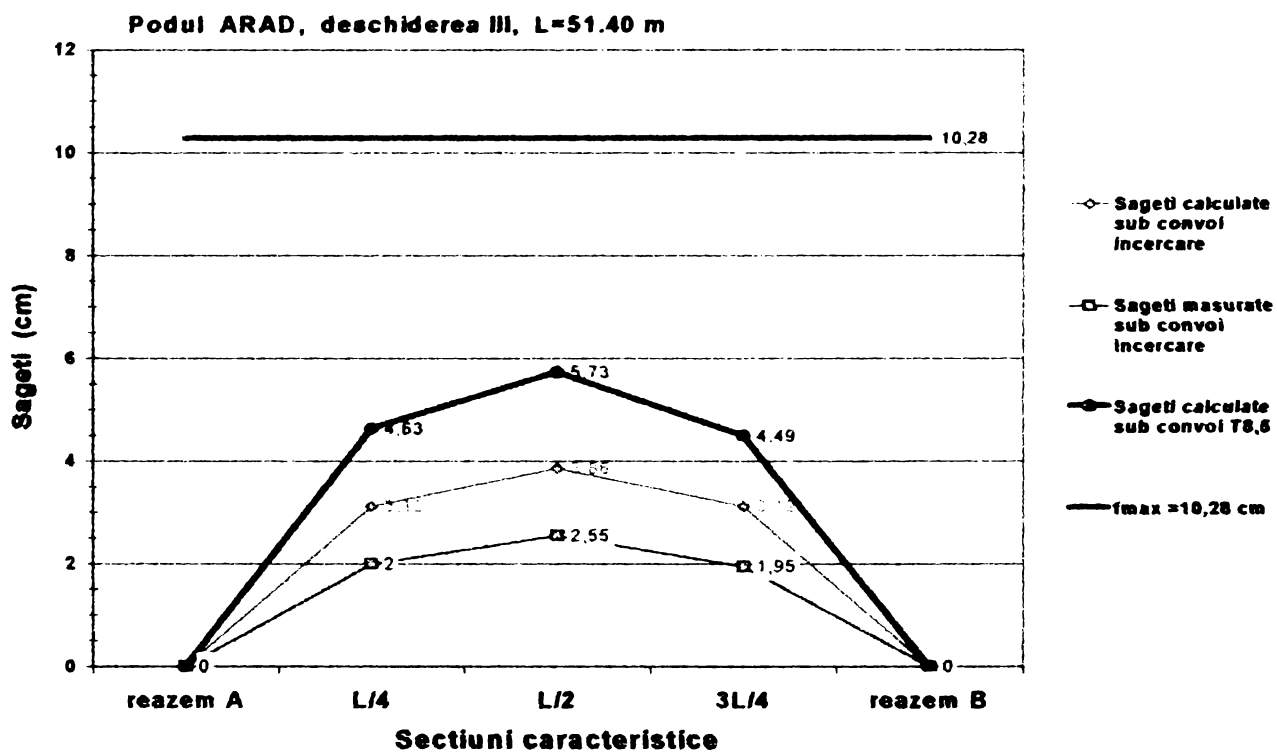
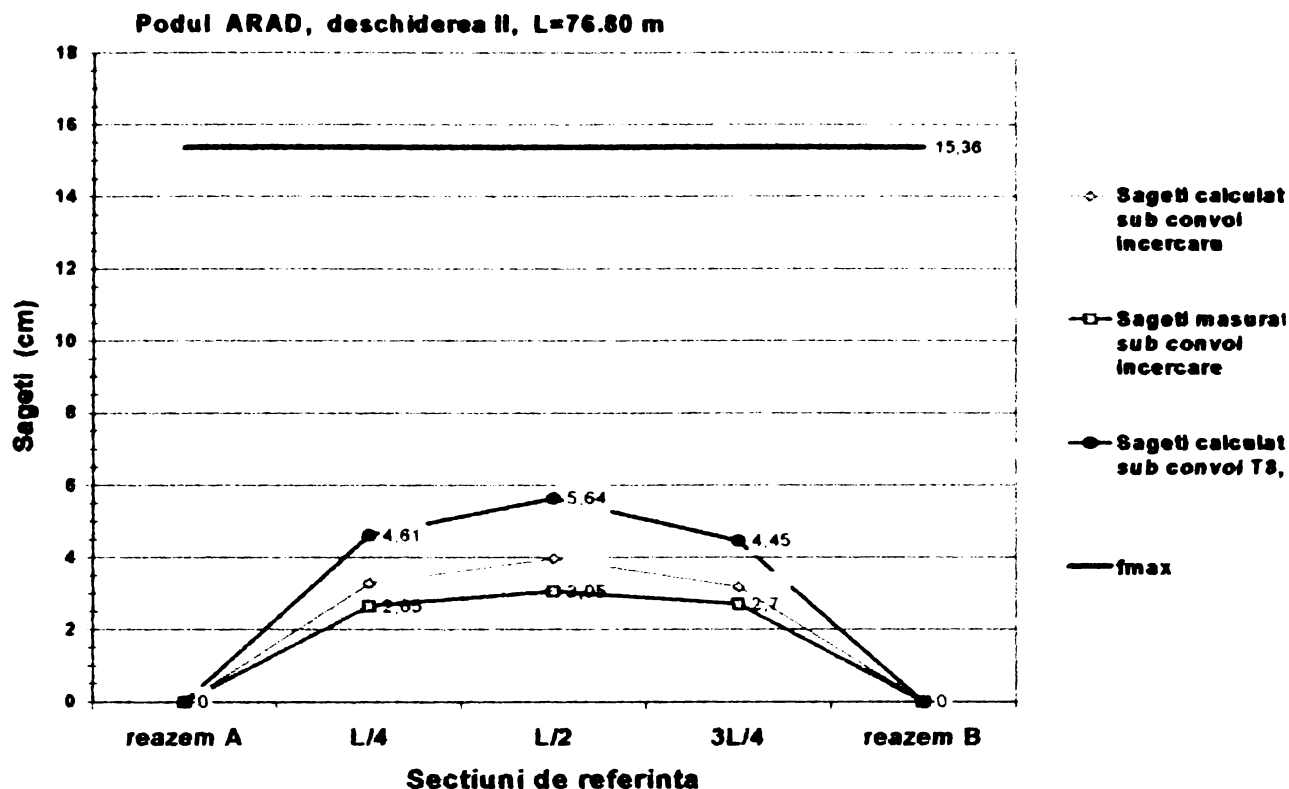


FIG. 4.34 Corelatii între sagetile masurate, calculate și cele maxime admise

3) măsurarea sagetilor elastice sub convoaiele în mișcare, în regim dinamic, s-a făcut la mijlocul deschiderii, prin înregistrarea valorilor maxime folosind fleximetre cu indicator de maximum tip Perier.

#### 4.4.3.3. Masuratori de eforturi unitare

În cadrul programului de încercări "in situ" s-au efectuat, conform proiectelor de încercare întocmite pentru fiecare caz în parte, masuratori de tensiuni (pe calea tensometriei electrezistive, așa cum s-a arătat în paragraful 4.4.2), în puncte caracteristice ale elementelor componente, în regim static și dinamic la diferite trepte de viteză ale convoiului de încercare, cuprinse între 5 km/h și viteză maximă admisă pe tronsonul de linie în cauză.

Convoiul de locomotive de încercare a fost alcatuit în așa fel încât eficiența încercării să fie cuprinsă în intervalul  $0.8 \div 1.00$  (s-au folosit convoaie formate din 2-5 locomotive EA60 sau LDH 2100).

Măsurarea tensiunilor în regim static sub convoiul de încărcare s-a făcut în scopul verificării discretizării structurii spațiale a podului pentru calculul automat, prin compararea tensiunilor rezultate din calculul spațial cu cele măsurate. După validarea modelului de calcul se poate trece la verificarea capacității de încărcare a tablării sub convoiul de calcul standardizat.

Măsurarea tensiunilor în regim dinamic (de fapt măsurarea deformațiilor specifice  $\varepsilon$ ) s-a efectuat în scopul determinării coeficientului dinamic real, după relația:

$$\Psi_{mas} = \frac{\varepsilon_{din}}{\varepsilon_{stat}} \quad (4.7)$$

în care:

- $\varepsilon_{din}$  - deformația specifică maximă măsurată într-un punct, la trecerea convoiului cu o anumită viteză;
- $\varepsilon_{stat}$  - deformația specifică măsurată în același punct din încărcarea cu convoiul de probă în regim static.

Pentru exemplificare în tabelele 4.5.a și 4.5.b se prezintă câteva rezultate înregistrate la măsurarea eforturilor unitare în grinziile căii (lonjeroani și antretoaze) iar în tabelul 4.6 câteva rezultate înregistrate în regim dinamic transpuse în coeficienți dinamici calculați conform relației (4.7).

**TABELUL 4.5.a**

**EFORTURI UNITARE în grinzile căii – LONJERONI**

Tip tablier	Pod	deschi- derea B (m)	Pozitia in structura	Eforturi unitare din convoiul de incarcare					
				$\sigma_{max}$ daN/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{cs}$ daN/cm <sup>2</sup>	$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{cs}}$	$\sigma_{cp}$ SR-1911 daN/cm <sup>2</sup>	$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{SR}}$	$\frac{\sigma_{cs}}{\sigma_{SR}}$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
GZCJ - tsp inchis	P-02 Mehadia	8.48	L final	-250	-376	0,66	-504	0,50	0,75
				+237	+376	0,63	+504	0,47	0,75
			L central	-263	-354	0,74	-430	0,61	0,82
				+294	+396	0,74	+430	0,68	0,92
	P-06 Balta Sarata	5.98	L final	-324	-438	0,74	-611	0,53	0,72
				+374	+442	0,85	+611	0,61	0,72
			L central	-284	-391	0,73	-501	0,57	0,78
				+317	+385	0,82	+501	0,63	0,77
	P-13 Branisca	5.62	L final	-279	-463	0,60	-727	0,38	0,64
			L central	-242	-388	0,62	-625	0,39	0,62
	P-17 Arad II	7.68	L final	-237	-374	0,63	-580	0,41	0,64
				+172	+392	0,44	+580	0,30	0,68
L central			-210	-287	0,73	-580	0,36	0,49	
			+279	+386	0,72	+580	0,48	0,67	
GZCJ - tsd	P-03 Domasnea	3.10	L final	-349	-496	0,70	-543	0,64	0,91
			L central	-311	-519	0,97	-452	0,69	0,71
	P-17 Arad III	3.08	L final	-250	-228	1,10	-518	0,48	0,44
				+275	+248	1,11	+518	0,53	0,48
			L central	-244	-218	1,12	-518	0,47	0,42
				+250	+356	0,70	+518	0,48	0,69

Eforturile unitare  $\sigma_{cs}$  sunt calculate în punctele de masura cu eforturile sectionale (N și M) rezultate pe structura spatiala printr-un calcul automat iar eforturile unitare  $\sigma_{SR}$  sunt calculate în aceleasi puncte conform prescriptiilor din standard (STAS 1911-75 și SR 1911-98) prin descompunere în elemente plane.

Coeficientii dinamici masurati se compara cu cei calculati cu relatiile date în standardul românesc [4.16],[4.10] respectiv, conform Fisei UIC [4.17], cu relatia:

$$\Psi = (1 + \varphi) = 1 + 0.5(\varphi' + 0.5\varphi'') \quad (4.8)$$

TABELUL 4.5.b

EFORTURI UNITARE în grinzile caii – ANTRETOAZE

Tip tablier	Pod	deschi- derea B (m)	Pozitia in structura	Eforturi unitare din convoiul de incercare					
				$\sigma_{mas}$ daN/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{cs}$ daN/cm <sup>2</sup>	$\frac{\sigma_{mas}}{\sigma_{cs}}$	$\sigma_{cp}$ SR-1911 daN/cm <sup>2</sup>	$\frac{\sigma_{mas}}{\sigma_{SR}}$	$\frac{\sigma_{cs}}{\sigma_{SR}}$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
GZCJ -tsp inchis	P-02 Mehadia	5.50	A finala	-242	-340	0,71	-395	0,50	0,75
				+185	+340	0,54	+395	0,47	0,75
			A centrala	-206	-516	0,40	-531	0,61	0,82
				+361	+534	0,68	+531	0,68	0,92
	P-06 Baia Sarata	5.00	A finala	-223	-392	0,57	-437	0,53	0,72
				+174	+392	0,44	+437	0,61	0,72
			A centrala	-197	-349	0,56	-379	0,57	0,78
				+249	+381	0,65	+415	0,63	0,77
	P-13 Branisca	5.00	A finala	-285	-278	1,03	-387	0,38	0,64
			A centrala	-298	-353	0,84	-451	0,39	0,62
	P-17 Arad II	5.00	A finala	-210	-211	1,00	-298	0,41	0,64
				+189	+211	0,90	+298	0,30	0,68
A centrala			-342	-613	0,56	-556	0,36	0,49	
			+210	+656	0,32	+556	0,48	0,67	
GZCJ - tsd	P-03 Domasnea	4.80	A finala	-260	-459	0,57	-493	0,64	0,91
			A centrala	-342	-613	0,56	-595	0,69	0,71
	P-17 Arad III	5.00	A finala	-135	-398	0,34	-437	0,48	0,44
				+109	+398	0,27	+437	0,53	0,48
			A centrala	-307	-566	0,54	-522	0,47	0,42
				+160	+530	0,30	+552	0,48	0,69

unde:  $\varphi' = K/1 - K + K^4$ , cu: 
$$\begin{cases} K = v/160 \text{ pentru } L < 20\text{m} \\ K = v/47.16 \cdot L^{0.408} \text{ pentru } L \geq 20\text{m} \end{cases} \quad (4.8.a)$$

$$\varphi'' = 0.56 \cdot e^{-L^2/100} \quad (4.8.b)$$

v: viteza de circulatie (m/s);

L=L<sub>φ</sub>, lungimea caracteristica a elementului.

Coeficientul K se poate calcula conform [4.18] si cu relatia:

$$K = \frac{v}{2 \cdot L_{\phi} \cdot n_0} \quad (4.9)$$

TABELUL 4.6

Coeficientii dinamici

Tip tablier	Element	Pod	Lungime (mm)	V <sub>max</sub> (Km/h)	Coeficientul dinamic					
					masurat	Calculat, cu		Eficienta		
						FISA UIC EC1-3.4	SR 1489- 78	$\frac{\Psi_{mas}}{\Psi_{SR}}$	$\frac{\Psi_{mas}}{\Psi_{UIC}}$	$\frac{\Psi_{SR}}{\Psi_{UIC}}$
GZCJ-tsp	Lonjeron	P-01 V. Cemei	6800	60	1.559	1.327	1.584	0.98	1.17	1.19
		P-02 Mehadia	8480	60	1.034	1.345	1.566	0.66	0.77	1.16
		P-06 Balta S.	5980	100	1.123	1.305	1.594	0.71	0.86	1.22
		P-13 Branisca	5620	70	1.170	1.261	1.598	0.73	0.93	1.27
		P-17/1 Arad	7680	100	1.363	1.357	1.574	0.87	1.00	1.16
	Antretoaza	P-01	5000	60	1.291	1.238	1.606	0.80	1.04	1.30
		P-02	5500	60	1.138	1.248	1.599	0.71	0.91	1.24
		P-06	5000	100	1.320	1.285	1.606	0.82	1.03	1.21
		P-13	5000	70	1.300	1.249	1.606	0.81	1.04	1.22
		P-17/1	5000	100	1.351	1.285	1.606	0.84	1.05	1.21
GZCJ-tsd	Lonjeron	P-03 Domasnea	3100	65	1.130	1.218	1.630	0.69	0.93	1.34
		P-07 Beregsau	3050	80	1.225	1.360	1.547*	0.79	0.90	1.21
		P-10 Birda-Gataia	2580	70	1.175	1.321	1.552*	0.76	0.89	1.17
		P-11 Birda-Gataia	3135	85	1.036	1.241	1.630	0.64	0.83	1.31
		P-17/3 Arad	5142	100	1.610	1.287	1.604	1.00	1.25	1.25
	Antretoaza	P-03	4800	65	1.432	1.240	1.608	0.89	1.15	1.30
		P-07	4900	80	1.141	1.270	1.526*	0.75	0.90	1.20
		P-10	4600	70	1.100	1.242	1.529*	0.72	0.86	1.23
		P-11	4600	85	1.049	1.290	1.611	0.65	0.89	1.25
		P-17/3	5000	100	1.400	1.285	1.606	0.72	0.81	1.25
GZCS	Lonj.	P-04 Armenis	3060	80	1.170	1.234	1.631*	0.72	0.95	1.32
		P-05 Slatina T.	3800	90	1.368	1.420	1.538*	0.89	0.96	1.08
	Ant	P-04	3800	80	1.120	1.242	1.621*	0.69	0.90	1.31
		P-05	3600	90	1.152	1.400	1.540*	0.75	0.82	1.10
Valori medii							0.78	0.95	1.23	



$$\text{cu: } \begin{cases} \frac{80}{L_{\Phi}} \leq n_0 \leq 94.76 \cdot L_{\Phi}^{-0.748} & \text{pentru } 4 \leq L_{\Phi} \leq 20m \\ 23.58 \cdot L_{\Phi}^{-0.592} \leq n_0 \leq 94.76 \cdot L_{\Phi}^{-0.748} & \text{pentru } L_{\Phi} > 20m \end{cases} \quad (4.9.a)$$

#### 4.4.4. Analiza critica si interpretarea rezultatelor programului de incercari "in situ"

Programul de incercari "in situ" cu convoaie de incercare formate din locomotive a permis ca prin analiza si coroborarea datelor obtinute prin masuratori directe cu cele calculate in diverse moduri, la fiecare tablier in parte dar si in ansamblu, sa se formuleze concluzii si masuri cu caracter punctual (starea caii pe pod, eventuale depasiri ale eforturilor unitare admisibile in unele elemente, etc) precum si concluzii cu caracter general, care pot fi luate in considerare in actiunile viitoare, si anume:

- ☞ incercarea "in situ" este o operatie laborioasa care necesita un timp relativ indelungat si resurse materiale si financiare importante;
- ☞ eforturile unitare masurate in punctele caracteristice sunt, in general, mai mici decat valorile obtinute prin calcul atat in cazul unei analize a structurii spatiale cat si in cazul analizei simplificate, prin descompunere in elementele componente si calcul plan;
- ☞ sagetile masurate sunt in toate cazurile mai mici decat sagetile calculate;
- ☞ coeficientii dinamici masurati sub convoaiele de incercare cat si sub trenurile reale sunt mai mici decat cei calculati dupa standard;
- ☞ imbinarile intre elementele componente ale tablierului pot fi schematizate in calcul ca:
  - legaturi articulate pentru lonjeronii fara scaun si platbanda de continuitate,
  - legaturi rigide pentru lonjeronii cu scaun si/sau platbanda de continuitate,
  - legaturi rigide la capetele antretoazei,
  - legaturi rigide in cazul prinderii barelor in nodurile grinzilor cu zabrele.

#### 4.5. CORELATII INTRE INCERCAREA "in situ" SI ANALIZA TEORETICA A STRUCTURII

Programul de incercari "in situ" cu convoaie de proba si de verificare prin calcul pe structura modelata plan si spatial a condus la intocmirea unor rapoarte de expertiza pentru fiecare pod in parte [4.1],[4.19], care contin observatii punctuale privind starea de tensiune si de deformatii in structura analizata precum si masurile necesare a fi intreprinse pentru exploatarea in siguranta a podului.

In urma analizei globale a concordantei intre valorile marimilor masurate si cele determinate prin calcul, au rezultat urmatoarele concluzii:

##### a) IN CAZUL EFORTURILOR UNITARE

1. Eforturile unitare masurate sub convoiul de incercare sunt -cu rare exceptii, explicabile fie prin functionarea defectuoasa a traductorilor tensometrici fie printr-o operare mai putin atenta- semnificativ mai mici decat cele rezultate in urma unui calcul pe structura spatiala modelata din bare, in medie cu **23%** pentru **lonjeroni** si cu **39%** pentru **antretoaze**.
2. Eforturile unitare masurate sunt in toate cazurile semnificativ mai mici decat cele calculate in mod simplificat printr-un calcul plan, in medie cu **49%** la **lonjeroni** si cu **48%** la **antretoaze**.
3. Eforturile unitare rezultate in urma calculului structurii spatiale sunt mai mici decat cele calculate in mod simplificat prin descompunerea structurii spatiale in elemente plane, conform prevederilor din standard [4.10], in medie cu **32%** la **lonjeroni** si cu **11%** la **antretoaze**.

Sintetic aceste concluzii sunt reprezentate grafic in diagramele din figura 4.34.

##### b) IN CAZUL COEFICIENTULUI DINAMIC

4. Coeficientii dinamici masurati se incadreaza in toate cazurile sub valorile calculate cu relatiile date in standardul romanesc [4.16], in care coeficientii dinamici depind de modul de tratare a rostului intre sine si de lungimea caracteristica a elementului, fiind in medie mai mici cu **22%**.

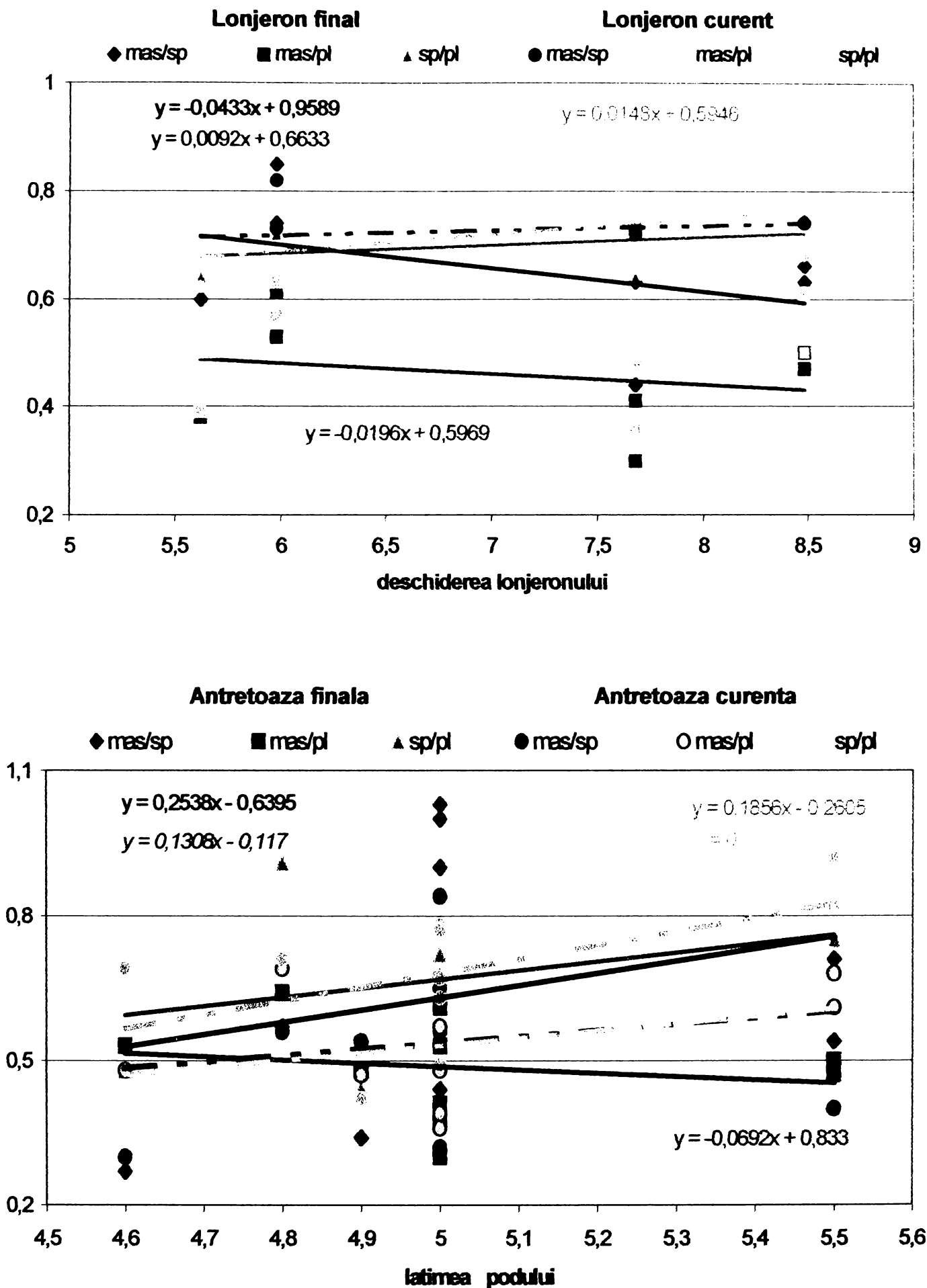


FIG. 4.34. Corelatii intre tensiunile masurate si cele calculate:  
 a) la lonjeroni;      b) la antretoaze.

5. Coeficientii dinamici masurati sunt mult mai apropiati, reprezentand in medie **95%**, fata de coeficientii dinamici pentru trenurile actuale, calculati conform Fisei UIC si EC-1, care tin cont de viteza de circulatie si de caracteristicile tablierului - lungimea caracteristica a elementului si frecventa proprie a tablierului.
6. Coeficientii dinamici calculati dupa standardul romanesc sunt, in toate cazurile analizate, mai mari in medie cu **23%** decat cei calculati conform metodologiei UIC, preluata si in noile norme europene EC-1.

Sintetic aceste concluzii sunt reprezentate grafic in diagramele din figura 4.35.

Daca rapoartele dintre coeficientii dinamici,  $\Psi_{mas}/\Psi_{SR}$ ,  $\Psi_{mas}/\Psi_{UIC}$  si  $\Psi_{SR}/\Psi_{UIC}$  se reprezinta in functie de "lungimea dinamica", reprezentata prin raportul dintre lungimea elementului si viteza de circulatie a convoiului,

$$L\Psi = \frac{L}{v} \quad L \text{ in (mm) si } v \text{ in (km/h)} \quad (4.10)$$

se constata o corelatie, aproape perfecta, a coeficientului dinamic masurat cu cel calculat dupa metodologia UIC preluat si in EC-1, in cazul lonjeronului si destul de buna in cazul antretoazei, asa cum se arata in figura 4.36.

Observatiile precedente ne permit sa analizam corelatia dintre lungimea dinamica a elementului si coeficientul dinamic masurat. In urma prelucrarii matematice ale valorilor masurate ale coeficientului dinamic la viteza maxima admisa s-au trasat curbele de regresie materializate prin urmatoarele functii algebrice:

- polinom de gradul 1:  $y = aX + b$  (4.11.a)

- polinom de gradul 2:  $y = aX^2 + bX + c$  (4.11.b)

- logaritmica:  $y = a \ln X + b$  (4.11.c)

- potential:  $y = aX^b$  (4.11.d)

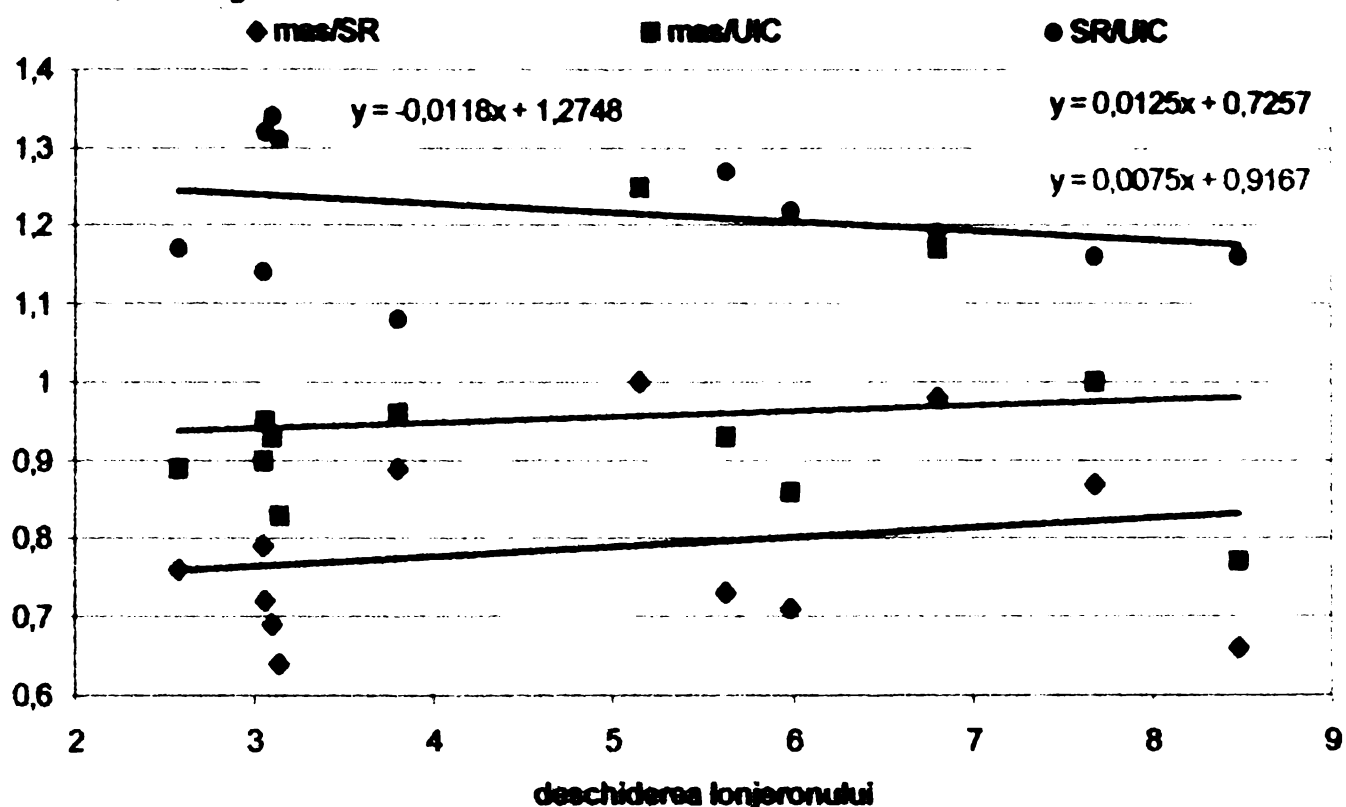
- exponentiala:  $y = ae^{bX}$  (4.11.e)

in care  $y$  este coeficientul dinamic,  $a$ ,  $b$  si  $c$  sunt coeficienti numerici iar  $X$  este lungimea dinamica,  $X=L/v$ .

Asa cum rezulta si din figura 4.37, reprezentarile liniara, logaritmica, potential si exponentiala sunt aproape identice si au o tendinta crescatoare in timp ce

reprezentarea parabolică prezintă un maxim aproximativ la jumătatea intervalului de definiție a lungimii dinamice având apoi o tendință descrescătoare cu creșterea lungimii dinamice.

a) lonjeron



b) antretoaza

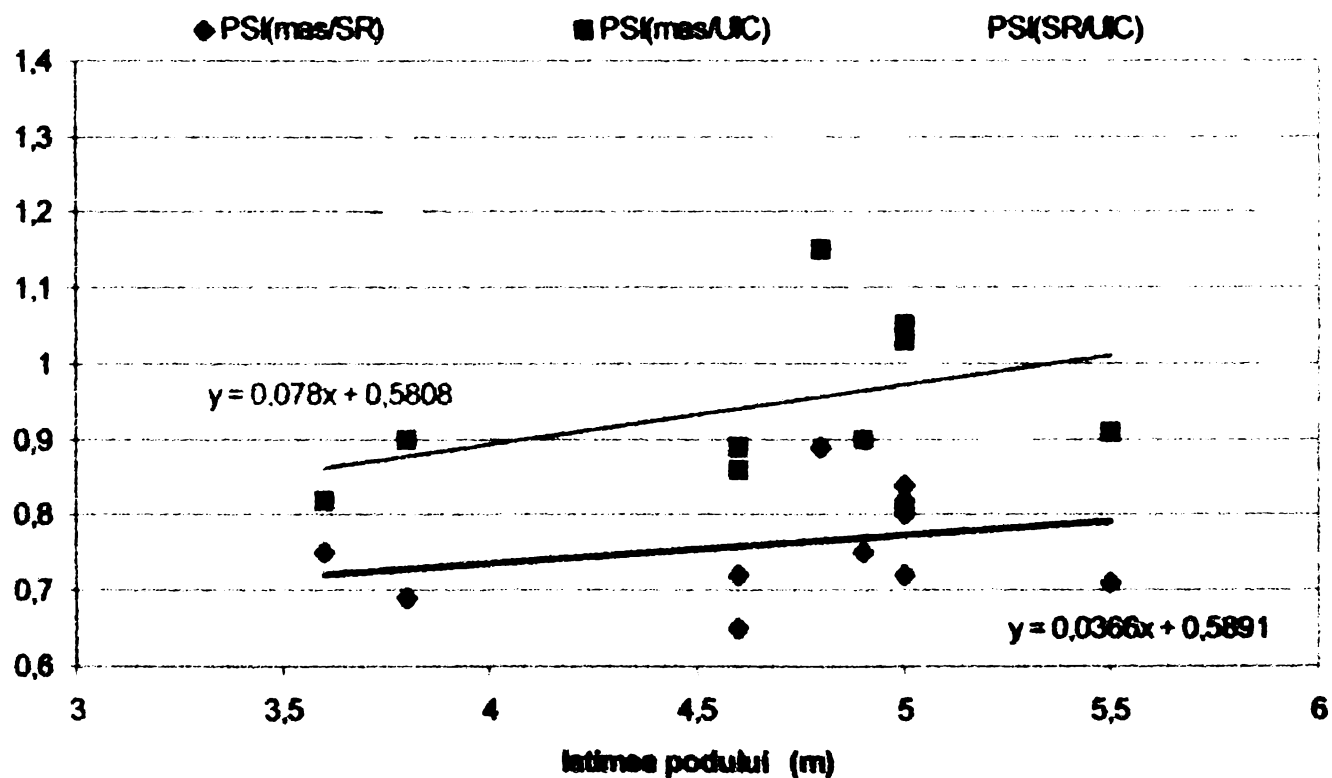


FIG.4.35 Corelații între coeficienții dinamici măsurați și cei calculați: a) lonjeroni; b) antretoaze.



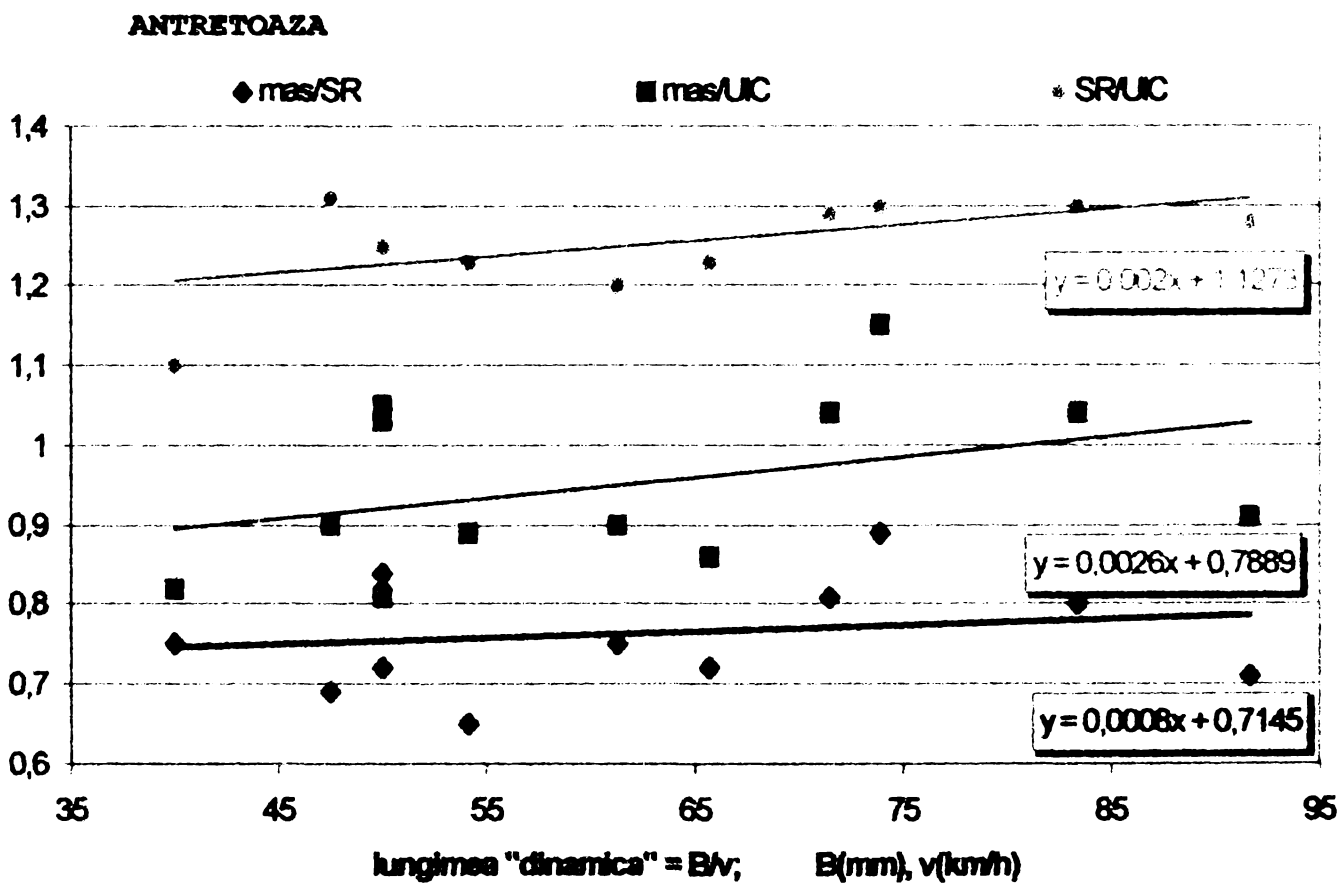
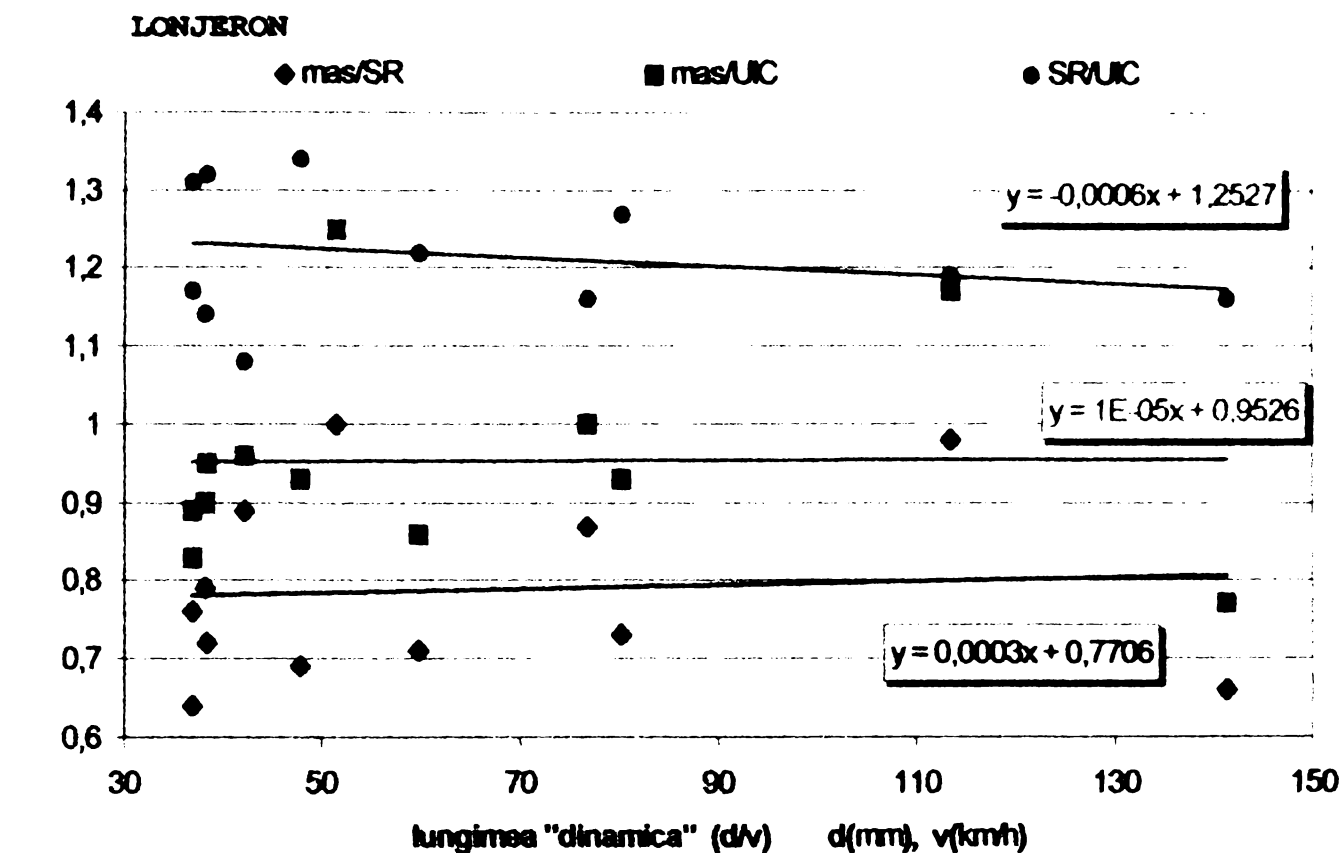


FIG. 4.36. Lungimea dinamica si coeficientii dinamici

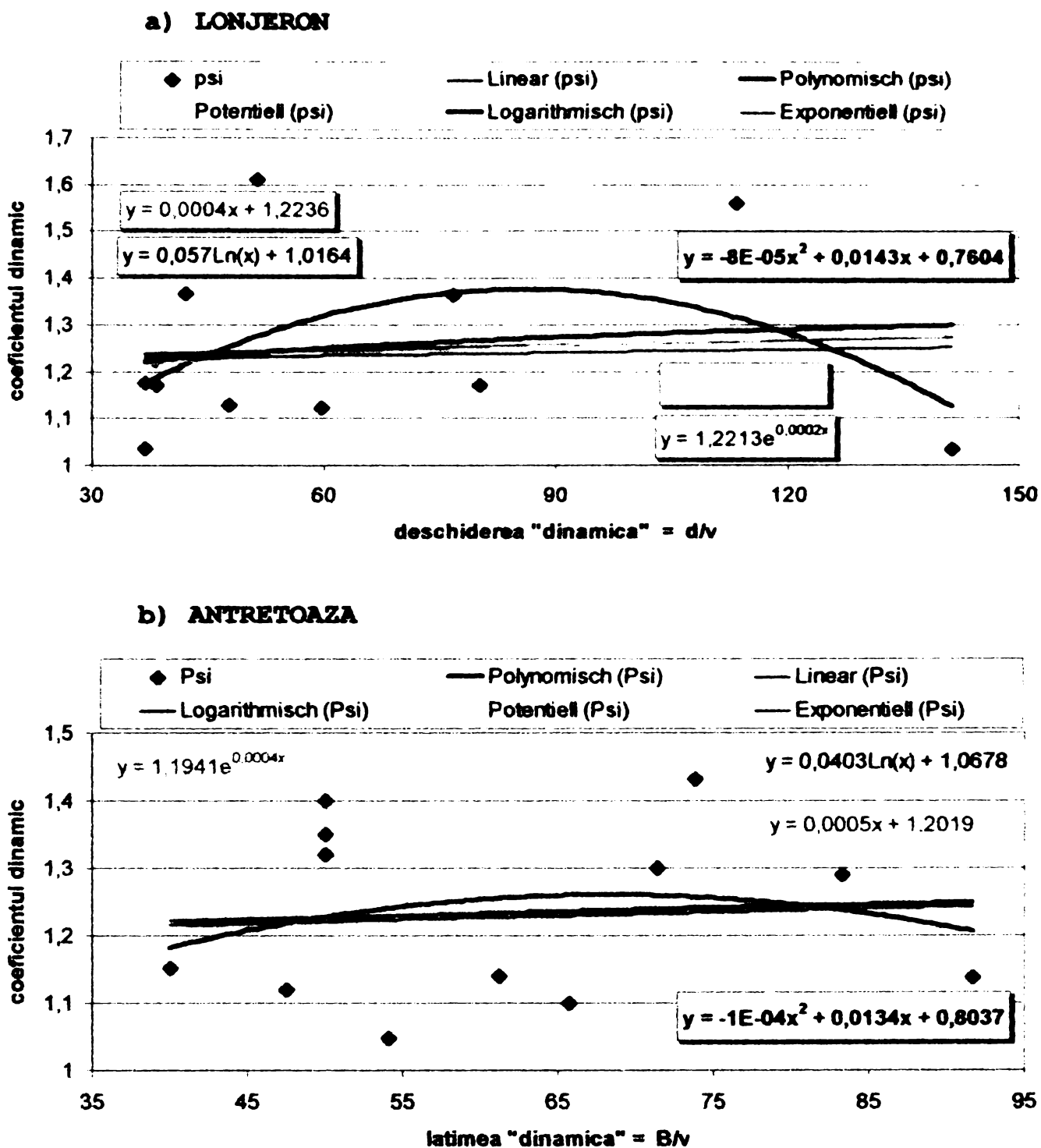


FIG. 4.37. Relatii tendinta pentru coeficientii dinamici masurati

Pornind de la corelatia între coeficientii dinamici masurati și cei calculati cât și de la expresiile tendinta ale acestora prezentate în graficele de mai sus, se poate defini o noua formula de calcul a coeficientului dinamic,

$$\Psi = \frac{1,2 \cdot L}{2,5 \cdot v} + 1,23 \leq 1,65 \quad L \text{ în (m) și } v \text{ în (km/h)} \quad (4.12)$$

diferita de cea din standard, care să fie utilizata pentru

verificarea prin calcul a grinzilor caii (lonjeroni și antretoaze) la podurile metalice vechi, figura 4.38, caracterizată prin:

- forma simplă și ușor de aplicat în practică;
- în domeniul uzual al deschiderii dinamice se situează ușor peste valorile măsurate;
- valorile furnizate sunt foarte apropiate de cele obținute prin aplicarea formulei UIC, mai complicată și care implică cunoașterea frecvenței proprii de vibrație a tablăului.

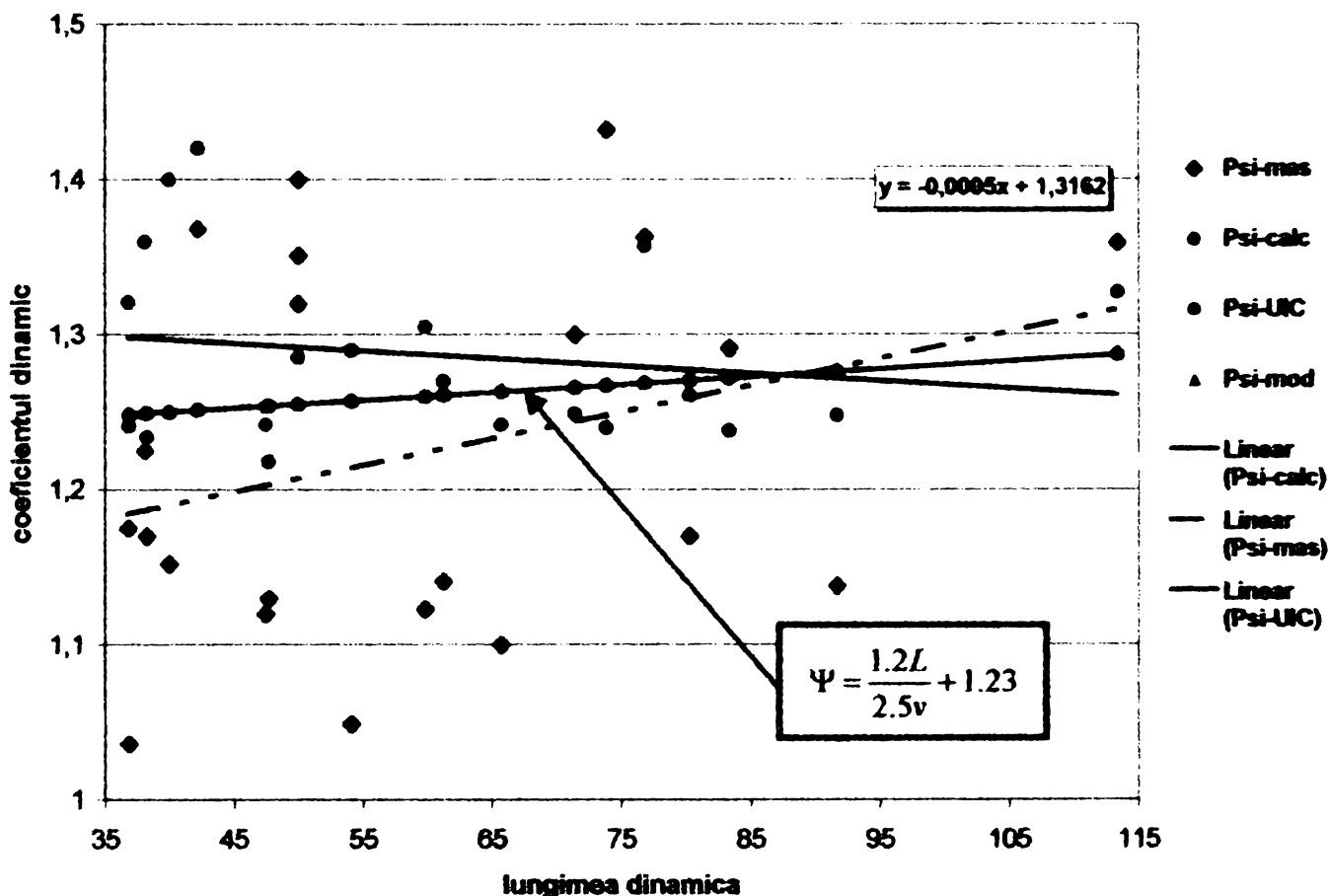


FIG. 4.38. Formula de calcul pentru coeficientul dinamic

#### 4.6. CONCLUZII SI CONTRIBUTII CU PRIVIRE LA METODELE SI PROCEDURA DE EVALUARE A CAPACITATII PORTANTE A PODURILOR METALICE VECHI

Amplul program de verificare a podurilor metalice de cale ferata vechi situate in raza Regionalei CFR Timisoara, concretizat prin incercari de laborator si "in situ" cu convoaie de proba cat si de verificare prin calcul pe structura modelata plan si spatial, atat pentru convoaiele de incercare cat si pentru actualul convoi de calcul standardizat (T 8,5) a condus la intocmirea unor rapoarte de expertiza pentru fiecare pod in parte [4.1],[4.19], care contin observatii punctuale privind starea de tensiune si de deformatii din structura analizata precum si masurile necesare a fi intreprinse pentru exploatarea in siguranta a podului, rapoarte care au fost prezentate si analizate in cadrul unor comisii complexe de avizare si pe baza carora administratia si-a fundamentat programul de interventii pentru exploatarea lor in viitor.

Comportarea sub incarcari a tablierelor metalice aflate in exploatare, apreciata in paragraful precedent pe baza calculului plan si de conlucrare spatiala, a relevat ca adoptarea unui model de calcul al sructurii presupune si acceptarea unor ipoteze simplificatoare care confera rezultatelor analitice un anumit grad de aproximare, dependent de modelul fizic si modelul matematic atasat. In aceste conditii, pentru a verifica justetea ipotezelor admise, se poate recurge la analiza comparativa intre rezultatele determinate prin calcul si cele obtinute prin teste si masuratori experimentale, putandu-se obtine informatii privitoare la fenomenul complex al comportarii in timp, pe baza carora poate fi apoi evaluata mai corect siguranta structurii in exploatare.

Tinand seama de aspectele prezentate, concluziile studiilor teoretice si experimentale privind comportarea in exploatare a podurilor metalice au fost formulate pe baza interpretarii comparative a rezultatelor determinate prin calcul cu cele obtinute in urma incercarilor "in situ" si corelate apoi cu rezultatele investigatiilor experimentale intreprinse asupra materialului metalic din elementele structurii.

Obiectivele mentionate au fost realizate urmarind:

- aspectul geometric al comportarii elementelor structurii de rezistenta, prin interpretarea calitativa si

cantitativa a deplasarilor masurate fata de cele calculate in diferite ipoteze de incarcare;

- aspectul fizic al comportarii structurii si a materialului metalic din elementele tablierului analizata sub aspectul starii de conservare, a starii de eforturi in regim static si dinamic si a starii de oboseala iar in final au fost formulate aprecieri privind cauzele si factorii care au contribuit la producerea abaterilor si defectelor constatate precum si la initierea unei metodologii de verificare a tablierelor metalice vechi.

**Analiza calitativa a aspectului geometric** efectuata pe baza unor diagrame de tipul celor prezentate in fig.4.33 si 4.34, reprezentand contrasagetile masurate fata de cele normate, respectiv sagetile elastice masurate fata de cele calculate, a relevat urmatoarele:

- tablierele prezinta contrasageti in limitele normate, fapt care releva o executie corecta si o buna comportare in timp a imbinarilor;

- sagetile masurate, in toate situatiile analizate, sunt mai mici decat cele calculate si toate sunt semnificativ mai reduse decat valorile sagetilor admisibile, determinate ca raport  $L/500$ .

**Analiza calitativa a aspectului fizic**, efectuata in diferite ipostaze a condus la urmatoarele concluzii:

### **1) privind starea de conservare a tablierelor**

- tablierele metalice sunt, in general, bine conservate, observandu-se doar local, zone mici cu coroziune de suprafata care pot fi inlaturate la reviziile regulamentare sau in cadrul programului de intretinere curenta;

- starea suprafetelor imbinarilor desfacute cu ocazia prelevarilor de material a fost corespunzatoare; acest lucru nu se poate insa extrapola la intreaga structura sau in ansamblu decat cu rezerve.

- in unele cazuri, elemente gresit concepute (a caror sectiune favorizeaza acumularea prafului, a apei, etc) sunt semnificativ afectate de coroziune;

### **2) privind alcatuirea, modelarea si calculul tablierului**

- tablierele metalice vechi, gratie unor reguli de alcatuire constructiva simple, clare, conservative si respectate la proiectare si executie, pot fi clasificate in cateva tipuri constructive reprezentative, asa cum s-a aratat



in paragraful 4.2, care toate pot fi modelate ca structuri formate din bare, astfel (paragraful 4.3):

- a) prin descompunere in elemente plane (retea de grinzi pentru grinzile caii, brinda cu zabrele cu noduri rigide pentru GPZ),
- b) ca ansamblu spatial din bare luand in considerare rigiditatea nodurilor si cu modelarea corespunzatoare a legaturilor nespecifice (intreruperea lonjeronilor, rezemari mecanice ale lonjeronilor sau antretoazelor, etc.).

→ se recomanda modelarea ca ansamblu spatial la tablarierele inchise si la cele cu GPZ cu doi pereti si ca ansamblu plan la tablarierele deschise cu GPZ cu perete simplu;

→ calculul starii de eforturi in structura, conform ipotezelor de incarcare adoptate se poate efectua automat cu orice program de analiza elastica pentru structuri din bare care permite modelarea corespunzatoare a legaturilor dintre bare (SAP, GIPSI, RDM, STABWERKE, etc.);

## **2) privind starea de eforturi unitare**

→ valoarea masurata a eforturilor unitare sub convoaiele de incercare este, in general, inferioara valorilor calculate pe structura spatiala si acestea inferioare celor calculate simplificat, printr-un calcul plan, conform normelor in vigoare.

→ valoarea calculata a eforturilor unitare maxime din bare (incovoiere cu forta axiala) sub convoiul de calcul T 8.5 se situeaza, de regula, sub valorile rezistentelor admisibile cu unele exceptii, care pot fi catalogate ca au o incidenta generala, ca:

- a) la lonjeroni, in special in gruparea a II-a de actiuni din cauza serpuirii,
- b) la platbenzile de continuitate introduse ulterior in cadrul operatiilor de consolidare la convoaie mai grele,
- c) la talpa superioara si montantii GPZ cu perete simplu, din cauza alcatuirii nerationale a sectiunii transversale a barelor, cu axa minima de inertie in planul grinzii,
- d) la diagonalele GPZ din primele doua-trei panouri la podurile oblice,
- e) reactiuni diferite la acelasi capat al podului la podurile oblice (observatie imposibil de facut in cazul analizei plane),

→ depasiri cu caracter izolat al eforturilor unitare, in unele elemnte si ipoteze de incarcare, ca urmare a unor cauze locale care nu pot fi generalizate.

#### **4) privind efectul dinamic al convoaielor**

→ valorile coeficientului dinamic calculate conform standardului numai in functie de lungimea elementului, sunt supraevaluate, atat fata de valorile masurate cat si fata de cele calculate conform fisei UIC;

→ se propune utilizarea pentru calculul coeficientului dinamic a relatiei UIC (4.8) care s-a dovedit mai apropiata de valorile masurate in cadrul incercarilor experimentale;

→ se poate utiliza, cel puțin pentru verificari preliminare sau in situatii de urgenta, si relatia autorului (4.12) care are o forma simpla si usor de aplicat, tine cont de lungimea elementului si viteza trenului si se incadreaza intre valorile masurate si cele calculate coform fisei UIC.

#### **5) privind oboseala si durata de viata a structurii**

Incercarile la oboseala sub sarcinile de exploatare (traficul real) au avut ca scop obtinerea datelor necesare determinarii istoricului sollicitarilor pe baza caruia sa se poata determina durata de viata dupa metodologia UIC [4.15]. Acestea au cuprins:

- determinarea caracteristicilor reale (numar de osii, distanta intre osii, sarcina pe osie, lungimea, viteza, tonaj) ale trenurilor din trafic pe durata unei zile (24 ore);
- inregistrarea oscilogramelor de eforturi unitare (de fapt curbele  $\varepsilon-t$ ) in sectiunile caracteristice ale elementelor de rezistenta sub circulatia trenurilor din traficul real pentru fiecare tip de tren.

Pe baza acestor date, prin prelucrari pe calculator a oscilogramelor  $\varepsilon-t$  inregistrate, s-au determinat vatamarea totala, cumulata liniar cu regula PLM, respectiv, inversul ei **durata de viata** astfel:

Pentru traficul prezent, clasarea ecarturilor de tensiune ( $\Delta\sigma_{T,i}$ ,  $n_i$ ) in clase de  $65 \text{ daN/cm}^2$  pentru fiecare tren din traficul real, rezultate prin prelucrarea cu metoda Rain-flow a oscilogramelor inregistrate si apoi, adoptand o curba WÖHLER corespunzatoare, cuprinsa in fisa UIC, s-a determinat ecartul de tensiune transformat  $\Delta\sigma_{T/zi}$ , reprezentand cumularea tuturor ecarturilor  $\Delta\sigma_{T,i}$  si in final vatamarea cumulata pentru un an de zile

$$S_{an} = \frac{365 \cdot (\Delta\sigma_{T,zi})^k}{2 \cdot 10^6 \cdot (\Delta\sigma_c)^k} \quad (4.13)$$

Pentru traficul trecut, s-au aplicat mai multe variante posibile, dar cea mai exacta a fost cea prin care s-au determinat ecarturile de tensiune  $(\Delta\sigma_{T,i}, n_i)$  prin incarcarea liniilor de influenta cu trenurile tip aferente fiecărei perioade de trafic si apoi cumularea vatamarilor din fiecare perioada dupa aceeasi procedura ca la traficul prezent.

**Durata de viata** totala este inversul vatamarii totale.

$$D_{tot} = \frac{1}{S_{tot}} \quad (4.14)$$

Principalele concluzii rezultate din aceste calcule sunt:

→ grinzile principale si antretoazele au durata de viata mai mare decat durata de exploatare normata de 100 de ani, asa incat exploatarea peste durata normata este posibila;

→ durata de viata a lonjeronilor si a platbenzilor de continuitate este, in general, sub durata normata de exploatare, fiind cuprinsa intre 64.1 ani pentru lonjeronul final la Branisca si 115.9 ani la lonjeronul central la Mehadia; multe tabliere au durata de viata calculata pentru lonjeronii finali situata in jurul valorii de 82 de ani ceea ce inseamna ca vor fi necesare lucrari de inlocuire a acestora; aceste concluzii sunt sustinute si de defectele aparute in exploatare in principal fisuri in lonjeroni;

Se mentioneaza ca aceeasi metoda de calcul a duratei de viata a fost adoptata si de standard [4.20], in editia revizuita in 1998 precum si caracterul probabistic al metodei, curbele Wöhler fiind determinate cu probabilistic cu o asigurare de 95%.

## BIBLIOGRAFIE: Capitolul IV

- 4.1. \* \* \* *Incercari de laborator si 'in situ' ale podurilor metalice CF din cadrul Regionalei CF Timisoara, cu vechime mare in exploatare*, Contract de cercetare nr.6077/97.46./1986, INCERTRANS Bucuresti si IPTV Timisoara.
- 4.2. **Evgrafov, G.K.**, *Poduri de cale ferata, vol. III Poduri metalice*, Oficiul de Presa, Editura si Documentare CFR, Bucuresti 1950 (traducere din lb. rusa);
- 4.3. **Revici, T., Pilder, A.**, *Poduri metalice; Probleme speciale*, Editura Transporturilor si Telecomunicatiilor, Bucuresti, 1960;
- 4.4. **Sedlacek, G., Hensen, W.**, *New assessment methods for the residual safety of old steel bridges*, Nordic Steel Construction Conference, Stockholm, 1995;
- 4.5. \* \* \* *ENV 1993-1:1994; EUROCODE3: Design of Steel Structures, Part 1: General Rules and Rules for Buildings*; Comité Européen de Normalization, CEN/TC250/SC1, Brussels, 1994;
- 4.6. \* \* \* *ENV 1993-2:1997; EUROCODE 3: Design of Steel Structures, Part 2: Steel bridges*; European Committee for Standardization, CEN/TC250/SC3, Brussels, 1997;
- 4.7. **Gnedenko, B.V., Beleaev I.K., Soloviev A.D.**, *Metode matematice in teoria sigurantei*, Editura Tehnica, Bucuresti, 1968;
- 4.8. **Dalban, C., Juncan, N., Chesaru, E.**, *Constructii metalice*, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti 1983;
- 4.9. . \* \* \* *STAS 1911-75; Poduri de cale ferata. Prescriptii de proiectare*; Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1975;
- 4.10. \* \* \* *SR 1911-95. Proiect de revizuire STAS 1911-75 referitor la proiectarea podurilor metalice noi de cale ferata si pentru verificarea podurilor metalice existente de cale ferata*; Contract nr.340c/1994, Institutul de Constructii Bucuresti, Catedra de poduri, 1996;
- 4.11. **Bondariuc, V., Bancila, R.**, *Probleme speciale de poduri metalice*, Litografia IPTV Timisoara 1990;
- 4.12. \* \* \* *GIPSI-04, Manual de utilizare*, Centrul de Organizare si Cibernetica in Constructii, COCC Bucuresti, 1987;
- 4.13. **Sterian, D.**, *Elemente de Constructii metalice si Poduri metalice*, Tipografia si Litografia Invatamantului, Bucuresti 1959;
- 4.14. **Petersen, Ch.**, *Stahlbau- Grunlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten, 2., verbesserte Auflage*, Vieweg&Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1990, ISBN 3-528-18837-5;
- 4.15. \* \* \* *Code UIC 779-1 R; Recommandations pour la détermination de la capacité portante des structures métalliques existantes*; Union Internationale des Chemins de fer, Paris, 1986
- 4.16. \* \* \* *STAS 1489-77; Poduri de cale ferata. Actiuni*; Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1977;

- 4.17. \* \* \* *Fiche UIC 776-1 R; Charge à prendre en considération dans le calcul de ponts -rails; Union Internationale des Chemins de fer, Paris, 1986.*
- 4.18. \* \* \* *ENV 1991-3.4:1992; EUROCODE 1: Basis of Design and Action on Structures, Part 3.4:Traffic Loads on Bridges; Rail Traffic Actions; European Committee for Standardization, CEN/TC250/SC1/92/N 97, Brussels, 1997;*
- 4.19. \* \* \* *Efectuarea calculelor in ipoteza plana si spatiala pentru convoiul de calcul T 8.5 si convoaiele de incercare utilizate pentru podurile de cale ferata, Contract de cercetare nr.208/1989, INCERTRANS Bucuresti si IPTV Timisoara, Timisoara 1989.*
- 4.20. \* \* \* *SR 1911-98; Poduri de cale ferata. Prescriptii de proiectare; Institutul Român de Standardizare, Bucuresti, 1998;*



## Capitolul V

### METODE COMPLEMENTARE PENTRU DETERMINAREA CAPACITATII PORTANTE A TABLIERELOR METALICE EXISTENTE

#### 5.1. INTRODUCERE; OBIECTIVE URMARITE

In cursul ultimului deceniu, verificarea structurilor metalice, dar mai ales a podurilor, la oboseala si la rupere fragila a capatat o mare importanta, justificata prin numeroase studii si cercetari [5.1], [5.2], [5.3], [5.4].

O structura metalica supusa la incarcari de intensitate variabila poate, la atingerea unui anumit numar de repetitii ale incarcarii variabile, sa se rupa desi rezistenta sa nu este depasita, acest fenomen numit oboseala rezultând din propagarea lenta a fisurilor preexistente micro- sau macroscopice.

Dupa cum este binecunoscut in Rezistenta Materialelor, pe baza careia se conduc calculele de dimensionare a structurii de rezistenta a unui tablier metalic, se accepta printre alte ipoteze si ipoteza mediului continuu, conform careia un corp ocupa integral spatiul delimitat de volumul sau, facându-se abstractie de prezenta unor discontinuitati de material. In realitate insa in multe cazuri dar in mod special in tablierele metalice vechi, prezenta unor defecte de tipul unor fisuri nu poate fi neglijata. Practica de peste o suta de ani de exploatare a podurilor metalice de cale ferata a demonstrat ca urmare solicitarii variabile produse de convoaiele aflate in circulatie pot sa apara, pornind in principal de la "concentratorii geometrici" de tensiuni (gauri de nit, schimbari bruste de sectiune, cordoane de sudura, etc) sau defecte interne ale materialului, fisuri de oboseala care se propaga in timp [5.5].

Pe de alta parte dupa diferenta semnificativa între rezistenta teoretica la rupere a unui material calculata pe baza fortelor de coeziune interatomica si rezistenta la rupere reala nu poate fi explicata decât tot prin prezenta unor defecte ale materialului metalic.

Pornind de la aceste aspecte generale incepand cu anul 1920 s-au initiat, pe scara larga, o serie de studii si cercetari teoretice si experimentale privind ruperea in medii cu fisuri care s-au concretizat prin aparitia unei noi discipline de mare actualitate denumita Mecanica Ruperii, a

carei obiect consta in aprecierea cantitativa a rezistentei unei structuri in care exista sau apare o fisura.

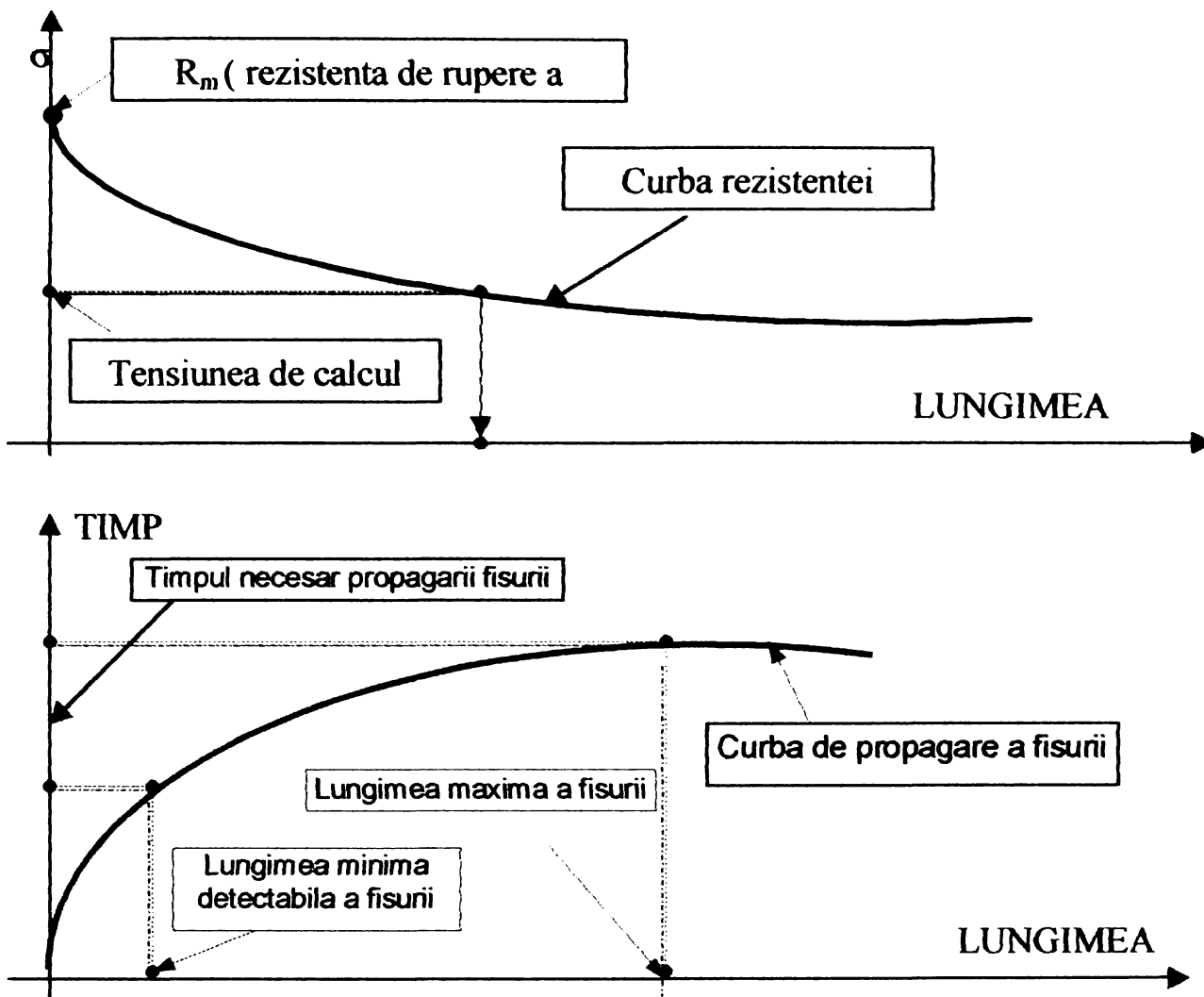


Fig 5.1. Probleme care se pot solutiona prin mecanica ruperii

Pe baza acumularilor teoretice prezente si a aplicatiilor in cele mai diverse domenii (piese mecanice, aeronautica, structuri metalice, etc) mecanica ruperii poate raspunde la urmatoarele intrebari:

- 1) Cum variaza rezistenta unei structuri, atunci cand o fisura existenta in aceasta se extinde in timp
- 2) Cat de mare este lungimea maxima admisibila a unei fisuri care poate fi acceptata in serviciu
- 3) Care este durata de timp necesara pentru ca sub un spectru de sollicitare cunoscut, o fisura cu o anumita lungime cunoscuta sau cu lungimea minima detectabila sa creasca pana la valoarea maxima admisa
- 4) Cat de lunga este perioada de timp pana la care detectarea fisurii devine posibila si cat de des este necesar sa se faca controlul fisurilor in structura existenta.

Toate aceste consideratii pot fi prezentate schematic asa cum se arata in figura 5.1.

## 5.2. NOTIUNI DE BAZA IN MECANICA SOLIDULUI DEFORMABIL

### 5.2.1. Fizica rezistentei structurilor cristaline

#### 5.2.1.1. Rezistenta teoretica la rupere

Conceptele clasice de verificare a rezistentei sau stabilitatii tablrierelor metalice, admitand o comportare elastica, elosto-plastica, sau chiar plastica a materialului nu mai sunt aplicabile atunci cand elementele structurii prezinta fisuri.

Sub actiunea sarcinilor exterioare, in special al convoaielor, elementele componente ale tablrierului metalic se deformeaza elastic, elasto-plastic sau plastic, dupa caz.

Otelul, chiar si cel din tablrierele foarte vechi, are o comportare ductila, in procesul de rupere curgerea avand un rol important, inasa odata cu micșorarea temperaturii comportarea ductila se poate deplasa spre o comportare fragila. Ca material agregat solid, atomii otelului formati din particule purtatoare de sarcina electrica, sunt supusi in acelasi timp fortelor de atractie cat si a celor de respingere, asa cum se arata in figura 6.2. Fortele de legatura interatomica apar ca rezultanta fortelor de atractie si respingere. Abscisa punctului  $A_0$ ,  $x=C_0$  in care forta interatomica este nula marcheaza distanta interatomica a cristalului nedeformat.

Separarea a doi atomi presupune scoaterea lor din pozitia de echilibru prin marirea distantei  $x$ , ceea ce se poate realiza prin aplicarea unor forte exterioare care sa invinga reactia fortelor de legatura interatomica.

Prin aplicarea unei forte exterioare crescatoare procesul reversibil de echilibru intre tensiunea aplicata si forta de legatura interatomica evolueaza pana la atingerea rezistentei teoretice  $\sigma_{te}$  (corespunde maximului fortei de legatura figura 6.2.) cand procesul este ireversibil. Forta de legatura exprimata in tensiuni variaza cu distanta, fiind o functie periodica, aparand ca naturala aproximatia acesteia cu o functie sinusoidala având perioada  $\lambda$  [5.6], [5.7].

Ordonata punctului  $A$  marcheaza rezistenta maxima teoretica la rupere a unui cristal,  $\sigma_{te}$  care dupa [5.5] se poate calcula cu relatia:

$$\sigma_{te} = \left( \frac{E\gamma}{d} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5.1)$$

in care:  $E$ =modulul de elasticitate

$\gamma$ =energia absorbita pe unitatea de lungime a fisurii in extensie (energia superficiala)

$d$ =lungimea initiala

obtinandu-se pentru otel (la care  $E=2,1 \cdot 10^{11}$  N/m<sup>2</sup>,  $\gamma=1$  J/m<sup>2</sup>,  $d=2,5 \text{ \AA} = 2,5 \cdot 10^{-10}$  m)  $\sigma_{te}=287,7 \cdot 10^2$  N/mm<sup>2</sup>, ceea ce arata ca rezistenta teoretica la rupere depaseste cu mult rezistenta la rupere  $R_m$  determinata experimental prin incercarea de tractiune. Explicatia acestei neconcordante a fost facuta de Griffith [5.8] care postuleaza ca solidele contin microfisuri (defecte interioare) inerente conditiilor de elaborare, care produc o concentrare a tensiunilor, ceea ce face rezistenta teoretica la rupere sa fie atinsa chiar daca tensiunile nominale sunt cu mult mai mici decat  $\sigma_m$ .

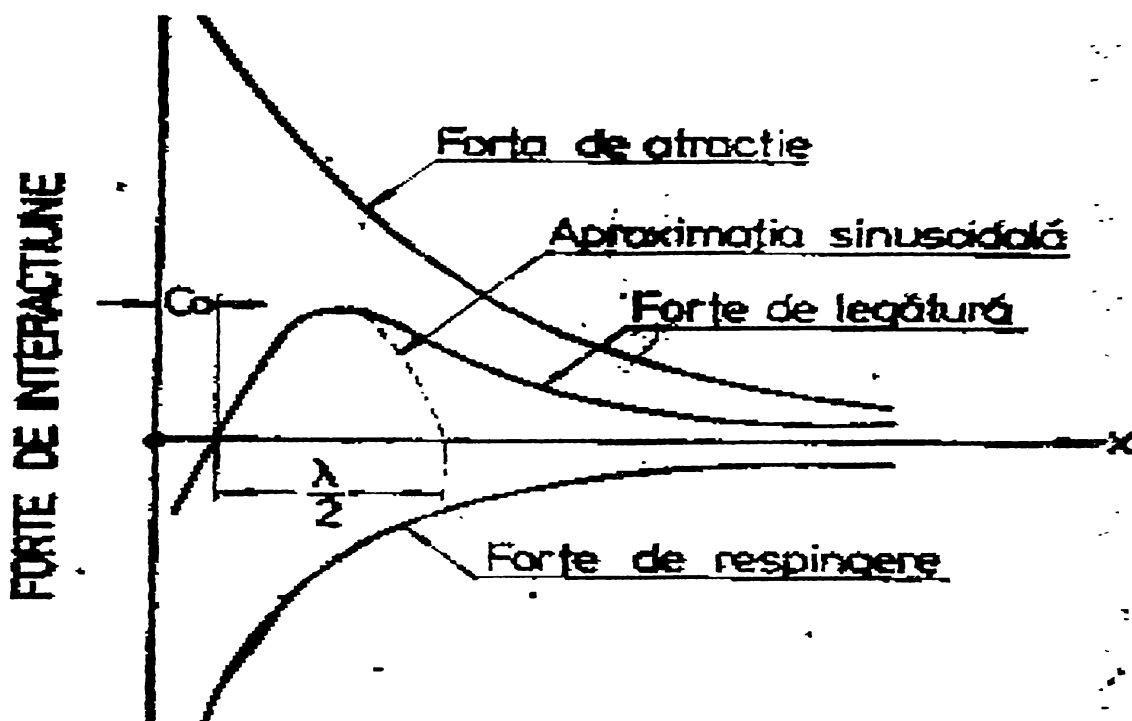


Fig 5.2. Fortele de interactiune atomica si echilibrul lor

#### 5.2.1.2. Structura cristalina si ruperea

La temperatura mediului ambiant (pana la 768<sup>o</sup>C) otelul are o structura cristalina; fiecare cristal avand atomii de fier asezati in sistem cubic cu volum centrat (CVC - fierul  $\alpha$ ). Procesul de cristalizare incepe prin formarea in diferite puncte din metalul lichid a unor particule solide cristaline, numite centre de cristalizare, care pe masura scaderii temperaturii se maresc si apar noi centre de cristalizare (fig 5.3d.).

Retelele cubice sunt caracterizate prin constanta rețelei  $a$ , care corespunde distantei interatomice, adica lungimea laturei celulei cubice elementare (figura 5.3a,b).

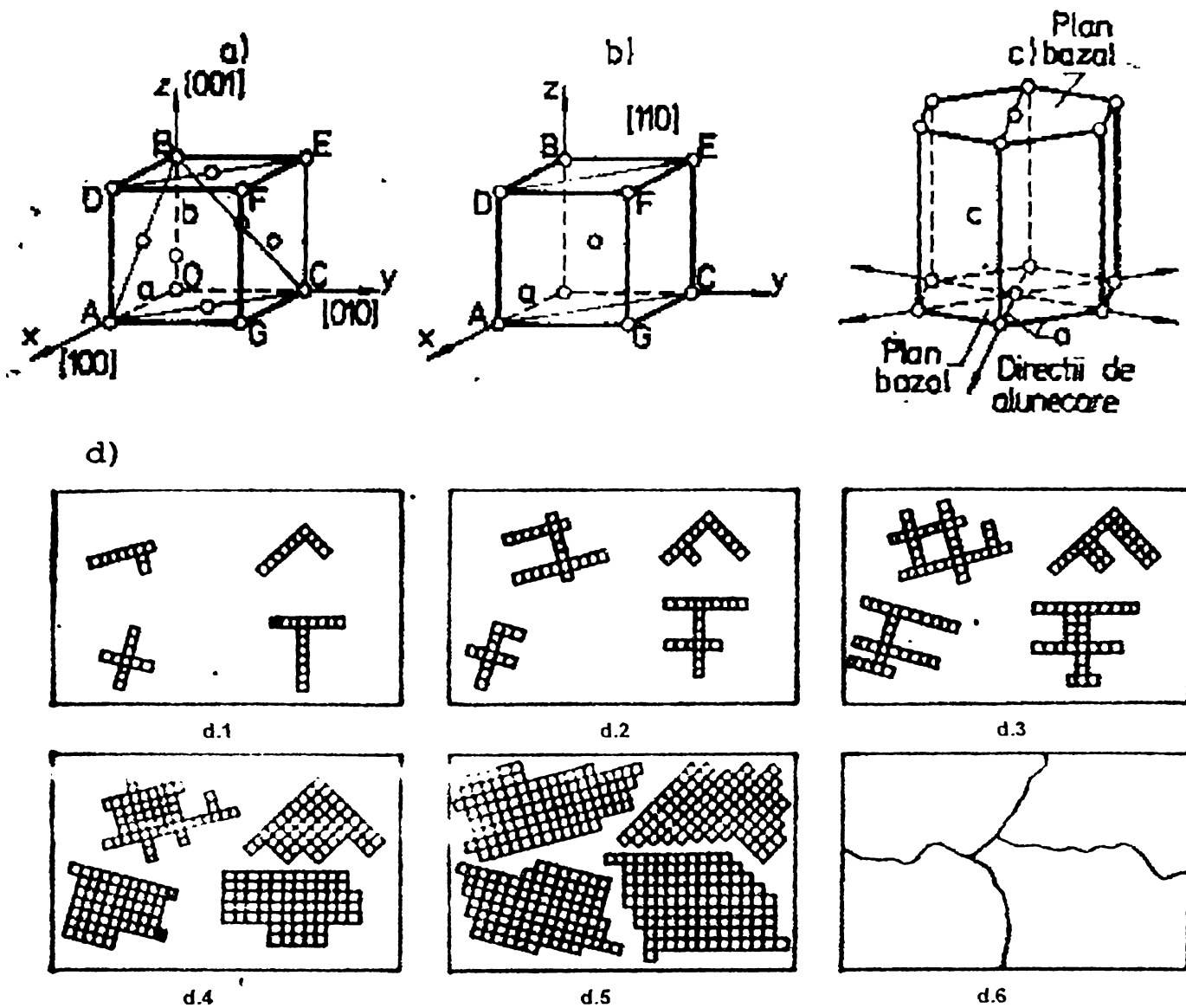


Fig 5.3. *Cristalizarea otelului-formarea rețelei cristaline*

Procesul subsecvent deformării plastice este ruperea. La nivel microstructural se disting două moduri fundamentale de rupere:

- a) rupere prin separare (clivare).
- b) rupere prin forfecare.

Ruperea prin separare (clivare) implică desfacerea legăturilor atomice perpendicular pe planele cristalografice cu legăturile cele mai slabe - plane de separare - sub acțiunea componentei normale a tensiunilor (planul 100).

Ruperea prin forfecare este localizată în planele favorabile alunecării, adică în planele cu densitate maximă de atomi, fiind o consecință a ruperii legăturilor în aceste plane.

Cele două moduri structurale de rupere conferă suprafețelor macroscopice de rupere aspecte diferite. Ruperea prin separare conferă în aspect lucios-cristalin, pe când ruperea prin forfecare conferă un aspect mat-fibros de culoare gri. Modurile structurale de rupere și deci aspectele



distincte care le caracterizeaza pot sa coexiste pe o casura in functie de desfasurarea mecanismului de rupere.

Din punct de vedere macroscopic este uzuala clasificarea ruperilor in: **ductile** si **fragile**.

**Ruperile ductile** sunt precedate de o deformatie plastica apreciabila si asociate cu o energie de rupere mare (care reflecta in mare parte energia de deformare plastica in stadiul premergator ruperii).

**Ruperile fragile** sunt precedate de deformatii plastice negliabile, energia consumata in procesul de rupere fiind mica.

Rezistenta la rupere a retelelor mono- si policristaline in stare naturala este puternic influentata de defectele inerente de retea, in special de acele defecte cunoscute sub denumirea de dislocatii.

Existenta acestui tip de defecte face ca deformarea retelei sa fie mult facilitata, iar ruperea sa nucleeze [5.9] la sollicitari mult mai scazute decat rezistenta teoretica in esenta datorita acumularii si concentrarii deformatiei la nivel microstructural.

Intr-un mediu continuu, dislocatia este conceputa ca o distorsiune a mediului si este caracterizata cantitativ prin vectorul Burghers asociat [5.10].

La nivelul microscopic, in reseaua cristalina, o distorsiune poate sa fie generata de imperfectiuni in configuratia regulata a retelei. Daca imperfectiunea apare sub forma unui plan atomic suplimentar, atunci distorsiunea retelei defineste o dislocatie marginala (fig 5.4a). Extremitatea planului atomic suplimentar marcheaza linia de dislocatie - notificata cu  $\perp$ . In planul in care se afla cuprinsa linia de dislocatie, alunecarea se face cu usurinta prin miscarea consecutiva a atomilor dintr-o pozitie de echilibru in alta, ceea ce implica propagarea dislocatiei. Daca propagarea dislocatiei se face pana la o suprafata libera a cristalului rezultatul net al propagarii va fi o alunecare relativa cu o distanta atomica. Planul in care se propaga dislocatia marginala se numeste plan de alunecare.

Propagarii dislocatiilor si deci implicit deformarii plastice i se opun obstacole care pot fi: limite de graunte, particule straine sau chiar alte configuratii de dislocatii.

Principial se disting doua tipuri fundamentale de linii de dislocatii:

**a)** dislocatii marginale la care alunecarea se face perpendicular pe linia de dislocatie (figura 5.4.b);

**b)** dislocatii elicoidale la care alunecarea se produce paralel cu linia de dislocatie (figura 5.4.c). In acest ultim caz atomii se plaseaza intr-o configuratie elicoidala care

distorsioneaza retea cristalina fara a fi necesara existenta unui plan atomic suplimentar.

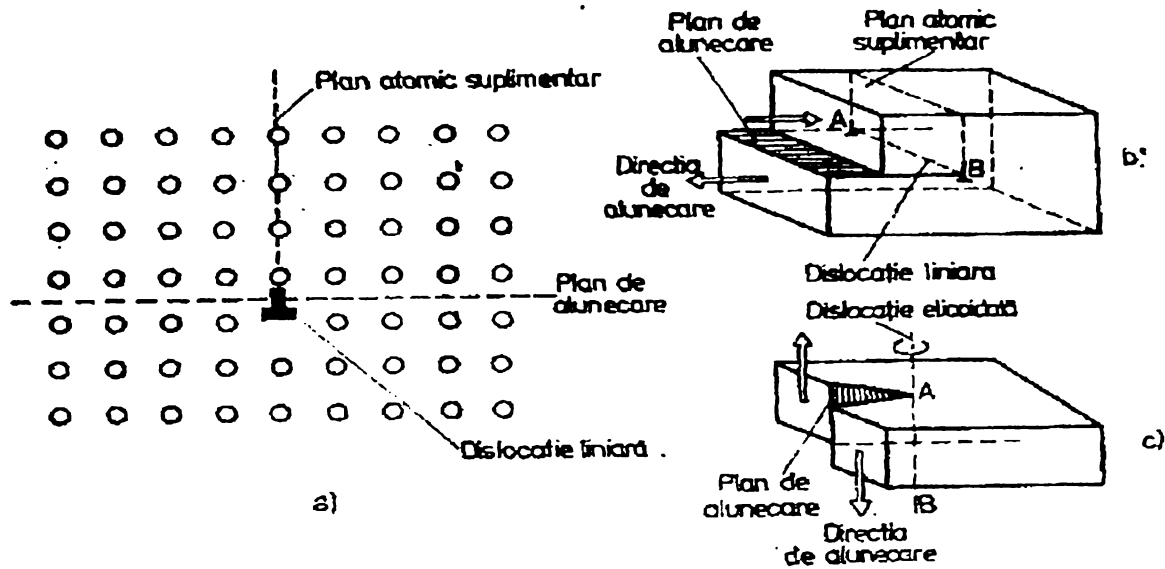


FIG 5.4. Dislocatii în structura cristalina a otelului

In general o linie de dislocatie intr-un cristal prezinta caracteristici mixte liniare si elicoidale si are un caracter inchis sau marginit de suprafetele libere ale cristalului.

### 5.2.2. Câmpul de tensiuni si deformatii în vecinatatea unei fisuri

#### 5.2.2.1. Teoria liniar-elastica (LEFM) si elasto-plastica (EPFM) a mecanicii ruperii

Initial mecanica ruperii a fost aplicata numai pentru materiale care asculta de legea lui Hooke, dezvoltandu-se teoria liniar-elastica a mecanicii ruperii (LEFM), care include conceptele fundamentale legate de fizica corpului solid, metalurgia fizica, teoria elasticitatii si plasticitatii si care bazandu-se pe lucrarile lui Inglis si Griffith [5.8] a descris fenomenul de rupere a corpurilor metalice prin variatia ductilitatii, concretizat prin modelarea ruperii la nivel atomic si pe cale de consecinta, elaborarea unui criteriu de propagare instantanee a unei fisuri.

Acest criteriu, denumit teoria de rupere Griffith arata ca o fisura se va propaga atunci cand reducerea sau mentinerea constanta a energiei potentiale,  $U_e$  datorata deformarii elastice a retelei cristalina este cel putin egala cu energia  $W_s$ , necesara pentru a crea o noua suprafata a fisurii:

$$\delta U_e \leq \delta W_s \quad (5.2)$$

Teoria Griffith a fost completata si dezvoltata in 1956 de Irwin [5.34] care a aratat ca daca energia eliberata in material depaseste cu mult energia consumata pentru propagarea fisurii, extinderea acesteia se face rapid.

Teoriile dezvoltate in mecanica ruperii liniar-elastica sunt valabile, evident, numai pentru materiale la care deformatia plastica din varful fisurii este foarte mica. In situatii contrare este necesara abordarea in domeniul elasto-plastic prin considerarea deformatiei plastice la varful fisurii si modificarea corespunzatoare a relatiilor LEFM.

Datorita concentrarii puternice a tensiunilor in jurul fisurilor, materialele reale in general si oțelul in special, manifesta in aceste zone efecte de plasticitate. Forma si marimea enclavei plastice depinde de starea de deformatie si de tensiune care exista la varful fisurii, ca urmare a interactiunii dintre geometria corpului, incarcarea aplicata si caracteristica de deformatie  $F-\delta$  a materialului.

Studii experimentale [5.33] efectuate de Rosenfield au scos in evidenta doua moduri principale de formare a enclavei plastice in varful fisurii, si anume:

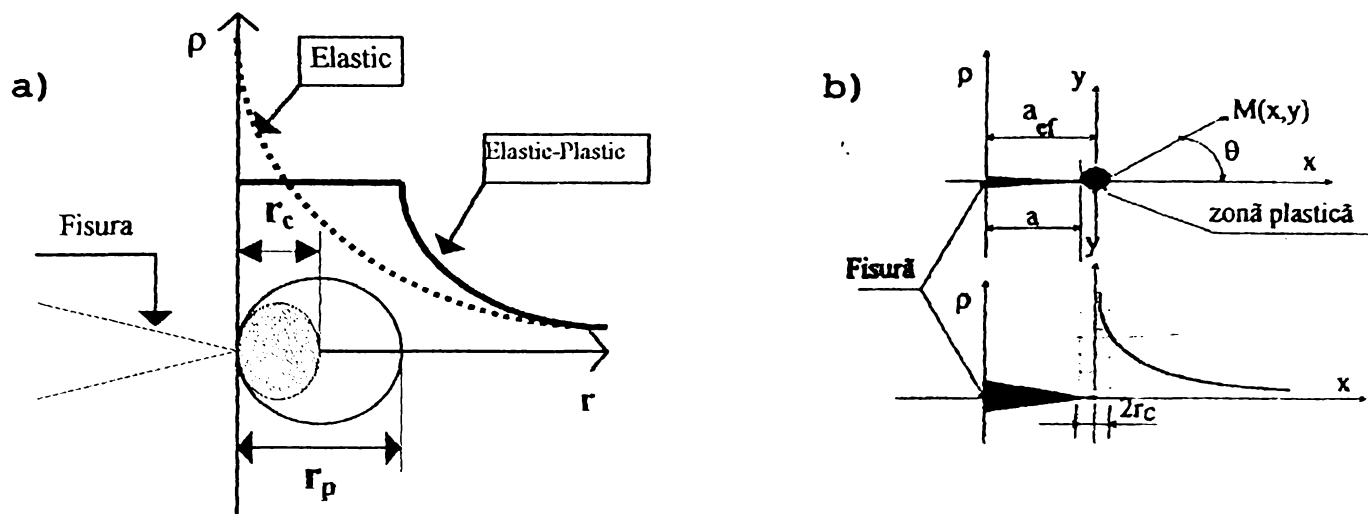
- la tensiuni relativ mici, enclava plastica se extinde normal pe planul fisurii, implicand formarea unei articulatii plastice la extremitatile acesteia ;
- la tensiuni mari, zona plastica emana plane de alunecare care se orienteaza paralel cu planul fisurii; in sectiune transversala planele paralele de alunecare sunt dispuse in doua retele ortogonale inclinate la  $45^{\circ}$  fata de planul de sectiune al articulatiei;

- la tensiuni aplicate moderat, morfologia enclavei plastice apare intr-o configuratie mixta de tranzitie, de la o alunecare de tip articulatie la alunecare in plane inclinate la  $45^{\circ}$ .

O prima aproximatie privind zona plastica din vecinatatea varfului fisurii o constituie utilizarea relatiilor LEFM, in care se considera ca in aceasta zona tensiunea este constanta si egala cu limita de curgere a oțelului (fig. 5.5.a), estimarea zonei plastice facându-se cu relatia:

$$r_c = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{K_i}{\rho_c} \right) \quad (5.3)$$

unde:  $\rho_c = \{\sigma_c, \tau_c\}$  si  $K_i = \{K_I, K_{II}, K_{III}\}$



**FIG. 5.5. Modelul fizic al fisurii:**

a) limitele LEFM; b) imaginat de Irwin

sau utilizand modelul Irwin, (fig. 5.5.b) care in locul lungimii reale a fisurii foloseste o lungime de calcul mai mare, numita lungime efectiva, obtinuta prin adaugarea razei  $r_p$  a zonei plastice la lungimea reala a acesteia,

$$a_{cf} = a + r_c \quad (5.4)$$

Estimarea zonei plastice la varful fisurii se poate face aplicand criteriile de plasticitate Tresca, Von Mises sau cel propus de Diaconescu, Frunza, Secara [5.30].

Dupa Anderson [5.29], cel mai utilizat este criteriul Von Mises, definit de relatia:

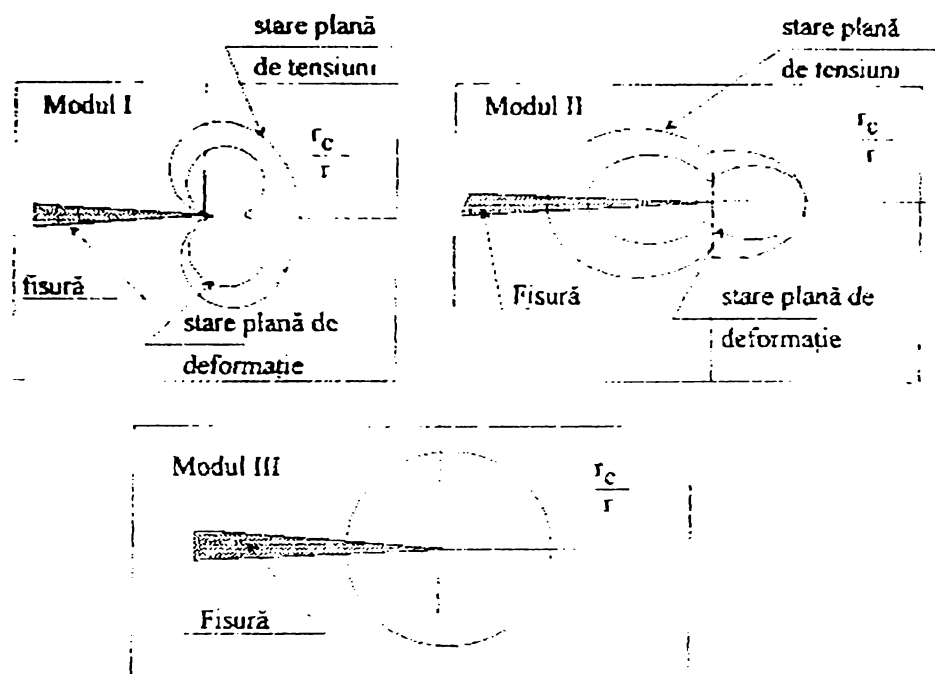
$$\frac{1}{\sqrt{2}} \left[ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{1/2} = \sigma_{ech} = \sigma_c \quad (5.5)$$

unde:  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  sunt tensiunile principale

$\sigma_c$  reprezinta limita de curgere a materialelor, cu care se poate obtine prin calcul raza zonei plastice la varful fisurii, (fig. 5.6) in functie de modul fundamental de rupere.

Utilizand tensiunile principale ale tensorului tensiune modul I de rupere (vezi §5.2.2.2), se obtine:

$$r_c(\theta) = \begin{cases} * \text{ pentru starea plană de tensiune} \\ \frac{1}{4\pi} \left( \frac{K_I}{\sigma_c} \right)^2 \left[ 1 + \cos \theta + \frac{3}{2} \sin^2 \theta \right] \\ * \text{ pentru starea plană de deformatie} \\ \frac{1}{4\pi} \left( \frac{K_I}{\sigma_c} \right)^2 \left[ (1 + 2\nu)^2 (1 + \cos \theta) + \frac{3}{2} \sin^2 \theta \right] \end{cases} \quad (5.6)$$



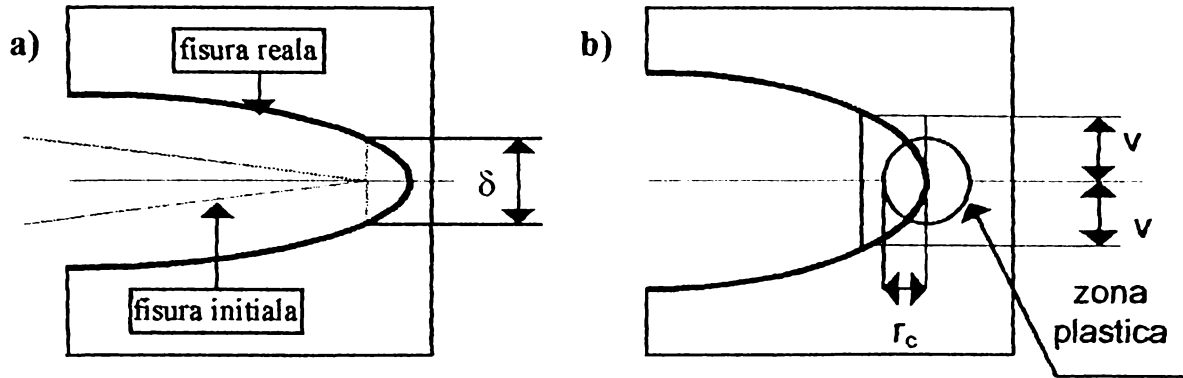
**FIG. 5.6.** Forma enclavei plastice la **varful** fisurii calculata cu criteriul **von Mises**

Relatiile de calcul detaliate, pentru toate modurile de rupere, sunt prezentate in Anexa **A.V.1**.

Dimensiunile zonei plastice pot fi analizate si prin utilizarea criteriului energetic. Astfel, Wells [5.36] a fundamentat o teorie bazata pe existenta unei deformatii critice a materialului a carei depasire conduce la aparitia ruperii in zona respectiva, introducand parametrul CTOD (Crack Tip Opening Displacement - deplasarea deschiderii varfului fisurii) ca o masura a tenacitatii de rupere prin deschiderea varfului fisurii in functie de factorul de intensitate atensiunii si tensiunea limita.

Bazat pe modelul care-i poarta numele (fig. 5.7) Wells a demonstrat ca valoarea critica de deschidere a fisurii  $\sigma_c$ , este un parametru echivalent al tenacitatii ruperii la starea plană de deformatie  $K_{Ic}$ , care poate fi folosit atat in zona de solicitare elastica cat si in cea plastica.

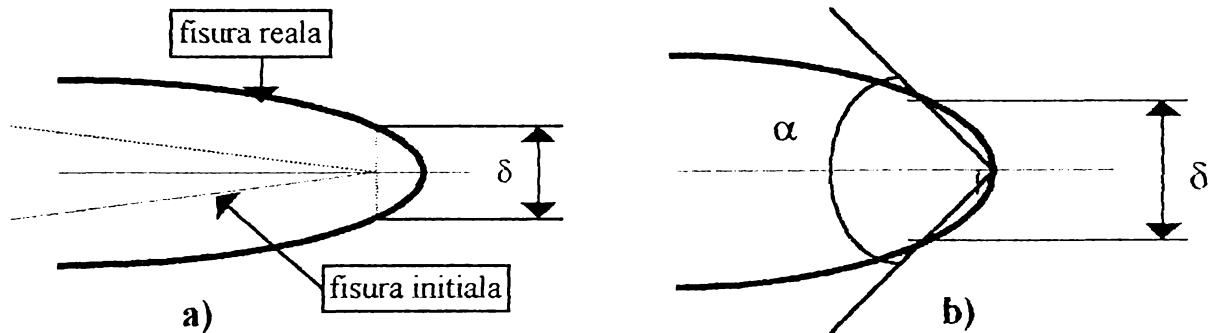




**FIG. 5.7.** Parametrul CTOD-masura a tenacitatii de rupere

Dintre mai multe posibilitati, doua definitii privind parametrul CTOD, apar mai importante, ele fiind ilustrate si in figura 6.8:

- prima masoara deplasarea la varful fisurii initiale, iar
- a doua masoara deplasarea la intersectia perpendicularelor duse din varful fisurii reale cu fetele acesteia,  $\alpha = \pi/2$ .



**FIG. 5.8** Moduri de masurare a deplasarii fisurii,  $\delta$ .

Determinarea experimentală a parametrului CTOD este foarte simplă, încercarea făcându-se pe o epruvetă de tip bară simplu rezemată (fig.5.9a) încărcată după o curbă tipică  $F-\delta$  (fig. 5.9b), pentru care se obține:

- dacă solicitarea are loc în domeniul elastic,

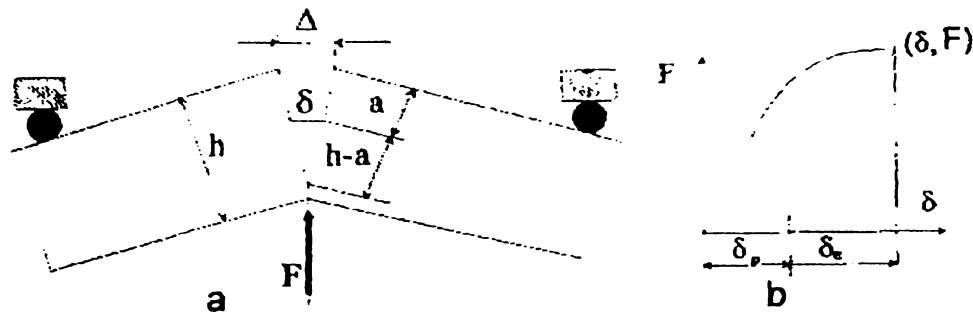
$$\delta = CTOD = \frac{\varpi(h-a)\Delta}{\varpi(h-a) + a} \quad (5.7)$$

- dacă solicitarea are loc în domeniul plastic, pentru un punct de coordonate  $(\Delta, F)$ ,

$$\delta = CTOD = \delta_e + \delta_p = \frac{K_i^2(1-\nu^2)}{m\sigma_c E} + \frac{\varpi_p(h-a)\Delta p}{\varpi_p(h-a) + a} \quad (5.8)$$

unde:  $\delta_e$ ,  $\delta_p$  reprezintă deformația elastică, respectiv deformația plastică;

$\varpi_p \approx 0,44$ , pentru oțel și teste de epruvete.



**FIG.5.9.** Model de determinare al parametrului **CTOD**  
 a) modelul experimental    b) curba de încărcare

Bazat pe a doua definiție a parametrului CTOD, Rice a propus utilizarea integralelor de contur  $J$  ca parametru de caracterizare a ruperii pentru materialele neliniare (fig. 5.10a). În lucrarea [5.37] el a propus idealizarea deformatiei elasto-plastice ca o deformatie elastica neliniara și utilizând notiunile din teoria deformațiilor plastice la analiza fisurii în materialele neliniare a demonstrat că **rata de eliberare a energiei este egală cu integrala de contur  $J$** , independentă de traseul de integrare (fig. 5.10b) și care se exprimă printr-o relație de tipul:

$$J = \int_{\Gamma} \left( w dy - T \frac{\partial U}{\partial x} ds \right) \quad (5.9)$$

în care:  $\Gamma$  = un contur plasat în interiorul corpului, care înconjoară discontinuitatea produsă de vârful fisurii, pe care se face integrarea;

$T$  = tensorul tensiunilor;

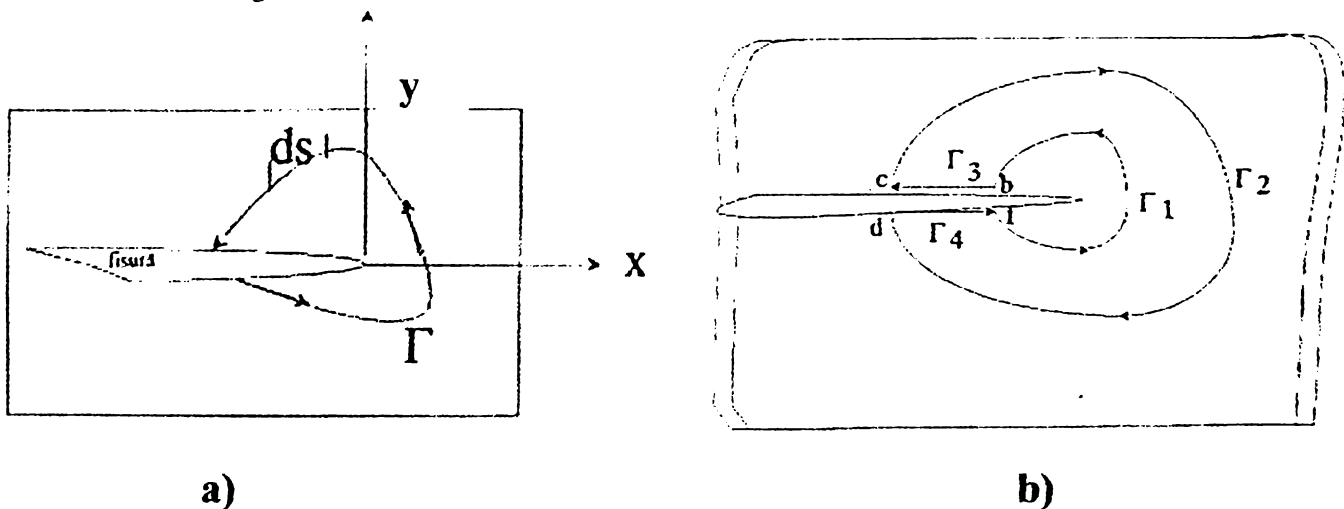
$U$  = vectorul deplasare;

$ds$  = elementul de arc de-a lungul conturului  $\Gamma$ ;

$w$  = energia de deformare pe unitatea de volum;

Legătura dintre  $J$  și COTD, se exprimă prin [5.35]:

$$J = \sigma_c \cdot \text{CTOD} \quad (5.10)$$



**FIG. 5.10.** Integrala de contur  $J$ :

a) modelul Rice; b) ilustrarea invariantei integralei  $J$  fata de traseul parcurs.

Abordarea unui criteriu care sa cuprinda toate teoriile de rupere in care este posibila extinderea fisurii este posibila prin folosirea integralei  $J$ , care fiind independenta de conturul de integrare, ofera posibilitatea evaluarii starii de tensiune si deformatie din zona adiacenta varfului fisurii, dand si posibilitatea explicitarii analitice.

Astfel initierea extinderii unei fisuri apare cand integrala  $J$  atinge valoarea critica  $J_{cr}$ , exprimata ca tenacitate a materialului.

Starea de fisurare se poate exprima cu ajutorul energiei,  $J_{appl}$  (engl., applied=aplicat) din jurul varfului fisurii si poate fi calculata cu metoda elementului finit, utilizand o retea de elemente finite isoparametrice comasate in jurul varfului fisurii (fig. 5.11).

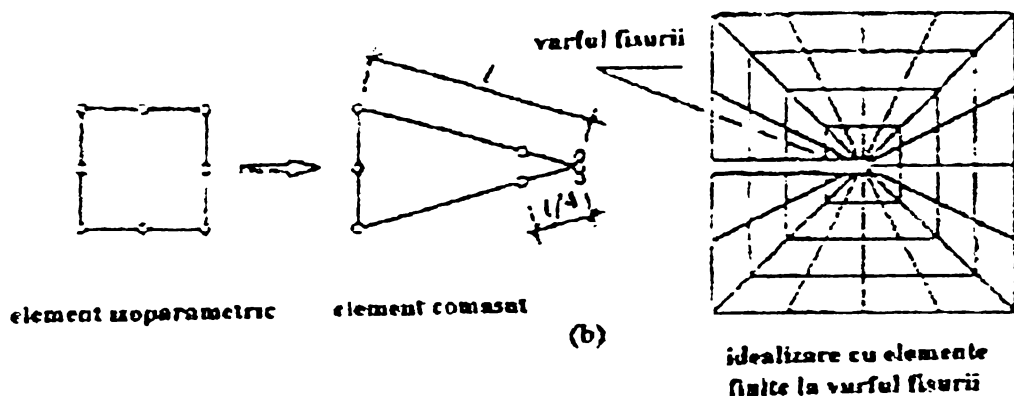


FIG. 5.11. Elemente finite si retea de elemente finite pentru calculul lui  $J_{appl}$

#### 5.2.2.2. Moduri de solicitare si tipuri de rupere

Cu toate aspectele interesante, teoria lui Griffith are unele neajunsuri in aplicarea ei din cauza unor dificultati practice privind determinarea energiei specifice  $\gamma$  (vezi § 5.2.1.1.).

Pornind de la acest aspect Irwin (1950) a dezvoltat o teorie fundamentala noua in mecanica liniar elastica a ruperii bazata pe factorul de intensitate al tensiunii, notat cu  $K$ , in onoarea lui **Joseph Kies**, un colaborator apropiat a lui Irwin.

$K_I$  - Factor care exprima concentrarea tensiunii intr-un corp elastic in zona adiacenta varfului unei fisuri ale carei flancuri au tendinta sa se deschida deplasandu-se dupa o

directie perpendiculara pe flancurile fisurii sub actiunea sollicitarilor aplicate corpului.

Factorul de intensitate a tensiunii este proportional cu sarcina aplicata si depinde de lungimea fisurii si dimensiunea epruvetei si se masoara in  $N/mm^{3/2}$  [5.15].

La extensia unei fisuri in procesul de propagare a acesteia, marginile ei pot avea, in cazul cel mai general prezentat de Irwin [5.11], trei miscari cinematice independentedupa cum se arata in figura 5.12, posibilitati suficiente pentru a descriemodul de deformare in zona adiacenta varfului unei fisuri, pentru cazul cel mai generalde sollicitare. Cele trei posibilitati s-au denumit moduri fundamentale de deplasare sau moduri de rupere, dupa cum urmeaza:

**-modul I** (modul de deplasare prin tractionarea sau deschiderea marginilor) - fisura se extinde ca urmare a deplasarii punctelor de pe suprafata fisurii dupa o directie perpendiculara pe planul acesteia.

**-modul II** (alunecare in plan) - fisura se extinde prin alunecarea frontala prin deplasari ale punctelor de pe suprafata fisuri in planul acesteia perpendicular pe frontul fisurii si in sensul de inaintare a acesteia.

**-modul III** (alunecare antiplana) - fisura se extinde prin lunecarea laterala, deplasarile punctelor de pe suprafata fisurata se fac in planul fisurii, paralel cu frontul acesteia.

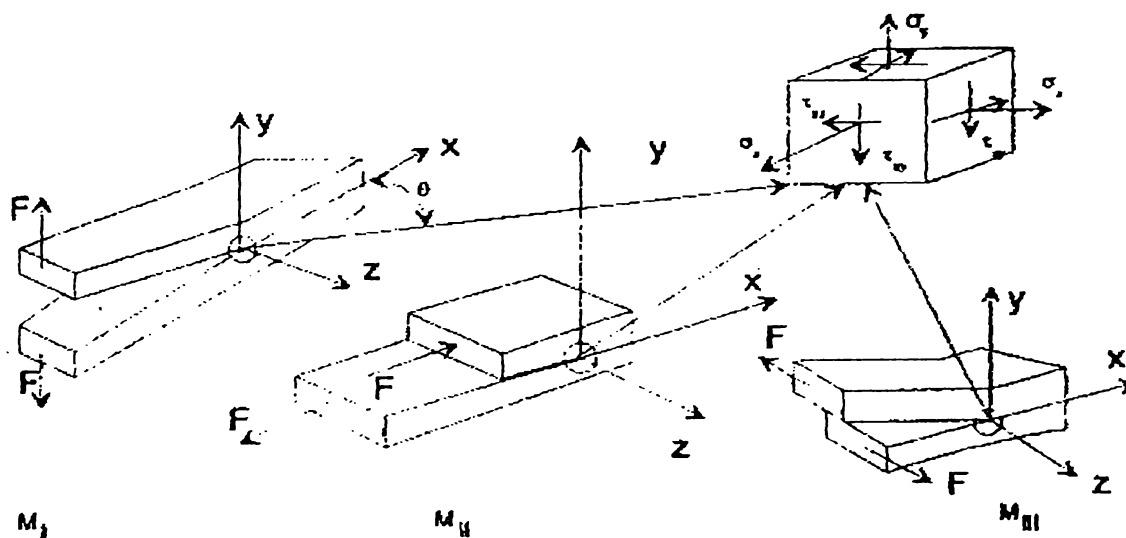


FIG. 5.12. Modurile fundamentale de propagare a fisurilor

Alte moduri posibile pot fi prezentate prin combinarea acestora.

#### 5.2.2.2. Factorul de intensitate al tensiunii

Starea de tensiune intr-un punct din vecinatatea unei fisuri, aratata in figura 5.13, se poate explicita cu relatiile cunoscute din teoria elasticitatii [5.10], [5.12], [5.13] in functie de conditiile limita. Dupa [5.10] starea de tensiune intr-un punct din vecinatatea varfului fisurii are un caracter singular si in coordonate polare se exprima (fig. 5.13) ca produsul dintre:

-un factor  $k = \sigma \sqrt{\pi a}$  care inglobeaza intensitatea sollicitarii si dimensiunea fisurii.

-un factor singular  $1/\sqrt{2\pi r}$ .

-trei functii de unghi,  $f_x(\theta)$ ,  $f_y(\theta)$  si  $f_{(xy)}(\theta)$ .

Din [5.14], pentru modul I de rupere, cel mai frecvent intalnit in practica, calculul tensiunilor  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  si  $\tau_{xy}$ , rezulta:

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \begin{bmatrix} 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \\ 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \\ \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$ ,  $\tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$ , pentru starea de deformatie plana  
si  $\sigma_z = \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$ , pentru starea de tensiune plana.

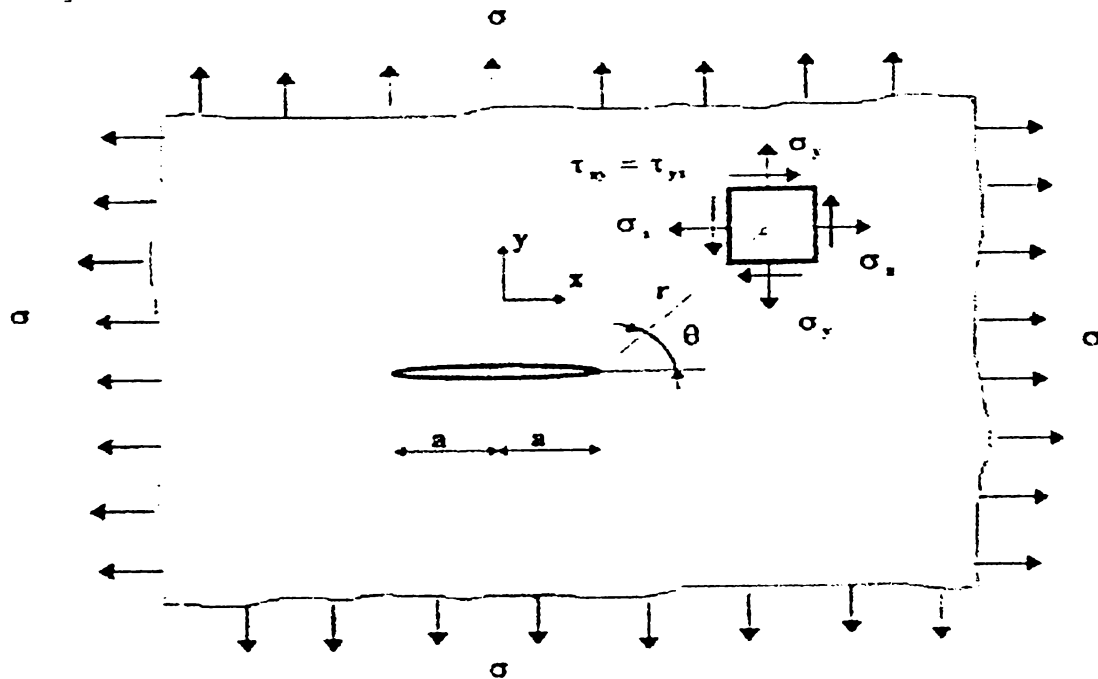


FIG. 5.13. Starea de tensiune la varful unei fisuri

Se subliniaza, dependenta tensiunilor de un factor, notat K, numit **factor de intensitate a tensiunii**, in modul de



rupere I. Factorul de intensitate a tensiunilor  $K_I$  depinde de: **fisura, geometria piesei si sollicitarile exterioare.**

In mod similar se pot defini si factori de intensitate a tensiunilor corespunzatori modurilor de rupere II si III.

Componentele starii de tensiune in cazul cel mai general de solcitare prezinta o singularitate proportionala cu  $1/\sqrt{2\pi r}$  pentru toate modurile de deplasare astfel ca se pot separa factorii de intensitate a tensiunii  $K_I, K_{II}, K_{III}$  respectiv functiile de unghi  $f_{Ix}(\theta), f_{Iy}(\theta), f_{Ixy}(\theta), f_{IIx}(\theta), f_{IIy}(\theta), f_{IIxy}(\theta), f_{IIIx}(\theta), f_{IIIy}(\theta), f_{IIIxy}(\theta)$  asociate fiecarui mod. Expresiile generale ale starii de tensiune sunt:

$$\sigma_{xx} = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} [K_I f_{Ix}(\theta) + K_{II} f_{IIx}(\theta) + K_{III} f_{IIIx}(\theta)] \quad (5.12)$$

$$\sigma_{yy} = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} [K_I f_{Iy}(\theta) + K_{II} f_{IIy}(\theta) + K_{III} f_{IIIy}(\theta)] \quad (5.13)$$

$$\tau_{xy} = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} [K_I f_{Ixy}(\theta) + K_{II} f_{IIxy}(\theta) + K_{III} f_{IIIxy}(\theta)] \quad (5.14)$$

Solutia prezentata anterior pentru factorul de intensitate a tensiunilor  $K_I$ , este valabila pentru o placa plana infinita supusa la intindere. Geometria si dimensiunile elementului, respectiv ale epruvetei influenteaza esential campul de tensiuni de la varful fisurii. In aceste conditii expresia factorului de intensitate al tensiunii capata forma generala:

$$K_I = C\sigma\sqrt{\pi a} \quad (5.15)$$

In anexa **A V.2** sunt prezentate o serie de relatii de calcul din care se poate calcula factorul de intensitate al tensiunii pentru diferite sollicitari, geometrii si diferite moduri de amplasare a fisurilor, care se pot intalni la elementele tablurilor metalice nituite [5.45], [5.51], [5.52].

### **5.3. OBOSEALA SI MECANICA RUPERII**

Asa cum am aratat in [5.9] ruperea prin oboseala a unui element metalic se produce ca urmare a aparitiei si apoi a dezvoltarii si extinderii unei fisuri, pana cand eforturile unitare din sectiunea nefisurata ating limita de rupere, moment in care se produce colapsul.

Primele studii sistematice ale fenomenului de oboseala, initiate de Wöhler in anul 1860, au avut ca scop trasarea curbelor de oboseala pentru otel ca o relatie  $\sigma_{\max}-N$ , intre efortul unitar maxim la care se produce ruperea si numarul de cicluri de sollicitare.

Odata cu aparitia disciplinei de mecanica ruperii s-a impus ca viteza de propagare a fisurilor de oboseala sa fie corelata cu factorul de intensitate a tensiunii, stiind ca acest parametru are o importanta fundamentala asupra extinderii fisurii la nivel macroscopic.

Incepand cu anul 1960 au aparut primele studii privind infuenta factorului de intensitate a tensiuni asupra vitezei la propagare a fisurilor de oboseala, fapt ce a condus la un nou mod de abordare a fenomenului de oboseala.

#### **5.3.1. Propagarea fisurii si factorul de intensitate al tensiunii**

Intr-o viziune acceptata de numerosi cercetatori [5.10], [5.16], [5.18], procesul ruperii in materialele cristaline de desfasoara in doua faze:

- a) nucleatia microfisurilor prin mecanisme determinate de echilibrul static si dinamic al dislocatiilor;
- b) dezvoltarea microfisurilor in fisuri macroscopice sau in alte formatii, prin propagare.

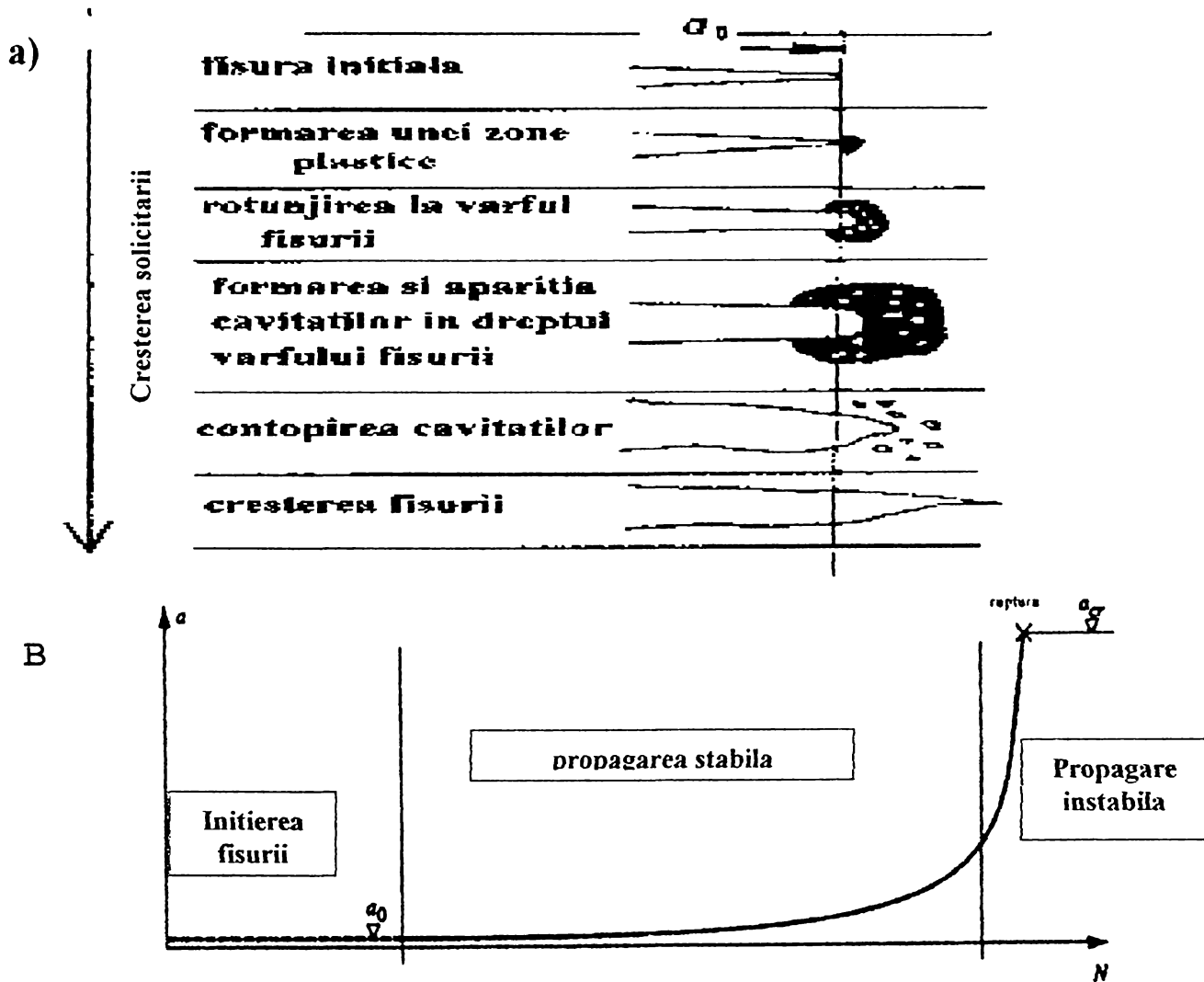
In general prima faza este controlata de componenta tangentiala a tensiunii in planele favorabile miscarii dislocatiilor (fig.5.4). Faza a doua este in principal controlata de componenta normala a tensiunii. Stadiul al II-lea incepe atunci cand fisura are o lungime suficienta pentru a provoca o concentrare triaxiala a tensiunii care sa produca o enclava deformata plastic in varful fisurii.

Ruperea prin separare (clivare) apare atunci cand in faza a doua, la nivel macroscopic se creeaza conditiile suprimarii deformatiei plastice fie datorita scaderii temperaturii, fie prin efecte de natura metalurgica (transformari de faze, segregari la limita grauntilor, etc) sau geometrica.

Ruperii ductile ii este caracteristica dezvoltarea microfisurilor nucleate in cavitati rotunjite prin deformare

plastica intensa la varful microfisurilor si apoi subsecvent coalescenta cavitatilor in urma curgerii plastice instabile si gaturirii domeniilor de separatie intre cavitati.

Verificarile la oboseala efectuate pe epruvete special destinate incercarilor de acest fel au permis observarea relatiei intre numarul de cicluri  $N$  si dimensiunea "a" a fisurii. In figura 5.14 se poate vedea influenta pe care o are cresterea incarcarii asupra mecanismului de extindere a fisurii.



**FIG. 5.14** Initierea si propagarea unei fisuri din oboseala :  
**a)** mecanismul de dezvoltare ; **b)** fazele de propagare.

Principala problema care apare la studiul fenomenului de oboseala este de a stabili durabilitatea unei structuri in dependenta directa cu propagarea unei fisuri existente sau care s-a initiat in structura.

Cele doua faze care descriu procesul ruperii materialelor cristaline in general si a otelului moale in particular, pot fi usor corelate cu fazele de evolutie a fisurilor, cu mentiunea ca din punct de vedere practic faza a doua a procesului de rupere (dezvoltarea fisurilor) de divide

in doua parti, rezultand trei faze de evolutie a fisurii, asa cum se arata in figura 5.14.b, si anume:

I-1) initierea

II-2) propagarea stabila, si

-3) propagarea instabila in urma careia se produce ruperea

Faza de initiere poate dura foarte mult timp pentru elementele laminate; ea poate in schimb sa fie foarte scurta pentru elementele sudate ce contin imperfectiuni importante.

Propagarea fisurii poate fi foarte lenta la inceput, dar creste exponential pe masura inintarii acesteia. Plecand de la relatia  $a-N$  (figura 5.14.b) se poate calcula viteza de propagare  $da/dN$ , cu alte cuvinte cresterea "da" a dimensiunii fisurii raportata la ciclul "dN".

Multi cercetatori si-au concentrat preocuparile in vederea elucidarii mecanismului de propagare a fisurilor prin stabilirea unei legaturi cantitative intre viteza de propagare a fisurii si numarul de cicluri de solicitare aplicate (Valluri [5.19], Grosskreutz [5.20], Weertman [5.21], McEvily si Johnston [5.22]) propunand diferite ipoteze de abordare, dar care desi au reprezentat progrese in teoria procesului de degradare au un grad restrans de generalitate si nu sunt usor de aplicat in practica.

Progresele ulterioare inregistrate in studiul fenomenului ruperii materialelor cu metodele mecanicii mediului continuu deformabil, au facut posibile interpretari macroscopice cantitative prin corelarea vitezei de propagare a fisurilor in stadiul al II-lea (faza 2 si 3 din fig. 5.14.b) cu factorul de intensitate a tensiunii  $K$  - parametru care inglobeaza asa cum am aratat deja atat intensitatea solicitarii cat si geometria dispunerii fisurii in corpul analizat. Se considera un element in care s-a format printr-un mecanism oarecare o fisura. Sub actiunea solicitarilor variabile, carora li se poate adauga si atacul unor factori agresivi de mediu, fisura va creste in timp.

In vecinatatea varfului fisurii se va forma o zona plastica de forma variabila, lasand in timpul propagarii o urma plastica, figura 5.15.a.

Faptul ca factorul de intensitate a tensiunii defineste univoc campul de tensiune si deformatie din zona adiacenta varfului fisurii, chiar si in cazurile cand se formeaza o enclava plastica de extindere limitata, a sugerat ideea corelarii acestui parametru cu viteza de propagare a fisurilor.

Legatura functionala dintre acesti parametri se poate realiza printr-o relatie matematica de forma:

$$\frac{da}{dN} = F_1(a, \sigma_i, g_i, c_K, K_c) = F_1(\Delta K, R) \quad (5.16)$$

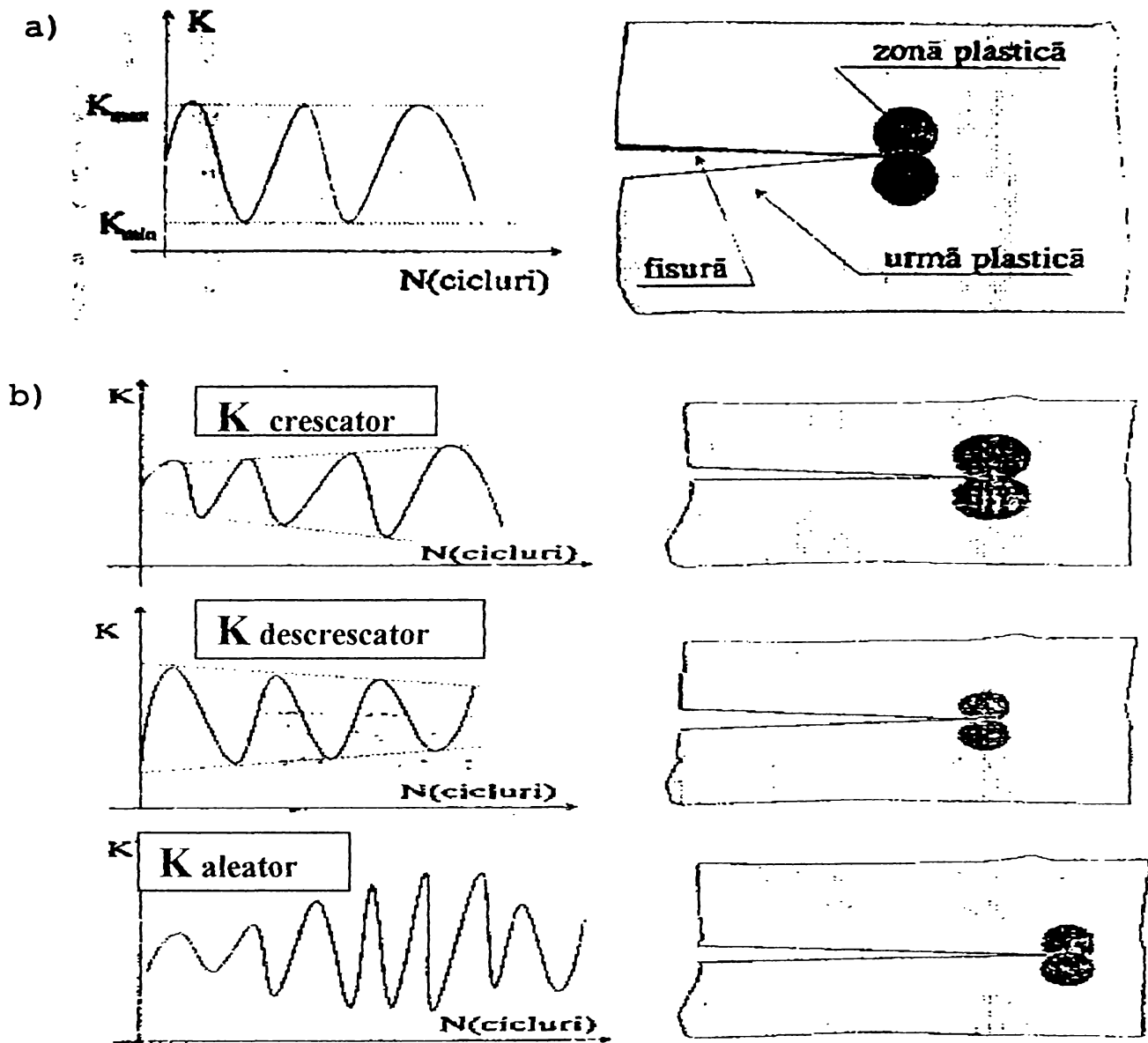


FIG. 5.15. Creșterea fisurilor de oboseala sub acțiunea sollicitărilor variabile:

a) cu amplitudine constantă b) cu amplitudine variabilă.

unde:  $a$  = lungimea fisurii

$\sigma_i$  = intensitatea soliciării

$g_i$  = descrie geometria elementului

$c_K$  = parametri și constante de materiale care definesc caracteristicile fizice și mecanice ale materialului

$K_c$  = valoarea critică a intensității tensiunii, la care propagarea devine instabilă, numită tenacitate la rupere [5.15].

$\Delta K = K_{max} - K_{min}$ , diferența factorilor de intensitate a tensiunii



$R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = K_{\min} / K_{\max}$ , reprezinta coeficientul de asimetrie a ciclului de sollicitare

Au fost propuse mai multe expresii pentru functia  $F_1$ , cunoscute sub denumirea de **modele de propagare a fisurii**, asa cum sunt descrise in anexa **A.V-3**, unele fiind chiar empirice.

In cazul podurilor metalice, sub convoaiele de exploatare (trenuri reale aflate in circulatie intr-o perioada de timp care produc ecarturi de tensiuni variabile), cresterea fisurii depinde de istoria incarcarii la fel ca si valoarea curenta  $\Delta K$ , iar viteza de crestere a fisurii este data de relatia:

$$\frac{da}{dN} = F_2(\Delta K, R, H) \quad (5.17)$$

in care  $H$  reprezinta dependenta de incarcarea initiala precedenta care rezulta din deformatia plastica anterioara. In figura 5.15.b se arata cateva situatii tipice de propagare a fisurii sub sarcina cu amplitudine variabila, in fiecare caz, incarcarea anterioara influentand forma zonei plastice din vecinatatea varfului fisurii. In asemenea cazuri analiza cresterii fisurii de oboseala devine mult mai complicata si se rezolva de obicei cu metode numerice pe computer.

Prezentarea datelor de propagare se face in mod obisnuit sub forma unei diagrame trasata in coordonate logaritmice, avand pe abscisa variatia factorului de intensitate a tensiunii  $\Delta K$ , iar pe ordonata viteza de propagare,  $da/dN$ . Indiferent de valoarea tensiunii maxime, rezultatele se grupeaza in jurul unei curbe, avand forma de sigmoida, (fig. 5.16) care sugereaza existenta anumitor domenii caracteristice vitezei de propagare [5.29], [5.30], prezentate si in tabelul 5.1.

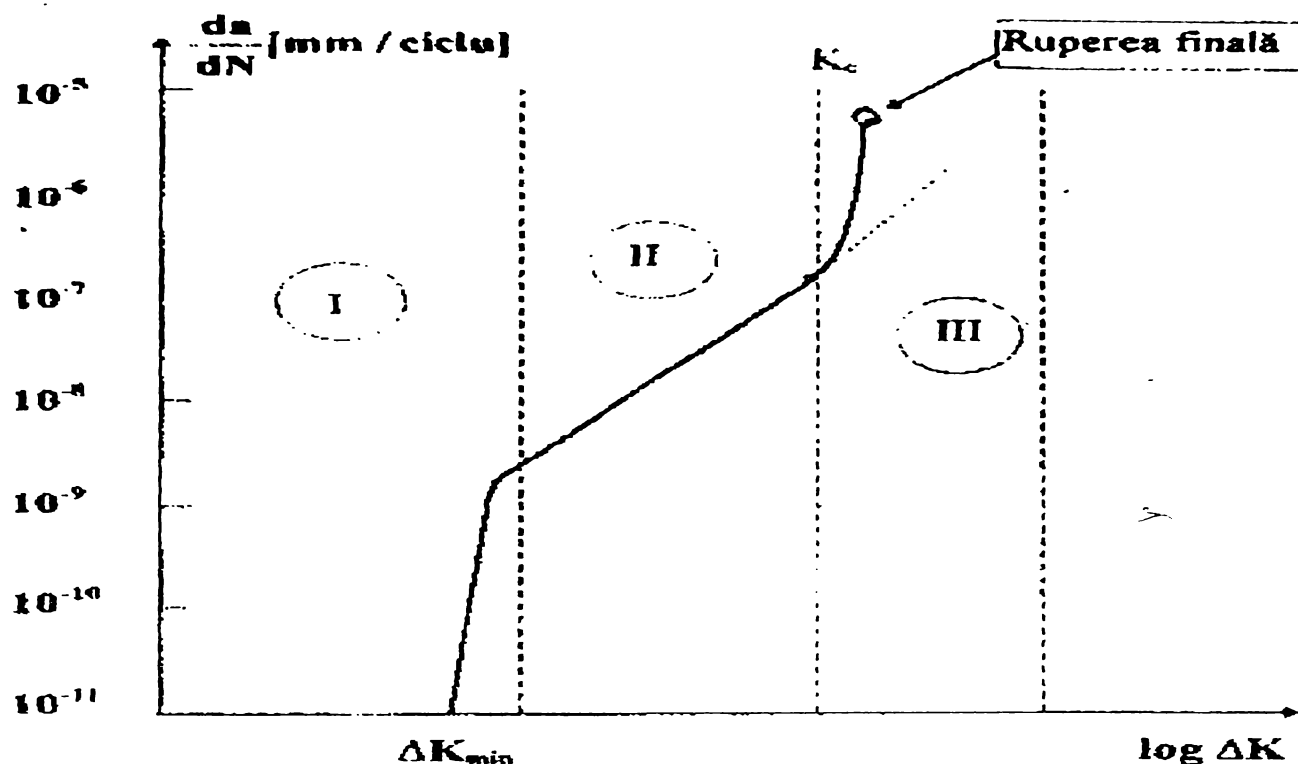


Figura 5.16. Curba tipica de propagare a fisurilor

TABELUL 5.1

RELATII DE CALCUL UZUALE  
PENTRU DOMENIILE DE PROPAGARE A FISURILOR.

Domeniul	Relatia de calcul	Intervalul de valabilitate (m/ciclu)	Specificatii
I	$\frac{da}{dN} = C_1 \left( \Delta K^{m_1} - \Delta K_{th}^{m_1} \right)$	$\frac{da}{dN} < 10^{-8}$	$C_1, m_1$ sunt factori de material
II	$\frac{da}{dN} = C_2 \cdot \Delta K^{m_2}$	$\frac{da}{dN} \in [10^{-8} \dots 10^{-6}]$	$C_2, m_2$ sunt factori de material
III	$\frac{da}{dN} = \frac{C_3 \cdot \Delta K^{m_3}}{(1-R)K_c - \Delta K}$	$\frac{da}{dN} > 10^{-6}$	$C_3, m_3$ sunt factori de material

Domeniul I, corespunde unor viteze de propagare  $da/dN$  de pana la  $10^{-8}$  m/ciclu. In acest domeniu se defineste o valoare  $\Delta K_{th}$  minima, numita valoare de prag a variatiei factorului de intensitate a tensiunii, sub care o fisura existenta de oboseala nu se propaga. Odata cu cresterea amplitudinii solicitarii peste valoarea stabilizata  $\Delta K_{th}$ , viteza de propagare creste lent catre o valoare stabilizata; Curba de

propagare in acest domeniu este exprimata prin relatii de forma:

$$\frac{da}{dN} = C_1 \cdot (\Delta K^{m_1} - \Delta K_{th}^{m_1}) \quad (5.18)$$

unde  $C_1$ ,  $m_1$  sunt factori de material, iar parametrul  $\Delta K_{th}$  se determina experimental.

**Domeniul II**, in care viteza de propagare este de ordinul  $10^{-8}$ - $10^{-6}$  m/ciclu. Fenomenul de propagare este stabilizat si marcat pe portiunea liniara a diagramei din figura 5.16 pentru care unanim acceptata relatia de propagare cunoscuta sub denumirea de legea lui Paris. Pornind de la observatii experimentale, Paris a postulat ca viteza de propagare a fisurilor,  $da/dN$ , este determinata de extinderea variatiei factorului de intensitate a tensiunii  $\Delta K$ , rezultata din variatia  $\Delta\sigma$  a tensiunii aplicate:

$$\Delta K = K_{max} - K_{min} = Y \cdot \Delta\sigma \cdot \sqrt{\pi a} \quad (5.19)$$

Corelatia propusa de Paris, care ulterior a devenit sinteza diferitelor relatii propuse pentru descrierea legaturii dintre viteza de propagare a fisurii  $da/dN$  si diferenta factorilor de intensitate a tensiunii  $\Delta K$ , are expresia cea mai simpla si cea mai utilizata, valabila in domeniul de propagare stabila, si este de forma (figura 5.16)

$$\frac{da}{dN} = C_2 (\Delta K)^{m_2} \quad (5.20)$$

unde  $C_2$  este o constanta care depinde de material si de valoarea medie a solicitarii  $\sigma_{med}$ , denumita **rata de progresie a fisurii** iar  $m_2$  este o alta constanta de material.

**Paris** si **Erdogan** au propus  $m_2=4$ , care s-a corelat cu datele experimentale obtinute, iar cercetari ulterioare au aratat ca  $m_2 \in [2, 7]$ , in functie de material.

In tabelul 5.2. sunt sumarizate, dupa [5.23] cele mai cunoscute relatii empirice, semiempirice sau derivate din modelarea mecanismului de propagare a fisurilor in stadiul al II-lea.

**TABELUL 5.2.**

**Relatii empirice, semiempirice sau derivate din modelarea mecanismului de propagare a fisurilor in stadiul al II-lea**

NR. CRT.	FORMA RELATIEI	AUTOR	OBSERVATII
1.	$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta\sigma)^3 a$	FROST, DUGDALE	
2.	$\frac{da}{dN} = C$ PENTRU $\Delta\sigma = \text{CONSTANT}$	FROST, DUGDALE, WEIBULL	$\Delta K$ : variatia factorului de intensitate a tensiunii
3.	$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K)^4$	PARIS	$\Delta\sigma$ : amplitudinea tensiunii aplicate
4.	$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta\sigma)^2 a$	LIU	$\Delta\sigma_e$ : amplitudinea limita a tensiunii sub care nu se mai propaga fisura
5.	$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta\sigma)^\beta a^\alpha$	SCHIJVE	$a$ : lungimea fisurii $\alpha$ : exponentul Manson-Coffin $\lambda$ : coef. de ecrusare ciclica
6.	$\frac{da}{dN} = C(\Delta\sigma - \Delta\sigma_e)^\alpha$	WEIBULL	$C, m, \beta$ : constante empirice
7.	$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K) \frac{2\lambda}{1+\lambda} \frac{1}{mk}$	YOKOBORI	

**Domeniul III**, corespunde vitezelor de propagare mari, de peste  $10^{-6}$  m/ciclu. In acest domeniu propagarea este instabila, fisura creste rapid cu fiecare ciclu de solicitare, pana la o lungime critica corespunzatoare defectului final. Multi cercetatori au dezvoltat ecuatii care moduleaza aceasta zona, unele empirice iar altele bazate pe o analiza fizica a fenomenului, pornind de la observatia ca propagarea fisurilor este influentata de:

**a) Starea de tensiune** care rezulta in zona adiacenta a frontului fisurii in urma interconditionarii dintre sarcinile aplicate, geometria probei si caracteristicile de deformare ale materialului.

In placi groase - cu puternica constrangere a deformatiei in directia grosimii - prevaleaza starea plana de deformatie careia ii corespunde la varful fisurii o tensiune triaxiala inregistrandu-se vitezele de propagare cele mai mari. Deoarece caracterul plan al deformatiei este alterat la suprafata placii, cu estomparea starii triaxiala de tensiune spre o stare plana, viteza de propagare a fisurii este in general retardata la suprafata, astfel ca frontul fisurii are o forma curba, propagarea fiind mai avansata in centrul placii.

La placile subtiri, din materiale suficient de ductile (cum este capul de lonjeron, antretoaze si barele GP cu zabrele la tablurile nituite), solicitata de asemenea prin

modul I de deformatie (rupere), propagarea fisurii se face in conditiile starii plane de tensiune rezultat comparativ viteze mai mici de propagare si cu aparitia suprafetelor de rupere inclinate la  $45^{\circ}$  fata de suprafata placii. In cazul solicitarii de incovoiere in talpi se realizeaza modul I de deformare, astfel ca relatiile stabilite pentru propagarea fisurilor prin solicitari de tractiune sunt valide si in acest caz, daca se utilizeaza expresiile pertinente ale factorului de intensitate a tensiunii pentru incovoiere.

Propagarea fisurilor sub actiunea tensiunilor tangentiale (modul al doi-lea si al trei-lea de rupere, fig.6.12) a fost mai putin studiata, dar se presupune ca forma analitica a criteriilor cantitative pentru determinarea vitezei de propagare a fisurilor este valida si in acest caz.  
[5.23]

**b) Tensiunea medie.** La aceeasi amplitudine de solicitare viteza de propagare creste odatacu cresterea tensiunii medii de tractiune,  $\sigma_{med}=N/A_{net}$ , tendinta care insa se manifesta mai putin la otelurile nealiate cu continut scazut de carbon.

Cand propagarea fisurii se face in conditiile starii plane de deformatie, se poate utiliza relatia propusa de Pearson de forma:

$$\frac{da}{dN} = \frac{C_1(\Delta K)^m}{[(1-R)K_{Ic} - \Delta K]^2} \quad (5.21)$$

unde:  $K_{Ic}$ =reprezinta tenacitatea la rupere, adica factorul critic al intensitatii tensiunii la rupere prin solicitari singulare in conditiile starii plane de definitie [5.15] si a modului I de rupere.

In conditiile starii plane de tensiune, se poate aplica relatia propusa de Forman [5.31] de forma:

$$\frac{da}{dN} = \frac{C_1(\Delta K)^m}{[(1-R)K_{Ic} - \Delta K]^2} \quad (5.22)$$

unde:  $R=\sigma_{min}/\sigma_{max}=K_{min}/K_{max}$ ,

Weertman [5.32], a propus alternativ, o ecuatie semiempirica, tot pentru domeniile II si III, de forma:

$$\frac{da}{dN} = \frac{C_3\Delta K^4}{K_c^2 - K_{max}^2} \quad (5.23)$$

unde :

$K_c$ =factorul critic al intensitatii tensiunii la rupere prin solicitare singularea in conditiile starii plane de tensiune.



$C_3, m_3 = \text{constante empirice}$

Ecuatiile lui Foreman si Weertman au asimptote pentru  $K_{\max} = K_C$ , dar nici una nu prezice o valoare minima pentru  $\Delta K$ .

In tabelul 5.3. se dau principalele propuneri pentru estimarea influentei tensiunii medii asupra vitezei de propagare a fisurilor.

**TABELUL 5.3**

**Propuneri pentru estimarea influentei tensiunii medii asupra vitezei de propagare a fisurii**

NR. CRT.	FORMA RELATIEI	AUTOR	OBSERVATII
1.	$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K)^\delta$	PARIS	
2.	$\frac{da}{dN} = \frac{C \cdot \Delta K^m}{(1-R)K_{IC} - \Delta K}$	PEARSON	$\Delta K$ : variatia factorului de intensitate a tensiunii
3.	$\frac{da}{dN} = \frac{C \cdot \Delta K^m}{(1-R)K_C - \Delta K}$	FORMAN, KERNY, ENGLE	$\Delta K_{eR}$ : limita inferioara a factorului de intensitate a tensiunii sub care fisura nu se mai propaga
4.	$\frac{da}{dN} = \frac{C(\Delta K - \Delta K_{eR})^m}{[(1-R)K_{IC} - \Delta K]}$	CIOCLOV	$K_C$ : tenacitatea la rupere $R$ : coeficientul de asimetrie
5.	$\frac{da}{dN} = C \left( \frac{2}{1-R} \right)^{m_1} \cdot (\Delta K)^{m_1 + m_2}$	ERDOGAN	$C, m, m_1, m_2$ : coeficienti empirici
6.	$\frac{da}{dN} = \frac{C(\Delta K - \Delta K_{eR})^m}{[(1-R)K_C - \Delta K]}$	ERDOGAN, RATAWNI	

**c) influenta variabilitatii solicitarii;** In stadiul al doi-lea viteza de propagare a fisurilor variaza in limite largi,  $10^{-5} \div 10^{-2}$  mm/ciclu, in functie de intensitatea solicitarii variabile.

Cercetari experimentale [5.24], [5.25] au relevat o corelatie intre viteza de propagare si intervalul interstriatii, variatia intensitatii solicitarii conducand la modificarea vitezei de propagare de la un ciclu la altul, careia ii corespunde o variatie concordanta a intervalului interstriatii. In incercarile programate aleator s-a relevat influenta pregnantă a maximelor de solicitare carora le corespund striatii de latime extinsa, adica o accelerare a vitezei de propagare, precum si influenta, redusa practic, nesemnificativa asupra propagarii fisurii a spectrului de solicitare cu variabilitate mica.

**d) influenta microstructurii;** In stadiul al doi-lea de propagare, microstructura influenteaza putin viteza de propagare in materialele ductile [5.26] ceea ce explica faptul ca aceasta este bine corelata cu parametrii globali derivati din modelul mediului continuu deformabil, ca: variatia factorului de intensitate a tensiunii  $\Delta K$  sau proprietatile de rupere (tenacitatea la rupere)  $K_{Ic}$ .

In general, toate ecuatiile prezentate, au forma ecuatiei (5.15) si prin integrarea lor se poate calcula durabilitatea elementului in cauza. Cel mai general caz contine patru constante de material:  $C$ ,  $m$ ,  $\Delta K_{th}$  si  $K_c$ .

### 5.3.2. Preditia duratei de viata.

Mecanica ruperii si-a facut intrarea in domeniul oboselii mai ales dupa 1936, cand Paris [5.27], [5.28] a formulat ipoteza privind posibilitatea estimarii vitezei de propagarea a fisurii prin factorii de material asociati unei marimi de sollicitare unice, variatia factorului de intensitate a tensiunii,  $\Delta K$ .

In ultimii ani au aparut noi metode de cercetare (masini de incercare cu sisteme de comanda prin autocontrol in bucla inchisa, microscopie electronice capabile sa examineze direct suprafetele de rupere, difractia cu raze x, metode optice si tehnici de calcul numerice) ca rezultat al unor progrese importante in cunoasterea legilor de initiere si propagare a fisurilor prin oboseala, cu aplicatii imediate la problemele practice ale unor sectoare industriale, printre care si cel al mentenantei podurilor metalice vechi aflate in exploatare.

Apropierea continua intre rezultatele cercetarii si metodele de calcul folosite in dimensionarea si verificarea elementelor supuse la sollicitari variabile a permis inginerilor trecerea de la rutina aplicarii prevederilor unor standarde si norme de proiectare la intelegerea fenomenelor fizice si restrictiile care trebuie impuse in conditiile date.

Perioada de exploatare in siguranta este constituita din faza de initiere a fisurii si faza de propagare stabila (vezi figura 5.14.b), faza de propagare rapida (instabila) putand fi neglijata. Astfel durata de viata poate fi determinata analitic prin integrarea relatiei lui Paris:

$$N_{ij} = \int_{a_i}^{a_j} dN = \int_{a_i}^{a_j} \frac{1}{C \cdot \Delta K^m} \cdot da \quad (5.24)$$

unde:  $N_{ij}$ : numarul de cicluri de sollicitare necesare pentru a mari fisura de la dimensiunea  $a_i$  la  $a_j$ ;

$a$ : dimensiunea fisurii, cu  $a_j > a_i$

Admitand ca in relatia (5.15) a lui  $\Delta K$ , factorul de corectie este constant, se obtine expresia:

$$N_{ij} = \frac{1}{C \cdot \alpha \pi^{m/2} \cdot Y^m} \cdot \frac{1}{\Delta \sigma^m} \cdot \frac{1}{a_i^\alpha} \left[ 1 - \left( \frac{a_i}{a_j} \right)^\alpha \right] \quad (5.25)$$

$\alpha$  fiind constanta de integrare,  $\alpha = m/2 - 1$ ;

Relatia permite evaluarea efectului asupra duratei de viata a unui anumit numar de parametrii, ca de exemplu:

- dimensiunea initiala a fisurii,  $a_i = a_0$
- dimensiunea critica a fisurii,  $a_j = a_{cr}$
- ecartul de tensiuni,  $\Delta \sigma$
- geometria elementului si concentrarea de tensiuni, care influenteaza factorul  $Y$
- constantele de material  $C$  si  $m$ ;

Limitandu-ne la un singur detaliu constructiv, admitand cunoscute dimensiunile  $a_0$  si  $a_{cr}$  ale fisurii corespunzatoare acestui detaliu constructiv si ca factorul de corectie (4), reprezentand influenta geometriei fisurii si concentrarile de tensiuni asupra detaliului, este constant in cursul propagarii fisurii, relatia (5.24) se poate scrie:

$$N_{ij} = \int_{a_0}^{a_{cr}} dN = C_d \cdot \Delta \sigma^{-m} \quad (5.26)$$

in care, constanta  $C$  pentru detaliul constructiv este:

$$C_d = \frac{1}{C \cdot \alpha \pi^{m/2} \cdot Y^m} \cdot \frac{1}{a_0^\alpha} \left[ 1 - \left( \frac{a_0}{a_{cr}} \right)^\alpha \right] \quad (5.27)$$

Numarul de cicluri  $N_{ij}$  obtinut cu relatia (5.26) reprezinta **durata de viata** a detaliului considerat plecand de la dimensiunea initiala  $a_0$  pana la dimensiunea critica  $a_{cr}$ , admitand o propagare stabila a fisurii.

Numarul de cicluri  $N_{ij}$  este in mod unic functie de ecartul de tensiuni  $\Delta \sigma$ , toti termenii care intervin in constanta  $C_d$  fiind constanti pentru acelasi detaliu constructiv.

## 5.4. STUDII SI CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND TENACITATEA OTELULUI DIN TABLIERELE VECHI

### 5.4.1. Generalitati

Abordarea analitica a sigurantei structurale prin cumularea vatamarilor produse de convoaiele din exploatare, asa cum a fost prezentata in cap.4 este destul de laborioasa si în consecinta greu de aplicat. O solutie complementara, mult mai facil de aplicat, o reprezinta analiza propagarii fisurilor de oboseala utilizând procedeele mecanicii ruperii.

Utilizarea relatiei Paris (5.20) pentru determinarea ratei de crestere a fisurii de oboseala implica cunoasterea constantelor de material  $C$  si  $m$  care caracterizeaza starea reala a materialului obosit corespunzatoare momentului prelevarii probelor.

### 5.4.2. Programul de incercari experimentale

Pentru determinarea constantelor de material  $C$  si  $m$  a fost derulat, in colaborare cu ISIM Timisoara, un program de cercetari experimentale pentru otelul din care au fost executate elementele constructive ale podului de cale ferata peste râul Timis situat la Sag-Timiseni pe linia Timisoara-Resita, (P-08 in tabelul 1.5 cu dispozitia generala din fig.4.4), deschiderea a III-a, lonjeronul central si antretoaza centrala.

Pentru a obtine datele experimentale necesare determinarii valorii constantelor  $c$  si  $m$  s-a aplicat metoda standard de incercare prevazuta in norma **ASTME 647-93** [5.38].

Aceasta metoda de incercare implica solicitarea in regim de oboseala a unor epruvete avand o crestatura, prelucrata mecanic in prelungirea careia s-a initiat (amorsat) si s-a propagat o fisura de lungime data.

Valorile sarcinilor din ciclul de oboseala s-au ales astfel încât deformatiile din epruveta sa se mentina în domeniul elastic.

### 5.4.3. Prelevarea epruvetelor si incercarea exerimentala

#### 5.4.3.1. Epruvete utilizate

Epruvetele încercate au fost de tipul compact, solicitate la tractiune excentrica, având notatia C(T), de forma si dimensiunile prezentate in figura 5.17.

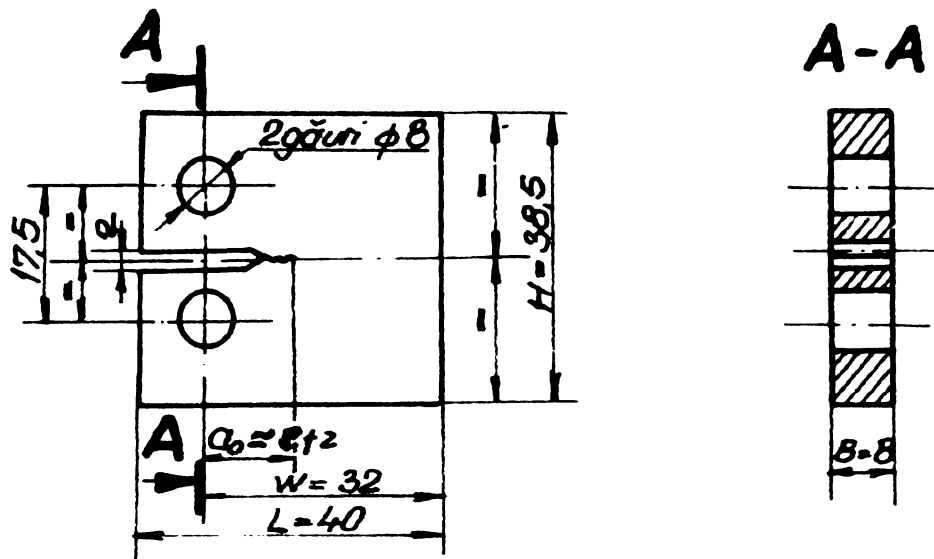


Fig. 5.17 - Forma si dimensiunile epruvetei C(T)

Esantioanele de material pentru prelevarea epruvetelor au provenit din platbenzile talpilor grinzilor caii din panoul central al deschiderii a III-a (GZCJ-tsp) care a fost inlocuita in anul 1997. Dezmembrarea elementelor componente ale sectiunii transversale s-a facut prin taierea niturilor cu dalta, asa cum se arata in figura 5.18 iar debitarea epruvetelor prin taiere cu ferestraul mecanic asa incat nu a fost afectata structura cristalina a materialului.

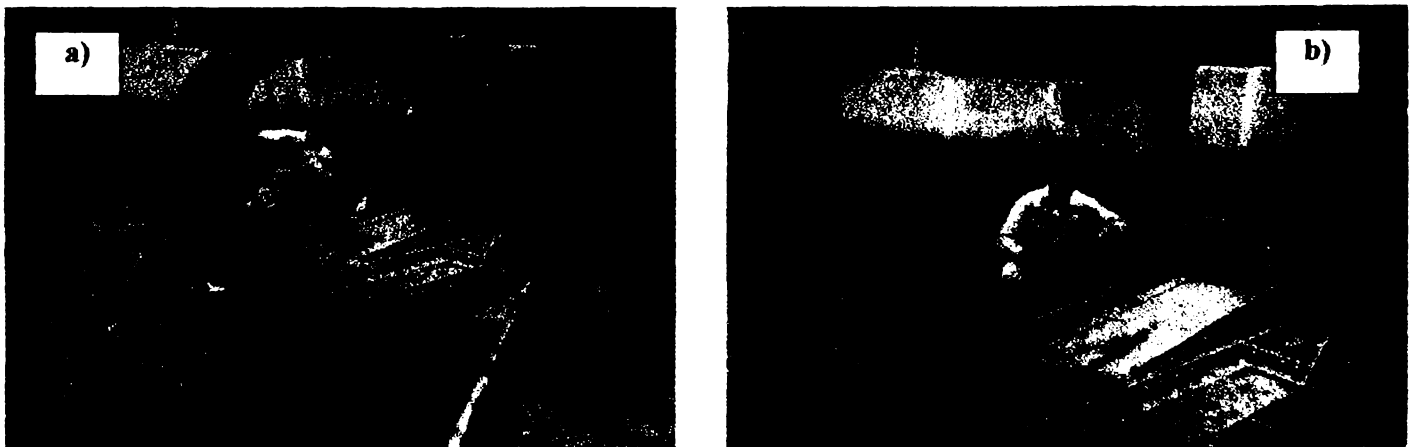


Fig. 5.18. Grinzile caii examinate:  
a) lonjeron; b) antretoaza

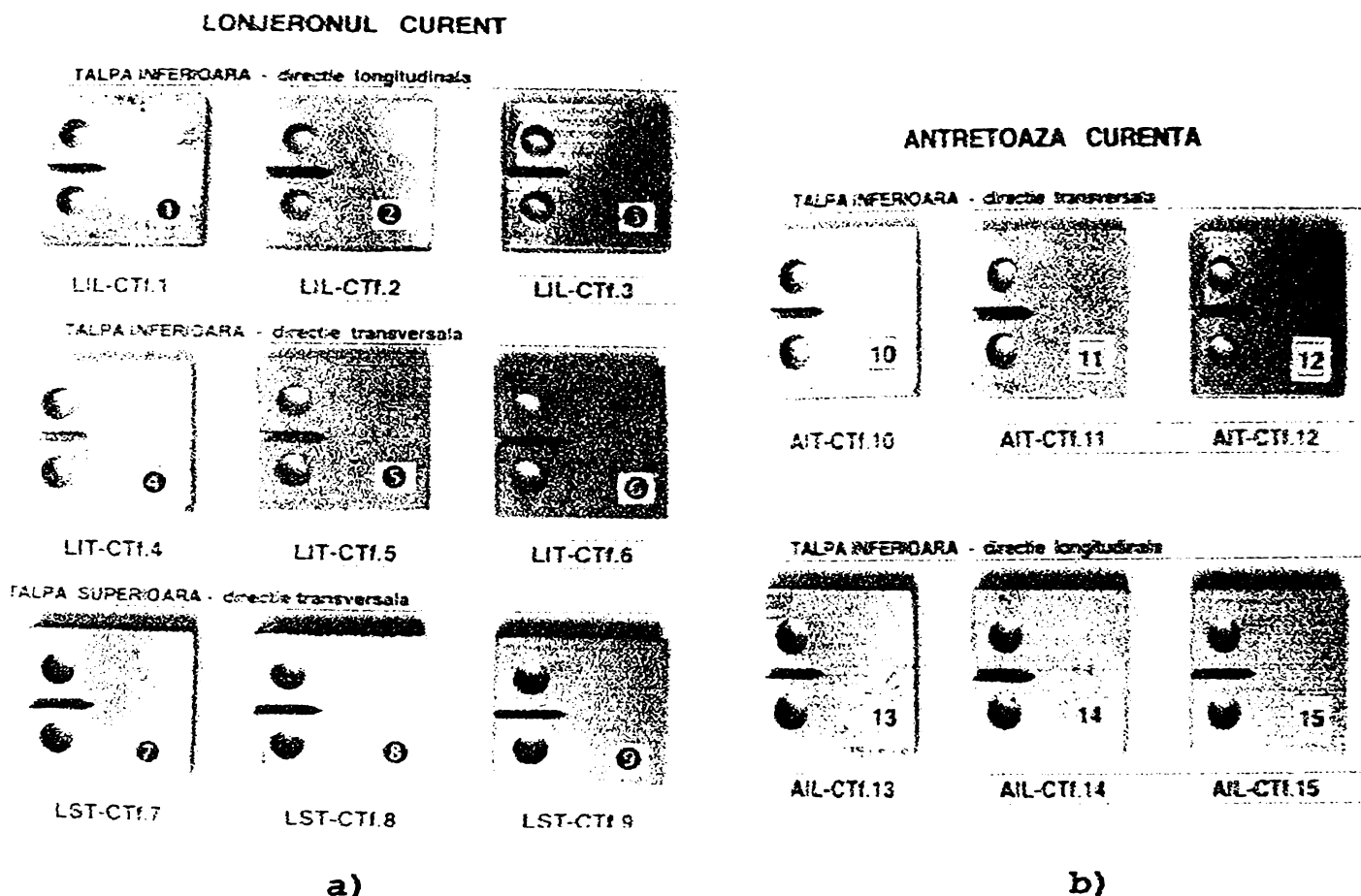
Executia epruvetelor s-a realizat prin prelucrari mecanice cu regimuri astfel alese încât sa nu modifice starea structurala a materialului de provenienta (frezare si gaurire).



S-au prelevat un numar de 15 epruvete, dupa cum urmeaza :

1. Din talpa inferioara a lonjeronului - 3 epruvete in directia longitudinala (de laminare) si 3 epruvete in directia transversala ;
2. Din talpa superioara a lonjeronului - 3 epruvete in directia transversala ;
3. Din talpa inferioara a antretoazei - 3 epruvete in directia longitudinala (de laminare) si 3 epruvete in directia transversala ;

Intregul lot de epruvete, prelevate dintr-un lonjeron central si antretoaza centrala, supuse încercării sunt prezentate în figura 5.19.



**Fig.5.19** Lotul de epruvete incercate experimental:  
a) lonjeron; b) antretoaza

#### 5.4.3.2. Incercarea experimentală

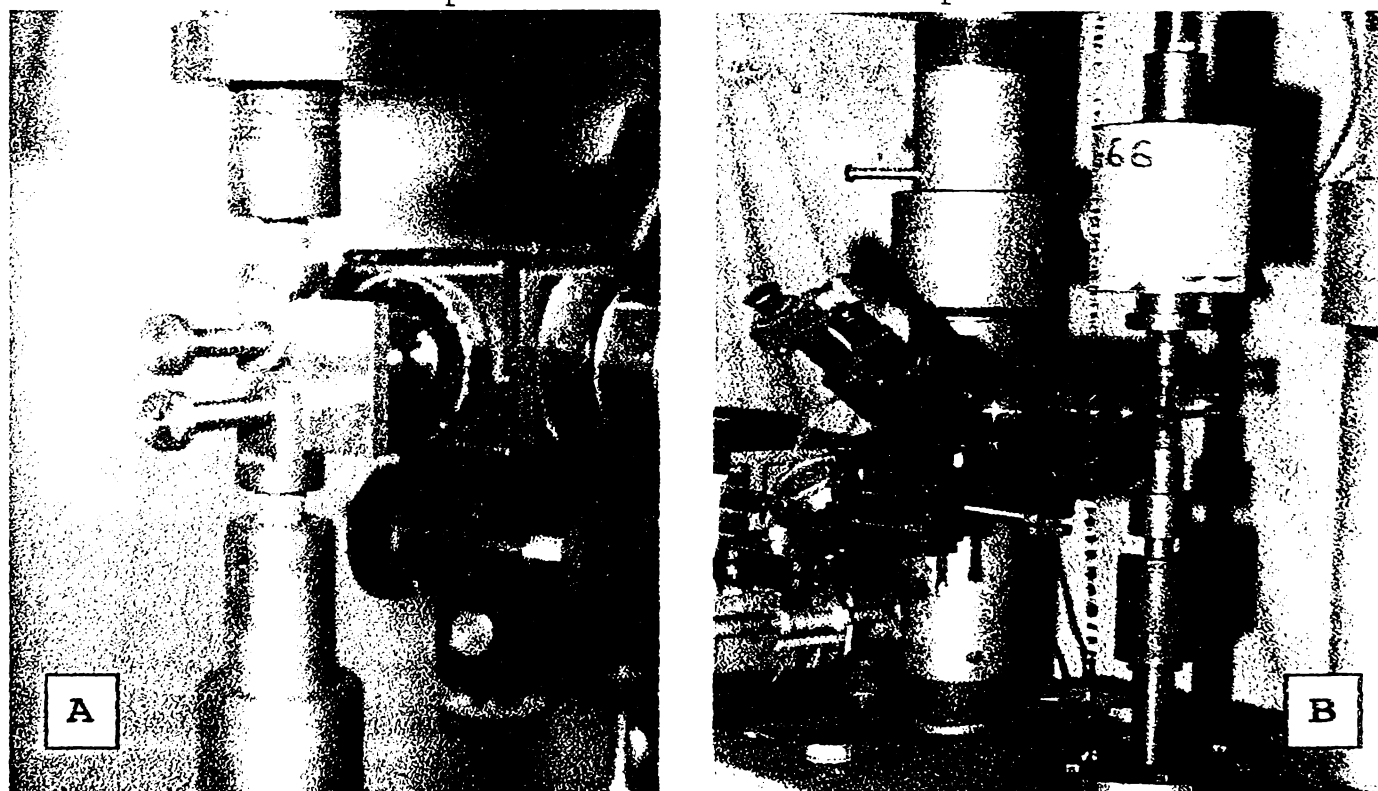
Incercările s-au efectuat la temperatura camerei, mediul de încercare fiind aerul ambiant.

Initierea (amorsarea) fisurii în prelungirea crestaturii s-a realizat prin aplicarea unei solicitari de oboseala cu ciclu oscilant pozitiv, raportul de asimetrie a ciclului de oboseala fiind  $R = P_{\min}/P_{\max} = 0,07$ . Precizia de masurare a fortelor a fost de 3%. Frecventa de solicitare a fost de 5Hz.

Acest regim de solicitare a fost menținut după amorsarea fisurii, până când fisura a atins o lungime  $a_0 \cong 2\text{mm}$  în continuarea vârfului creștaturii.

După ce fisura a ajuns la lungimea  $a_0 \cong 2\text{mm}$ , s-a trecut la faza de măsurare și înregistrare a creșterilor lungimii ei, menținând regimul de solicitare la oboseala aplicat în faza de amorsare. Măsurarea lungimii fisurii s-a realizat pe una din fețele laterale ale epruvetei cu ajutorul unui sistem optic la care s-a atașat un comparator. Mărirea dată de sistemul optic a fost de 50 de ori. Prin intermediul unui surub micrometric s-a deplasat reperul de referință a sistemului optic la vârful fisurii realizându-se astfel posibilitatea de a citi pe comparator creșterile succesive ale lungimii fisurii ca urmare a solicitării la oboseala. Precizia la măsurare a lungimilor intermediare ale fisurii, notate  $a_i$ , a fost de  $0,01\text{mm}$ . Intervalul de măsurare a fost de  $0,25\text{mm}$ , obținându-se astfel, la fiecare epruvetă un număr suficient de mare (peste 20 de citiri) de creșteri ale lungimii fisurii. Totodată la fiecare creștere a lungimii de fisură s-a înregistrat numărul corespunzător de cicluri de oboseală  $N_i$ , aplicate pentru atingerea lungimii intermediare respective  $a_i$ .

Solicitarea de oboseală s-a realizat cu ajutorul unui cadru de solicitare compus dintr-un batiu, 2 coloane și o traversă. Pe traversă s-a montat un cilindru cu acționare hidraulică de la un pulsator hidraulic tip WPM.



**Fig.5.20.** Dispozitivul de încercare ;  
a) standul de încercare cu epruvetă  $\frac{1}{2} C(T)$   
b) dispozitivul optic pentru măsurarea lungimii fisurii.

Pentru masurarea fortelor aplicate în ciclul de oboseala s-a folosit un captor (celula) de forta, montat în serie cu epruveta.

O vedere a dispozitivului de solicitare si a sistemului optic de masurare a lungimii fisurii se prezinta în figura 5.20.

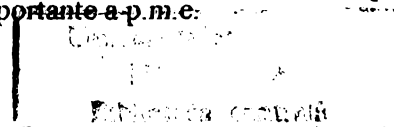
S-au efectuat masuratori ale cresterilor de fisura pâna când au aparut deformatii plastice excesiv de mari în zona adiacenta vârfului fisurii ca urmare a valorilor ridicate ale intensitatii tensiunii din aceasta zona produse de lungimea mare a fisurii si de variatia  $\Delta\sigma$  a tensiunii aplicate epruvetelor. De regula aceste deformatii plastice mari au aparut atunci când fisura a atins o lungime  $a \cong 0,5W$  (W-latimea epruvetelor).

Prin aplicarea tehnicii de încercare descrisa s-au obtinut perechile de date experimentale  $(a_i, N_i)$ , reprezentând lungimile intermediare ale fisurii, respectiv numarul de cicluri de oboseala aplicate pentru atingerea acestor lungimi. Aceste valori au constituit datele primare ale încercarilor, pe baza carora s-au determinat vitezele de crestere la oboseala a fisurii, a caror valori s-au notat cu  $da/dN$ , precum si valorile variatiei factorului de intensitate a tensiunii la vârful fisurii, notate cu  $\Delta K$ . Cunoscând valorile  $da/dN$  si  $\Delta K$  s-au dedus valorile constantelor C si m din relatia Paris, aplicând metoda regresiei [5.38].

#### 5.4.4. Prelucrarea si interpretarea rezultatelor experimentale

Pentru obtinerea valorilor vitezei de crestere a fisurii,  $da/dN$  s-a aplicat metoda cresterii polinomiale a valorilor lungimii fisurii  $a_i = f(N_i)$ , recomandata în Appendix XI din ASTM E 647-93. Metoda presupune ca variatia lungimii fisurii în functie de numarul de cicluri aplicate se exprima printr-un polinom de gradul doi (parabola). Conform acestei metode valorile intermediare,  $a_i$ , sunt ajustate pe baza valorilor succesive obtinute din  $(2n+1)$  observatii (date) experimentale de la o încercare, n putând fi luat egal cu 1, 2, 3 sau 4, pentru a obtine valorile ajustate ale lungimilor intermediare ale fisurii, notate  $\hat{a}_i$ , se aplica urmatoarea ecuatie:

$$\hat{a}_i = b_0 + b_1 \left( \frac{N_i - C_1}{C_2} \right) + b_2 \left( \frac{N_i - C_1}{C_2} \right)^2 \quad (5.28)$$



$$\text{în care : } -1 \leq \frac{N_i - C_1}{C_2} \leq +1 \quad (5.29)$$

Coeficientii  $b_0$ ,  $b_1$  si  $b_2$  se determina prin metoda celor mai mici patrate, pe domeniul valorilor  $a_{i-n} \leq a \leq a_{i+n}$ .

Valorile parametrilor  $C_1$  si  $C_2$  se calculeaza cu urmatoarele relatii:

$$C_1 = \frac{1}{2}(N_{i-n} + N_{i+n}) \quad (5.30)$$

$$C_2 = \frac{1}{2}(N_{i+n} - N_{i-n}) \quad (5.31)$$

Pentru prelucrarea datelor din programul experimental prezentat s-a luat  $n=3$ , realizându-se astfel determinarea coeficientilor  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  si a parametrilor  $C_1$ ,  $C_2$  prin ajustare prin 7 puncte (date) experimentale succesive, a curbei de crestere  $a_i = f(N_i)$ .

Valorile vitezei de crestere la oboseala a fisurii ( $da/dN$ ), într-un punct de pe parabola cu care se traseaza variatia  $a_i=f(N_i)$  sunt reprezentate de derivata ecuatiei (5.28) In acel punct, adica:

$$\left(\frac{da}{dN}\right)_{a_i} = \frac{b_1}{C_2} + 2b_2 \left(\frac{N_i - C_1}{C_2}\right)^2 \quad (5.32)$$

Parametrii regresiei care defineste relatia de legatura dintre  $a_i$  si  $N_i$  au fost calculati prin intermediul unui program de calcul automat care are ca date de intrare valorile intermediare  $a_i$  si  $N_i$ , obtinute experimental. **Valorile  $da/dN$  au rezultat ca fiind valorile derivatei functiei  $a=f(N)$  în punctele  $(a_i, N_i)$ ;  $a_i$  este valoarea rezultata prin ajustarea curbei  $a_i = f(N_i)$ .**

Totodata programul de calcul automat conceput a permis obținerea valorilor variatiei  $\Delta K$  a factorului de intensitate al tensiunii la vârful fisurii, corespunzatoare fiecărei lungimi de fisura masurata experimental. Pentru calculul valorilor  $\Delta K$  s-a folosit relatia recomandata în ASTM E 647-93 în cazul epruvetei tip C(T) utilizata. Aceasta relatie are urmatoarea forma :

$$\Delta K = \frac{\Delta P(2+\alpha)}{B\sqrt{W}(1-\alpha)^2} (0,886 + 4,64\alpha - 13,32\alpha^2 + 14,72\alpha^3 - 5,6\alpha^4) \quad (\text{în } N/mm^{3/2}) \quad (5.33)$$

unde :

$\Delta P$ - variatia fortei aplicate în ciclul de oboseala



$(\Delta P = P_{\max} - P_{\min})$ , (în N);  
 B- grosimea epruvetei (în mm);  
 W- latimea epruvetei (în mm);  
 $\alpha = a_i / W$

Valorile constantelor **C** si **m** au fost deduse de asemenea cu ajutorul programului de calcul automat, pe baza valorilor  $da/dN$ , respectiv  $\Delta K$ , calculate prin procedura descrisa mai sus. Pentru a obtine valorile **C** si **m** s-a logaritmat relația Paris, rezultând următoarea ecuație :

$$\ln\left(\frac{da}{dN}\right) = \ln C + m \cdot \ln \Delta K \quad (5.34)$$

Se observa ca în aceasta ecuație  $\ln C$  si  $m$  sunt ordonata la origine respectiv panta dreptei data de ecuația (5.34). Introducând valorile  $da/dN$  si  $\Delta K$  obtinute pe baza datelor experimentale în ecuația (5.34) si aplicând metoda regresiei lineare s-au obtinut valorile **C** si **m** pentru fiecare epruveta încercata.

Procedura de calcul pentru prelucrarea valorilor obtinute experimental la fiecare epruveta se prezinta in tabelul 5.4 iar valorile **C** si **m** astfel obtinute se prezinta în tabelul 5.5.

**TABELUL 5.5**

**Constantele C si m determinate experimental**

Nr. Crt.	Marcaj Epruveta	Locul de prelevare	Constante (valori individuale)		Constante (valori medii)	
			C	m	C	m
1	LIL-CTf.1	Talpa inferioara lonjeron, prelevare longitudinala	3,79E-16	3,94	5,97E-16	3,97
2	LIL-CTf.2		1,36E-15	3,77		
3	LIL-CTf.3		5,33E-17	4,22		
4	LIT-CTf.4	Talpa inferioara lonjeron, prelevare transversala	1,34E-11	2,43	3,62E-8	2,77
5	LIT-CTf.5		1,06E-7	1,10		
6	LIT-CTf.6		1,13E-18	4,80		
7	LST-CTf.7	Talpa superioara lonjeron prelevare transversala	2.28E-12	2.71	2.88E-9	2.11
8	LST-CTf.8		9.01E-11	2.17		
9	LST-CTf.9		8.56E-9	1.46		
10	AIT-CTf.10	Talpa inferioara antretoaza prelevare transversala	1.25E-20	5.46	4.00E-19	5.32
11	AIT-CTf.11		1.92E-20	5.48		
12	AIT-CTf.12		1.17E-18	5.02		
13	AIL-CTf.13	Talpa inferioara antretoaza prelevare longitudinala	8.46E-12	2.59	2.82E-12	3.37
14	AIL-CTf.14		3.42E-16	3.91		
15	AIL-CTf.105		1.48E-15	3.61		



**TABELUL 5.4**

**Rezultate**

Marcaj Epruveta: 4    Material: OP    Limita Curgere: 270MPA  
 Latime epruveta: 32mm    Grosime epruveta: 8mm  
 Mediu incercare: aer    Temperatura de incercare: 15°C  
 Forta Minima: 420[N]    Forta Maxima: 5800[N]    Frecventa: 5HZ

Nr	Cicluri	A	Ar	R	DK	Da/Dn	S	Ax
1	56000	10.00						
2	60700	10.25						
3	62600	10.50						
4	64700	10.75	10.73	0.988	731.6	0.0001012	1103.6	788.7
5	66500	11.00	10.96	0.998	745.2	0.0001124	1097.6	803.4
6	69500	11.25	11.26	0.994	763.8	0.0001121	1089.6	823.4
7	71900	11.50	11.52	0.995	779.4	0.0001251	1083.0	840.2
8	74000	11.75	11.78	0.997	796.2	0.0001344	1076.0	858.3
9	75400	12.00	11.99	0.997	809.5	0.0001410	1070.5	872.7
10	76900	12.25	12.21	0.998	824.7	0.0001491	1064.4	889.1
11	78900	12.50	12.52	0.998	845.5	0.0001567	1056.1	911.5
12	80500	12.75	12.76	0.999	862.6	0.0001591	1049.5	929.9
13	82000	13.00	13.01	0.998	880.3	0.0001583	1042.8	949.1
14	83300	13.25	13.22	0.998	896.4	0.0001674	1036.8	966.4
15	84900	13.50	13.49	0.996	916.3	0.0001766	1029.6	987.9
16	86700	13.75	13.80	0.996	941.1	0.0002013	1020.8	1014.6
17	87700	14.00	13.99	0.998	956.9	0.0002198	1015.4	1031.6 *
18	88800	14.25	14.25	0.997	978.5	0.0002333	1008.1	1054.8 *
19	89700	14.50	14.49	1.000	999.3	0.0002490	1001.3	1077.3 *
20	90700	14.75	14.74	1.000	1021.7	0.0002507	994.1	1101.5 *
21	91800	15.00	15.01	0.999	1047.4	0.0002589	986.2	1129.1 *
22	92700	15.25	15.24	0.999	1068.9	0.0002728	979.7	1152.4 *
23	93700	15.50	15.51	0.999	1096.3	0.0003055	971.6	1181.9 *
24	94500	15.75	15.76	0.999	1122.2	0.0003415	964.3	1209.8 *
25	95200	16.00	16.00	1.000	1148.5	0.0003828	957.1	1238.1 *
26	95800	16.25	16.25	0.999	1176.1	0.0004098	949.7	1268.0 *
27	96400	16.50	16.50	0.999	1206.2	0.0004477	941.9	1300.4 *
28	96600	16.75	16.73	0.993	1233.6	0.0005160	935.1	1329.9 *
29	97500	17.00	17.04	0.994	1274.2	0.0006118	925.4	1373.7 *
30	97900	17.25	17.29	0.995	1307.7	0.0006924	917.6	1409.8 *
31	98100	17.50	17.44	0.992	1328.4	0.0006897	913.0	1432.1 *
32	98500	17.75	17.75	0.995	1373.8	0.0007743	903.1	1481.1 *
33	98800	18.00	17.98	0.991	1407.9	0.0008339	896.0	1517.8 *
34	99200	18.25	18.31	0.996	1460.8	0.0009854	885.5	1574.9 *
35	99400	18.50	18.50	0.997	1493.9	0.0010872	879.1	1610.6 *
36	99600	18.75	18.77	0.987	1541.0	0.0010709	870.4	1661.3 *
37	99800	19.00						
38	100000	19.25						
39	103000	19.50						

**C = 4.31685200909998E-0014;    M = 3.25917444968582E+0000**  
**C' = 1.13491976355718E-0011;    M' = 2.43354771204031E+0000**

\* valori care nu se iau in considerare la calculul constantelor c si m

## 5.5. DETERMINAREA DURATEI DE VIATA RAMASE

### 5.5.1. Metoda prin determinarea cresterii fisurii - CFMR.

In practica curenta de exploatare a podurilor metalice la aparitia si detectarea unei fisuri se considera ca elementul nu mai prezinta siguranta necesara in exploatare si ca urmare se impun de urgenta restrictii de circulatie si masuri de stopare a propagarii fisurii si de consolidare a elementului in cauza.

Aplicand principiile mecanicii ruperii se poate determina viteza de propagare a unei fisuri sub o anumita stare de solicitare si implicit perioada de timp in care elementul fisurat mai poate fi exploatat in siguranta.

O astfel de metoda, propusa pentru modelarea si simularea evolutiei fisurii sub sarcinile de exploatare, presupune o procedura de calcul iterativ a carei logigrama este redata in figura 5.21.

Metoda propusa se bazeaza pe relatia Paris (5.20) modificata corespunzator pentru o incarcare cu amplitudine variabila si consta in modelarea dezvoltarii fisurii prin simularea cresterii ciclul cu ciclu a dimensiunilor initiale ale fisurii datorita tensiunilor provenite din incarcările de exploatare, considerand cunoscute valorile caracteristicilor de material, adica, **tenacitatea la rupere  $K_{IC}$** , si **constantele  $C$  si  $m$**  pentru materialul din care este realizat elementul considerat.

Aplicarea practica a metodei presupune urmatoarele etape :

#### ETAPA 1. ESTIMAREA dimensiunii critice/admisibile a fisurii

**Dimensiunea critica** a fisurii reprezinta lungimea ei care conduce la atingerea rezistentelor de rupere ale materialului in sectiunea fisurata si ca urmare la rupere. Estimarea dimensiunii critice a fisurii in elementul avut in vedere presupune stabilirea unui criteriu de rupere a elementului cu fisura.

Criteriul de rupere aplicabil se bazeaza pe factorul de intensitate a tensiunilor la varful fisurii si are urmatoarea expresie :

$$K_I = K_{IC} \quad (5.35)$$

Potrivit acestui criteriu se considera ca dimensiune critica a fisurii, lungimea la care factorul de intensitate al tensiunii, calculat la valoarea maxima a tensiunii intr-un ciclu de solicitare, atinge valoarea tenacitatii la rupere.

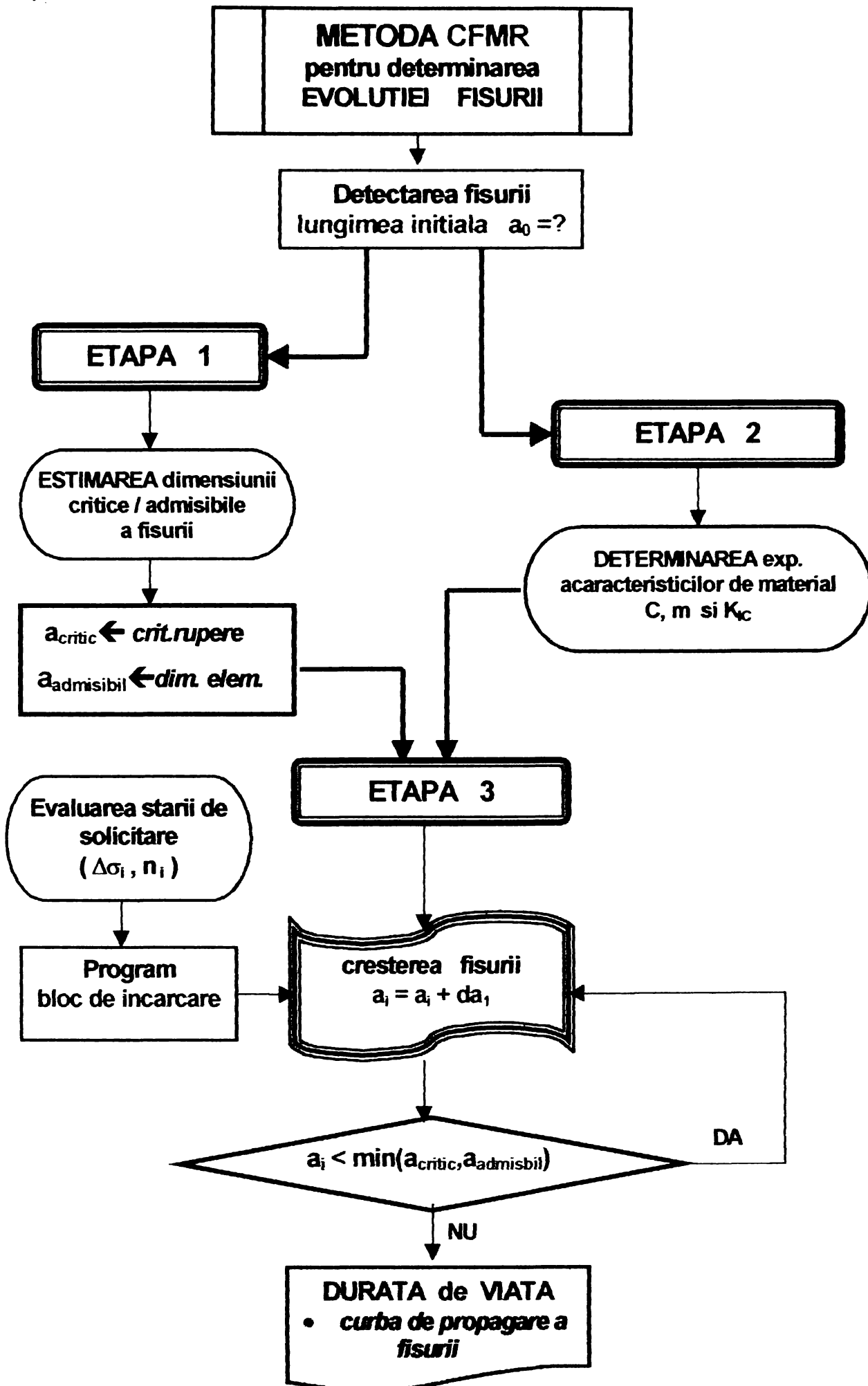


FIG. 5.21. Logigrama metodei de simulare a cresterii fisurii

**Dimensiunea admisibila** a fisurii reprezinta lungimea maxima a fisurii determinata din conditiile de geometrie ale elementului fisurat.

**Starea limita** este atinsa atunci cand lungimea fisurii modelate ajunge la **valoarea minima dintre lungimea critica si lungimea admisibila** a fisurii.

## **ETAPA 2. Determinarea experimentală a constantelor de material**

Constantele de material, **C** si **m**, se determina prin incercari experimentale pe epruvete 1/2C(T) confectionate din esantioane de material prelevate din element asa cum s-a aratat in paragraful 6.4.3. si apoi prelucrarea rezultatelor masurate asa cum s-a aratat in paragraful 6.4.4.

**Tenacitatea la rupere,  $K_{IC}$** , care exprima **rezistenta la initierea propagarii instabile a unei fisuri**, se poate determina cu ajutorul corelatiei dintre valorile  $K_{IC}$  si cele ale energiei de rupere KV, stabilita de catre Barsom si Rolfe [5.40] care are forma :

$$K_{IC} = 6.76(KV)^{3/4} \quad (5.36.a)$$

pentru valori  $K_{IC}$  exprimate in  $N/mm^{3/2}$  respectiv KV exprimate in Jouli, respectiv :

$$\left(\frac{K_{IC}}{R_e}\right)^2 = 0.646 \frac{(KV)}{R_e} - 6.35 \cdot 10^{-3} \quad (5.36.b)$$

pentru valori  $K_{IC}$  exprimate in  $MPam^{1/2}$  respectiv KV exprimate in Jouli si  $R_e$  exprimate in MPa.

Pentru determinarea valorilor energiei de rupere KV la temperaturile care intereseaza se vor face incercari pe epruvete confectionate din aceleasi esantioane de material.

## **ETAPA 3. Determinarea DURATEI de VIATA ramase**

Determinarea duratei de viata ramase a elementului fisurat se face prin simularea dezvoltarii fisurii sub un istoric de solicitari corespunzator convoaielor reale aflate in exploatare pana la atingerea starii limita a deschiderii fisurii, cand se determina numarul de cicluri de solicitare care conduc la aceasta situatie.

Aceasta etapa presupune urmatoarele subetape :

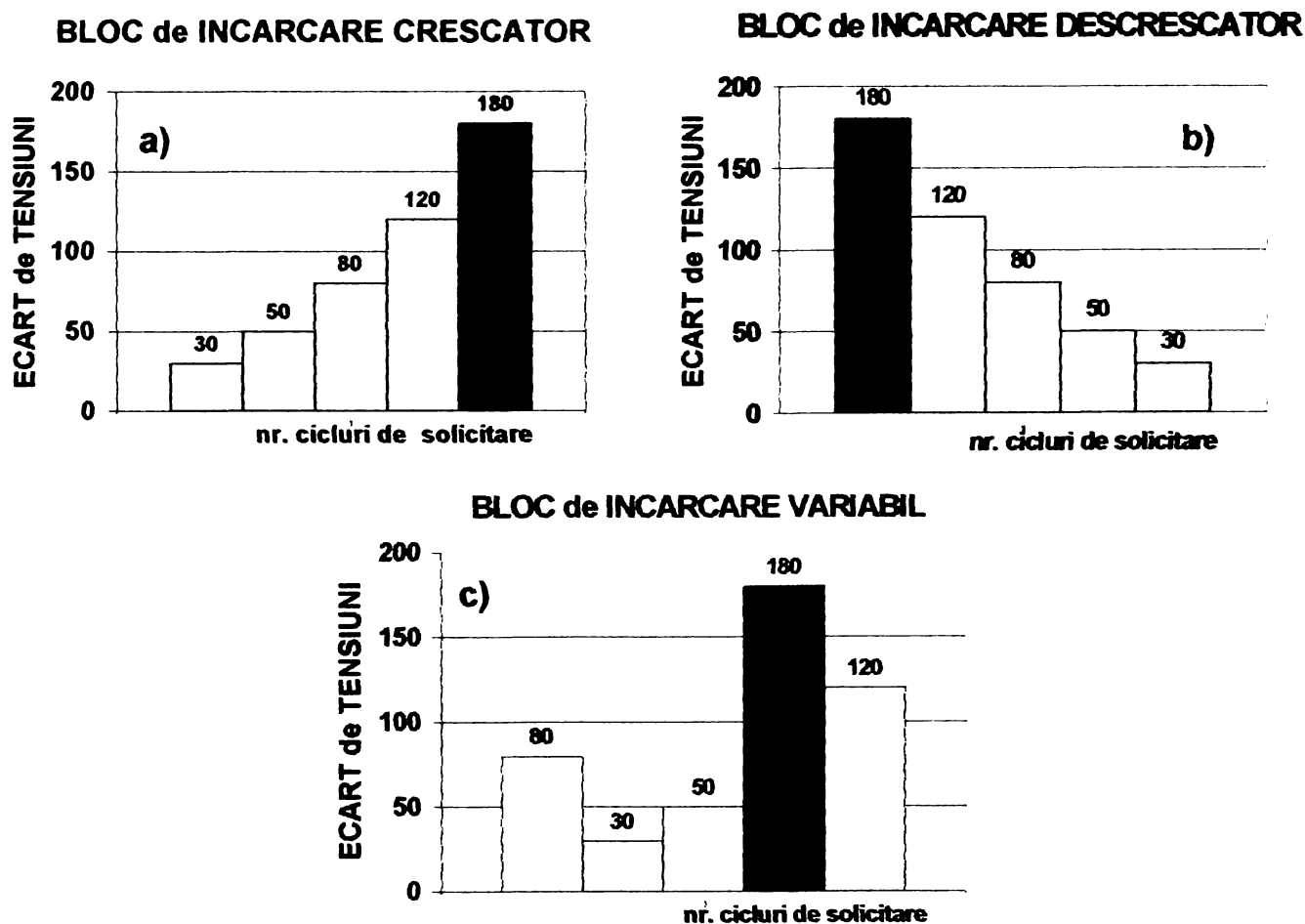
### ***Etapa 3.1. Modelarea incarcarii ;***

Starea de solicitare la care este supus elementul in timpul exploatarei se compune din ecarturile de tensiune  $\Delta\sigma$  produse de convoaiele aflate in circulatie, determinate prin

clasare ca in cazul metodei clasice de cumulare liniara a vatamarilor PLM, rezultand perechile de valori  $(\Delta\sigma_i, n_i)$ .

**Simularea solicitarii** se realizeaza prin aplicarea unor programe de incarcare continand un numar limitat de blocuri de solicitare corespunzatoare perechilor de valori  $(\Delta\sigma_i, n_i)$ . Blocurile de solicitare pot fi de mai multe tipuri dupa succesiunea ecarturilor de tensiune  $\Delta\sigma_i$  si anume (fig.5.22) :

- a) **tip crescator**, cand ecarturile de tensiune se aplica in ordinea crescatoare a valorilor  $\Delta\sigma_i$ ;
- b) **tip descrescator**, cand ecarturile de tensiune se aplica in ordinea descrescatoare a valorilor  $\Delta\sigma_i$ ;
- c) **tip variabil** (crescator-descrescator-crescator sau descrescator-crescator-descrescator), cand ecarturile de tensiune se aplica intr-o ordine aleatoare a valorilor  $\Delta\sigma_i$ ;



**FIG. 5.22.** Tipuri de blocuri de incarcare

Incarcarile efectuate pentru testarea programului de calcul nu au relevat o influenta semnificativa a variantelor de programe de incarcare aplicate asupra cresterii fisurii.

Pentru o simulare cat mai fidela situatiei corespunzatoare traficului real programul de incarcare poate contine mai multe blocuri de incarcare diferite si care se



repetata de un numar de ori in unitatea de timp considerata, de obicei **24 de ore**.

In acest fel se poate reproduce destul de usor si suficient de exact starea de sollicitare pe care circulatia trenurilor reale o induce in element.

**Etapa 3.2. Modelarea dezvoltarii fisurii;**

Simularea dezvoltarii fisurii, bazata pe relatia Paris modificata, consta in calculul cresterii  $da_1$  a fisurii, intr-un ciclu de sollicitare  $dN_1=1$ , cand  $\Delta K$  se obtine cu ajutorul relatiei de calcul adecvata pentru elementul analizat si apoi determinarea numarului de cicluri de sollicitare necesare pentru extinderea fisurii de la **dimensiunea initiala** (detectata) pana la dimensiunea limita (critica sau admisibila).

Variatia factorului de variatie a tensiunii la varful fisurii, in fiecare ciclu de sollicitare,  $\Delta K = K_{max} - K_{min} = (\sigma_{max} - \sigma_{min}) \cdot \sqrt{\pi a}$  corespunzatoare ecartului de tensiuni  $\Delta \sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$  aplicat, trebuie corectata pentru a lua in considerare efectul favorabil al ciclurilor de sollicitare care produc valori

$\Delta K \leq \Delta K_{th}$  ( $K_{th}$  este valoarea de prag a factorului de intensitate a tensiunii la varful fisurii sub care nu se produce propagarea fisurii) si care nu trebuiesc contorizate.

In consecinta relatia Paris (5.20) se va inlocui cu **relatia Paris modificata** in care  $\Delta K$  se inlocuieste cu  $\Delta K_{efectiv}$ , care ia in considerare efectul de prag,  $\Delta K_{th}$ , al factorului de intensitate a tensiunii asupra cresterilor subcritice, stabile ale fisurii :

$$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K_{efectiv})^m \tag{5.37}$$

$\Delta K_{efectiv}$  reprezinta variatia efectiva, intr-un ciclu de oboseala, a factorului de intensitate a tensiunii la varful fisurii, care conform [5.39] se determina cu relatiile :

$$\Delta K_{efectiv} = \Delta K \quad \text{pentru} \quad \Delta K > \frac{\Delta K_{th}}{R} \quad \text{si} \quad R > 0 \tag{5.38}$$

$$\Delta K_{efectiv} = \frac{\Delta K - \Delta K_{th}}{1 - R} \quad \text{pentru} \quad \Delta K < \frac{\Delta K_{th}}{R} \quad \text{si} \quad \text{orice valoare } R \tag{5.39}$$

Dimensiunea fisurii rezultata din aceasta crestere se calculeaza, pentru primul ciclu de sollicitare, cu relatia :

$$a_1 = a_0 + da_1 \tag{5.40}$$

si apoi intr-o bucla iterativa, cu relatia :

$$a_i = a_i + da_1 \tag{5.41}$$

Valoarea  $a_i$  rezultata dupa fiecare ciclu de solicitare se testeaza in raport cu valoarea dimensiunii critice sau a dimensiunii admisibile.

Procedeul de calcul si testare a lungimii fisurii se repeta pana cand rezulta :

$$a_i = \min(a_{\text{critic}}, a_{\text{admisibil}}) \quad (5.42)$$

sau pana cand se indeplineste criteriul de rupere :

$$K_I(a_i) = K_{Ic} \quad (5.43)$$

### **Etapa 3.3. Determinarea duratei de viata ramase;**

La atingerea uneia din starile limita reprezentate prin relatiile (5.42) si (5.43) se determina  $N_R$ , numarul de cicluri de solicitare ramas fata de care prin operatii aritmetice simple, tinand cont si de programul de incarcare adoptat, se determina DURATA DE VIATA RAMASA, in unitatile de timp convenabile (zile/luni/ani).

Aplicarea practica a metodei cat si forma curbelor care modeleaza dezvoltarea si propagarea fisurii sub sarcinile de exploatare sunt prezentate in paragraful 5.6.2. cu exemplificare pentru lonjeronul curent al podului de cale ferata de la Sag-Timiseni, deschiderea a III-a.

In conformitate cu modelul de calcul utilizat, cresterile  $da$  ale lungimii fisurii depind de variatia ecartului de tensiuni  $\Delta\sigma$  aplicate (prin  $\Delta K_{\text{efectiv}}$ ), precum si de valorile constantelor de material  $C$  si  $m$  prin care se exprima rezistenta materialului la propagarea fisurii, rezulta ca o modificare a acestor valori va conduce la modificarea variatiei lungimii lungimii fisurii in functie de numarul de cicluri aplicate,  $a=f(N)$ . Ca urmare rezulta o alta rezerva de viata pentru elementul considerat, care evidentiaza potentialul metodei de evaluare propusa de a lua in calcul variabilitatea parametrilor de intrare implicati.

### **5.5.2. Studiu de caz : Podul P-08 (Sag-Timiseni)**

Metoda de evaluare propusa in 5.5.1. a fost aplicata pentru determinarea duratei de viata ramase a unui lonjeron curent din deschiderea a III-a a tablierului metalic al podului de cale ferata de la Sag-Timiseni (fig.4.4).

Verificarea duratei de viata pe baza criteriului cumularii vatamarilor sub sarcinile de exploatare, efectuata in cadrul expertizarii podului in anul 1988, a aratat ca durata de viata a lonjeronilor din deschiderile III-V a fost epuizata, fapt care a condus la inlocuirea acestor tabliere in anul 1995.

Acest fapt a facut posibila prelevarea de esantioane din lonjeronul central si antretoaza centrala din deschiderea a III-a din care s-au executat epruvetele C(T) prezentate in paragraful 5.4.3.

Elementul fisurat il reprezinta platbanda de la talpa inferioara a lonjeronului, fisurile la oboseala amorsandu-se de la gaurile de nit. S-a luat in calcul prezenta unor fisuri strapunse pe grosimea talpii, dupa cum urmeaza :

1. o fisura care se propaga de la o gaura spre marginea talpii ;
2. o fisura care se propaga de la o gaura spre axa talpii ;
3. doua fisuri simetrice la o gaura din care una se propaga spre marginea iar cealalta spre axa talpii ;

propagarea facandu-se pe directia transversala a talpii, perpendicular pe directia tensiunilor de intindere la care este solicitata talpa inferioara a lonjeronului.

Calcululele s-au efectuat pentru doua dimensiuni initiale,  $a_0$ , ale fisurii si anume :

- cazul 1)  $a_0 = 2 \text{ mm}$  ;
- cazul 2)  $a_0 = 6,5 \text{ mm.}$ , o fisura care depaseste capul nitului astfel ca poate fi detectata prin control vizual.

Incarcarea cu convoaiele de exploatare s-a facut pe baza trenurilor caracteristice avute in vedere la determinarea istoricului solicitarilor din metoda clasica PLM, rezultand blocul de incarcare prezentat in tabelul 5.6.

**TABELUL 5.6**

Blocul de solicitare sub traficul actual

Nr.crt.	Ecartul de tensiuni	Numar de cicluri/zi
1	$\Delta\sigma_1 = 128.27 \text{ N/mm}^2$	$n_1 = 504$
2	$\Delta\sigma_2 = 127.15 \text{ N/mm}^2$	$n_2 = 216$
3	$\Delta\sigma_3 = 116.65 \text{ N/mm}^2$	$n_3 = 1456$
4	$\Delta\sigma_4 = 71.19 \text{ N/mm}^2$	$n_4 = 380$
5	$\Delta\sigma_5 = 61.48 \text{ N/mm}^2$	$n_5 = 48$
6	$\Delta\sigma_6 = 36.00 \text{ N/mm}^2$	$n_6 = 32$

Rezulta un numar de **2636** cicluri de solicitare in decurs de o zi.

Pentru a reda cat mai fidel traficul real, simularea solicitarii s-a realizat prin **aplicarea programului de incarcare a)** (vezi paragraful 5.6.1) de tipul crescator-descrescator-crescator, constituit din doua blocuri de incarcare de tipul celui prezentat in fig. 5.23., reprezentand o pereche de trenuri, care s-a repetat de opt

ori intr-o zi ( corespunzator circulatiei a 8 perechi de trenuri).

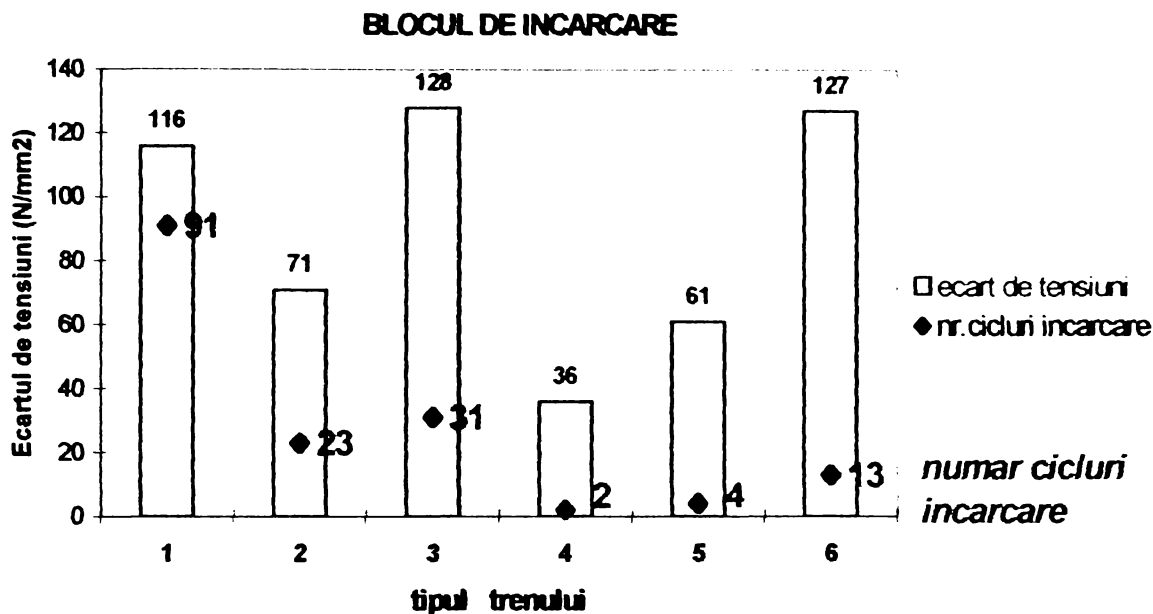


FIG.5.23 Blocul de incarcare utilizat

Tablierul metalic a fost executat in 1912 din otel carbon similar cu OL 37.1n, avand caracteristicile mecanice prezentate in tabelul 3.1.b punctul 13.

S-a efectuat incercarea la tractiune si la ISIM Timisoara, pe un lot de 3 epruvete confectionate din acelasi esantion de material din care au fost confectionate epruvetele C(T), rezultatele obtinute fiind prezentate in tabelul 5.7. Ele sunt comparabile cu cele obtinute in cadrul lucrarilor de expertizare a podului, pe epruvetele realizate din alt esantion de material prelevat din grinda principala, incercarile in acest caz fiind efectuate in laboratorul INCERTRANS Bucuresti.

**TABELUL 5.7**

**Caracteristicile la tractiune ale otelului ( $T_{incercare}=20^{\circ}C$ )**

Locul de prelevare	Marcaj epruveta	Caracteristici la tractiune							
		$R_e$ (N/mm <sup>2</sup> )		$R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )		$A_5$ (%)		$Z$ (%)	
			*		*		*		*
Talpa inferioara lonjeron	T1	275	+2.2%	360	-10%	36	-18.1%	57	-
	T2	272	+1.1%	399	-0.02%	39	-11.3%	62	-
	T3	264	-1.8%	405	+1.2%	37	-15.9%	58	-
<b>Valori medii</b>		<b>270.3</b>		<b>388</b>		<b>37.3</b>		<b>59</b>	

\* variatie procentuala fata de rezultate INCERTRANS

In perioada de exploatare temperatura mediului ambiant variaza in domeniul valorilor  $-20^{\circ}C \div +30^{\circ}C$ . Variatia

tenacitatii otelului din talpa lonjeronului analizat in functie de temperatura a fost determinata prin incercari de rezilienta si incovoiere prin soc, la diverse temperaturi, iar curbele de tranzitie corespondente au fost prezentate in fig. 3.25 pentru KCU si in fig.3.26 pentru KV.

Valorile caracteristice ale tenacitatii la rupere  $K_{IC}$ , rezultate din aplicarea corelatiei Barsom-Rolfe (5.36), utilizate in programul de simulare a dezvoltarii fisurii sunt prezentate in tabelul 5.8.

**TABELUL 5.8**

**Caracteristica de tenacitate la rupere**

Temperatura	KV mediu (J)	$K_{IC}$ conform corelatiei (6.36)	
		(MPa.m <sup>1/2</sup> )	(N/mm <sup>3/2</sup> )
+20 °C	71.8	166.74	5272.3
+10 °C	67.9	159.9	5056
0 °C	50.6	128.25	4055.2
-10 °C	42.6	112.72	3564.2
-20 °C	32.5	92.01	2909.3
-30 °C	11.4	41.93	1325.8

Constantele de material C si m au valorile prezentate in tabelul 5.4.

Criteriul de rupere aplicat pentru estimarea dimensiunii critice a fisurii se bazeaza pe factorul de intensitate al tensiunii  $K_I$ , conform relatiei (5.35) determinandu-se dimensiunea critica a fisurii,  $a_{critic}$ .

S-au stabilit, de asemenea si valori admisibile ale deschiderii fisurilor, notate  $a_{admis}$ , in functie de geometria elementului (figura 5.24), rezultand :

- $a_{admis} = 39.5$  mm. → pentru o fisura care se propaga de la gaura spre marginea talpii ;
- $a_{admis} = 66.0$  mm. → pentru o fisura care se propaga de la gaura spre axul talpii ;
- $a_{admis} = 33.0$  mm. → pentru o fisura care se propaga simetric fata de gaura.

Pentru calculul lui  $\Delta K$  cu care se determina  $\Delta K_{efectiv}$  utilizat in legea Paris modificata (5.37), s-a folosit solutia de calcul a factorului de intensitate a tensiunii pentru cazul placii plane cu dimensiuni finite, avand o gaura de la care se amorseaza fisuri (figura 5.24), data de Bowie [5.41] :

$$K_I = \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \cdot \varphi_n \tag{5.44}$$

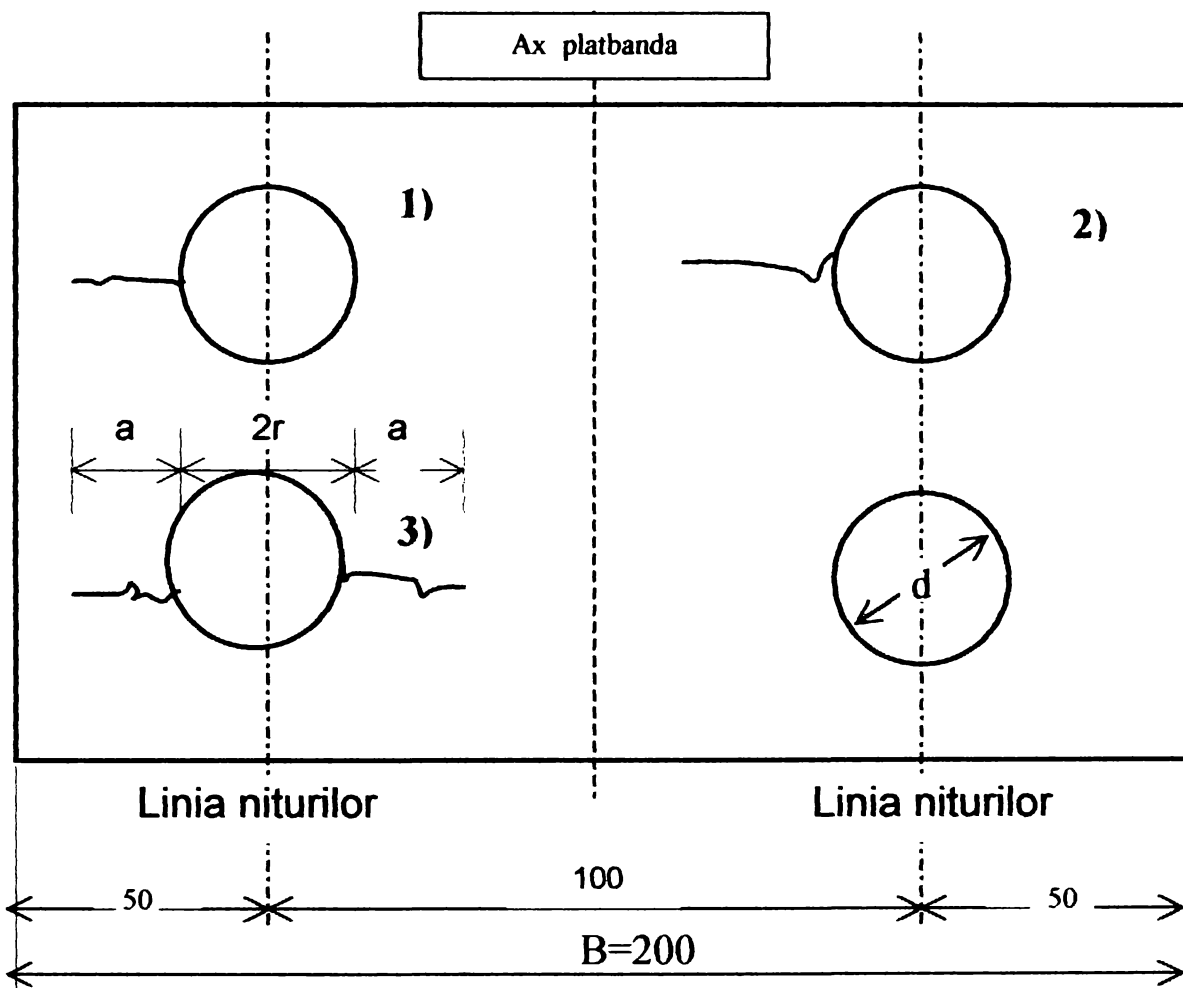


in care :

$\sigma$  = tensiunea nominala aplicata calculata in sectiunea fara fisuri ;

$a$  = lungimea fisurii :

$\varphi_n$  = coeficient de corectie in care  $n$  arata numarul de fisuri.



**FIG. 5.24.** Modele de propagare a fisurii amorstate de la gaura de nit :  
 1) **propagare spre exteriorul platbenzii ;**  
 2) **propagare spre axul platbenzii ;**  
 3) **propagare simetrica.**

Programul de simulare, prezentat in 5.6.1., a fost aplicat pentru simularea cresterii fisurilor in toate cele trei cazuri de deplasare a fisurilor prezentate in figura 5.24.

S-a luat in calcul o valoare a tenacitatii la rupere  $K_{IC}=2900 \text{ N/mm}^{3/2}$ , corespunzatoare energiei de rupere medie obtinuta la temperatura de  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Aceasta valoare  $K_{IC}$  conduce la o dimensiune critica de fisura  $a_{\text{critic}} = 79 \text{ mm}$ .

A fost astfel posibila determinarea evolutiei fisurilor sub traficul viitor considerat, reprezentat printr-un istoric al solicitarilor sub forma unui bloc de incarcare si trasarea apoi a diagramelor de evolutie a fisurilor prezentate in figurile 5.25 si 5.26.

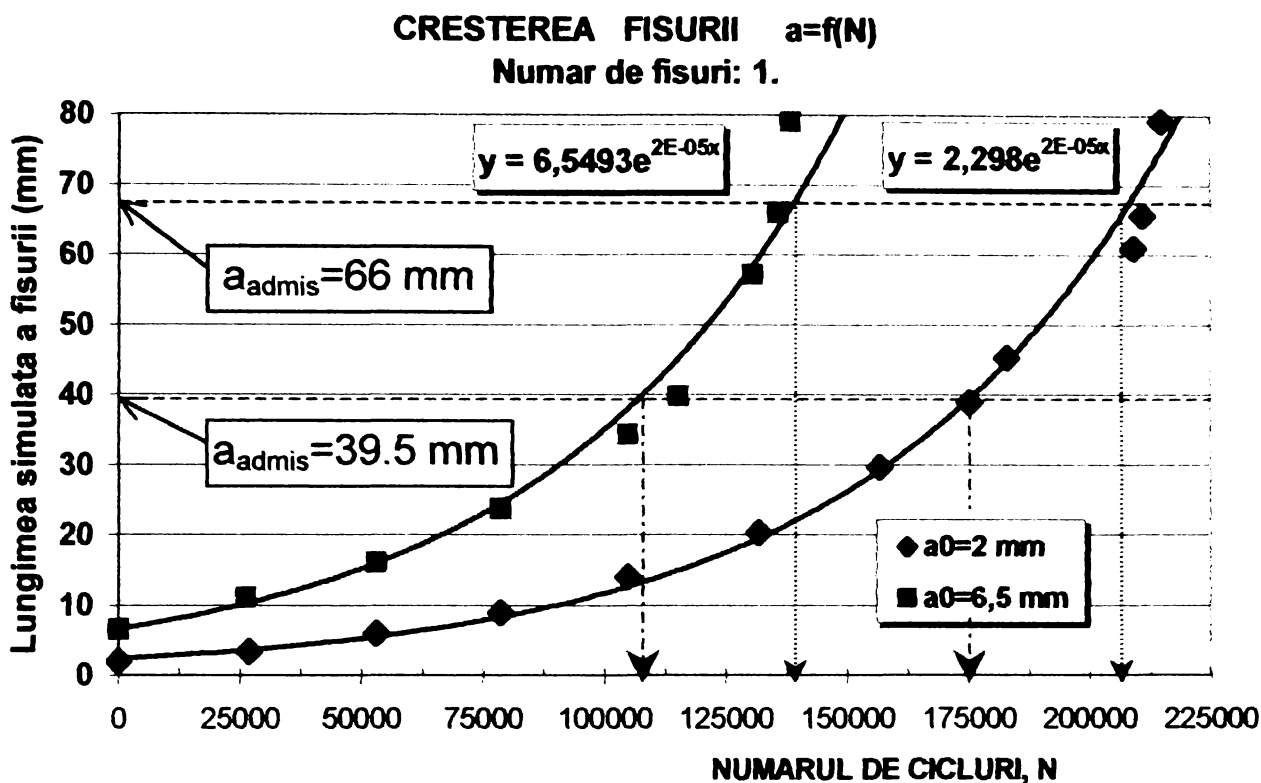


FIG.5.25. Variatia lungimii fisurii in functie de numarul de cicluri de solicitare - o singura fisura.

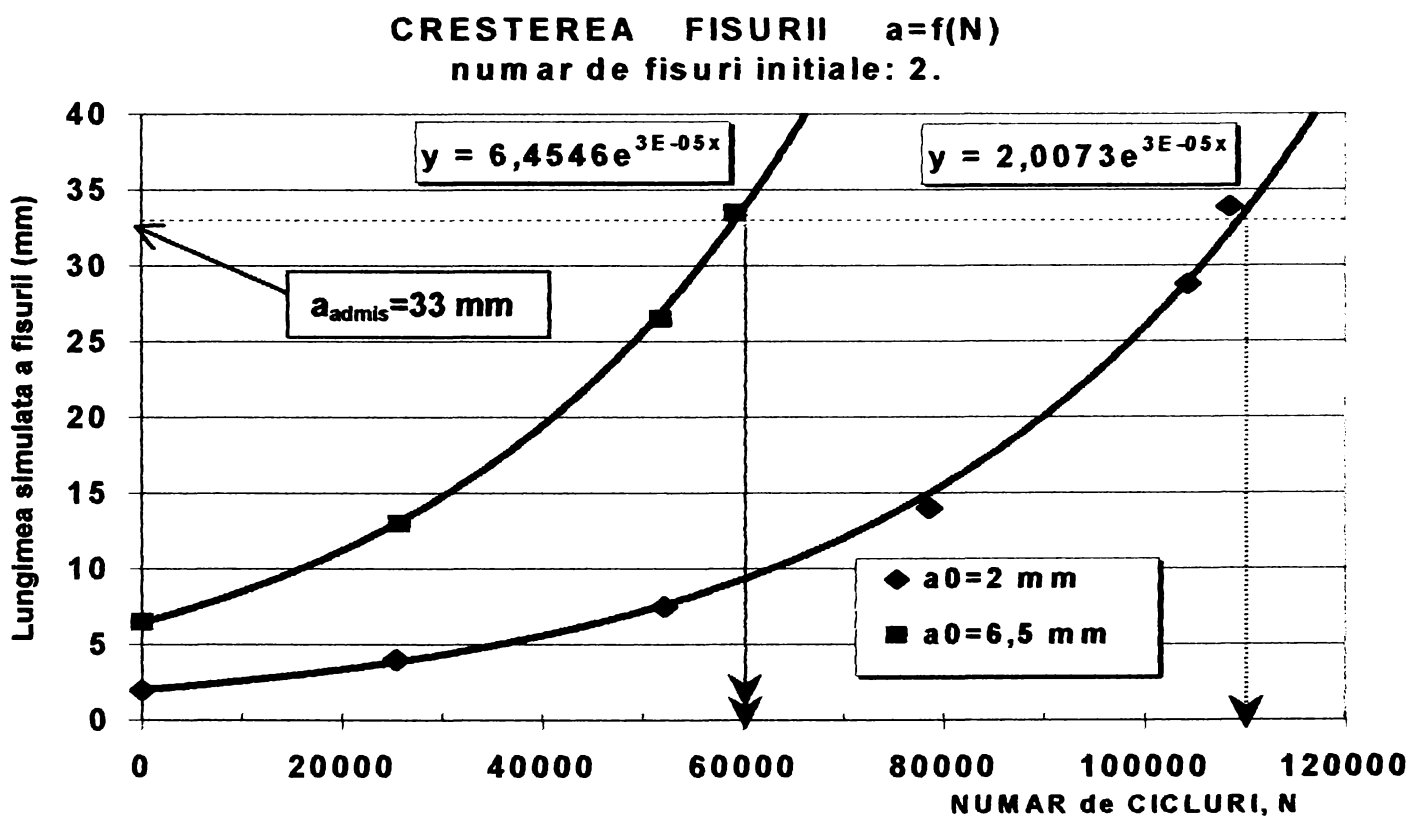


FIG.5.26. Variatia lungimii fisurii in functie de numarul de cicluri de solicitare - doua fisuri simetrice.

Rezerva de viata a elementului se determina prin impartirea numarului total de cicluri de solicitare care conduc la colaps (la atingerea criteriului de rupere sau a lungimii admisibile a fisurii) rezultat din simulare, la

numarul de cicluri de solicitare din programul de solicitare aplicat, in unitatea de timp aleasa (zi/luna/an).

Pentru situatiile prezentate mai sus s-au obtinut rezultatele prezentate in tabelul 5.9.

**TABELUL 5.9**  
**Determinarea duratei de viata ramase**

Cazul de propagare a fisurii	Lungimea initiala a fisurii $C_0$ (mm)	NUMAR de cicluri ramas pana la colaps	DURATA de VIATA Ramasa (zile)
1)	2.00	109 847	41,67
	6.50	89 847	34,08
2)	2.00	115 514	43,82
	6.50	167 881	63,68
3)	2.00	93 324	35,40
	6.50	54 391	20,63

Se constata ca perechile de valori  $\{a_i, N(a_i)\}$  determinate prin programul de calcul al evolutiei fisurii pana la atingerea starii limita considerate, se inscriu in toate cazurile analizate pe o traiectorie ascendenta.

Analizandu-se tendinta evolutiei fisurii, prin prisma perechilor de **valori lungimea fisurii-numar de cicluri de solicitare** calculate, modelata prin functii de acoperire a punctelor experimentale determinate cu functia TREND din programul EXCEL, de tipul :

- functie exponentiala de forma

$$a = \alpha \cdot e^{\beta \cdot N} \quad (5.45)$$

- functie polinomiala de forma

$$a = b_n \cdot N^n + b_{n-1} \cdot N^{n-1} + \dots + b_1 \cdot N + b_0, \quad \text{cu } (2 \leq n \leq 5) \quad (5.46)$$

s-au obtinut functiile prezentate in tabelele 5.10 si 5.11 si reprezentate grafic in figurile 5.27-5.31.

Se constata ca functiile polinomiale (5.46) de tipul parabola de grad superior, desi au un coeficient de corelatie cu datele experimentale bun, prezinta puncte extreme (minim) sau de inflexiune care nu sunt in deplina concordanta cu teoria privind evolutia fisurilor de oboseala iar in unele cazuru nu respecta nici dimensiunea initiala a fisurii, in timp ce functia exponentiala (5.45) are un coeficient de corelatie bun, au numai tendinta crescatoare si sunt mai facil de aplicat, avand o solutie unica pentru determinarea numarului de cicluri de solicitare,

$$N = \frac{1}{\beta} \cdot \ln\left(\frac{a_{lim}}{\alpha}\right) \quad (5.47)$$

**TABELUL 5.10**

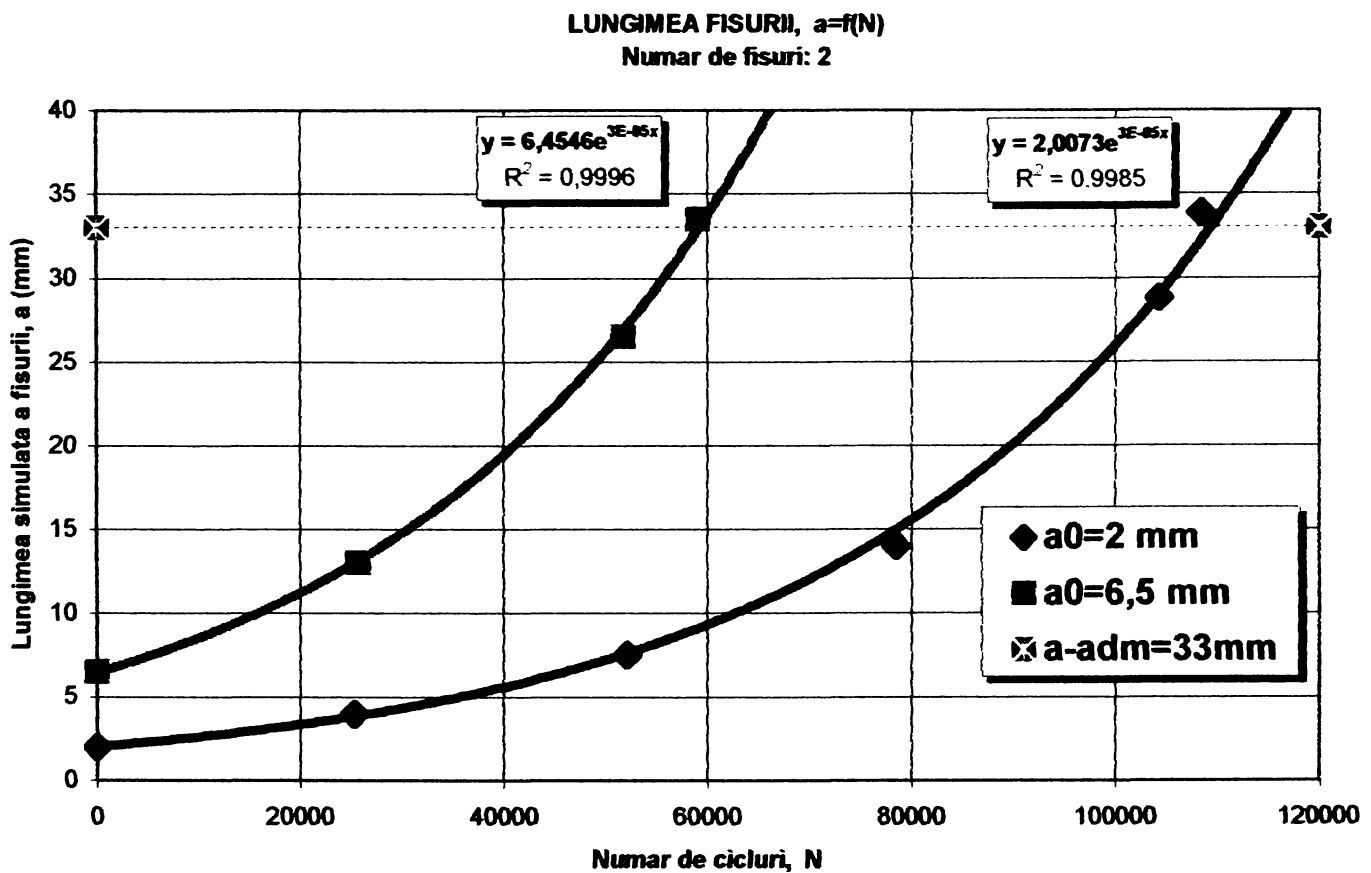
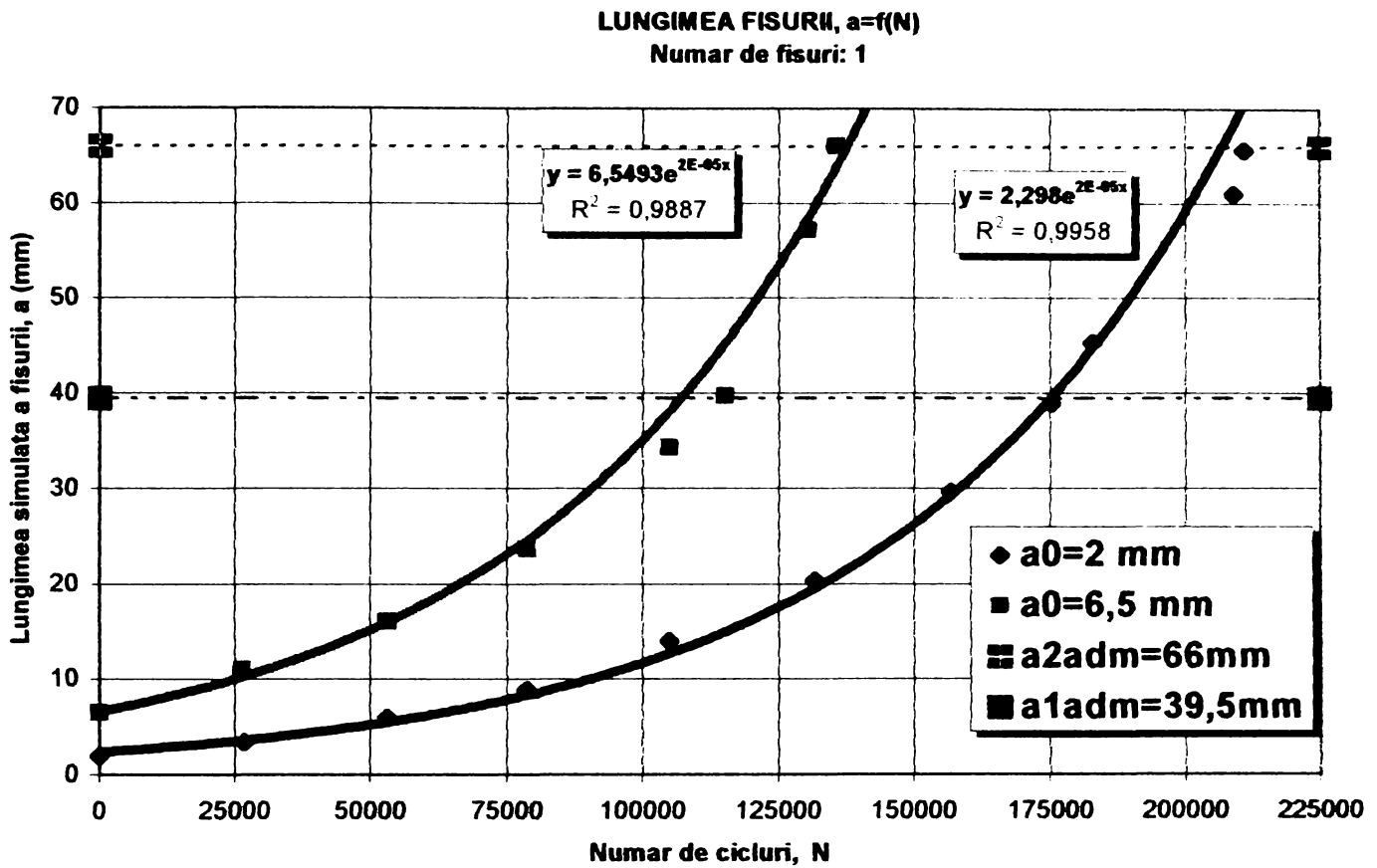
**Functii de aproximare a cresterii fisurii  
Cazul 1). Numarul de fisuri = 1**

Dimens. initial a a <sub>0</sub> (mm)	Functia de aproximare	Coef. corelatie Pearson R	Functia de aproximare							
			Exponentiala		Polinomiala					
			$a = \alpha \cdot e^{\beta \cdot N}$		$a = b_5 N^5 + b_4 N^4 + b_3 N^3 + b_2 N^2 + b_1 N^1 + b_0$					
			$\alpha$	$\beta$	b <sub>5</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>0</sub>
2.0	exp.	0.9979	2.298	2E-05	-	-	-	-	-	-
	pol.gr.2	0.9979	-	-	-	-	-	2E-09	-2E-04	5.3964
	Pol.gr.3	0.9941	-	-	-	-	1E-14	-2E-09	2E-04	1.1968
	pol.gr.4	0.9948	-	-	-	8E-20	-2E-14	3E-09	-4E-05	2.2545
	pol.gr.5	0.9953	-	-	1E-24	-6E-19	1E-13	-7E-09	2E-04	1.7553
6.5	Exp.	0.9943	6.5493	2E-05	-	-	-	-	-	-
	Pol.gr.2	0.9778	-	-	-	-	-	5E-09	-2E-04	10.213
	Pol.gr.3	0.9922	-	-	-	-	6E-14	-9E-09	5E-04	5.4349
	pol.gr.4	0.9960	-	-	-	1E-18	-2E-13	2E-08	-2E-04	6.8079
	Pol.gr.5	0.9981	-	-	3E-23	-9E-18	9E-13	-4E-08	8E-04	6.4371

**TABELUL 5.11**

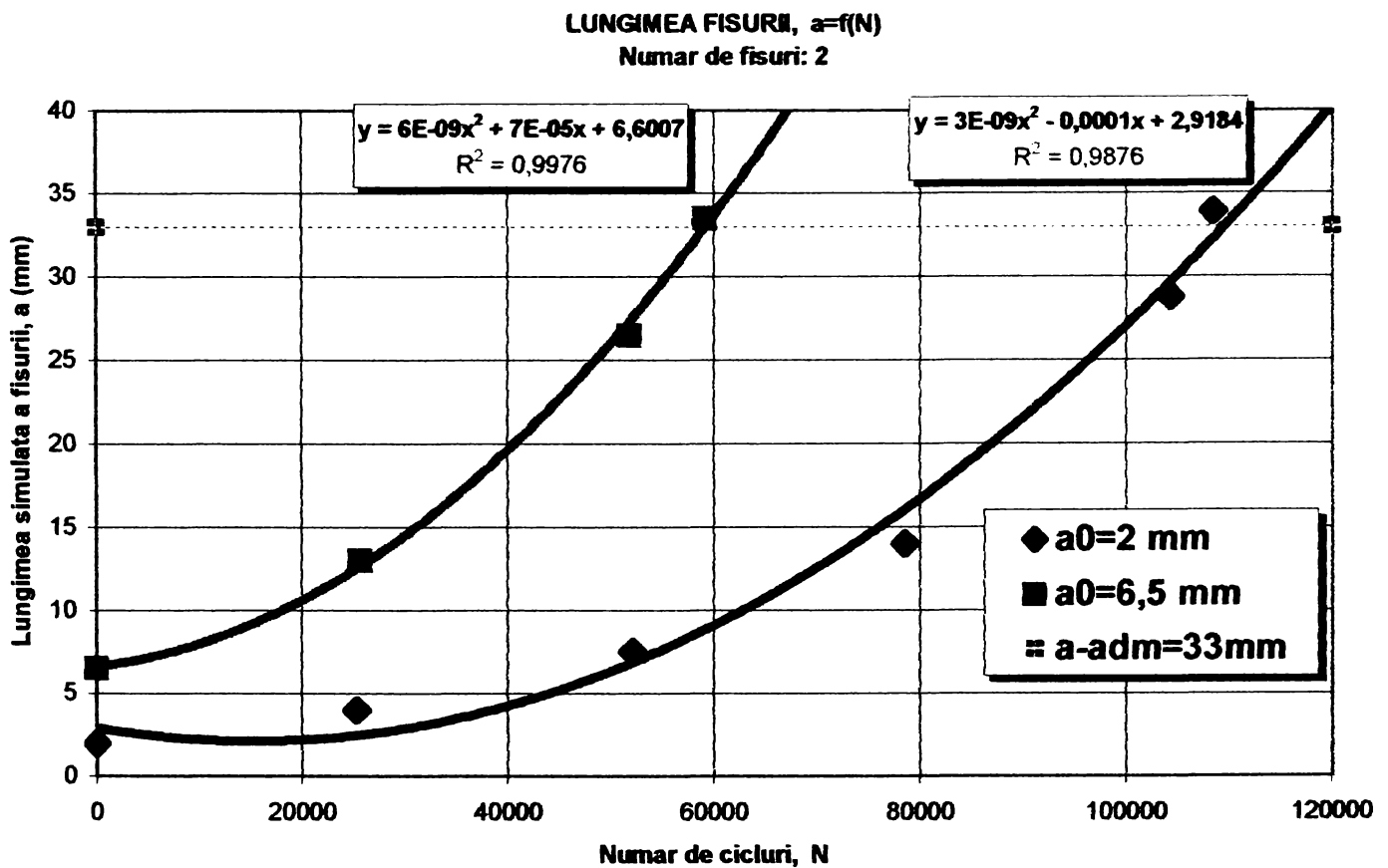
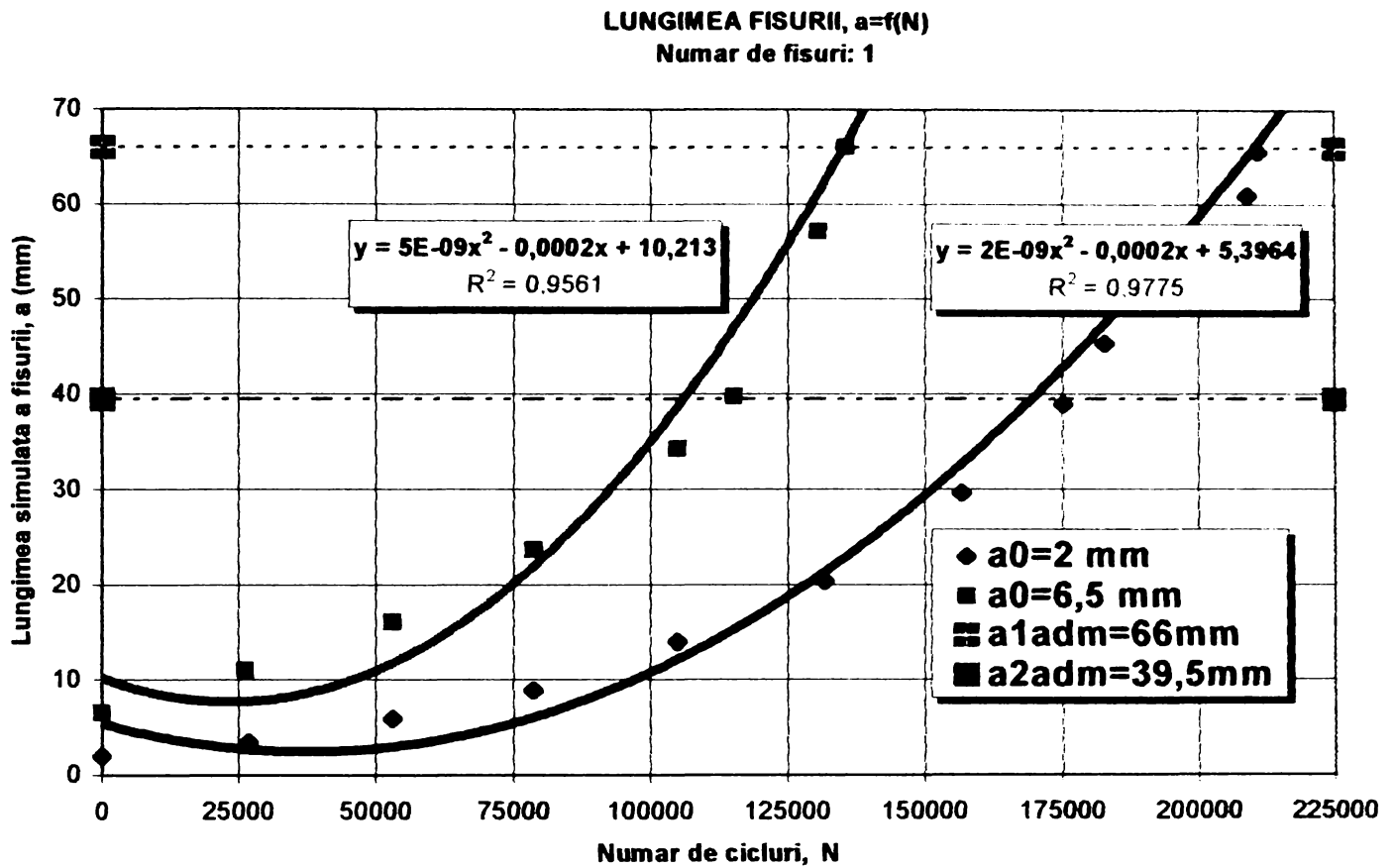
**Functii de aproximare a cresterii fisurii  
Cazul 2). Numarul de fisuri = 2**

Dimens. initial a a <sub>0</sub> (mm)	Functia de aproximare	Coef. corelatie Pearson R	Functia de aproximare							
			Exponentiala		Polinomiala					
			$a = \alpha \cdot e^{\beta \cdot N}$		$a = b_5 N^5 + b_4 N^4 + b_3 N^3 + b_2 N^2 + b_1 N^1 + b_0$					
			$\alpha$	$\beta$	b <sub>5</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>0</sub>
2.0	exp.	0.9992	2.007	3E-05	-	-	-	-	-	-
	pol.gr.2	0.9938	-	-	-	-	-	3E-09	-E-04	2.9184
	Pol.gr.3	0.9991	-	-	-	-	4E-14	-3E-09	2E-04	1.8815
	Pol.gr.4	0.9997	-	-	-	8E-19	-9E-14	6E-09	-2E-05	2.0186
	Pol.gr.5	1.000	-	-	2E-23	-5E-18	5E-13	-2E-08	3E-04	2.000
6.5	Exp.	0.9998	6.4546	3E-05	-	-	-	-	-	-
	Pol.gr.2	0.9988	-	-	-	-	-	6E-09	7E-05	6.6007
	Pol.gr.3	1.000	-	-	-	-	1E-13	-6E-09	3E-04	6.5000
	pol.gr.4	1.000	-	-	-	0	1E-13	-6E-09	3E-04	6.5000
	pol.gr.5	1.000	-	-	0	0	1E-13	-6E-09	3E-04	6.5000

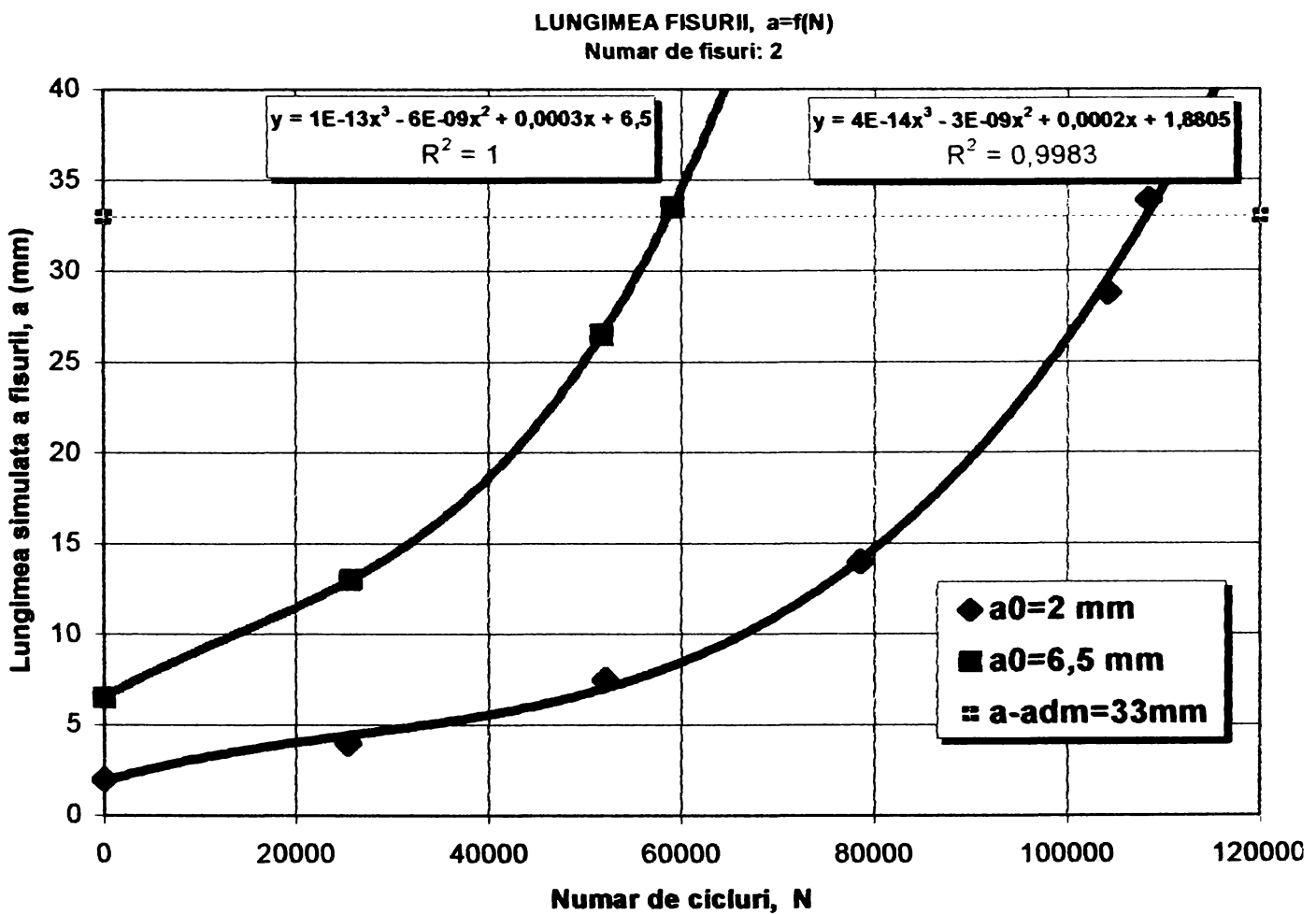
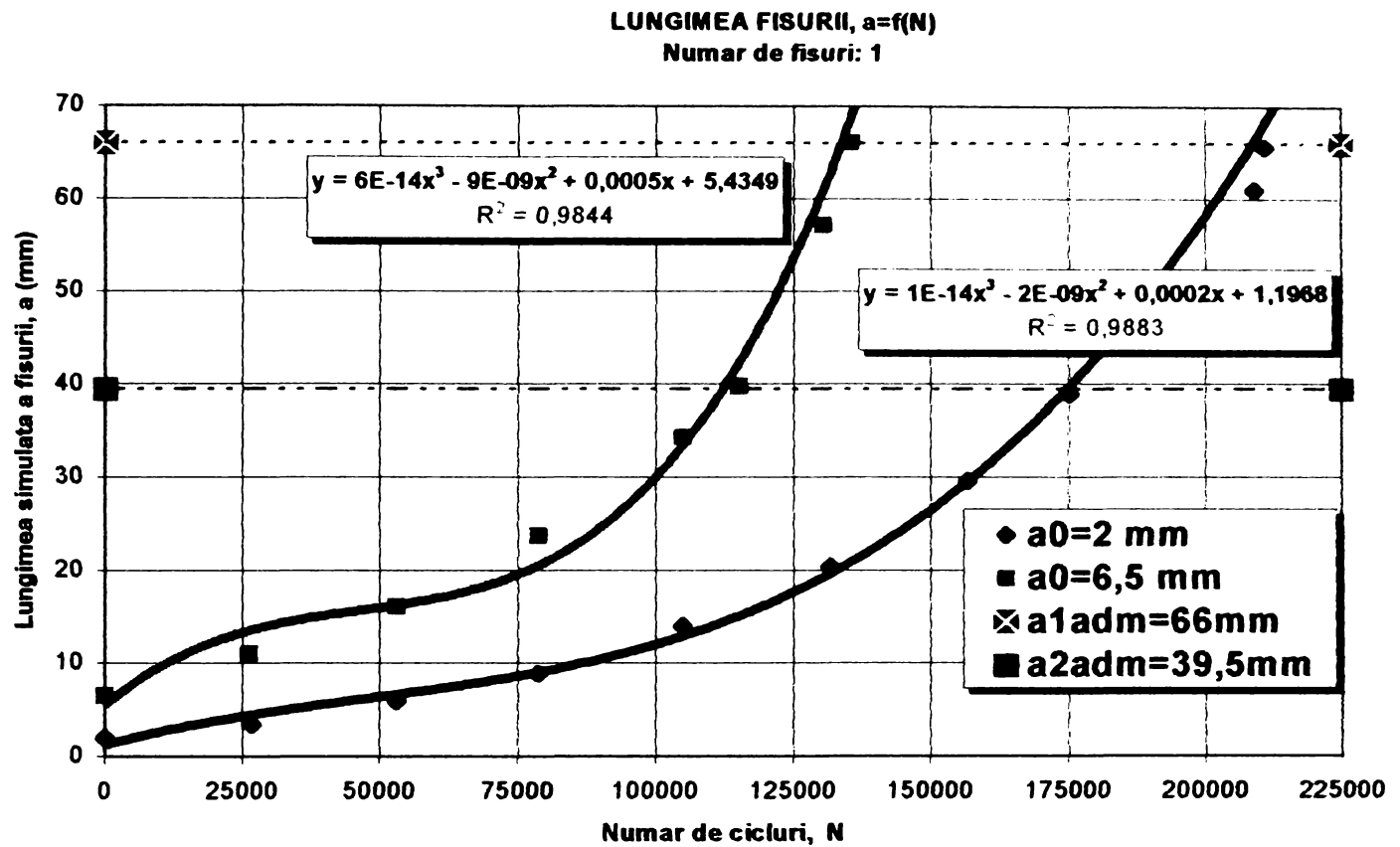


**FIG.5.27.** Functii de dezvoltare a fisurilor - **exponentiala**  
a) cazul cu o fisura ; b) cazul cu doua fisuri.





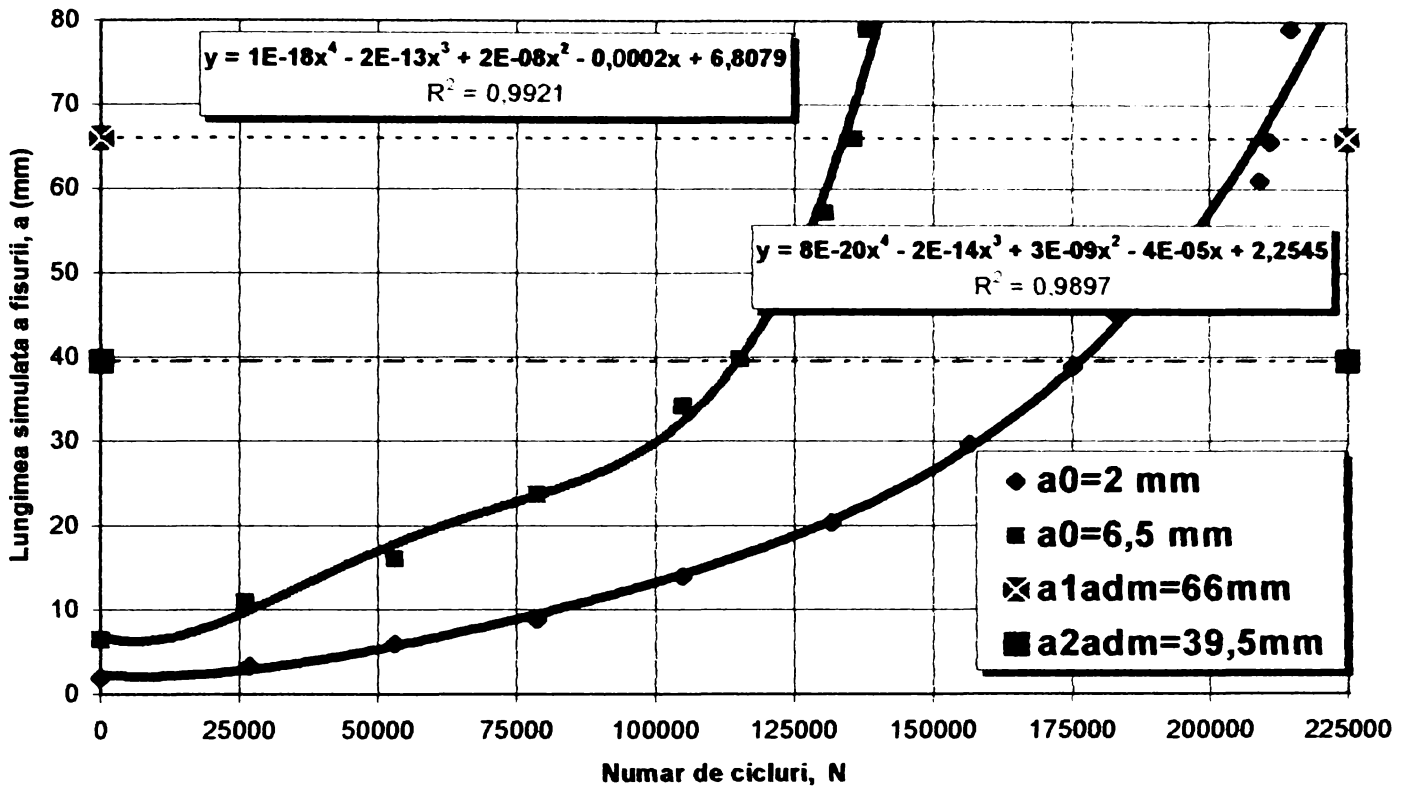
**FIG.5.28.** Functii de dezvoltare a fisurilor - **polinomiala gr.2**  
a) cazul cu o fisura ; b) cazul cu doua fisuri.



**FIG.5.29.** Functii de dezvoltare a fisurilor-polinomiala gr.3  
a) cazul cu o fisura ; b) cazul cu doua fisuri.

LUNGIMEA FISURII,  $a=f(N)$

Numar de fisuri: 1



LUNGIMEA FISURII,  $a=f(N)$

Numar de fisuri: 2

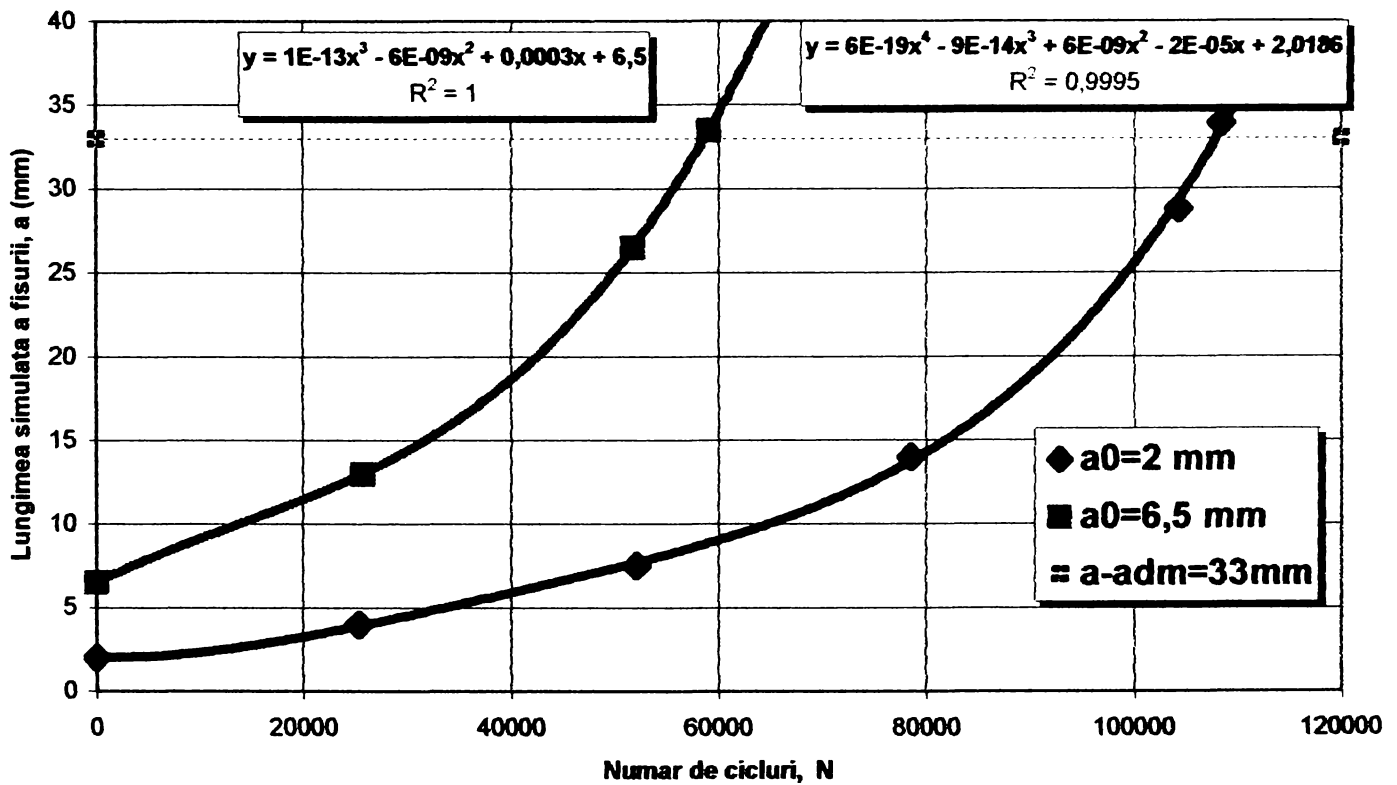
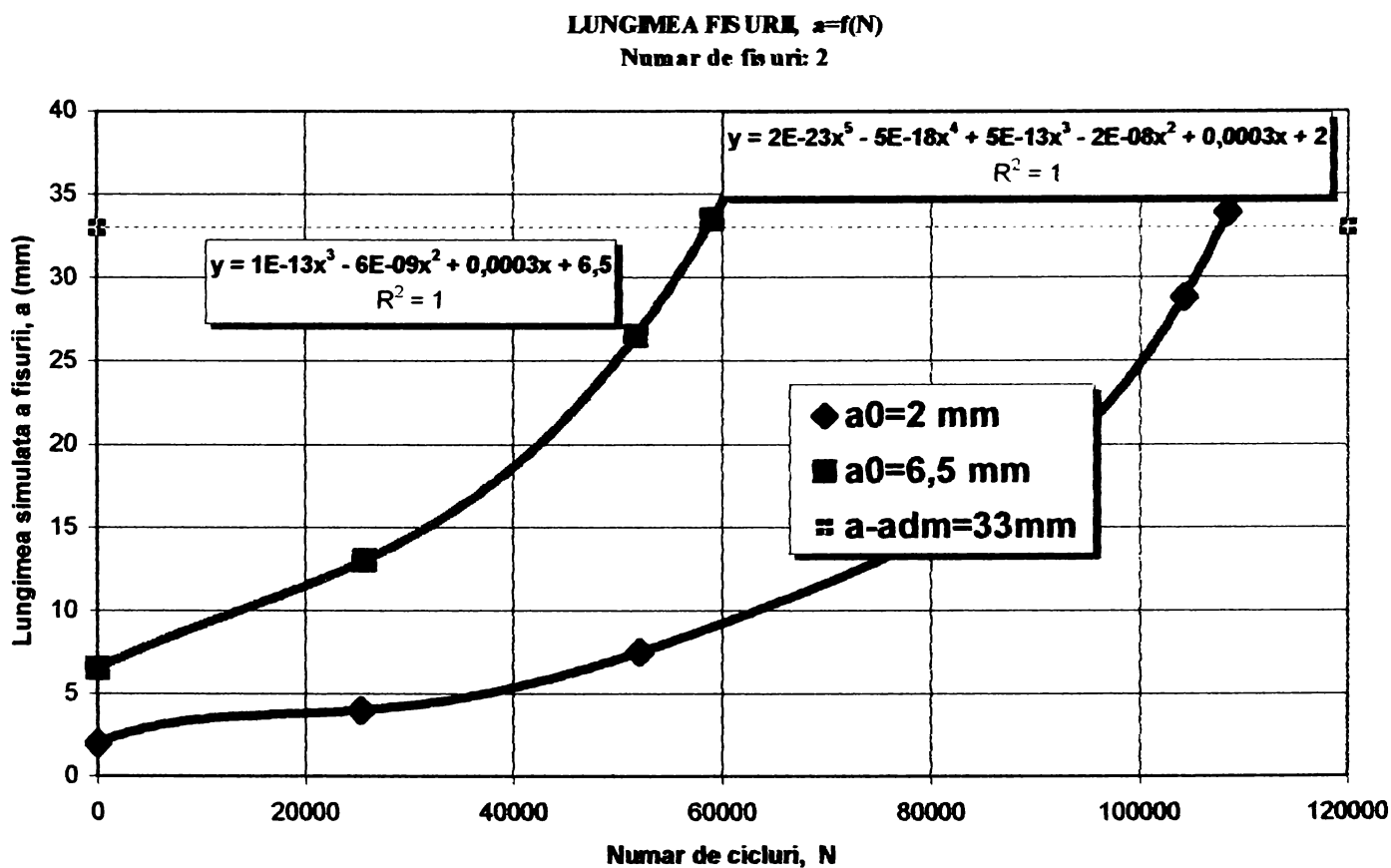
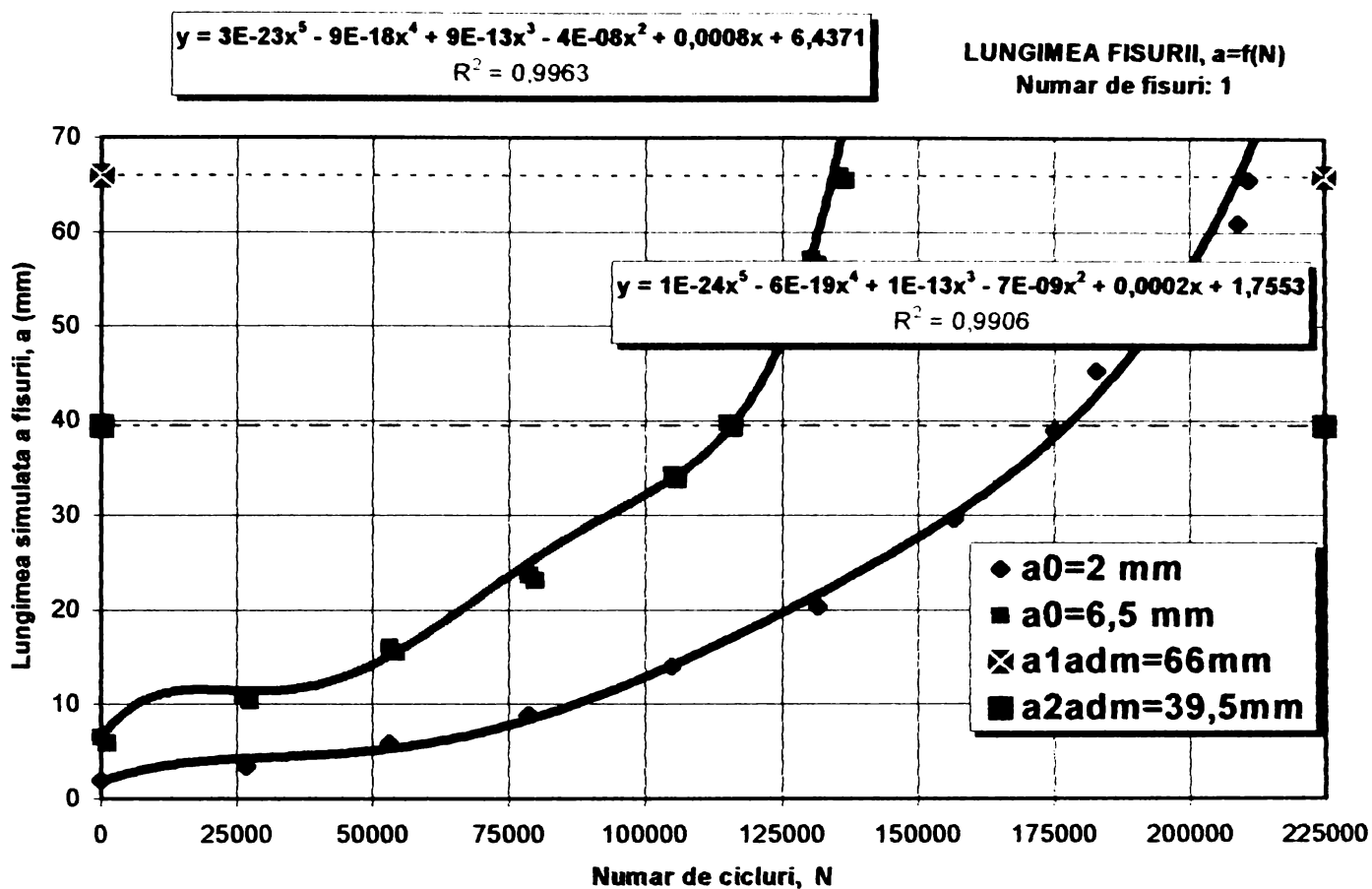


FIG.5.30. Functii de dezvoltare a fisurilor-polinomiala gr.4  
 a) cazul cu o fisura ; b) cazul cu doua fisuri.



**FIG.5.31.** Functii de dezvoltare a fisurilor-polinomiale gr.5  
a) cazul cu o fisura ; b) cazul cu doua fisuri.

## 5.6. CONCLUZII SI CONTRIBUTII PRIVIND METODA CFMR.

Studiile si cercetarile experimentale efectuate au avut ca obiectiv obtinerea informatiilor asupra caracteristicilor de material si a comportarii otelului utilizat la constructia podurilor metalice vechi in vederea elaborarii unei metodologii de apreciere a duratei de viata a elementelor bazata pe principiile mecanicii ruperii, care sa fie complementara sau chiar sa inlocuiasca metoda actuala de calcul prin cumularea liniara avatamarilor, destul de laborioasa si uneori greu de aplicat mai ales atunci cand informatiile privind traficul trecut lipsesc sau sunt insuficiente.

Pentru realizarea obiectivului propus a fost elaborat un program de studii teoretice si cercetari experimentale, prin a carui etape s-a urmarit :

- Sistematizarea si concentrarea vastelor informatii din literatura de specialitate privind mecanica ruperii si aplicatiile ei practice, intr-un sistem restrans, concis si coerent care sa permita o noua abordare a fenomenului ruperii din oboseala si care sa conduca, in final, la reconsiderarea si extinderea metodelor de verificare a structurilor metalice existente.
- Studiul teoretic si evaluarea prin incercari experimentale a caracteristicilor de material specifice notiunilor din mecanica ruperii si care se regasesc in ecuatiile care modeleaza propagarea fisurii, pentru otelul din elementele de rezistenta ale podurilor metalice aflate in exploatare de un mare numar de ani.
- Elaborarea si aplicarea unei metode de determinare a **duratei de viata ramase** a elementelor structurale in care apar degradari (fisuri).

### 5.6.1. Concluzii privind cercetarile teoretice si incercarile experimentale

Parcursarea primei etape a programului mentionat a necesitat analiza bibliografica a numeroaselor cercetari din domeniul mecanicii ruperii materialelor efectuate pe plan international in ultimii 60 de ani si sistematizarea lor prin prezentarea principalelor notiuni, relatii de calcul si metode de analiza teoretica si experimentală pentru aprecierea ruperii, caracteristice otelului.

Corelarea tuturor acelor informatii a permis prezentarea relatiei de calcul Paris (5.20),  $da/dN = C(\Delta K)^m$ , care apreciaza rata de crestere a fisurii dintr-un element din otel functie de o singura marime caracteristica -**factorul**



de intensitate a tensiunii in zona plastica de la varful fisurii, notat  $K$ , prin intermediul a doua constante de material  $C$  si  $m$ , care se pot determina experimental.

Aceasta relatie, unanim acceptata in prezent dintre numeroasele relatii prezentate in literatura, sta la baza tuturor dezvoltarilor ulterioare.

In cea de a doua etapa a programului de studii si cercetari experimentale s-a derulat un program de achizitie si prelevare a unor esantioane, la scara reala, din cele mai solicitate elemente constructive -lonjeronul si antretoaza curente din deschiderea a III-a, ale podului de cale ferata de la Sag-Timiseni pe linia Timisoara-Resita si apoi un program de confectionare, in laboratorul Departamentului CMMC, a unui numar de 15 epruvete tip compact C(T) (specifice incercarilor din mecanica ruperii) si de incercare experimentală a acestora si de prelucrare a rezultatelor masuratorilor experimentale pentru determinarea constantelor de material  $C$  si  $m$ , in cadrul Institutului National de Cercetare-Dezvoltare in Sudura si Incercari de Materiale (ISIM) Timisoara.

Derularea acestei etape a permis determinarea constantelor de material,  $C$  si  $m$ , pentru oțelul obosit, care s-a aflat in exploatare timp de 83 de ani.

Rezultatele obtinute au reliefat :

- Valorile constantelor  $C$  si  $m$  determinate experimental, prezentate in tabelul 5.4 se inscriu in domeniul de valori prezentate in literatura [5.43] pentru oțelul moale si oțelul OL 37.1n
- Se indeplineste intr-o proportie acceptabila, corelatia stabilita intre  $C$  si  $m$  de Kitagawa, Koshiga si Kawahara [5.10], conform careia pentru oțelurile de constructii moi este valabila relatia :

$$C = A \cdot B^{-m} \quad (5.48)$$

cu  $A=0,8 \cdot 10^{-4}$  si  $B=80$ , rezultand valorile din tabelul 5.12 :

**TABELUL 5.12**

Nr. Crt.	Pozitie epruveta	Constanta C experimental	Constanta C corelatie	Abatere cor/exp
1.	Lonj.longit.	$5.97 \times 10^{-11}$	$2.22 \times 10^{-12}$	+3.7%
2.	Lonj.transv.	$3.62 \times 10^{-8}$	$4.28 \times 10^{-10}$	+18%

- Valorile constantelor  $C$  si  $m$  sunt sensibil influentate de temperatura si de orientarea fisurilor fata de directia de laminare.
- Analiza statistica a sirului de valori  $C$  si  $m$  determinate prin incercari experimentale, tabelul

5.13, arata o dispersie mare a valorilor individuale obtinute pe fiecare epruveta prelevata in sens longitudinal (dupa sensul de laminare, perpendicular pe directia de dezvoltare a fisurii) fata de celelalte cazuri (de exemplu pentru m :  $V_x=7.65\%$  pentru directia longitudinala si  $V_x=95.68\%$  pentru directia transversala), asa incat se apreciaza ca numarul de epruvete supuse incercarii experimentale, dupa directia tensiunii principale, sa fie **cel putin sase**.

**TABELUL 5.13**

**Marimi statistice pentru sirurile de valori C si m ;  
-talpa inferioara lonjeron-**

Constanta	Directia de prelevare	Nr. probe	Marimi statistice		
			Valoarea medie $m_x = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k$	Dispersia nedepasata $S_x^2 = \sum_{k=1}^n (x_k - m_x)^2$	Coef. de variatie $V_x = \frac{S_x}{m_x} \cdot 100$ (%)
m	Lonj.longit.	3	3.97	0.091	7.65
	Lonj.transv.	3	2.77	7.0254	95.68
C	Lonj.longit.	3	5.97E-11	9.25E-21	161
	Lonj.transv.	3	3.62E-08	7.49E-15	244.9

### 5.6.2. Concluzii privind metoda de verificare propusa (CMRF).

In ultima etapa a programului de studii si cercetari experimentale, bazat pe rezultatele obtinute in etapa a doua cat si pe unele cercetari si acte normative internationale [5.39],[5.42], s-a dezvoltat o metoda de calcul a duratei de viata ramase, sub traficul prezent si viitor si apoi verificat printr-un studiu de caz, pentru un element structural (lonjeronul curent) fisurat, in mai multe ipoteze de positionare si progresie a fisurii.

S-a evaluat cazul cel mai frecvent intalnit la podurile metalice vechi cu structura nituita si anume acela in care fisura se amorseaza de pe circumferinta unei gauri de nit si are o traiectorie perpendiculara pe directia tensiunii de intindere din element.

Metoda propusa a fost testata pentru platbanda intinsa de la talpa inferioara a lonjeronului (platbanda 10x200 cu doua gauri cu  $d=21$  mm, din OL 37.1 cu  $R_e=270$  N/mm<sup>2</sup>,  $R_m=388$  N/mm<sup>2</sup>,  $A\%=37$ ,  $K_{Ic}=2900$ ,  $C=3.533E-8$ ,  $m=2.77$ ) pentru care s-au avut in vedere urmatoarele situatii (fig.6.24):

1. Prezenta unei singure fisuri, care se dezvolta :

- a) spre exteriorul platbenzii ;
- b) spre axul platbenzii.

2. Prezenta a doua fisuri, diametral simetrice, care se dezvoltă atât spre exteriorul cât și spre axul platbenzii.

In toate situatiile s-au considerat doua posibilitati de detectare a fisurii :

a) fisura este abia amorsata, se gaseste sub capul nitului si nu poate fi inca detectata, pentru care s-a considerat o lungime initiala  $a_0 = 2.0$  mm in acord cu metoda de testare a epruvetelor C(T) [5.38].

b) fisura s-a propagat in afara capului nitului si ca urmare ea poate fi detectata, pentru care s-a considerat o lungime initiala  $a_0 = 6.5$  mm.

Pentru toate aceste situatii s-a aplicat metoda propusa, prezentata in paragraful 5.5.1 si 5.5.2 si s-au calculat perechile de valori  $\{a, N(a)\}$  care conduc la cresterea fisurii pana la **stadiul limita** acceptat :

- $a_{\text{critic}}$ , determinat din conditia de rupere (5.35), dupa care extensia fisurii are un caracter brutal;
- $a_{\text{admisibil}}$ , determinat din conditiile geometrice de atingere a marginilor platbenzii.

Numarul de cicluri de solicitare  $N(a_{\text{lim}})$  corespunzator stadiului limita al fisurii reprezinta **DURATA de VIATA RAMASA** care poate fi determinata in unitatea de timp convenabila in acord cu programul de solicitare aplicat.

Durata de viata foarte redusa rezultata prin metoda propusa (tabelul 5.9) este in concordanta cu rezultatul calcului clasic prin cumulara vatamarilor, dezvoltat in cadrul expertizei efectuate in anul 1987, care a evidentiat epuizarea duratei de exploatare si a condus la inlocuirea tablrierului din aceasta deschidere.

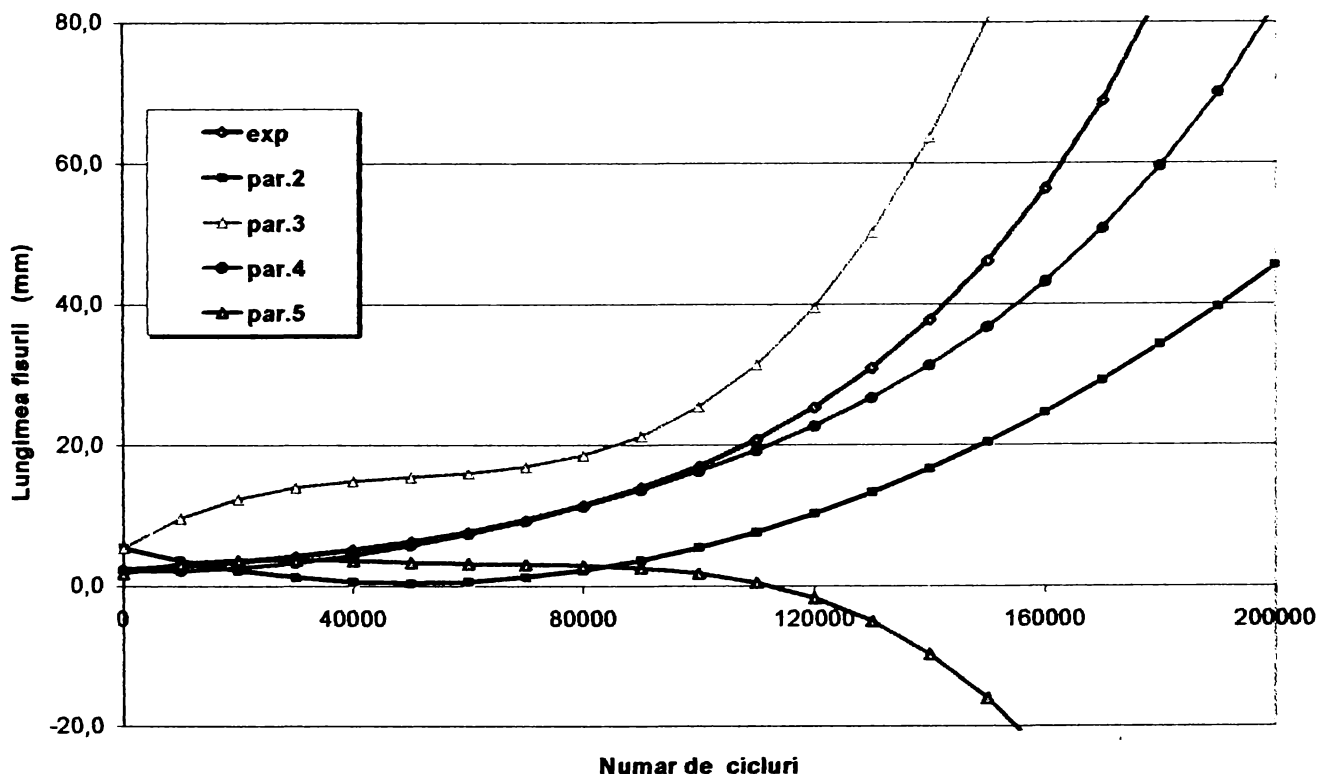
Testarea metodei propuse, printr-un exemplu practic cu date reale, a relevat urmatoarele :

1. Metoda necesita epruvete de tip C(T) care sunt de dimensiuni reduse (cca.  $40 \times 38.5 \times 8 \dots 10$  mm), pot fi prelucrate si manevrate cu usurinta si necesita esantioane mici de material ;
2. Determinarea constantelor de material C si m se face relativ usor, printr-o incercare experimentală care necesita o instalatie de incercare si achizitie a

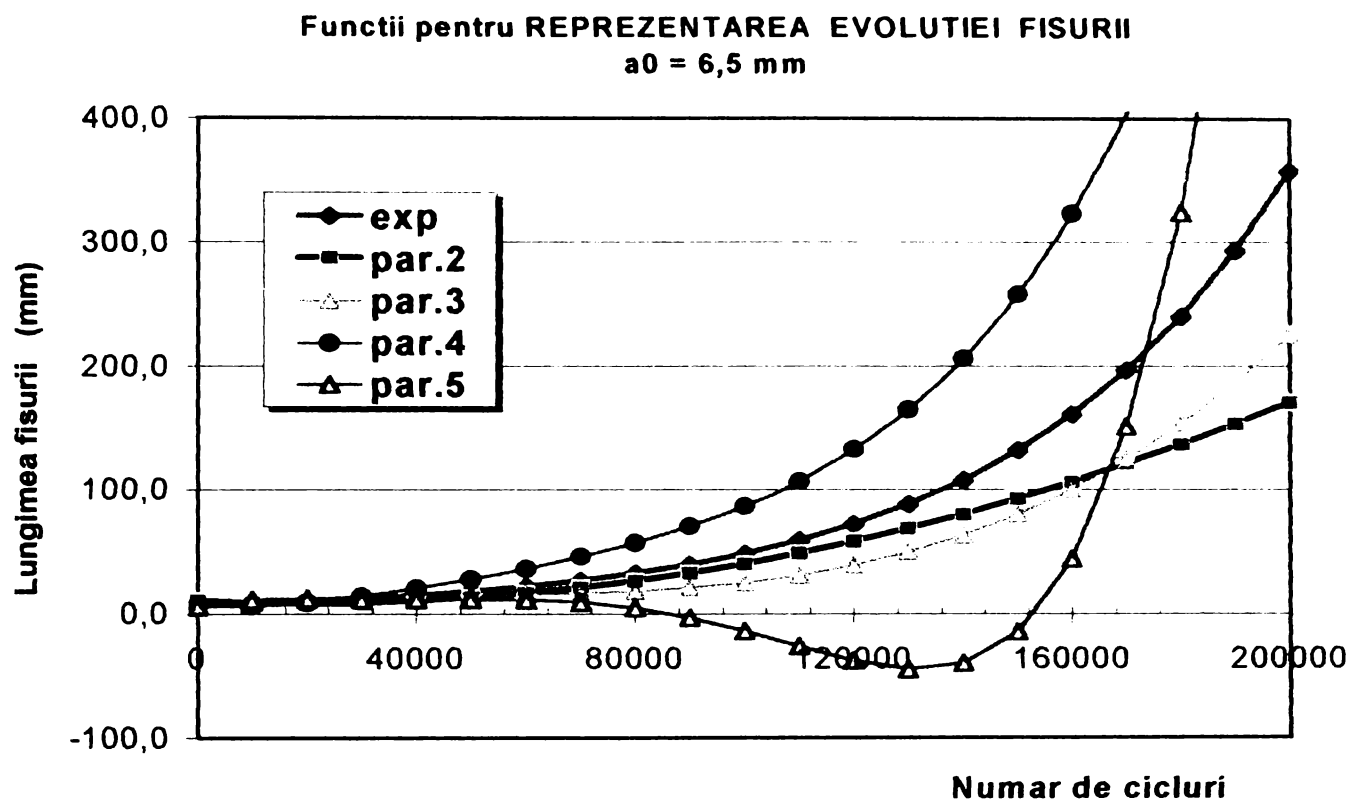
datelor simpla si de dimensiuni reduse (un stand pulsator cu puteri de pana la 60-80 kN, R=0.7) si se realizeaza intr-un timp scurt, cca.4-8 ore/proba, iar prelucrarea rezultatelor se face automat printr-un program de calcul care livreaza valorile constantelor C si m dupa procedura ASTM ;

3. Prin determinarea constantelor de material C si m se elimina toate incertitudinile cu privire la 'istoricul sollicitarilor' din metoda clasica PLM ;
4. Metoda se aplica cu usurinta, parametrii de intrare pot fi usor modificati si adaptati necesitatilor;
5. Metoda se poate aplica si in cazul elementelor nefisurate prin acceptarea unui defect initial infinit mic ( $a_0 = 0.01 \text{ mm}$ ) ;
6. Functia cea mai adecvata pentru simularea evolutiei fisurii este cea exponentiala, de forma  $a = A \cdot e^{BN}$ , asa cum rezulta si din figurile 5.32 si 5.33.

**Functii pentru REPREZENTAREA EVOLUTIEI FISURII**  
 $a_0 = 2,0 \text{ mm.}$



**FIG. 5.32.** Functii comparative pentru reprezentarea evolutiei fisurii - **fisura in faza de initiere.**



**FIG. 5.33.** Functii comparative pentru reprezentarea evolutiei fisurii - **fisura in faza de propagare**

## BIBLIOGRAFIE - CAPITOLUL V

- 5.1. Brozzetti, J., Sedlacek, G., Hensen, W., : *Fondements des règles de l'Eurocode 3 en vue de se garantir du risque de rupture fragile*, Construction Metallique, janvier 1991;
- 5.2. Persy, J.P., : *Analyse de l'effondrement du pont de Sally-sur-Loire, course ENPC, Paris 1987.*
- 5.3. Sanz, G., : *Risque de rupture fragile*, AFNOR-IRSID, Paris, 1991.
- 5.4. Brozzetti, J., Hirt, M., Ryan, I., Sedlacek, G., Smith, I., : *Document d'appui de l'Eurocode 3*, CTICM Paris, 1989.
- 5.5. Dumitru, I., Faur, N., : *Bazele teoretice in Oboseala Materialelor, Mecanica Ruperii, Materiale Compozite si Metode Numerice*, Editura Universitatii "Politehnica", Timisoara 1997.
- 5.6. Orowan, E., : *Symposium on strenght of metals*, Institute of Metals, London 1948.
- 5.7. Frenkel, Z., : *Physik*, New York, 1962.
- 5.8. Griffith, A.A., : *The Phenomena of Rupture and Flow in Solids*, Philosophical Tranzaction, series A, vol.221, p.163-198, Royal Society, London 1920.
- 5.9. Boldus, D.C., : *Ponts metalliques; un nouveau concept de verification à la fatigue sous charges de service*, Rapport de doctorat, INSA Rennes, 1993.



- 5.10. Cioclov, D., : *Mecanica ruperii materialelor*, Editura Academiei, Bucuresti, 1977.
- 5.11. Irwin, G.,R., : *Journal of Applied Mechanics*, nr. 24/1957.
- 5.12. Irwin, G.,R., Paris, P.,C., : *Fracture*, Ed. Liebowitz, Academic Press, New York-London, 1971.
- 5.13. Timoshenko, S., : *History of Strenght of Materials with a Brief Account of the History of Theory of Elasticity and Theory of Structures*, McGraw-Hill Book Co.,New York, 1953.
- 5.14. Brozzetti, J., : *Construction metalliques et mixte acier-béton;Calcul et dimensionnement selon les Eurocodes 3 et 4;Ch.7:Fatigue et rupture brutale*, Ed. Eyrolles, Paris, 1998.
- 5.15. \* \* \* : *STAS 9760-84; Determinarea tenacitatii la rupere in conditiile starii plane de deformatie; Metoda  $K_{IC}$* , Institutul Roman de Standardizare, Bucuresti, 1984.
- 5.16. Cottrell, A.,H., : *Report on the Strenght of Solids*, Physical Society, London, 1948.
- 5.17. Talbert, S.,H., Avitzur, B., : *Elementary Mechanics of Plastic Flow in Metal Forming*, John Wiley&Sons, Chichester-New York-Brisbane-Toronto-Singapore, 1996.
- 5.18. Erdogan, F., : *Fracture Mechanics*, ASTM Publications, 25<sup>th</sup> volume, pp.18-23.
- 5.19. Valluri, S.,R., : *Revista Aerospace Engineering*, USA, octombrie 1961.
- 5.20. Grosskreutz, J.,C., : *Technical Report 664-15*, Air Force Materials Laboratory, 1965.
- 5.21. Weertman, J., : *Proceedings of First International Conference on Fracture*, p.163-164, Sendai, Japan, 1965.
- 5.22. Mc Evily, A.,Jr., Johnston, T.,L., : *Proceedings of First International Conference on Fracture*, p.515-546, Sendai, Japan, 1965.
- 5.23. Cioclov, D., : *Rezistenta si fiabilitate la solicitari variabile*, Editura Facla, Timisoara, 1975.
- 5.24. Burghard, H.,C., Davidson, D.,L.,: *Proceedings of First International Conference on Fracture*, p.571, Sendai, Japan, 1965.
- 5.25. Mc Millan, J.,C., : *Pallorex RMN*, ASTM STP 415, p.205-225, 1967.
- 5.26. Adams, N.,J., : *Dritte Internationaletagung über den Bruch*, Muenchen 1973.
- 5.27. Paris, P.,C., Gomez, M.,P., Anderson, W.,P., : *A Rational Analytic Theory of Tatigue*, The trend in engineering, vol.13,p.9-14, Washington University, 1961.
- 5.28. Paris, P.,C., : *The Fracture Mechanics Approach to Fatigue*, Proceedings of the tenth Sagamore Army Materials Research Conference, pp.107-132, Syracuse University Press, 1964.
- 5.29. Anderson, T.,L., : *Fracture Mechanics-Fundamentals and Application*, CRC PRESS inc., Bracraton-Ann Harbor-London-Tokyo, 1995.
- 5.30. Frunza, Gh., : *Plasticitate si rupere - elemente de mecanica ruperii*, Universitatea Stefan cel Mare, Suceava, 1996.

- 5.31. Foreman, R.,G., Keary, V.,E., Engle, R.,M.,:** *Numerical Analysis of Crack Propagation in Cyclic-loaded Structures*, Journal of Basic Engineering, vol.89, pp.459-464, 1967.
- 5.32. Weertman, J.,** : *Rate of growth of fatigue cracks calculated from the theory of infinitesimal dislocation distributed on a plane*, International Journal of Fracture Mechanics, vol. 2, pp.460-467, 1966.
- 5.33. Rosenfield, A.,R.,** : *Wear and Fracture Mechanics*, ASTM materials science seminar "Fundamentals of Friction and Wear" Ed. D.A. Rigney, pp. 221-233, 1981.
- 5.34. Irwin, G.,R.,** : *Onset of fast propagation in high steel and aluminium alloys*, Sagamore Research Conference Proceedings, vol.2, pp. 289-305, 1956.
- 5.35. Petrescu, M.,** : *Mecanica Ruperii*, Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti, Ed.Conspress Bucuresti, 1999.
- 5.36. Wells, A.,A.,** : *Unstable Crack Propagation in Metals: Cleavage and Fast Fracture*, Proceedings of the Crack Propagation Symposium, vol.i, paper 84, Cranfield, UK, 1986.
- 5.37. Rice, J.,R., Paris, P.,C., Merkle, J.,G.,** *Some Further Results of J-integral Analysis on Estimate*, ASTM STP 536, American Society of Testing and Materials, pp.231-245, Philadelphia, 1973.
- 5.38. \* \* \*** : *ASTME 647-93: Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates*, Annual Book of ASTM Standards, vol. 03. 01.
- 5.39. \* \* \*** : *Published Document PD 6493:1999; Guidance on methods for assessing the acceptability of flaws in fussion welded structures*, British Standard Institution, London, 1991.
- 5.40. Barsom, J.,M., Rolfe, S.,T.,** : *Correlation between  $K_{Ic}$  and Charpy V notch test results in the transition temperature range*, ASTM STP 466, pp.281-302, American Society of Testing and Materials, Philadelphia, 1970.
- 5.41. Bouwie, O.,L.,** : *Analysis of infinite plate containing radial cracks originating at the boundaries of an internal circular hole*, Journal of Mathematics and Physics, vol.35,pp.60,1956.
- 5.42. Paris, P.C., Erdogan, F.** : *A Critical Analysis of Crack Propagation Law*, Journal of Basic Engineering, vol. 85, nr. 4, 1963, p. 528.
- 5.43. Bancila, R., Boldus, D., Moisa T., Petzek, E.** : *Appraisal of existing steel bridges using modern methods*, Stability and Ductility of Steel Structures, Proceedings of the 6 International Colloquium, First Session – SDSS'99 Timisoara, România 9-11September 1999, pp581-591, Elsevier Amsterdam-Laussane-New York- Oxford-Shannon-Singapore-Tokyo, 1999.
- 5.44. Murakami, Y.,** : *Stress Intensity Factors Handbook*, in 3 volume, The Society of Materials Science, Japan, Pergamon Press, Oxford, 1988.
- 5.45. \* \* \*** : *BS 7910:1997; Guide on methods for assessing the acceptability of flaws in fusion welded structures*, British Standard Institute, London, 1997.
- 5.46. \* \* \*** : *Comunicari de mecanica ruperii: Lucrarile Simpozionului National de Mecanica Ruperii*, Asociatia Romana de Mecanica Ruperii, Calimanesti, 23-24 aprilie 1998, ISSN 1453-6536.

- 5.47. \* \* \*** : *Lucrarile Simpozionului National de Mecanica Ruperii –Predictie si diagnoza*, Asociatia Romana de Mecanica Ruperii, Midia, 1996.
- 5.48. Kirkemo, F.,** : *Applications of probabilistic fracture mechanics to offshore structures*, American Society of Mechanical Engineers, Applied Mechanic Revue, no.2, Feb. 1988.
- 5.49. Liu, A.,** : *Summary of Stress-Intensity Factors*, Rockwell International, USA, 1998.
- 5.51. \* \* \*** : *Buletinul Asociatiei Romane de Mecanica Ruperii, nr.1, iunie 1996, Bucuresti.*
- 5.52. \* \* \*** : *Buletinul Asociatiei Romane de Mecanica Ruperii, nr.2, septembrie 1996, Bucuresti.*
- 5.53. \* \* \*** : *Buletinul Asociatiei Romane de Mecanica Ruperii, nr.3, decembrie 1996, Bucuresti.*
- 5.54. \* \* \*** : *Buletinul Asociatiei Romane de Mecanica Ruperii, nr.5, martie 1998, Bucuresti.*

## Capitolul VI

### DETERMINAREA CAPACITATII PORTANTE A PODURILOR METALICE EXISTENTE; CONCLUZII SI PROPUNERI

#### 6.1. OSERVATII CRITICE ASUPRA COMPORTARII IN EXPLOATARE A PODURILOR METALICE

Investigarea comportarii constructiilor aflate in exploatare este necesara in scopul verificarii indeplinirii dezideratelor de calitate si siguranta a acestora, respectiv pentru testarea posibilitatilor de satisfacere a cerintelor de utilizare, corespunzator destinatiei si scopului pentru care au fost realizate.

Comportarea in exploatare a constructiilor cu structuri de rezistenta metalice, din care fac parte si podurile metalice, este influentata de interactiunea mai multor factori a caror provenienta a fost identificata, conform celor prezentate in capitolele I, III si IV, fie in etapa premergatoare exploatarii (in cursul procesului de fabricatie al produselor laminate din otel, in etapa de proiectare a structurii, la uzinarea, asamblarea si montajul tablierului), fie ulterior in perioada de exploatare. Analiza acestor factori, efectuata in capitolele precedente, este finalizata in acest paragraf prin formularea unor observatii critice asupra comportarii in exploatare a podurilor metalice de cale ferata vechi cu structura nituita.

Mentinerea in exploatare a unor tabliere vechi, ca urmare a detectarii unor defecte sau dupa expirarea duratei normate de exploatare, este conditionata tehnic de atingerea unei sigurante in exploatare exprimata global prin capacitatea portanta a tablierului, evaluata prin raspunsul acestuia la actiunea incarcarii exterioare, raspuns ce poate fi calitativ si cantitativ in diferite moduri, care au fost analizate in capitolele IV si V.

De exemplu, pentru un pod aflat in exploatare, deformatiile si deplasarile structurii precum si unele imperfectiuni, abateri si defecte ale elementelor sau imbinarilor acestora, pot fi percepute vizual si apoi evaluate valoric prin investigatii, cercetari experimentale si masuratori sau prin determinare pe cale analitica a marimilor fizice - deplasari, eforturi unitare, vatamari, lungimi de fisuri, etc.- corespunzatoare stadiului de sollicitare analizat.

Intrucat cercetarile experimentale in laborator sau "in situ" necesita mobilizarea unor importante resurse materiale si financiare care cresc considerabil costurile de exploatare, este de dorit cresterea ponderii verificarilor analitice sau a modelarii fenomenelor prin simulare numerica pe calculator, care se pot efectua cu costuri mai reduse si fara a influenta direct traficul, in procedurile de determinare a starii tehnice a podurilor in vederea mentinerii lor in exploatare.

Conform primului dintre aspectele mentionate sunt prezentate in continuare observatii rezultate in urma investigarii comportarii in timp a unor tabliere metalice de cale ferata situate in sud-vestul Romaniei si aflate de multi ani in exploatare fiind semnalate imperfectiunile, abaterile si defectele constatate si totodata apreciate cauzele care le-au generat, evolutia lor in timp si efectul asupra sigurantei structurii.

Pentru abordarea acestor probleme observatiile au fost grupate in functie de rolul si pozitia in ansamblul structural al elementelor de rezistenta analizate, fiind evidentiata succesiv, pentru:

- A) lonjeroni;
- B) antretoaze;
- C) grinzile principale;
- D) elemente ale contavantuirilor si portale.

#### A) LONJERONII

Conform principiilor de alcatuire constructiva care au stat la baza proiectarii tablierelor vechi, toate aceste poduri sunt realizate cu calea deschisa pe traverse din lemn rezemate direct pe lonjeroni, fapt care face ca lonjeronii sa fie elementele tablierului care preiau in mod direct actiunile provenite din convoaiele de cale ferata, asupra lor resimtindu-se cel mai pregnant efectul actiunii dinamice si al oboselii materialului. Sectiunea lonjeronilor este de forma dublu T, realizata din platbenzi iar imbinarea dintre inima si talpi cu corniere nituite.

Principalele deficiente semnalate la lonjeroni, cu ocazia expertizelor efectuate, constau in:

(a<sub>1</sub>) fisuri in platbanda de la talpa superioara, in zona de capat la imbinarea cu antretoaza, la lonjeronii simplu rezemati (exemplu podul de la Arad, vezi si fig. 4.8 si 4.13);

(a<sub>2</sub>) fisura in corniera superioara si in inima lonjeronului, tot in zona marginala, la lonjeroni simplu



rezemati (exemplu podul de la Arad, vezi si fig. 4.8 si 4.13);

(a<sub>3</sub>) fisuri neevolutive in inima lonjeronilor, situate tot in zona marginala, la lonjeronii cu scaun si platbanda de continuitate (exemplu podul de la Valea Cernei si Mehadia, vezi si fig.4.15);

(a<sub>4</sub>) fisuri evolutive in inima lonjeronilor, situate tot in zona marginala, la lonjeronii cu scaun si platbanda de continuitate (exemplu podul de la Valea Cernei si Mehadia, vezi si fig.4.15);

(a<sub>5</sub>) fisuri in platbanda de continuitate;

(a<sub>6</sub>) scurgeri de rugina sub niturile de gat de la cornierele superioare;

(a<sub>7</sub>) depasirea rezistentelor admisibile sub convoiul de calcul T 8,5 si coeficientul dinamic conform SR 1911-98, in special la lonjeronii finali si in gruparea a II-a de actiuni, din efectul serpuirii, al fortei centrifuge si al vantului;

(a<sub>8</sub>) durata de viata redusa, de regula sub durata normata de exploatare.

Producerea defectelor de tipul fisura (a<sub>1</sub>)-(a<sub>5</sub>), dar mai ales pozitia lor, fara exceptie, in zonele de la capatul lonjeronilor invecinate antretoazelor pune in evidenta influenta hotaratoare a rigiditatii imbinarilor fata de ipotezele simplificate de calcul (lonjeroni simplu rezemati sau chiar lonjeroni continui) care considera momentul incovoietor maxim in camp.

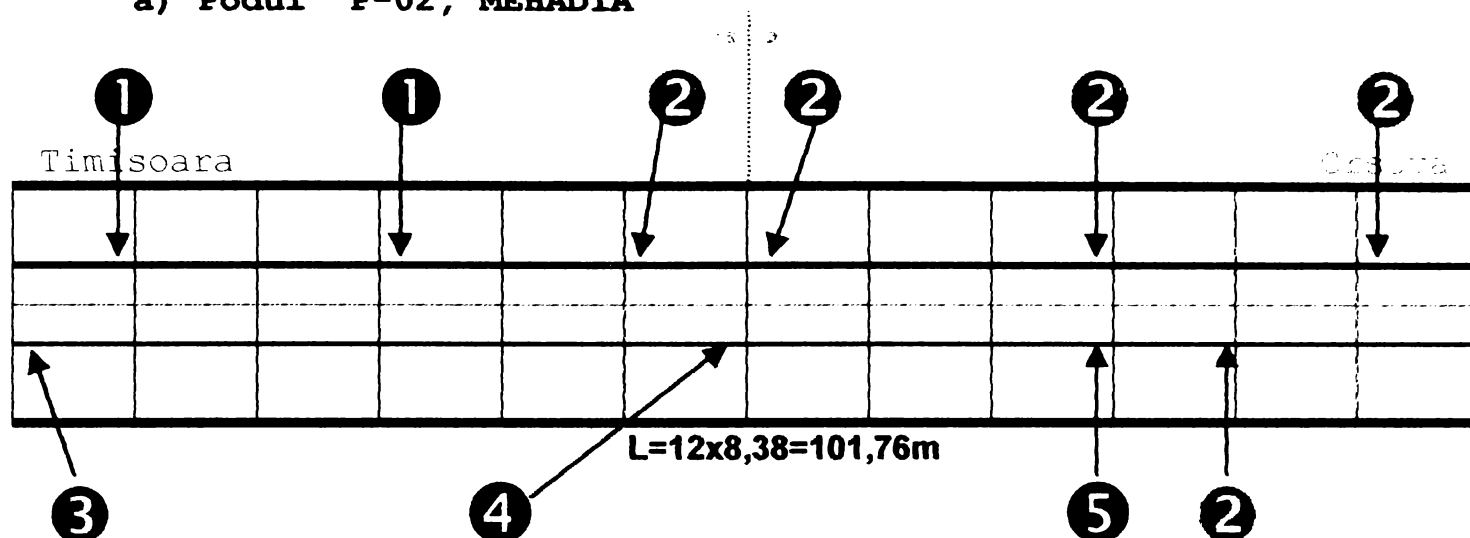
Ca urmare apare mult mai adecvata modelarea in calcul a imbinarii lonjeron antretoaza ca o legatura rigida, care sa evidentieze clar momentele negative care apar in zona de reazem a lonjeronilor.

Pentru exemplificare, in figura 6.1. se prezinta un relevu al defectelor de tip fisura la lonjeronii podurilor de la Mehadia si Arad.

Analiza defectelor (a<sub>3</sub>)-(a<sub>4</sub>) conduce la concluzia ca aceste fisuri sunt rezultatul deficientelor in conceptia de alcatuire constructiva a prinderilor, respectiv a eforturilor suplimentare provenite din conlucrarea spatiala a structurii al carei efect a fost neglijat prin efectuarea unui calcul plan.

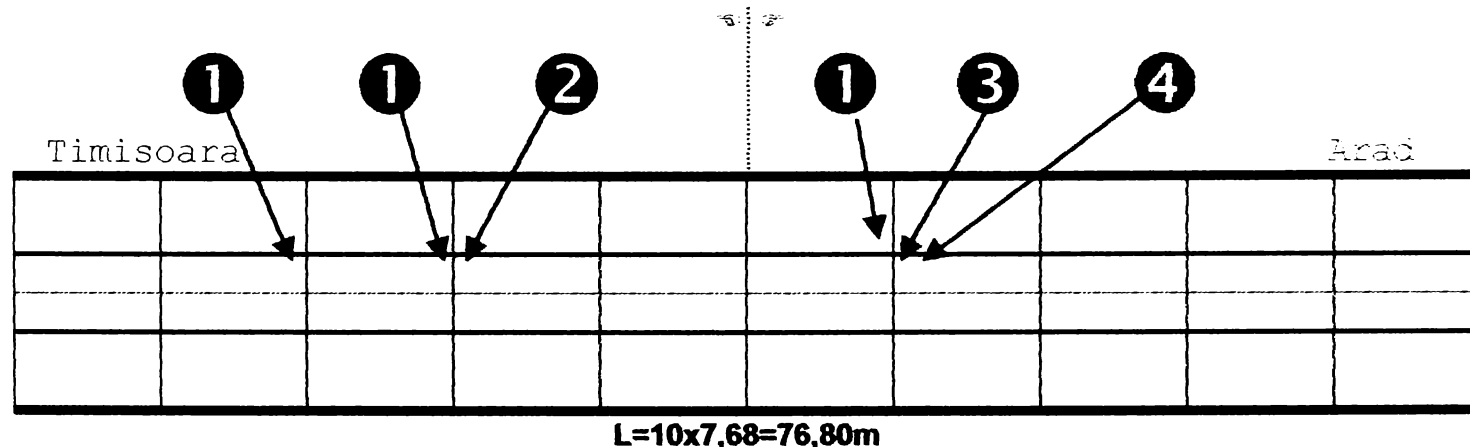
Observatiile precedente au fost valorificate prin inregistrarea unei cereri si obtinerea unui CERTIFICAT de INOVATOR (nr.724/21.12.1987 MEI-IPTVT) in cadrul Universitatii Politehnica, care prevede o imbunatatire a solutiei constructive existente prin realizarea unui guler de bordare a conturului inimii care sa impiedice amorsarea fisurilor, asa cum se arata in figura 6.2.

a) Podul P-02, MEHADIA



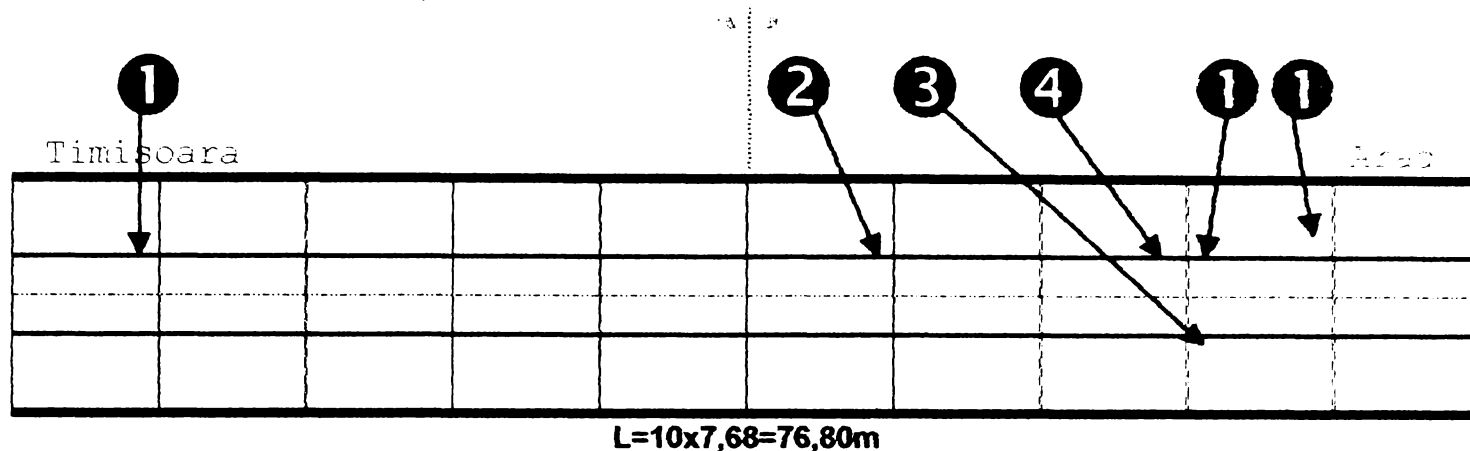
- 1 : scurgere de rugina sub niturile de gat;
- 2 : fisura inima lonjeron eclisata, neevolutiva;
- 3 : fisura talpa superioara lonjeron, inlocuit platbanda 03.1988;
- 4 : fisura inima lonjeron, evolutiva (prezinta scurgeri de rugina), eclisata 1981;
- 5 : fisura inima lonjeron, evolutiva (prezinta scurgeri de rugina), eclisata 1977.

b) Podul P-17, ARAD: Deschiderea I



- 1 : fisura inima lonjeron+comiera superioara, eclisata 1976 ;
- 2 : fisura prindere lonjeron-antretoaza, eclisata 1983;
- 2 : fisura talpa superioara lonjeron, eclisata 1970;
- 4 : fisura inima lonjeron, neevolutiva, eclisata 1989.

c) Podul P-17, ARAD: Deschiderea II



- ① : fisura inima lonjeron+comiera superioara, eclisata 1975 ;
- ② : fisura talpa superioara lonjeron, eclisata 1971;
- ③ : ruptura lonjeron, eclisata 7.09.1988.
- ④ : fisura prindere lonjeron-antretoaza, eclisata 1983.

FIG. 6.1. Fisuri detectate si remediate

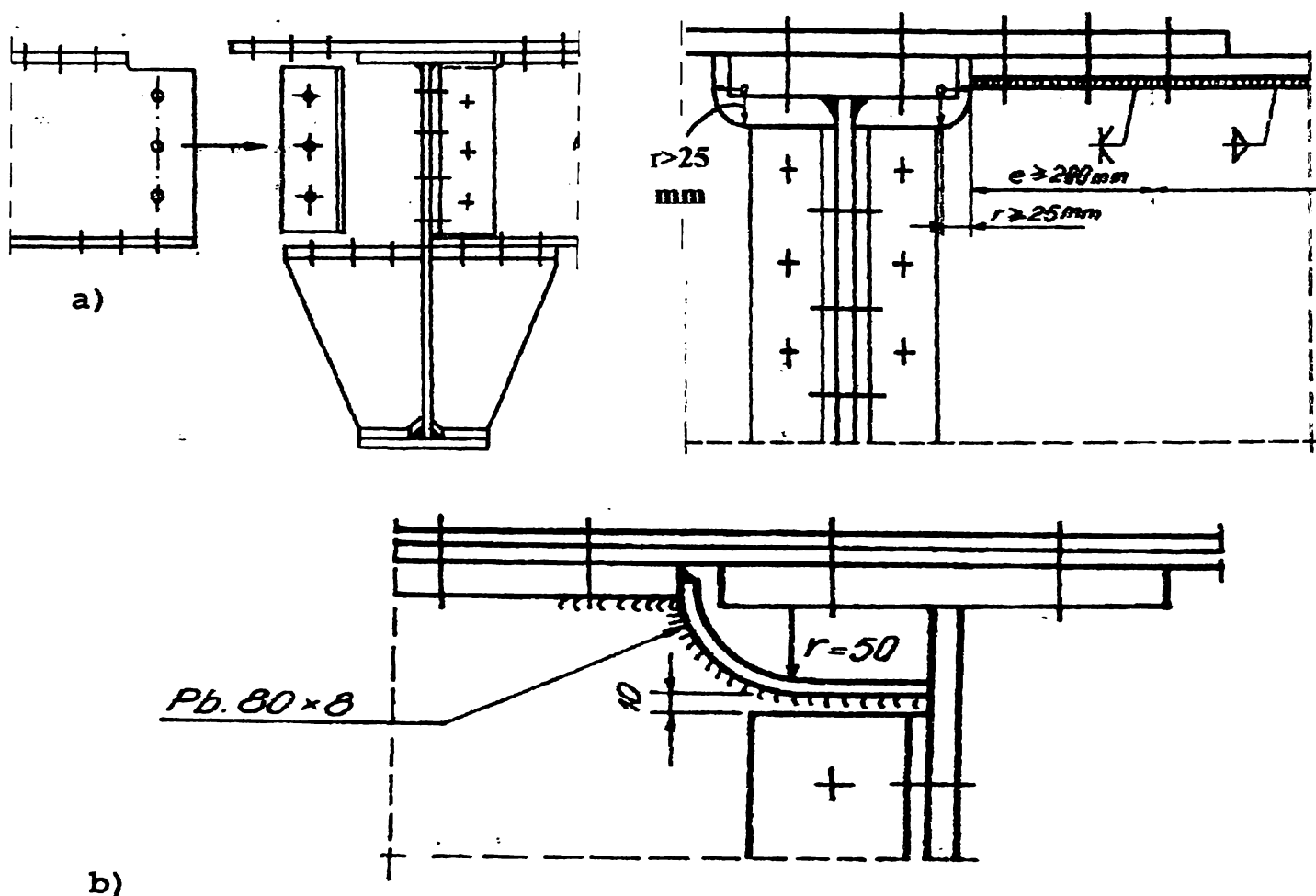


FIG. 6.2. Inovatie la prinderea lonjeronului  
a) solutia uzuala; b) imbunatatirea adusa prin inovatie

Se mai pot mentiona ca si cauza a aparitiei defectelor de tip fisura neconformitatile cu prevederile instructionale (Instructia nr. 314) privind satria de intretinere a caii pe pod, respectiv:

- Traverse defecte (cu crapaturi, putrede, lipsa)
- Rosturi mari la joantele sinelor;
- Joante nefixate la echer;
- Sine care nu reazema pe placa de la joante;
- Joante amplasate necorespunzator in zona prinderilor lonjeronilor de antretoaze.

Pentru evitarea acestor deficiente este necesara mentinerea caii, in permanenta, in cadrul tolerantelor instructionale, fapt usor de realizat printr-o intretinere corecta.

## **B) ANTRETOAZELE**

In cazul antretoazelor, ca principale elemnte transversale ale tablierului, nu sau semnalat defecte vizibile, nici la verificarea si incecarile "in situ" nici in urma calculului. Cu toate acestea se pot mentiona, rezultate mai ales din calculul spatial, urmatoarele:

(b<sub>1</sub>) aparitia unei stari de solicitare compusa, N,T si M, fapt care nu poate fi evidentiati printr-un calcul plan.

(b<sub>2</sub>) eforturi unitare normale in camp mai reduse decat cele calculate ca urmare a momentului incovoietor negativ care apare in zona reazemelor care de asemenea nu poate fi evidentiati prin calculul plan (vezi si fig. 4.20);

(b<sub>3</sub>) la tablierele cu calea sus s-a sesizat un nivel de solicitare al antretoazelor mai ridicat decat la cele cu calea jos, produs de antrenarea mai puternica a antretoazelor la deformatiile grinzilor principale ca urmare a rigiditatii sporite rezultata din lungimea mai redusa, cca.3-4 m.

(b<sub>4</sub>) durata de viata mare, de regula peste durata normata de exploatare.

Desi nu s-au semnalat defecte semnificative se subliniaza necesitatea urmaririi starii imbinarilor lonjeron-antretoaza si antretoaza-grinda principala pentru a evita degradarea lor care ar putea conduce la redistribuirea starii de eforturi.

### C) GRINZILE PRINCIPALE

Grinzile principale, ca cele mai importante elemente structurale, au confirmat o buna comportare in exploatare prezentand sageti semnificativ mai reduse decat cela admisibile si incadrari ale eforturilor unitare, cu unele exceptii, in valorile rezistentelor admisibile.

Se evidentiaza ca neconformitati, urmatoarele :

(C<sub>1</sub>) depasirea rezistentelor admisibile sub convoiul de calcul T 8,5 in calculul spatial, in principal la talpa superioara si la montanti, la grinzile cu zabrele cu perete simplu;

(C<sub>2</sub>) aparitia reactiunilor diferite (neegale) la cele doua grinzi principale la acelasi capat al podului;

(C<sub>3</sub>) existenta unei sageti remanente in plan orizontal de 21 mm, reprezentand L/3417, la talpa inferioara a podului de la Salta Sarata (P-06).

Existenta defectelor mentionate mai sus poate avea drept cauze:

- Deficiente de ordin constructiv in conceptia de alcatuire a sectiunii transversale a barelor prin realizarea de sectiuni cu raze de giratie si modul de rezistenta in planul grinzii reduse, ceea ce face ca bara sa lucreze defavorabil atat la compresiune cat si la incovoiere, in cazul defectului (C<sub>1</sub>);

- Executarea necorespunzatoare a unor operatiuni in faza de montaj a structurii de rezistenta sau in timpul operatiilor de consolidare cu tirant exterior a cadrelor transversale la realizarea gabaritului pentru electrificarea liniei, in cazul defectului (C<sub>3</sub>). Fenomenul prezentat apare insa singular in ansamblul podurilor analizate si nu prezinta implicatii deosebite avand in vedere amplasamentul podului in aliniament si palier.

### D) CONTRAVANTUIRI SI PORTALE

Tablierele cu grinzi principale cu zabrele cale jos cu deschideri mai mari au fost construite inchise la partea superioara prin prezenta unei contravantuiri. In cadrul lucrarilor de electrificare, pentru asigurarea gabaritului pe liniile electrificate la cele mai multe poduri a fost necesara desfiintarea contravantuirii superioare in primele 1-2 panouri de la capetele grinzilor principale si modificarea in mod corespunzator a contravantuirii verticale



transversale. Concomitent, unde a fost cazul, s-au consolidat si cadrele transversale afectate de aceste interventii, care astfel au devenit deschise prin suprimarea contravantuirilor, prin introducerea unui tirant exterior.

In cadrul actiunilor de expertizare nu s-au semnalat deficiente semnificative la sistemul de contravantuiri sau cadre transversale.

Se poate mentiona, totusi, o deficiente legata de modul de alcatuire si intretinere a barelor contravantuirii inferioare care a dus la corodarea lor excesiva, si anume :

(d<sub>1</sub>) alcatuirea incorecta a sectiunii transversale a barelor contravantuirii generale astfel incat retine usor praful si apa si nu se poate autocurata prin vibratiile tablierului induse de convoaie, ca in cazul podului de la Mehadia (vezi fig. 4.31)

Investigatiile asupra comportarii in timp a tablierelor metalice ale caror constatari au fost prezentate in acest subcapitol, au relevat existenta dupa o anumita durata de exploatare a unor defecte si degradari care afecteaza geometric si structural principalele elemente componente ale structurii de rezistenta.

De asemenea programul de cercetare experimentală a materialului metalic inglobat in elementele structurii tablierelor vechi aflate in exploatare, ale carui concluzii au fost prezentate in subcapitolul 3.6, a pus in evidenta faptul ca desi otelul utilizat, mai ales pentru podurile construite inainte de anul 1910, este un otel moale, care poate fi asimilat cu OL 37.1n (sau chiar cu OL 37.2s pentru o probabilitate mai redusa) conform standardelor actuale (STAS 500/2-80), in perioada de exploatare in conditiile specifice traficului de cale ferata, se produc fenomene care au drept consecinta si modificari ale proprietatilor de material. In acest sens se mentioneaza sesizarea producerii in timp a fenomenului de **imbatranire naturala** insotit de cresterea fragilitatii.

Asa cum rezulta din analiza tabelului 3.10, pentru podurile construite inainte de 1910, energia de rupere KV, estimata cu probabilitatea de 95%, la  $\pm 0^{\circ}\text{C}$  este de 6.38 J, sub valoarea minima de 7.0 J prevazuta in standard iar la  $-20^{\circ}\text{C}$  de numai 0.602 J si de 2.58 J la podurile construite dupa 1910, ceea ce confirma posibilitatea ruperilor fragile chiar la temperatura ambianta dar mai ales la temperaturi negative.

Ca urmare, corelat si cu durata de viata mai redusa rezultata pentru lonjeroni, epuizata sau in curs de epuizare, se propune efectuarea unor revizii suplimentare, dupa cum urmeaza :

- Cel puțin de doua ori pe an ;
- Chenzinal in perioada cu temperaturi sub  $-10^{\circ}\text{C}$ .

*Pentru efectuarea reviziilor in bune conditii se impune dotarea tablierelor cu o platforma de vizitare mobila plasata la talpa inferioara a grinzilor principale.*

Drept concluzii ale observatiilor formulate asupra modului de comportare in exploatare a podurilor metalice vechi se apreciaza ca acestea au pus in evidenta caracterul complex al regimului de solicitare la care sunt supuse aceste constructii, relevand totodata si consecintele actiunii unor factori specifici ce deriva din modul de alcatuire, exploatare si intretinere al tablierelor metalice.

## **6.2. PROPUNERI PRIVIND METODOLOGIA DE DETERMINARE A CAPACITATII PORTANTE A PODURILOR METALICE EXISTENTE**

### **6.2.1. Aspecte generale**

Notiunea de siguranta in exploatare a podurilor metalice, incadrandu-se in conceptul general de siguranta a constructiilor, fundamentat pe conceptia semiprobabilista de asigurare a constructiilor, conform careia pentru intreaga structura sau o parte a ei se realizeaza o **siguranta permanenta si omogena**, are ca baza de definire :

- Siguranta unui element sau a structurii in ansamblu, carer eprezinta o proprietate carcterizata printr-o probabilitate suficient de mare de a satisface pe toata durata de exploatare conditiile ca starile limita considerate sa nu fie atinse, respectiv

- Asigurarea rationala a elemntelor si a structurii din care acestea fac parte, ce se realizeaza prin adoptarea unor solutii care implica limitarea la valorile dorite a probabilitatilor de atingere si sau depasire a diferitelor stari limita, determinand realizarea cu un anumit grad de certitudine a sigurantei.

Siguranta in exploatare a unei structuri in ansamblu si a elementelor ei componente in parte, este astfel nemijlocit asociata notiunii de stare limita, definita, in general ca situatie a carei atingere implica fie pierderea capacitatii unei constructii de a satisface anumite cerinte impuse de destinatia sa fie aparitia unor pericole pentru viata si sanatatea oamenilor sau bunurile materiale.

Problema sigurantei in exploatare a constructiilor este asadar nemijlocit legata de principiile probabilistice de calcul a constructiilor si a fost analizata sub acest aspect in capitolul II al lucrarii. In acest subcapitol sunt prezentate aprecieri si propuneri privind evaluarea nivelului actual de siguranta in exploatare a podurilor metalice existente, formulate pe baza sistematizarii si analizei critice a concluziilor, studiilor teoretice si experimentale intreprinse cu luarea in considerare a conditiilor reale de realizare si de exploatare a acestor constructii.

Prezentarea operatiilor de expertizare desfasurate pentru analiza starii tehnice a podurilor metalice de cale ferata cu vechime in exploatare a pus in evidenta complexitatea si amploarea investigatiilor si a resurselor necesare, pe de o parte, precum si posibilitatea de adoptare a principiilor probabilistice de siguranta la verificarea podurilor metalice existente, pe de alta parte.

Pornind de la situatia actuala a normelor si a practicii pe plan national si european, prezentata in capitolul I al lucrarii, pe baza concluziilor din capitolele II si III, se poate aprecia ca exista premise favorabile adaptarii principiilor semiprobabilistice atat pentru proiectarea podurilor noi cat si pentru verificarea podurilor existente prin utilizarea rezistentelor caracteristice pentru otelurile vechi, determinate cu aceeasi asigurare (probabilitatea de 95%) ca in cazul otelurilor actuale, pastrand actiunile si coeficientii lor din prezent.

### **6.2.2. Metodologie complexa pentru determinarea capacitatii portante**

Pentru evaluarea nivelului de siguranta a podurilor metalice existente rezulta necesitatea efectuarii unor investigatii in urma carora, pe baza informatiilor obtinute sa se alcatuiasca baze de date referitoare la starea tehnica a structurii si sa se fundamenteze deciziile pentru exploatare in viitor.

Ca obiective ale acestor investigatii se propun urmatoarele :

1. Aprecierea gradului in care conceptia de proiectare a ansamblului structural si a detaliilor de alcatuire pot influenta defavorabil comportarea sub incarcările de exploatare ;
2. Analiza conditiilor de executie si mai ales de exploatare, cu mentionarea lucrarilor de intretinere curenta si periodica, existenta unor defecte, degradari sau avarii datorate coroziunii sau altor cauze generate de exploatarea defectuoasa ;
3. Analiza comportarii in timp a structurii de rezistenta si a unor subansamble ale acesteia si sesizarea modificarilor in geometria structurii ;
4. Realizarea unei prime evaluari globale a factorilor de risc pe care ii comporta structura in raport cu care se va stabili modul de desfasurare si gradul de complexitate al procesului de evaluare, respectiv :
  - aprecierea simplificata a capacitatii portante,
  - aprecierea volumului de operatii necesare in cadrul evaluarii si urgente acestora,
  - necesitatea eventuala a masurilor de interventie imediata, pentru evitarea unor avarii sau accidente.

Informatiile obtinute in urma acestor investigatii (unele dintre ele se regasesc, de altfel, in actuala Fisa a podului care se gaseste la administratie) se pot sistematiza sub forma unui RAPORT DE EVALUARE a STARII TEHNICE a PODULUI,

intocmit astfel incat sa cuprinda elemntele specificate in continuare, referitoare la :

<b>RAPORT DE EVALUARE a STARII TEHNICE a PODULUI</b>	
Km. .... LINIA .....	
<b>A.</b>	<b>Situatia in faza de proiectare</b>
<b>A.1.</b>	Perioada in care a fost proiectat podul relevanta din punctul de vedere al normelor si convoaielor pe care s-a bazat proiectarea si a practicii la data respectiva in raport cu normele actuale;
<b>A.2.</b>	Descrierea tablierului din punct de vedere functional si structural, fie pe baza documentatiei tehnice de executie fie dupa relevee;
<b>A.3.</b>	Traficul trecut si prezent;
<b>B.</b>	<b>Modificari intervenite in perioada de exploatare, comparativ cu perioada actuala</b>
<b>B.1.</b>	Lucrari de intretinere periodica efectuate si amploarea lor;
<b>B.2.</b>	Rapoarte de inspectii;
<b>B.3.</b>	Interventii asupra structurii de rezistentaprin lucrari de : <ul style="list-style-type: none"> <li>• consolidare la alte convoaie,</li> <li>• remediere sau inlocuiri ale unor elemnte structurale cu descrierea degradarilor sau avariilor avute, analiza cauzelor probabile ale producerii lor si modificarile efectuate;</li> </ul>
<b>C.</b>	<b>Situatia actuala corespunzatoare etapei de evaluare</b>
<b>C.1.</b>	Starea caii pe pod;
<b>C.2.</b>	Starea de conservare a structurii sub aspectul coroziunii, geometriei structurii si a caracteristicilor fizico-mecanice ale otelului inglobat;
<b>C.3.</b>	Starea imbinarilor;
<b>C.4.</b>	Starea aparatelor de reazem si a infrastructurii;
<b>C.5.</b>	Factorul de incarcare, $\beta^I = \frac{\sigma_a^I - \sigma_g}{\Psi \cdot \sigma_{T8.5}} ;$
<b>C.6.</b>	Date tehnice privind traficul de exploatare (tipul si compunerea trenurilor, tonaj, viteza, etc.);
<b>D.</b>	<b>Aprecieri asupra factorilor de risc identificati si propuneri privind continutul procedurii de evaluare a capacitatii portante</b>
<b>D.1.</b>	Factori de risc identificati
<b>D.2.</b>	Procedura de evaluare necesara

Concluziile investigatiilor intreprinse, prin implicatiile deciziilor luate in cadrul acestei faze a procesului de evaluare, prezinta astfel o importanta deosebita intrucat:



→ Ofera o prima apreciere asupra performantelor structurale ale tablierului in raport cu actiunile ce se exercita asupra sa;

→ Este principalul criteriu de decizie asupra modalitatilor de continuare a procesului de evaluare si pentru selectarea metodelor de evaluare a capacitatii portante.

Principalele metode de evaluare a nivelului de siguranta in exploatare se pot clasifica in functie de continut si gradul lor de complexitate, in:

**METODE DE EVALUARE EXPERIMENTALE (ME), respectiv :**

→ Metode experimentale « in situ », ( $ME_R$ ) - aplicate pe structura reala prin incarcare cu convoaie de proba si/sau trenuri reale si masurari de eforturi unitate si deformatii, respectiv vatamari specifice si apoi compararea acestora cu valorile admisibile (de calcul).

→ Metode experimentale de laborator pentru determinarea caracteristicilor fizico-mecanice de rezistenta si ductilitate ale otelului, ( $ME_L$ ), - aplicate pe epruvete de dimensiuni reduse, conform standardelor de incercari de laborator, prezentate in subcapitolul 3.3.

→ Metode experimentale de laborator pentru determinarea tenacitatii otelului, ( $ME_F$ ), - aplicate pe epruvete de dimensiuni reduse de tipul Mesnager (KCU), Charpy (KV) sau C(T) (C,m,  $K_{IC}$ ), conform standardelor de incercari prezentate in subcapitolul 3.3. respectiv 5.4.

**METODE DE EVALUARE ANALITICE, prin calcul, (MA), respectiv :**

→ Metode de calcul curente,  $MA_p$  - aplicate pe schema ideala a structurii descompusa in elemnte plane (metoda simplificata prevazuta si in standard) si bazate pe teoria de ordinul I in stadiul elastic;

→ Metode de calcul complexe,  $MA_s$  - aplicate pe schema reala a structurii spatiale si bazate pe teoria de ordinul I in stadiul elastic;

**METODE DE SIMULARE, prin calcul, (MS), respectiv :**

→ Metoda pentru simularea cresterii fisurii,  $MS_{CFMR}$ , - aplicata pentru determinarea duratei de viata a elemntelor prin simularea numerica bazata pe mecanica ruperii (relatia Paris modificata) a cresterii lungimii fisurii;

→ Metoda pentru simularea cumularii vatamarilor,  $MS_{CV}$ , - aplicata pentru determinarea duratei de viata a elemntelor prin simularea numerica bazata pe cumularia liniara a vatamarilor dupa principiul PLM.

→ alte metode posibile.

In cadrul programului experimental s-au analizat un numar de 17 poduri totalizand 25 de deschideri de pe reseaua SNCFR si 8 poduri totalizand 16 deschideri de pe linia industrială Hunedoara-Craciuneasa, pentru care s-a aplicat o procedura reprezentata schematic in logigrama din figura 6.3 constand in:

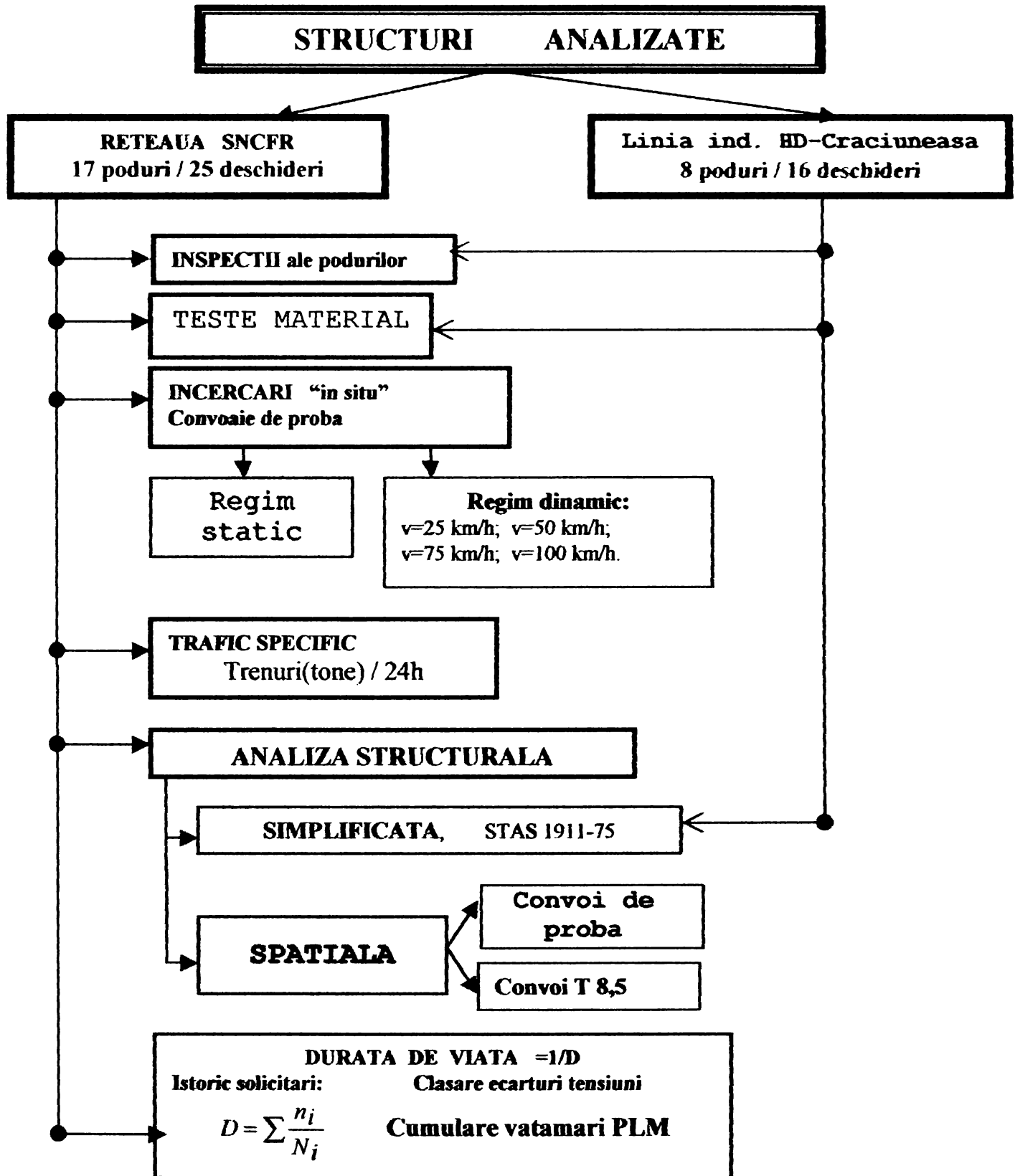


FIG. 6.3. Logigrama operatiilor de expertizare desfasurate la podurile metalice din programul experimental

- Inspectii amanuntite ale podurilor completate cu studiul si actualizarea cartii tehnice;
- Teste pe material;
- Incercari "in situ" cu convoaie de proba formate din 1÷4 locomotive diesel electrice, in regim static si dinamic la diferite trepte de viteza, cuprinse intre 25 km/h si viteza maxima a tronsonului de cale, in fiecare caz masurandu-se, prin tensometrie electrorezistiva, tensiunile in elementele si punctele caracteristice iar in cazul solicitarii dinamice inregistrandu-se deformatiile dinamice;
- Masurarea traficului specific;
- Analiza structurala simplificata conform STAS 1911-75 si spatiala, printr-un calcul automat, atat pentru convoaiele de proba cat si pentru convoiul de calcul standardizat T8.5.
- Determinarea duratei de viata pe baza conceptului de oboseala sub sarcinile de exploatare utilizand metoda PLM a cumularii liniare a vatamarilor.

Pentru fiecare structura in parte s-au redactat, in cadrul contractelor de cercetare incheiate cu administratia rapoarte de expertiza detaliate cu prezentarea tuturor observatiilor si a masurilor necesare pentru reabilitarea structurii sau pentru inlocuirea ei.

Corelarea rezultatelor procedurilor utilizate pentru verificarea podurilor metalice analizate cu oportunitatile metodelor de calcul prezentate mai sus si cu costurile impuse de aplicarea acestora conduce la recomandarile de utilizare a metodelor de calcul in cadrul procedurii de determinare a capacitatii portante, prezentate in tabelul 6.1.

**TABELUL 6.1**

Nr. crt.	Tipul tablierului sau elementului		Metode recomandate pentru evaluarea capacitatii portante si a sigurantei in exploatare		
			de baza		Complementare
			structura	material	
1	GZCJ	Inchis	$MA_S, MA_P, ME_R$		$MS_{CV}$
		Deschis	$MA_P, MA_S, ME_R$		$MS_{CV}$
2	GZCS		$MA_P, MA_S, ME_R$		$MS_{CV}$
3	GIPCJ		$MA_P, ME_R$		$MS_{CV}$
4	GIPCS		$MA_P, MA_S, ME_R$		$MS_{CV}, MS_{CFRM}$
5	Lonjeron		$MA_P, MA_S, ME_R$		$MS_{CFRM}, MS_{CV}$
6	Antretoaza		$MA_P, MA_S, ME_R$		$MS_{CFRM}, MS_{CV}$

Referitor la propunerile cuprinse in tabelul 6.1 se formuleaza urmatoarele observatii:

- Metoda de evaluare experimentală prin încercări "in situ" ( $ME_R$ ) a condus la valori mai mici ale marimilor măsurate în raport cu cele determinate prin metode analitice prin calcul spațial sau plan,  $MA_S$  și  $MA_P$ , însă implică costuri foarte ridicate.

- Metodele de evaluare experimentală prin încercări de laborator  $ME_L$ ,  $ME_F$  se efectuează mai simplu dar presupun că precizarea valorilor finale ale proprietăților de material, îndeosebi ale rezistențelor de calcul ale oțelului, să se realizeze în funcție de valorile medii, de caracteristicile de imprastiere și de probabilitatea de acceptare, conform reglementărilor pentru evaluarea statistică, ceea ce necesită un număr relativ mare de epruvete.

- Metodele de evaluare analitice au în vedere componentele sistemului structural ceea ce implică un grad relativ ridicat de incertitudine în ceea ce privește stabilirea parametrilor geometrici și mecanici (dimensiuni ale sistemului geometric, secțiunea transversală a barelor, slăbirile de secțiune produse de găurile de nit sau de coroziune, rigiditatea îmbinărilor, momente de inerție, modul de elasticitate, etc.) ai modelului real de calcul.

De aceea adoptarea unor metode care utilizează procedee avansate de calcul și în consecință mai laborioase, este justificată doar atunci când datele necesare aplicării acestora prezintă un grad suficient de încredere sau când rezultatele obținute prin astfel de metode pot contribui în mod semnificativ la precizarea performanțelor calitative ale structurii.

Experiența acumulată în programul experimental, observațiile precedente și analiza critică a metodologiei aplicată în concordanță cu normele străine, ne permit să formulăm o metodologie de apreciere a capacității portante a podurilor metalice existente OPTIMIZATA, astfel încât să prevaleze metodele analitice.

Acesta procedură este divizată în trei etape, așa cum rezultă și din logigrama prezentată în figura 6.4:

**Etapa 1) : estimarea capacității de încărcare a structurii** pe baza unei inspecții detaliate și a analizei desenelor de execuție, a rapoartelor de inspecție, reparații, consolidări, analiza comportării generale a tablăriului (deformații, vibrații, coroziune, fisuri). În această etapă eforturile în structură se pot calcula cu metodele uzuale simplificată,  $MA_P$ .

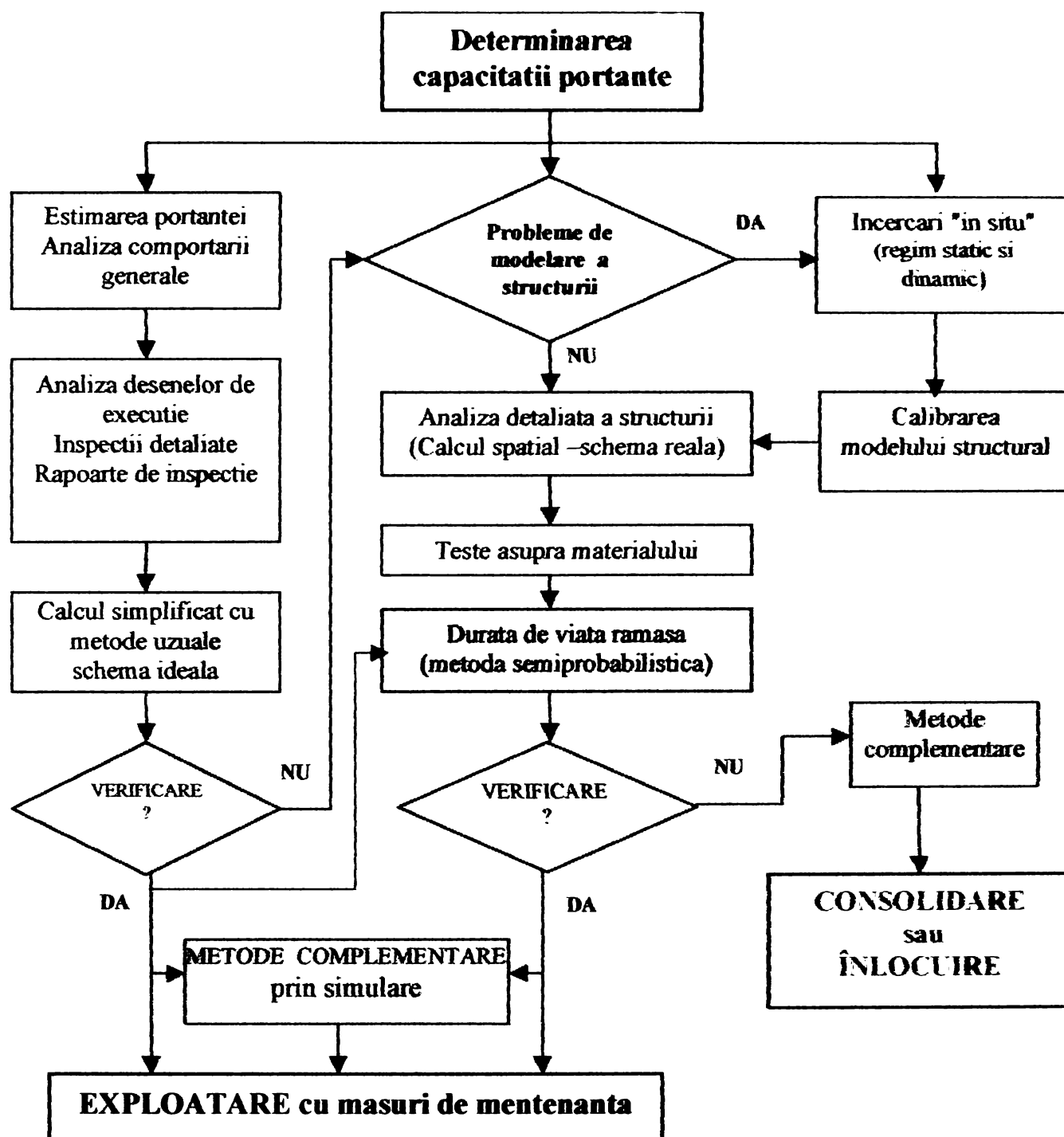


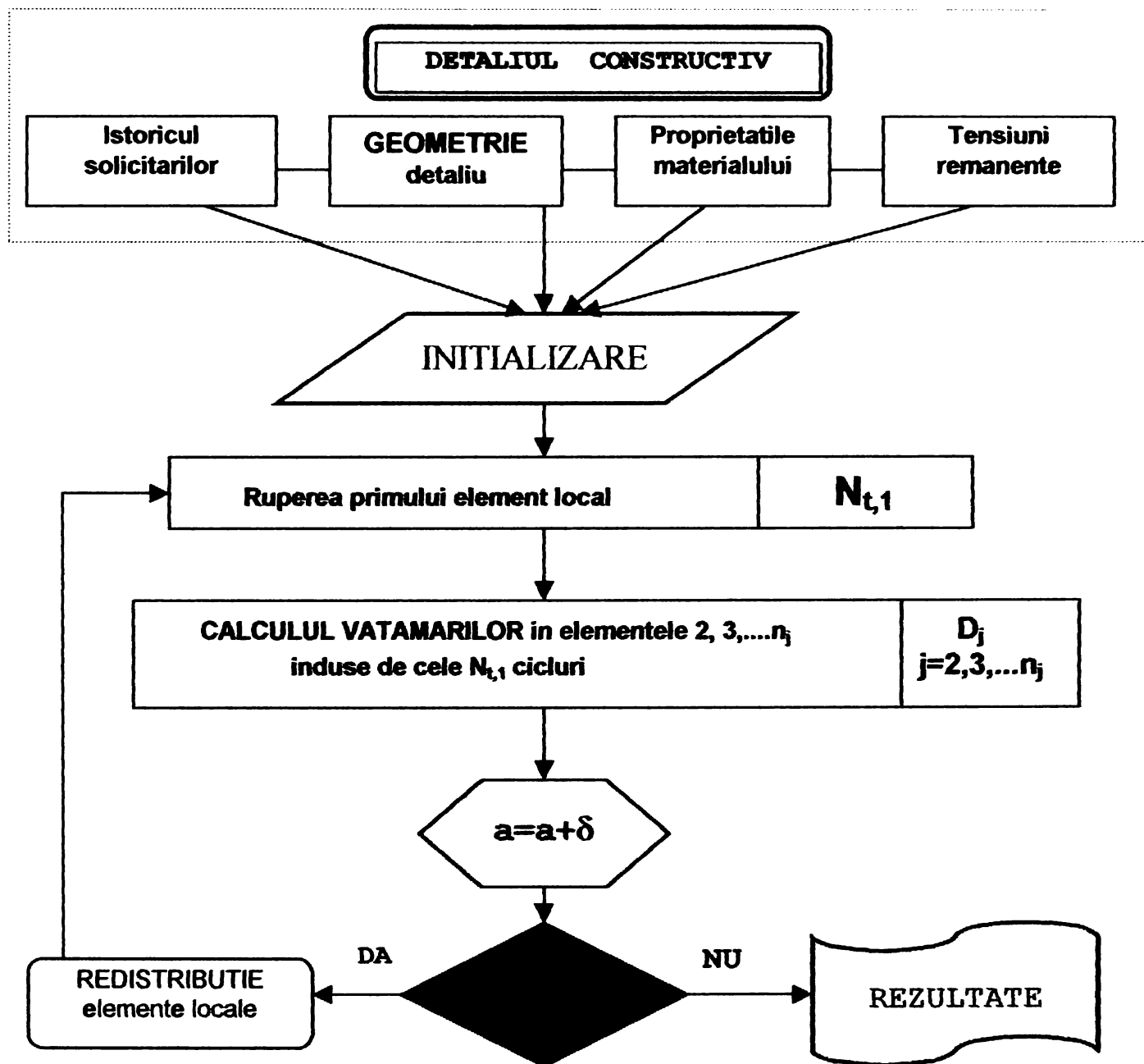
FIG.6.4. Metodologia de verificare a podurilor metalice existente

**Etapa 2): determinarea precisa a solicitariilor în structura si a sigurantei elementelor.** Aceasta faza include: teste de material, analiza spatiala a structurii, calculul duratei de viata ramase efectuat pe baza istoricului solicitariilor. In aceasta etapa se utilizeaza  $MA_S$ .

**Etapa 3) : încercari "in situ" în regim static si dinamic cu convoaie de proba.** In aceasta etapa se utilizeaza  $ME_R$ .



Elementele de material ale modelului numeric sunt supuse la un spectru de sollicitare liniar-elastic  $\Delta\sigma_{1e}(x,t)$  care depinde de ecartul nominal de tensiuni  $\Delta\sigma_0(t)$ , rezultand astfel ecartul de tensiuni  $\Delta\sigma_{1e,k,i}$  indus in elementul "k" de alternanta "i" al carei ecart de tensiuni nominal este  $\Delta\sigma_{0,i}$ .



**FIG.6.6.** Logigrama programului de simulare al MEM

Ecartul de tensiuni  $\Delta\sigma_{1e,k,i}$  se poate calcula, in functie de faza in care se gaseste fisura, cu relatii de forma (6.1) sau (6.2) in care se substituie  $\sigma_0$  cu  $\Delta\sigma_{0,i}$  respectiv  $K_i$  cu  $\Delta K_i$ :

- pentru faza de amorsare a fisurii (faza I)

$$\sigma_{k,k} = \frac{\sigma_0}{\delta} \int_{x_{0,k}}^{x_{0,k} + \delta} SCF(x) \quad (6.1)$$

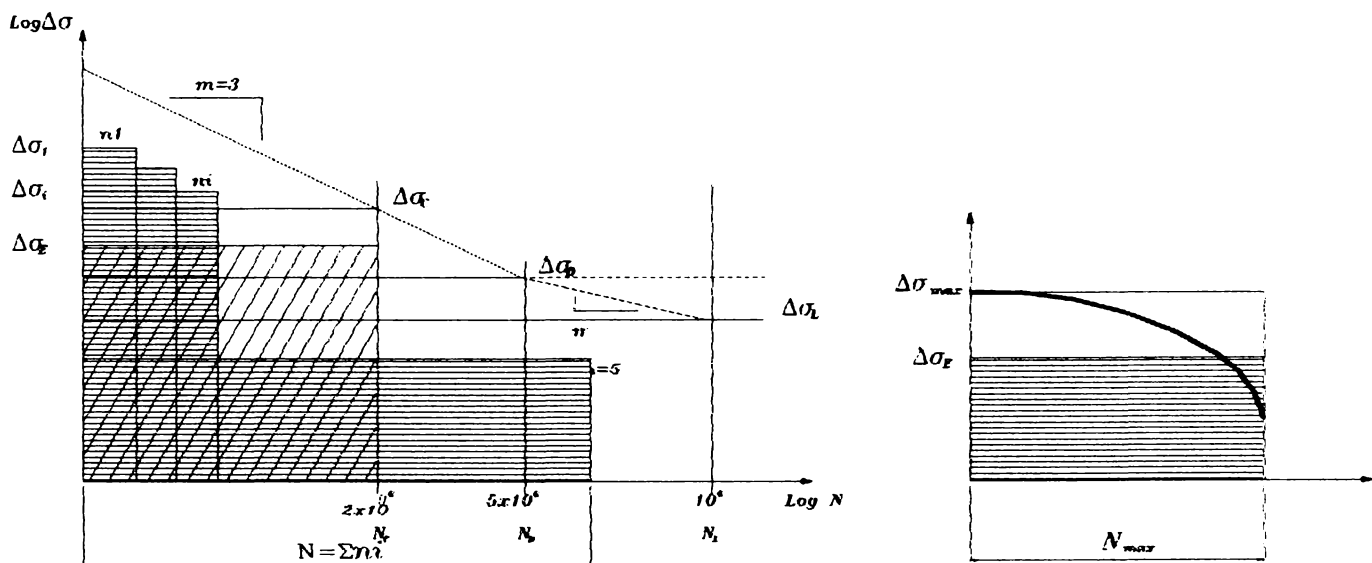
- pentru faza de propagare stabila (faza II)

$$\sigma_{lc,k} = \frac{1}{8} \int_{x_{0,k}}^{x_{0,k}+\delta} \sigma_{lc}(x) dx = K \sqrt{\frac{2}{\pi\delta}} (\sqrt{K} - \sqrt{K-1}) \quad (6.2)$$

Pentru aplicarea practica in programe de calcul automat sunt inca necesare studii teoretice si experimentale pe elemente specifice pentru corecta determinare si calibrare a relatiilor de calcul.

Un calcul simplificat si ca urmare mai expeditiv poate fi facut luand in considerare un spectru de solicitare intr-o singura treapta ( $\Delta\sigma_E, n_E$ ) unde „ecartul de tensiuni echivalent”  $\Delta\sigma_E$ , se calculeaza pe baza „factorului de incarcare”  $\alpha$  [6.2], [6.3], conform figurii 6.7 si relatiei (6.3):

$$\alpha = \left[ \sum \left( \frac{\Delta\sigma_i}{\Delta\sigma_{max}} \right)^m \cdot \frac{n_i}{N_{max}} \right]^{1/m} \leq 1 \quad (6.3)$$



**FIG.6.7.** Curba Wöhler, spectrul de solicitare pentru cumularea liniara a vatamarilor si factorul de incarcare  $\alpha$

Procesul de simulare consta intr-o continua succesiune de ruperi ale primului element local de la varful fisurii si redistribuirea elementelor locale pana cand lungimea fisurii rezultate atinge valoarea limita situatie in care se determina durata de viata ramasa (DVR) a elementului cu detaliul constructiv considerat.

In cadrul programului de simulare se executa succesiv:

- 1) determinarea numarului de cicluri care conduc la fisurarea primului element local,  $N_{f,1}$  si calculul

- vatamarilor acumulate in elementele apropiate  $(2, \dots, n_j)$ ;
- 2) cresterea lungimii fisurii cu dimensiunea primului element rupt;
  - 3) redistribuirea elementelor locale prin eliminarea elementului rupt si adaugarea, la sfarsitul sirului, a unui nou element virgin si apoi renumerotarea elementelor in sistemul local prin diminuare cu 1 a rangului anterior.

Ciclul prezentat mai sus se repeta pana cand se atinge stadiul limita de crestere a fisurii in care caz se determina durata de viata cu relatia:

$$N_{f, detal} = \sum_{n_{total}} N_{f,i} \quad (6.4)$$

Perfectionarea metodei prezentate mai sus si aducerea ei in stare practica operationala poate constitui un real instrument de analiza numerica a starii reale a podurilor metalice existente cu costuri de utilizare minime.

## **BIBLIOGRAFIE: Capitolul VI**

6.1. Pecker, E., Nussbaumer, A., : *Évaluation du comportement à la fatigue par modélisation numérique avancée*, Construction Metallique, n° 4/1997.

6.2. Unterweger, H., : *Berücksichtigung der Betriebsbeanspruchung beim Ermüdungsnachweis von stählenen Eisenbahnbrücken*, Dissertation, Technischen Universität Graz, 1993.

6.3. \*\*\* : *SIA 161-1990, Stahlbauten*, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten- Verein, Zürich, 1990.

**CONTRIBUTII LA DETERMINAREA CAPACITATII PORTANTE A  
PODURILOR METALICE EXISTENTE IN VEDEREA MENTINERII  
LOR IN EXPLOATARE**

Teza de doctorat

**ANEXE**

## ANEXA A.II-1

Valorile variabilei si ale densitatii de repartitie normate:  $u$  si  $f(u)$

$$f_U(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} \cong 0,4 \cdot e^{-u^2/2}$$

TABELUL 2.1.

$u$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04
0,0	0.3989	0.3989	0.3989	0.3988	0.3986
0,1	0.3970	0.3965	0.3961	0.3956	0.3951
0,2	0.3910	0.3902	0.3894	0.3885	0.3876
0,3	0.3814	0.3802	0.3790	0.3778	0.3765
0,4	0.3683	0.3668	0.3653	0.3637	0.3621
0,5	0.3521	0.3503	0.3485	0.3467	0.3448
0,6	0.3332	0.3312	0.3292	0.3271	0.3251
0,7	0.3123	0.3101	0.3079	0.3056	0.3034
0,8	0.2897	0.2874	0.2850	0.2827	0.2803
0,9	0.2661	0.2637	0.2613	0.2589	0.2565
1,0	0.2420	0.2396	0.2371	0.2374	0.2323
1,1	0.2179	0.2155	0.2131	0.2107	0.2083
1,2	0.1942	0.1919	0.1895	0.1872	0.1849
1,3	0.1714	0.1691	0.1669	0.1647	0.1626
1,4	0.1497	0.1476	0.1456	0.1435	0.1415
1,5	0.1295	0.1276	0.1257	0.1238	0.1219
1,6	0.1109	0.1092	0.1074	0.1057	0.1040
1,7	0.09405	0.09246	0.09089	0.08933	0.08780
1,8	0.07895	0.07754	0.07614	0.07477	0.07341
1,9	0.06562	0.06438	0.06316	0.06195	0.06077
$u$	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
$f(u)$	0.05399	0.04398	0.03547	0.02833	0.02239
$u$	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4
$f(u)$	0.00443	0.00327	0.00238	0.00172	0.00123
$u$	4,0	5,0			
$f(u)$	0.000134	0.00000149	Observatie: $f(u) = f(-u)$		



(continuare) TABELUL 2.1.

u	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0.3984	0.3982	0.3980	0.3977	0.3973
0,1	0.3945	0.3939	0.3932	0.3925	0.3918
0,2	0.3867	0.3857	0.3847	0.3836	0.3825
0,3	0.3752	0.3739	0.3725	0.3712	0.3697
0,4	0.3605	0.3589	0.3572	0.3555	0.3538
0,5	0.3429	0.3410	0.3391	0.3372	0.3352
0,6	0.3230	0.3209	0.3187	0.3166	0.3144
0,7	0.3011	0.2889	0.2966	0.2943	0.2920
0,8	0.2780	0.2756	0.2732	0.2709	0.2685
0,9	0.2541	0.2516	0.2492	0.2468	0.2444
1,0	0.2299	0.2275	0.2251	0.2227	0.2203
1,1	0.2059	0.2036	0.2012	0.1989	0.1965
1,2	0.1826	0.1804	0.1781	0.1758	0.1736
1,3	0.1604	0.1582	0.1561	0.1539	0.1518
1,4	0.1394	0.1374	0.1354	0.1334	0.1316
1,5	0.1200	0.1182	0.1163	0.1145	0.1127
1,6	0.1023	0.1006	0.0983	0.09728	0.09566
1,7	0.08628	0.08478	0.08329	0.08183	0.08038
1,8	0.07206	0.07074	0.06943	0.06814	0.06687
1,9	0.05959	0.05844	0.05730	0.05618	0.05508
u	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
f(u)	0.01753	0.01358	0.01042	0.00792	0.00595
u	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9
f(u)	0.00087	0.00061	0.00042	0.00029	0.00020

## ANEXA A.II-2

Valorile variabilei și ale funcției de repartiție normale:  $u$  și  $F(u)$

$$F_U(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} \cdot du$$

**TABELUL 2.2.**

<b>u</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7257	0,7389
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7703
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925
1,3	0,90320	0,90490	0,90658	0,90824	0,90988
1,4	0,91924	0,92073	0,92220	0,92364	0,92507
1,5	0,93319	0,93448	0,93574	0,93699	0,93822
1,6	0,94520	0,94630	0,94738	0,94845	0,94950
1,7	0,95543	0,95637	0,95728	0,95818	0,95907
1,8	0,96407	0,96485	0,96562	0,96638	0,96712
1,9	0,97128	0,97193	0,97257	0,97320	0,97381
<b>u</b>	<b>2,0</b>	<b>2,1</b>	<b>2,2</b>	<b>2,3</b>	<b>2,4</b>
F(u)	0,97725	0,98214	0,98610	0,98928	0,99180
<b>u</b>	<b>3,0</b>	<b>3,1</b>	<b>3,2</b>	<b>3,3</b>	<b>3,4</b>
F(u)	0,99865	0,99903	0,99931	0,99953	0,99966
<b>u</b>	<b>4,0</b>		<b>4,5</b>		<b>5,0</b>
F(u)	0,9999683		0,9999966		0,99999971

Valorile variabilei și ale funcției de repartiție normale:  $u$  și  $F(u)$

(continuare) **TABELUL 2.2.**

$u$	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6368	0,6406	0,6446	0,6480	0,6517
0,4	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,90147
1,3	0,91149	0,91309	0,91466	0,91621	0,91774
1,4	0,92647	0,92785	0,92922	0,93065	0,93189
1,5	0,93943	0,94062	0,94179	0,94295	0,94408
1,6	0,95053	0,95154	0,95254	0,95352	0,95449
1,7	0,95994	0,96080	0,96164	0,96246	0,96327
1,8	0,96784	0,96856	0,96926	0,96995	0,97062
1,9	0,97441	0,97500	0,97558	0,97615	0,97670
$u$	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$F(u)$	0,99379	0,99534	0,99653	0,99744	0,99813
$u$	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9
$F(u)$	0,99977	0,99984	0,99989	0,99993	0,99995
$u$	5,5				
$F(u)$	0,9999999981	observatie: $F(-u)=1-F(u)$			

## ANEXA A.II-3

Factorul K

pentru calculul fractiilor  $x_p = m_x + K \cdot S_x \cdot x_p$  definiti prin probabilitatea  $P(X \leq x_p) = p$

**TABELUL 2.3**

Probabilitatea p	Factorul K in repartitia simetrica normala (Gauss)	Factorul K in repartitia asimetrica Gumbel pentru maxime	Probabilitatea p	Factorul K in repartitia simetrica normala (Gauss)	Factorul K in repartitia asimetrica Gumbel pentru maxime
$3.7 \times 10^{-12}$	-	-3.00	57.04 %	-	0
$10^{-11}$	-6.71	-2.971	60 %	+0.254	+0.074
$10^{-10}$	-6.36	-2.896	70 %	+0.524	+0.354
$10^{-9}$	-6.00	-2.814	80 %	+0.842	+0.720
$10^{-8}$	-5.61	-2.720	84.13 %	+1.00	-
$10^{-7}$	-5.20	-2.618	85.58 %	-	+1.00
$10^{-6}$	-4.753	-2.498	90 %	+1.281	+1.304
$10^{-5}$	-4.265	-2.356	95 %	+1.645	+1.866
$10^{-4}$	-3.720	-2.181	98 %	+2.054	+2.592
$6.8 \times 10^{-4}$	-	-2.00	98.81 %	-	+3.00
1 %	-3.090	-1.957	99 %	+2.326	+3.137
1.35 %	-3.00	-	1-5 %	+2.576	+3.679
5 %	-2.576	-1.75	1-2 %	+2.880	+4.395
1 %	-2.326	-1.641	1-1,35 %	+3.00	-
2 %	-2.054	-1.514	1-1 %	+3.090	+4.936
2.28 %	-2.00	-	1- $10^{-4}$	+3.720	+6.371
5 %	-1.645	-1.305	1- $10^{-5}$	+4.265	+8.527
10 %	-1.281	-1.100	1- $10^{-6}$	+4.753	+10.326
13.21 %	-	-1.00	1- $10^{-7}$	+5.200	+12.122
15.87 %	-1.00	-	1- $10^{-8}$	+5.610	+13.918
20 %	-0.842	-0.821	1- $10^{-9}$	+6.00	+15.714
30 %	-0.524	-0.595			
40 %	-0.254	-0.382			
50 %	0	-0.164			

## ANEXA A.II-4

Ordonatele densitatii si ale functiei de repartitie dublu exponentiale

$$f_Y(y) = e^{-e^{-y}}$$

$$F_Y(y) = e^{-y-e^{-y}}$$

**TABELUL 2.4**

y	f(y)	F(y)	y	f(y)	F(y)
-2.5	0.00006	0.000005	+2.0	0.11820	0.87342
-2.4	0.00017	0.00001	+2.1	0.10834	0.88474
-2.3	0.00046	0.00004	+2.2	0.09918	0.98511
-2.2	0.00108	0.00012	+2.3	0.09069	0.90460
-2.1	0.00232	0.00028	+2.4	0.08285	0.91327
-2.0	0.00456	0.00061	+2.5	0.07561	0.92119
-1.9	0.00834	0.00124	+2.6	0.06895	0.92841
-1.8	0.01426	0.00235	+2.7	0.06283	0.93500
-1.7	0.02296	0.00419	+2.8	0.05722	0.94100
-1.6	0.03497	0.00706	+2.9	0.05207	0.94646
-1.5	0.06070	0.01131	+3.0	0.04736	0.95143
-1.4	0.07028	0.01733	+3.1	0.04306	0.95595
-1.3	0.09354	0.02549	+3.2	0.03913	0.96005
-1.2	0.12001	0.03614	+3.3	0.03554	0.96378
-1.1	0.14894	0.04958	+3.4	0.03227	0.96717
-1.0	0.17937	0.06598	+3.5	0.02929	0.97025
-0.9	0.21021	0.08546	+3.6	0.02658	0.97304
-0.8	0.24037	0.10800	+3.7	0.02411	0.97557
-0.7	0.26820	0.13343	+3.8	0.02187	0.97887
-0.6	0.29460	0.16168	+3.9	0.01983	0.97996
-0.5	0.31714	0.19229	+4.0	0.01798	0.98185
-0.4	0.33560	0.22496	+4.2	0.01477	0.98511
-0.3	0.34998	0.25927	+4.4	0.01212	0.98779
-0.2	0.36008	0.29480	+4.6	0.00995	0.98999
-0.1	0.36598	0.33115	+4.8	0.00816	0.99180
0	0.36787	0.36787	+5.0	0.00669	0.99328
+0.1	0.36610	0.40460	+5.2	0.00548	0.99449
+0.2	0.36105	0.44099	+5.4	0.00449	0.99549
+0.3	0.35316	0.47672	+5.6	0.00368	0.99630
+0.4	0.34289	0.51154	+5.8	0.00301	0.99697
+0.5	0.33070	0.54523	+6.0	0.00247	0.99752
+0.6	0.31701	0.57763	+6.5	0.00147	0.99851
+0.7	0.30222	0.60860	+7.0	0.00091	0.99908
+0.8	0.28669	0.63805	+7.5	0.00054	0.99945
+0.9	0.27074	0.66593	+8.0	0.00033	0.99966
+1.0	0.25464	0.69220	+8.5	0.00020	0.99979
+1.1	0.23862	0.71686	+9.0	0.00012	0.99987
+1.2	0.22286	0.73993	+9.5	0.00007	0.99992
+1.3	0.20751	0.76144	+10	0.00004	0.99995
+1.4	0.19270	0.78145	+11	0.00001	0.99998
+1.5	0.17850	0.80001	+12	0.0000061	0.9999939
+1.6	0.16498	0.81717	+13	0.0000023	0.9999977
+1.7	0.15218	0.83303	+14	0.0000008	0.9999992
+1.8	0.14011	0.84764	+15	0.0000003	0.9999997
+1.9	0.12879	0.86107	+16	0.0000001	0.9999999



## ANEXA A.II-5

Functia Gamma  $\Gamma(z) = \int_0^{\infty} t^{z-1} \cdot e^{-t} \cdot dt = 0, \dots$

$$\Gamma(z) = (z-1)\Gamma(z-1) = (z-1)(z-2)\Gamma(z-2) = \dots$$

Dacă  $z < 1$  și  $z \neq 0, -1, -2, \dots$  atunci:  $\Gamma(z) = \frac{\Gamma(z+1)}{z} = \frac{\Gamma(z+2)}{z(z+1)} = \dots$

TABELUL 2.5

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,00	0000	9994	9988	9983	9977	9971	9966	9960	9954	9949
1	9943	9938	9932	9927	9921	9916	9910	9905	9899	9894
2	9888	9883	9878	9872	9867	9862	9856	9851	9846	9841
3	9835	9830	9825	9820	9815	9810	9805	9800	9794	9789
4	9784	9779	9774	9769	9764	9759	9755	9750	9745	9740
1,05	9735	9730	9725	9721	9716	9711	9706	9702	9797	9692
6	9687	9683	9678	9673	9669	9664	9660	9655	9651	9646
7	9642	9637	9633	9628	9624	9619	9615	9610	9606	9602
8	9597	9593	9589	9584	9580	9576	9571	9567	9563	9559
9	9555	9550	9546	9542	9538	9534	9530	9526	9522	9518
1,10	9514	9509	9505	9501	9498	9494	9490	9486	9482	9478
1	9474	9470	9466	9462	9459	9455	9451	9447	9443	9440
2	9336	9432	9428	9425	9421	9417	9414	9410	9407	9403
3	9399	9396	9392	9389	9385	9382	9378	9375	9371	9368
4	9364	9361	9357	9354	9350	9347	9344	9340	9337	9334
1,15	9330	9327	9324	9321	9317	9314	9311	9308	9304	9301
6	9298	9295	9292	9289	9285	9282	9279	9276	9273	9270
7	9267	9264	9261	9258	9255	9252	9249	9246	9243	9240
8	9237	9234	9231	9229	9226	9223	9220	9217	9214	9212
9	9209	9206	9203	9201	9198	9195	9192	9190	9187	9184
1,20	9182	9179	9176	9174	9171	9169	9166	9163	9161	9158
1	9156	9153	9151	9148	9146	9143	9141	9138	9136	9133
2	9131	9129	9126	9124	9122	9119	9117	9114	9112	9110
3	9108	9105	9103	9101	9098	9096	9094	9092	9090	9087
4	9085	9083	9081	9079	9077	9074	9072	9070	9068	9066
1,25	9064	9062	9060	9058	9056	9054	9052	9050	9048	9046
6	9044	9042	9040	9038	9036	9034	9032	9031	9029	9027
7	9025	9023	9021	9020	9018	9016	9014	9012	9011	9009
8	9007	9005	9004	9002	9000	8999	8997	8995	8994	8992
9	8990	9889	8987	8986	8984	8982	8981	8979	8978	8976
1,30	8975	8973	8972	8970	8969	8967	8966	8964	8963	8961
1	8960	8959	8957	8956	8954	8953	8952	8950	8949	8948
2	8946	8945	8944	8943	8941	8940	8939	8937	8936	8935
3	8934	8933	8931	8930	8929	8928	8927	8926	8924	8923
4	8922	8921	8920	8919	8918	8917	8916	8915	8914	8913

**(continuare) TABELUL 2.5**

<b>z</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>1,35</b>	8912	8911	8910	8909	8908	8907	8906	8905	8904	8903
6	8902	8901	8900	8899	8898	8897	8897	8896	8895	8894
7	8893	8892	8892	8891	8890	8889	8888	8888	8887	8886
8	8885	8885	8884	8883	8883	8882	8881	8880	8880	8879
9	8879	8878	8877	8877	8876	8875	8875	8874	8874	8873
<b>1,40</b>	8873	8872	8872	8871	8871	8870	8870	8869	8869	8868
1	8868	8867	8867	8866	8866	8865	8865	8865	8864	8864
2	8864	8863	8863	8863	8862	8862	8862	8861	8861	8861
3	8860	8860	8860	8860	8859	8859	8859	8859	8858	8858
4	8858	8858	8858	8858	8857	8857	8857	8857	8857	8857
<b>1,45</b>	8857	8857	8856	8856	8856	8856	8856	8856	8856	8856
6	8856	8856	8856	8856	8856	8856	8856	8856	8856	8856
7	8856	8856	8856	8857	8857	8857	8857	8857	8857	8857
8	8857	8858	8858	8858	8858	8858	8859	8859	8859	8859
9	8859	8860	8860	8860	8860	8861	8861	8861	8862	8862
<b>1,50</b>	8862	8863	8863	8863	8864	8864	8864	8865	8865	8866
1	8866	8866	8867	8867	8868	8868	8869	8869	8869	8870
2	8870	8871	8871	8872	8872	8873	8873	8874	8875	8875
3	8876	8876	8877	8877	8878	8879	8879	8880	8880	8881
4	8882	8882	8883	8884	8884	8885	8886	8887	8887	8888
<b>1,55</b>	8889	8889	8890	8891	8892	8892	8893	8894	8895	8896
6	8896	8897	8898	8899	8900	8901	8901	8902	8903	8904
7	8905	8906	8907	8908	8909	8909	8910	8911	8912	8913
8	8914	8915	8916	8917	8918	8919	8920	8921	8922	8923
9	8924	8925	8926	8927	8929	8930	8931	8932	8933	8934
<b>1,60</b>	8935	8936	8937	8939	8940	8941	8942	8943	8944	8946
1	8947	8948	8949	8950	8952	8953	8954	8955	8957	8958
2	8959	8961	8962	8963	8964	8966	8967	8968	8970	8971
3	8972	8974	8975	8977	8978	8979	8981	8982	8984	8985
4	8986	8988	8989	8991	8992	8994	8995	8997	8998	9000
<b>1,65</b>	9001	9003	9004	9006	9007	9009	9010	9012	9014	9015
6	9017	9018	9020	9021	9023	9025	9026	9028	9030	9031
7	9033	9035	9036	9038	9040	9041	9043	9045	9047	9048
8	9050	9052	9054	9055	9057	9059	9061	9062	9064	9066
9	9068	9070	9071	9073	9075	9077	9079	9081	9083	9084
<b>1,70</b>	9086	9088	9090	9092	9094	9096	9098	9100	9102	9104
1	9106	9108	9110	9112	9114	9116	9118	9120	9122	9124
2	9126	9128	9130	9132	9134	9136	9128	9140	9142	9145
3	9147	9149	9151	9153	9155	9157	9160	9162	9164	9166
4	9168	9170	9173	9175	9177	9179	9182	9184	9186	9188
<b>1,75</b>	9191	9193	9195	9197	9200	9202	9204	9207	9209	9211
6	9214	9216	9218	9221	9223	9226	9228	9230	9233	9235
7	9238	9240	9242	9245	9247	9250	9252	9255	9257	9260
8	9262	9265	9267	9270	9272	9275	9277	9280	9283	9285
9	9288	9290	9293	9295	9298	9301	9303	9306	9309	9311

(continuare) TABELUL 2.5

<b>z</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>1,80</b>	9314	9316	9319	9322	9325	9327	9330	9333	9355	9338
<b>1</b>	9341	9343	9346	9349	9352	9355	9357	9360	9363	9366
<b>2</b>	9368	9371	9374	9377	9380	9383	9385	9388	9391	9394
<b>3</b>	9397	9400	9403	9406	9408	9411	9414	9417	9420	9423
<b>4</b>	9426	9429	9432	9435	9438	9441	9444	9447	9450	9453
<b>1,85</b>	9456	9459	9462	9465	9468	9471	9474	9478	9481	9484
<b>6</b>	9487	9490	9493	9496	9499	9503	9506	9509	9512	9515
<b>7</b>	9518	9522	9525	9528	9531	9534	9538	9541	9544	9647
<b>8</b>	9551	9554	9557	9561	9564	9567	9570	9574	9577	9580
<b>9</b>	9584	9587	9591	9594	9597	9601	9604	9607	9611	9614
<b>1,90</b>	9618	9621	9625	9628	9631	9635	9638	9642	9645	9649
<b>1</b>	9652	9656	9659	9663	9666	9670	9673	9677	9681	9684
<b>2</b>	9688	9691	9695	9699	9702	9706	9709	9713	9717	9720
<b>3</b>	9724	9728	9731	9735	9739	9742	9746	9750		9757
<b>4</b>	9761	9765	9768	9772	9776	9780	9784	9787	9791	9795
<b>1,95</b>	9799	9803	9806	9810	9814	9818	9822	9826	9830	9834
<b>6</b>	9837	9841	9845	9849	9853	9857	9861	9865	9869	9873
<b>7</b>	9877	9881	9885	9889	9893	9897	9901	9905	9909	9913
<b>8</b>	9917	9921	9925	9929	9933	9938	9942	9946	9950	9954
<b>9</b>	9958	9962	9966	9971	9975	9979	9983	9987	9992	9996

## ANEXA A.II-6

Repartitia normala. Functia lui Laplace

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-z^2/2} \cdot dz$$

TABELUL 2.6

z	Φ(z)	z	Φ(z)	z	Φ(z)	z	Φ(z)	z	Φ(z)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
0.00	0.00000	0.45	0.17364	0.90	0.31594	1.35	0.41149	1.80	0.46407
0.01	0.00399	0.46	0.17724	0.91	0.31859	1.36	0.41309	1.81	0.46485
0.02	0.00798	0.47	0.18082	0.92	0.32121	1.37	0.41466	1.82	0.46562
0.03	0.01197	0.48	0.18439	0.93	0.32381	1.38	0.41621	1.83	0.46638
0.04	0.01595	0.49	0.18793	0.94	0.32639	1.39	0.41774	1.84	0.46712
0.05	0.01994	0.50	0.19146	0.95	0.32894	1.40	0.41924	1.85	0.46784
0.06	0.02392	0.51	0.19497	0.96	0.33147	1.41	0.42073	1.86	0.46856
0.07	0.02790	0.52	0.19847	0.97	0.33398	1.42	0.42220	1.87	0.46926
0.08	0.03188	0.53	0.20194	0.98	0.33646	1.43	0.42364	1.88	0.46995
0.09	0.03586	0.54	0.20540	0.99	0.33891	1.44	0.42507	1.89	0.47062
0.10	0.03983	0.55	0.20884	1.00	0.34134	1.45	0.42647	1.90	0.47128
0.11	0.04380	0.56	0.21226	1.01	0.34375	1.46	0.42785	1.91	0.47193
0.12	0.04776	0.57	0.21566	1.02	0.34614	1.47	0.42922	1.92	0.47257
0.13	0.05172	0.58	0.21904	1.03	0.34850	1.48	0.43056	1.93	0.47320
0.14	0.05567	0.59	0.22240	1.04	0.35083	1.49	0.43189	1.94	0.47381
0.15	0.05962	0.60	0.22575	1.05	0.35314	1.50	0.43319	1.95	0.47441
0.16	0.06353	0.61	0.22907	1.06	0.35543	1.51	0.43448	1.96	0.47500
0.17	0.06749	0.62	0.23237	1.07	0.35769	1.52	0.43574	1.97	0.47558
0.18	0.07142	0.63	0.23565	1.08	0.35993	1.53	0.43699	1.98	0.47615
0.19	0.07535	0.64	0.23891	1.09	0.36214	1.54	0.43822	1.99	0.47670
0.20	0.07926	0.65	0.24215	1.10	0.36433	1.55	0.42943	2.00	0.47725
0.21	0.08317	0.66	0.24537	1.11	0.36650	1.56	0.44062	2.01	0.47778
0.22	0.08706	0.67	0.24857	1.12	0.36864	1.57	0.44179	2.02	0.47831
0.23	0.09095	0.68	0.25175	1.13	0.37076	1.58	0.44295	2.03	0.47882
0.24	0.09483	0.69	0.25490	1.14	0.37286	1.59	0.44408	2.04	0.47932
0.25	0.09871	0.70	0.25804	1.15	0.37493	1.60	0.44520	2.05	0.47982
0.26	0.10257	0.71	0.26115	1.16	0.37698	1.61	0.44630	2.06	0.48030
0.27	0.10642	0.72	0.26424	1.17	0.37900	1.62	0.44738	2.07	0.48077
0.28	0.11026	0.73	0.26730	1.18	0.38100	1.63	0.44845	2.08	0.48124
0.29	0.11409	0.74	0.27035	1.19	0.38298	1.64	0.44950	2.09	0.48169
0.30	0.11791	0.75	0.27337	1.20	0.38493	1.65	0.45053	2.10	0.48214
0.31	0.12172	0.76	0.27637	1.21	0.38686	1.66	0.45154	2.11	0.48257
0.32	0.12552	0.77	0.27935	1.22	0.38877	1.67	0.45254	2.12	0.48300
0.33	0.12930	0.78	0.28230	1.23	0.39065	1.68	0.45352	2.13	0.48341
0.34	0.13307	0.79	0.28524	1.24	0.39251	1.69	0.45449	2.14	0.48382
0.35	0.13683	0.80	0.28814	1.25	0.39435	1.70	0.45543	2.15	0.48422
0.36	0.14058	0.81	0.29103	1.26	0.39617	1.71	0.45637	2.16	0.48461
0.37	0.14431	0.82	0.29389	1.27	0.39796	1.72	0.45728	2.17	0.48500
0.38	0.14803	0.83	0.29673	1.28	0.39973	1.73	0.45813	2.18	0.48537
0.39	0.15173	0.84	0.29955	1.29	0.40147	1.74	0.45907	2.19	0.48574
0.40	0.15542	0.85	0.30234	1.30	0.40320	1.75	0.45994	2.20	0.48610
0.41	0.15910	0.86	0.30511	1.31	0.40490	1.76	0.46080	2.21	0.48645
0.42	0.16276	0.87	0.30785	1.32	0.40658	1.77	0.46164	2.22	0.48679
0.43	0.16640	0.88	0.31057	1.33	0.40824	1.78	0.46246	2.23	0.48713
0.44	0.17003	0.89	0.31327	1.34	0.40988	1.79	0.46327	2.24	0.48745



(continuare) TABELUL 2.6

<b>z</b>	<b>Φ(z)</b>	<b>z</b>	<b>Φ(z)</b>	<b>z</b>	<b>Φ(z)</b>	<b>z</b>	<b>Φ(z)</b>	<b>z</b>	<b>Φ(z)</b>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
2.25	0.48778	2.70	0.49653	3.15	0.49918	3.60	0.499841	4.05	0.499974
2.26	0.48809	2.71	0.49664	3.16	0.49921	3.61	0.499847	4.06	0.499975
2.27	0.48840	2.72	0.49674	3.17	0.49924	3.62	0.499853	4.07	0.499976
2.28	0.48870	2.73	0.49683	3.18	0.49926	3.63	0.499858	4.08	0.499977
2.29	0.48899	2.74	0.49693	3.19	0.49929	3.64	0.499864	4.09	0.499978
2.30	0.48928	2.75	0.49702	3.20	0.49931	3.65	0.499869	4.10	0.499979
2.31	0.48956	2.76	0.49711	3.21	0.49934	3.66	0.499874	4.11	0.499980
2.32	0.48983	2.77	0.49720	3.22	0.49936	3.67	0.499879	4.12	0.499981
2.33	0.49010	2.78	0.49728	3.23	0.49938	3.68	0.499883	4.13	0.499982
2.34	0.49036	2.79	0.49736	3.24	0.49940	3.69	0.499888	4.14	0.499983
2.35	0.49061	2.80	0.49744	3.25	0.49942	3.70	0.499892	4.15	0.499983
2.36	0.49086	2.81	0.49752	3.26	0.49944	3.71	0.499896	4.16	0.499984
2.37	0.49111	2.82	0.49760	3.27	0.49946	3.72	0.499900	4.17	0.499985
2.38	0.49134	2.83	0.49767	3.28	0.49948	3.73	0.499904	4.18	0.499985
2.39	0.49158	2.84	0.49774	3.29	0.49950	3.74	0.499908	4.19	0.499986
2.40	0.49180	2.85	0.49781	3.30	0.49952	3.75	0.499912	4.20	0.499987
2.41	0.49202	2.86	0.49788	3.31	0.49953	3.76	0.499915	4.21	0.499987
2.42	0.49224	2.87	0.49795	3.32	0.49955	3.77	0.499918	4.22	0.499987
2.43	0.49245	2.88	0.49801	3.33	0.49957	3.78	0.499922	4.23	0.499988
2.44	0.49266	2.89	0.49807	3.34	0.49958	3.79	0.499925	4.24	0.499988
2.45	0.49286	2.90	0.49813	3.35	0.49960	3.80	0.499928	4.25	0.499989
2.46	0.49305	2.91	0.49819	3.36	0.49961	3.81	0.499931	4.26	0.499990
2.47	0.49324	2.92	0.49825	3.37	0.49962	3.82	0.499933	4.27	0.499990
2.48	0.49343	2.93	0.49831	3.38	0.49964	3.83	0.499936	4.28	0.499991
2.49	0.49361	2.94	0.49836	3.39	0.49965	3.84	0.499938	4.29	0.499991
2.50	0.49379	2.95	0.49841	3.40	0.49966	3.85	0.499941	4.30	0.499991
2.51	0.49396	2.96	0.49846	3.41	0.49968	3.86	0.499943	4.31	0.499992
2.52	0.49413	2.97	0.49851	3.42	0.49969	3.87	0.499946	4.32	0.499992
2.53	0.49430	2.98	0.49856	3.43	0.49970	3.88	0.499948	4.33	0.499993
2.54	0.49446	2.99	0.49861	3.44	0.49971	3.89	0.499950	4.34	0.499993
2.55	0.49461	3.00	0.49865	3.45	0.49972	3.90	0.499952	4.35	0.499993
2.56	0.49477	3.01	0.49869	3.46	0.49973	3.91	0.499954	4.36	0.499994
2.57	0.49492	3.02	0.49874	3.47	0.49974	3.92	0.499956	4.37	0.499994
2.58	0.49506	3.03	0.49878	3.48	0.49975	3.93	0.499958	4.38	0.499994
2.59	0.49520	3.04	0.49882	3.49	0.49976	3.94	0.499959	4.39	0.499994
2.60	0.49534	3.05	0.49886	3.50	0.49977	3.95	0.499961	4.40	0.499995
2.61	0.49547	3.06	0.49889	3.51	0.49978	3.96	0.499963	4.45	0.499996
2.62	0.49560	3.07	0.49893	3.52	0.499784	3.97	0.499964	4.50	0.499997
2.63	0.49573	3.08	0.49896	3.53	0.499792	3.98	0.499966	4.60	0.499998
2.64	0.49585	3.09	0.49900	3.54	0.499800	3.99	0.499967	5.00	0.4999997
2.65	0.49598	3.10	0.49903	3.55	0.499807	4.00	0.499968		
2.66	0.49609	3.11	0.49906	3.56	0.499815	4.01	0.499970		
2.67	0.49621	3.12	0.49910	3.57	0.499822	4.02	0.499971		
2.68	0.49632	3.13	0.49913	3.58	0.499828	4.03	0.499972		
2.69	0.49643	3.14	0.49916	3.59	0.499835	4.04	0.499973		



## ANEXA A.II-7

### Coeficienti de variatie a incarcarilor, pentru tabliere construite pana in anul 1910

A	Tablier	Vs cv= Vs g=	L=	0,4 0	Vr = SIG	M18,5	Mg	g=	0,153 2,5	ETAs	PSI	ETAD	Vss	Vsd	BETAs	Betad	PVs	exp	2,78	Pvd	exp
	P-03	31	36,0	36,0	13278	4328,75	4328,75	31	3,07	1,357576	4,164223	0,301657	0,322544	2,923	2,837	0,001646214	2,78	0,002132839	2,67		
	P-08d,e	30,83	37,0	37,0	13142,34	4393,36	4393,36	30,83	2,99	1,358241	4,063054	0,299785	0,320996	2,931	2,803	0,001607194	2,79	0,002093404	2,68		
	P-09a,b	24,28	33,8	33,8	8599,52	2491,07	2491,07	24,28	3,45	1,386775	4,787337	0,310156	0,330884	2,887	2,843	0,001832558	2,74	0,002355184	2,63		
	P-10	25,8	31,7	31,7	9581,6	2637,56	2637,56	25,8	3,63	1,379605	5,011759	0,313658	0,333464	2,873	2,793	0,001913968	2,72	0,002427426	2,61		
	P-11	30,9	38,0	38,0	13198,2	4534,05	4534,05	30,9	2,91	1,357967	3,952918	0,297722	0,31924	2,940	2,850	0,001565035	2,81	0,002049321	2,69		
	P-14	12	20,2	20,2	2582	363,16	363,16	12	7,11	1,461702	10,39241	0,350677	0,364889	2,728	2,676	0,002953377	2,63	0,00344893	2,46		
	P-15	16,2	22,1	22,1	4264	723,70	723,70	16,2	5,89	1,432031	8,437487	0,341961	0,357610	2,761	2,702	0,002677315	2,57	0,003188107	2,50		
	P-16	14,2	21,2	21,2	3404,8	533,41	533,41	14,2	6,38	1,445528	9,226886	0,345822	0,360867	2,746	2,690	0,002797068	2,55	0,003303525	2,48		
A	Tablier	L=	g=	0,3 0	Vr = SIG	M18,5	Mg	g=	0,153 2,5	ETAs	PSI	ETAD	Vss	Vsd	BETAs	Betad	PVs	exp	3,31	Pvd	exp
	P-03	31	36,0	36,0	13278	4328,75	4328,75	31	3,07	1,357576	4,164223	0,226243	0,241908	3,285	3,203	0,000489492	3,31	0,000661578	3,18		
	P-08d,e	30,83	37,0	37,0	13142,34	4393,36	4393,36	30,83	2,99	1,358241	4,063054	0,224839	0,240747	3,293	3,209	0,00047609	3,32	0,00064731	3,19		
	P-09a,b	24,28	33,8	33,8	8599,52	2491,07	2491,07	24,28	3,45	1,386775	4,787337	0,232617	0,248163	3,251	3,171	0,00055435	3,26	0,000743026	3,13		
	P-10	25,8	31,7	31,7	9581,6	2637,56	2637,56	25,8	3,63	1,379605	5,011759	0,235244	0,250093	3,238	3,162	0,000583085	3,23	0,000769843	3,11		
	P-11	30,9	38,0	38,0	13198,2	4534,05	4534,05	30,9	2,91	1,357967	3,952918	0,223292	0,23943	3,301	3,216	0,000461679	3,34	0,000631424	3,20		
	P-14	12	20,2	20,2	2582	363,16	363,16	12	7,11	1,461702	10,39241	0,263008	0,273667	3,098	3,048	0,000969991	3,01	0,001133803	2,95		
	P-15	16,2	22,1	22,1	4264	723,70	723,70	16,2	5,89	1,432031	8,437487	0,256471	0,268212	3,130	3,074	0,000863887	3,06	0,0010504	2,98		
	P-16	14,2	21,2	21,2	3404,8	533,41	533,41	14,2	6,38	1,445528	9,226886	0,259366	0,270666	3,116	3,062	0,000909637	3,04	0,0010873	2,96		
A	Tablier	L=	g=	0,2 0	Vr = SIG	M18,5	Mg	g=	0,153 2,5	ETAs	PSI	ETAD	Vss	Vsd	BETAs	Betad	PVs	exp	4,05	Pvd	exp
	P-03	31	36,0	36,0	13278	4328,75	4328,75	31	3,07	1,357576	4,164223	0,150828	0,161272	3,750	3,678	8,81846E-05	4,05	0,000116586	3,93		
	P-08d,e	30,83	37,0	37,0	13142,34	4393,36	4393,36	30,83	2,99	1,358241	4,063054	0,149892	0,160498	3,757	3,683	8,57836E-05	4,07	0,000114374	3,94		
	P-09a,b	24,28	33,8	33,8	8599,52	2491,07	2491,07	24,28	3,45	1,386775	4,787337	0,155078	0,165442	3,720	3,650	9,98568E-05	4,80	0,000129144	3,89		
	P-10	25,8	31,7	31,7	9581,6	2637,56	2637,56	25,8	3,63	1,379605	5,011759	0,156829	0,166732	3,708	3,641	0,000104365	3,98	0,000133255	3,88		
	P-11	30,9	38,0	38,0	13198,2	4534,05	4534,05	30,9	2,91	1,357967	3,952918	0,148861	0,15962	3,764	3,689	8,32044E-05	4,08	0,00011906	3,95		
	P-14	12	20,2	20,2	2582	363,16	363,16	12	7,11	1,461702	10,39241	0,175338	0,182444	3,585	3,540	0,000163629	3,79	0,000192849	3,71		
	P-15	16,2	22,1	22,1	4264	723,70	723,70	16,2	5,89	1,432031	8,437487	0,170981	0,178808	3,613	3,563	0,000147589	3,83	0,000177434	3,75		
	P-16	14,2	21,2	21,2	3404,8	533,41	533,41	14,2	6,38	1,445528	9,226886	0,172911	0,180444	3,601	3,553	0,000154521	3,81	0,000184277	3,73		
A	Tablier	L=	g=	0,1 0	Vr = SIG	M18,5	Mg	g=	0,153 2,5	ETAs	PSI	ETAD	Vss	Vsd	BETAs	Betad	PVs	exp	5,20	Pvd	exp
	P-03	31	36,0	36,0	13278	4328,75	4328,75	31	3,07	1,357576	4,164223	0,075414	0,080636	4,368	4,318	6,26043E-06	5,20	7,92859E-06	5,10		
	P-08d,e	30,83	37,0	37,0	13142,34	4393,36	4393,36	30,83	2,99	1,358241	4,063054	0,074946	0,080249	4,372	4,322	6,12765E-06	5,21	7,79244E-06	5,11		
	P-09a,b	24,28	33,8	33,8	8599,52	2491,07	2491,07	24,28	3,45	1,386775	4,787337	0,077539	0,082721	4,347	4,299	6,89649E-06	5,16	8,6999E-06	5,06		
	P-10	25,8	31,7	31,7	9581,6	2637,56	2637,56	25,8	3,63	1,379605	5,011759	0,078415	0,083366	4,339	4,293	7,17522E-06	5,14	8,9519E-06	5,05		
	P-11	30,9	38,0	38,0	13198,2	4534,05	4534,05	30,9	2,91	1,357967	3,952918	0,074431	0,07981	4,377	4,326	5,98431E-06	5,22	7,64046E-06	5,12		
	P-14	12	20,2	20,2	2582	363,16	363,16	12	7,11	1,461702	10,39241	0,087669	0,091222	4,254	4,222	1,07023E-05	4,97	1,22316E-05	4,91		
	P-15	16,2	22,1	22,1	4264	723,70	723,70	16,2	5,89	1,432031	8,437487	0,08549	0,089404	4,274	4,238	9,82915E-06	5,01	1,14264E-05	4,94		
	P-16	14,2	21,2	21,2	3404,8	533,41	533,41	14,2	6,38	1,445528	9,226886	0,086455	0,090222	4,265	4,231	1,02202E-05	4,89	1,17826E-05	4,93		

**ANEXA All.-7 (continuare)**

A	Tablier	Vs cv=	Vs g=	L=	g=	Mg	M8.5	Vr =	0,153	ETAs	PSI	ETAd	Vss	Vsd	BETAs	Betad	PVs	exp	PVd	exp
P-03	36,0	4328,75	13278	3,07	1,357576	4,164223	0,301657	0,322544	3,506	3,412	0,000218823	3,66	0,000308184	3,51						
P-08d,e	30,83	4393,36	13142,34	2,99	1,358241	4,063054	0,299785	0,320996	3,514	3,419	0,000212013	3,67	0,000300652	3,52						
P-08a,b	24,28	2491,07	8599,52	3,45	1,386775	4,787337	0,310156	0,330884	3,467	3,376	0,000252103	3,60	0,000351554	3,45						
P-10	25,8	2637,56	9581,6	3,63	1,379605	5,011759	0,313658	0,333464	3,451	3,365	0,000267009	3,57	0,000365965	3,44						
P-11	30,9	4534,05	13198,2	2,91	1,357967	3,952918	0,297722	0,31924	3,524	3,427	0,000204718	3,69	0,00029229	3,53						
P-14	12	363,16	2582	7,11	1,461702	10,39241	0,350677	0,364889	3,293	3,237	0,000475327	3,32	0,00058502	3,23						
P-15	16,2	723,70	4264	5,89	1,432031	8,437487	0,341961	0,357616	3,329	3,266	0,000416973	3,38	0,000526519	3,28						
P-16	14,2	533,41	3404,8	6,38	1,445528	9,226886	0,345822	0,360887	3,313	3,252	0,000442035	3,35	0,000552	3,26						

A	Tablier	Vs cv=	Vs g=	L=	g=	Mg	M8.5	Vr =	0,153	ETAs	PSI	ETAd	Vss	Vsd	BETAs	Betad	PVs	exp	PVd	exp
P-03	36,0	4328,75	13278	3,07	1,357576	4,164223	0,226243	0,241908	3,892	3,805	4,876E-05	4,31	7,01782E-05	4,15						
P-08d,e	30,83	4393,36	13142,34	2,99	1,358241	4,063054	0,224839	0,240747	3,900	3,811	4,71558E-05	4,33	6,83482E-05	4,17						
P-09a,b	24,28	2491,07	8599,52	3,45	1,386775	4,787337	0,232617	0,248163	3,856	3,771	5,66594E-05	4,25	8,07952E-05	4,08						
P-10	25,8	2637,56	9581,6	3,63	1,379605	5,011759	0,235244	0,250098	3,841	3,761	6,0228E-05	4,22	8,43521E-05	4,07						
P-11	30,9	4534,05	13198,2	2,91	1,357967	3,952918	0,223292	0,23943	3,908	3,818	4,54421E-05	4,34	6,63218E-05	4,18						
P-14	12	363,16	2582	7,11	1,461702	10,39241	0,263008	0,273667	3,693	3,640	0,000110208	3,96	0,000134123	3,87						
P-15	16,2	723,70	4264	5,89	1,432031	8,437487	0,256471	0,268212	3,727	3,667	9,70518E-05	4,01	0,000121386	3,92						
P-16	14,2	533,41	3404,8	6,38	1,445528	9,226886	0,259366	0,270666	3,712	3,655	0,00010292	3,99	0,000126982	3,90						

A	Tablier	Vs cv=	Vs g=	L=	g=	Mg	M8.5	Vr =	0,153	ETAs	PSI	ETAd	Vss	Vsd	BETAs	Betad	PVs	exp	PVd	exp
P-03	36,0	4328,75	13278	3,07	1,357576	4,164223	0,150828	0,161272	4,373	4,299	6,10666E-06	5,21	8,69339E-06	5,06						
P-08d,e	30,83	4393,36	13142,34	2,99	1,358241	4,063054	0,149892	0,160498	4,380	4,305	5,91287E-06	5,23	8,47229E-06	5,07						
P-09a,b	24,28	2491,07	8599,52	3,45	1,386775	4,787337	0,155078	0,165442	4,343	4,270	7,06082E-06	5,15	9,97989E-06	5,00						
P-10	25,8	2637,56	9581,6	3,63	1,379605	5,011759	0,156829	0,166732	4,330	4,262	7,49154E-06	5,13	1,03546E-05	4,98						
P-11	30,9	4534,05	13198,2	2,91	1,357967	3,952918	0,148861	0,15962	4,387	4,311	5,70581E-06	5,24	8,22749E-06	5,08						
P-14	12	363,16	2582	7,11	1,461702	10,39241	0,175338	0,182444	4,204	4,157	1,31906E-05	4,88	1,60302E-05	4,80						
P-15	16,2	723,70	4264	5,89	1,432031	8,437487	0,170981	0,178808	4,233	4,181	1,16787E-05	4,93	1,45158E-05	4,84						
P-16	14,2	533,41	3404,8	6,38	1,445528	9,226886	0,172911	0,180444	4,220	4,170	1,23283E-05	4,91	1,51806E-05	4,82						

A	Tablier	Vs cv=	Vs g=	L=	g=	Mg	M8.5	Vr =	0,153	ETAs	PSI	ETAd	Vss	Vsd	BETAs	Betad	PVs	exp	PVd	exp
P-03	36,0	4328,75	13278	3,07	1,357576	4,164223	0,075414	0,080636	4,990	4,942	2,93034E-07	6,53	3,7516E-07	6,43						
P-08d,e	30,83	4393,36	13142,34	2,99	1,358241	4,063054	0,074946	0,080249	4,994	4,945	2,86548E-07	6,54	3,68415E-07	6,43						
P-09a,b	24,28	2491,07	8599,52	3,45	1,386775	4,787337	0,077539	0,082721	4,970	4,923	3,24211E-07	6,49	4,13504E-07	6,38						
P-10	25,8	2637,56	9581,6	3,63	1,379605	5,011759	0,078415	0,083366	4,962	4,917	3,37928E-07	6,47	4,26079E-07	6,37						
P-11	30,9	4534,05	13198,2	2,91	1,357967	3,952918	0,074431	0,07981	4,999	4,949	2,79556E-07	6,55	3,60894E-07	6,44						
P-14	12	363,16	2582	7,11	1,461702	10,39241	0,087669	0,091222	4,878	4,847	5,19395E-07	6,28	6,10234E-07	6,21						
P-15	16,2	723,70	4264	5,89	1,432031	8,437487	0,08549	0,089404	4,898	4,863	4,70024E-07	6,33	5,62066E-07	6,25						
P-16	14,2	533,41	3404,8	6,38	1,445528	9,226886	0,086455	0,090222	4,889	4,855	4,91334E-07	6,31	5,83283E-07	6,23						

## ANEXA A.II-8

**Coefficienti de variatie ai incarcarilor, pentru tablierele construite dupa anul 1910**

B	Tablier	Vs cv=	Vs g=	L=	0,4	Vr =	0,08		ETAs	PSI	ETAd	Vss	Vsd	BETAs	Betad	PVs	exp	PVD	exp
							Mt8.5	SIG											
B	P-01	81,6	0	47,1	39235,83	79236	2,02	1,245798	2,515864	0,268	0,286	4,278	4,113	9,63141E-06	5,02	1,92728E-05	4,72		
	P-02	101,76	0	52,5	67938,18	120666,3	1,78	1,224305	2,174512	0,256	0,274	4,387	4,219	5,71051E-06	5,24	1,23573E-05	4,91		
	P-04a	30,6	0	37,8	4421,97	12958,8	2,93	1,359146	3,983049	0,298	0,320	4,014	3,848	2,91822E-05	4,53	5,84747E-05	4,23		
	P-04b	10,9	0	21,2	315,23	2170,6	6,89	1,47037	10,12473	0,349	0,364	3,641	3,546	0,000133398	3,87	0,000189005	3,72		
	P-05	48,6	0	41,8	12335,25	30107,6	2,44	1,303349	3,181185	0,284	0,304	4,134	3,966	1,76426E-05	4,75	3,576E-05	4,45		
	P-06	71,76	0	45,8	29506,93	62150,48	2,11	1,259236	2,652329	0,271	0,290	4,244	4,078	1,11398E-05	4,95	2,23749E-05	4,65		
	P-07	30,5	0	33,6	3905,72	12879	3,30	1,359542	4,483046	0,307	0,327	3,945	3,795	3,89239E-05	4,41	7,31378E-05	4,14		
	P-08a	51,025	0	42,9	13972,93	32872,55	2,35	1,297617	3,052757	0,281	0,301	4,161	3,990	1,5803E-05	4,80	3,23441E-05	4,49		
	P-08b	66,675	0	47,5	26395,73	60129,5	2,28	1,267199	2,886682	0,278	0,297	4,184	4,023	8,04678E-08	7,09	2,80706E-05	4,55		
	P-08c	37,02	0	34,6	5931,64	18300,12	3,09	1,336046	4,121925	0,302	0,322	3,983	3,832	3,31977E-05	4,48	6,25383E-05	4,20		
	P-12	20	0	31,5	1575,00	6100	3,87	1,409091	5,457431	0,318	0,338	3,862	3,717	5,5269E-05	4,26	0,000101071	4,00		
	P-13	56,2	0	39,6	15639,02	39323,6	2,51	1,286404	3,234604	0,285	0,306	4,114	3,956	1,92417E-05	4,72	3,72058E-05	4,43		
	P-17a,b	76,8	0	45,9	33817,09	70641,8	2,09	1,252057	2,01547	0,271	0,289	4,251	4,087	1,08395E-05	4,96	2,15202E-05	4,67		
	P-17c,d,e	51,4	0	39,1	12922,91	33330,8	2,58	1,296759	3,344605	0,288	0,308	4,096	3,938	2,06911E-05	4,68	4,02234E-05	4,40		
B	P-01	81,6	0,3	47,1	39235,83	79236	2,02	1,245798	2,515864	0,201	0,215	4,992	4,823	2,89959E-07	6,54	6,88006E-07	6,16		
	P-02	101,76	0,3	52,5	67938,18	120666,3	1,78	1,224305	2,174512	0,192	0,205	5,103	4,932	1,64369E-07	6,78	3,9362E-07	6,40		
	P-04a	30,6	0,3	37,8	4421,97	12958,8	2,93	1,359146	3,983049	0,224	0,240	4,721	4,548	1,15146E-06	5,94	2,64084E-06	5,58		
	P-04b	10,9	0,3	21,2	315,23	2170,6	6,89	1,47037	10,12473	0,262	0,273	4,329	4,228	7,52033E-06	5,12	1,19207E-05	4,92		
	P-05	48,6	0,3	41,8	12335,25	30107,6	2,44	1,303349	3,181185	0,213	0,228	4,845	4,670	6,15526E-07	6,21	1,46661E-06	5,83		
	P-06	71,76	0,3	45,8	29506,93	62150,48	2,11	1,259236	2,652329	0,203	0,218	4,958	4,786	3,45698E-07	6,46	8,30553E-07	6,08		
	P-07	30,5	0,3	33,6	3905,72	12879	3,30	1,359542	4,483046	0,230	0,245	4,649	4,491	1,62264E-06	5,79	3,4558E-06	5,46		
	P-08a	51,025	0,3	42,9	13972,93	32872,55	2,35	1,297617	3,052757	0,211	0,226	4,872	4,695	5,35915E-07	6,27	1,30131E-06	5,89		
	P-08b	66,675	0,3	47,5	26395,73	60129,5	2,28	1,267199	2,886682	0,208	0,223	4,896	4,730	6,76519E-07	6,17	1,09953E-06	5,96		
	P-08c	37,02	0,3	34,6	5931,64	18300,12	3,09	1,336046	4,121925	0,227	0,241	4,689	4,531	1,3423E-06	5,87	2,8627E-06	5,54		
	P-12	20	0,3	31,5	1575,00	6100	3,87	1,409091	5,457431	0,238	0,254	4,562	4,410	2,46812E-06	5,61	5,11545E-06	5,29		
	P-13	56,2	0,3	39,6	15639,02	39323,6	2,51	1,286404	3,234604	0,215	0,229	4,823	4,660	6,86606E-07	6,16	1,53757E-06	5,81		
	P-17a,b	76,8	0,3	45,9	33817,09	70641,8	2,09	1,252057	2,61547	0,203	0,217	4,964	4,796	3,34081E-07	6,48	7,90696E-07	6,10		
	P-17c,d,e	51,4	0,3	39,1	12922,91	33330,8	2,58	1,296759	3,344605	0,216	0,231	4,806	4,641	7,52451E-07	6,12	1,68751E-06	5,77		

**ANEXA All.-8 (continuare)**

B	Vs cv=	Vs g=	L=	0,2	g=	Mg	MIB.5	SIG	Vr =	0,08	2,5	ETAs	PSI	ETAd	Vss	Vsd	BETAs	Betad	PVs	exp	Pvd	exp
Tablier																						
P-01	81,6			47,1	39235,83	79236			2,02	1,245798	2,515864	0,133763	0,143115	5,992	5,829	1,04671E-09	8,98	2,7453E-09	8,56			
P-02	101,76			52,5	67938,18	120666,3			1,78	1,224305	2,174512	0,127957	0,136998	6,098	5,935	5,23564E-10	9,28	1,46997E-09	8,83			
P-04a	30,6			37,8	4421,97	12958,8			2,93	1,359146	3,983049	0,149117	0,159864	5,729	5,558	4,96048E-08	8,30	1,34174E-08	7,87			
P-04b	10,9			21,2	315,23	2170,6			6,89	1,47037	10,12473	0,174638	0,182022	5,338	5,235	4,59441E-08	7,34	8,20167E-08	7,09			
P-05	48,6			41,8	12335,25	30107,6			2,44	1,303349	3,181185	0,141874	0,152167	5,850	5,679	2,42281E-09	8,62	6,64884E-09	8,18			
P-06	71,76			45,8	29506,93	62150,48			2,11	1,259236	2,652329	0,135615	0,14524	5,959	5,793	1,27227E-09	8,90	3,39316E-09	8,47			
P-07	30,5			33,6	3905,72	12879			3,30	1,359542	4,483046	0,153461	0,163524	5,658	5,502	7,51741E-09	8,12	1,83715E-08	7,74			
P-08a	51,025			42,9	13972,93	32872,55			2,35	1,297617	3,052757	0,140345	0,150651	5,876	5,704	2,07458E-09	8,68	5,75172E-09	8,24			
P-08b	66,675			47,5	26395,73	60129,5			2,28	1,267199	2,886682	0,138987	0,148542	5,900	5,738	10. OKt	-4,56	4,69158E-09	8,33			
P-08c	37,02			34,6	5931,64	18300,12			3,09	1,336046	4,121925	0,151042	0,160952	5,697	5,541	5,97185E-09	8,22	1,47413E-08	7,83			
P-12	20			31,5	1575,00	6100			3,87	1,409091	5,457431	0,158958	0,169028	5,572	5,420	1,24006E-08	7,91	2,91261E-08	7,54			
P-13	56,2			39,6	15639,02	39323,6			2,51	1,286404	3,234604	0,143092	0,15277	5,829	5,669	2,73903E-09	8,56	7,04131E-09	8,15			
P-17a,b	76,8			45,9	33817,09	70641,8			2,09	1,252057	2,61547	0,135253	0,144682	5,966	5,802	1,22486E-09	8,91	3,2103E-09	8,49			
P-17c,d,e,	51,4			39,1	12922,91	33330,8			2,58	1,296759	3,344605	0,144122	0,153966	5,812	5,650	3,03607E-09	8,52	7,88432E-09	8,10			

B	Vs cv=	Vs g=	L=	0,1	g=	Mg	MIB.5	SIG	Vr =	0,08	2,5	ETAs	PSI	ETAd	Vss	Vsd	BETAs	Betad	PVs	exp	Pvd	exp
Tablier																						
P-01	81,6			47,1	39235,83	79236			2,02	1,245798	2,515864	0,067	0,072	7,494	7,365	1,92054E-12	11,72	2,35976E-11	10,63			
P-02	101,76			52,5	67938,18	120666,3			1,78	1,224305	2,174512	0,064	0,068	7,576	7,449	1,29336E-12	11,89	1,66088E-11	10,78			
P-04a	30,6			37,8	4421,97	12958,8			2,93	1,359146	3,983049	0,075	0,080	7,284	7,145	3,30538E-11	10,48	5,93563E-11	10,23			
P-04b	10,9			21,2	315,23	2170,6			6,89	1,47037	10,12473	0,087	0,091	6,961	6,873	7,17314E-10	9,14	9,90571E-10	9,00			
P-05	48,6			41,8	12335,25	30107,6			2,44	1,303349	3,181185	0,071	0,076	7,382	7,244	2,19882E-11	10,66	3,91186E-11	10,41			
P-06	71,76			45,8	29506,93	62150,48			2,11	1,259236	2,652329	0,068	0,073	7,468	7,336	1,53234E-11	10,81	2,66114E-11	10,57			
P-07	30,5			33,6	3905,72	12879			3,30	1,359542	4,483046	0,077	0,082	7,227	7,098	4,19937E-11	10,38	7,20835E-11	10,14			
P-08a	51,025			42,9	13972,93	32872,55			2,35	1,297617	3,052757	0,070	0,075	7,403	7,264	2,01471E-11	10,70	3,59854E-11	10,44			
P-08b	66,675			47,5	26395,73	60129,5			2,28	1,267199	2,886682	0,069	0,074	7,421	7,292	1,42718E-07	6,85	3,20151E-11	10,49			
P-08c	37,02			34,6	5931,64	18300,12			3,09	1,336046	4,121925	0,076	0,080	7,259	7,131	3,67714E-11	10,43	6,29025E-11	10,20			
P-12	20			31,5	1575,00	6100			3,87	1,409091	5,457431	0,079	0,085	7,156	7,030	5,65464E-11	10,25	5,58181E-10	9,25			
P-13	56,2			39,6	15639,02	39323,6			2,51	1,286404	3,234604	0,072	0,076	7,365	7,236	2,3567E-11	10,63	4,04353E-11	10,39			
P-17a,b	76,8			45,9	33817,09	70641,8			2,09	1,252057	2,61547	0,068	0,072	7,473	7,344	1,50029E-11	10,82	2,57867E-11	10,59			
P-17c,d,e,	51,4			39,1	12922,91	33330,8			2,58	1,296759	3,344605	0,072	0,077	7,351	7,221	2,49828E-11	10,60	4,3168E-11	10,36			







**ANEXA All.-8 (continuare)**

B	Tablier	Vs cv=	Vs g=	L=	g=	Mg	M8.5	Vr =	SIG	0,2	0	ETAs	PSI	ETAD	Vss	Vsd	BETAs	Betad	PVs	exp	PVD	exp	exp
P-01		81,6	47,1	39235,83	79236	2,02	1,245798	2,515864	0,133763	0,143115	7,135	6,9605	1,07648E-11	10,97	1,28294E-10	9,89							
P-02		101,76	52,5	67938,18	120666,3	1,78	1,224305	2,174512	0,127957	0,136998	7,247	7,0734	6,27264E-12	11,28	7,99599E-11	10,10							
P-04a		30,6	37,8	4421,97	12958,8	2,93	1,359146	3,983049	0,149117	0,159364	6,853	6,6689	2,01094E-10	9,70	4,3481E-10	9,36							
P-04b		10,9	21,2	315,23	2170,6	6,89	1,47037	10,12473	0,174638	0,182022	6,431	6,3188	4,96971E-09	8,30	7,49797E-09	8,13							
P-05		48,6	41,8	12335,25	30107,6	2,44	1,303349	3,181185	0,141874	0,152167	6,983	6,7998	1,16699E-10	9,93	2,51368E-10	9,60							
P-06		71,76	45,8	29506,93	62150,48	2,11	1,259238	2,652329	0,135615	0,145224	7,099	6,9221	7,16975E-11	10,14	1,50671E-10	9,82							
P-07		30,5	33,6	3905,72	12879	3,30	1,359542	4,483046	0,153461	0,163524	6,777	6,6084	2,76044E-10	9,56	5,60115E-10	9,25							
P-08a		51,025	42,9	13972,93	32872,55	2,35	1,287617	3,052757	0,140345	0,150651	7,011	6,8262	1,03759E-10	9,98	2,2508E-10	9,65							
P-08b		66,675	47,5	26395,73	60129,5	2,28	1,267199	2,886682	0,138987	0,148542	7,036	6,8633	1,35313E-07	6,87	1,92744E-10	9,72							
P-08c		37,02	34,6	5931,64	18300,12	3,09	1,336046	4,121925	0,151042	0,160952	6,819	6,6508	2,31614E-10	9,64	4,6904E-10	9,33							
P-12		20	31,5	1575,00	6100	3,87	1,409091	5,457431	0,158958	0,169028	6,684	6,5195	4,0809E-10	9,39	3,6001E-09	8,44							
P-13		56,2	39,6	15639,02	39323,6	2,51	1,286404	3,234604	0,143092	0,152277	6,961	6,7894	1,28072E-10	9,89	2,62609E-10	9,58							
P-17a,b		76,8	45,9	33817,09	70641,8	2,09	1,252057	2,61547	0,135253	0,144682	7,106	6,9321	6,96714E-11	10,16	1,44465E-10	9,84							
P-17c,d,e,		51,4	39,1	12922,91	33330,8	2,58	1,296759	3,344605	0,144122	0,153066	6,942	6,7688	1,38475E-10	9,86	2,86267E-10	9,54							

B	Tablier	Vs cv=	Vs g=	L=	g=	Mg	M8.5	Vr =	SIG	0,1	0	ETAs	PSI	ETAD	Vss	Vsd	BETAs	Betad	PVs	exp	PVD	exp	exp
P-01		81,6	47,1	39235,83	79236	2,02	1,245798	2,515864	0,066882	0,071557	8,690	8,5591	6,20278E-15	14,21	1,59056E-13	12,80							
P-02		101,76	52,5	67938,18	120666,3	1,78	1,224305	2,174512	0,063978	0,068499	8,773	8,6440	4,16569E-15	14,38	1,11499E-13	12,95							
P-04a		30,6	37,8	4421,97	12958,8	2,93	1,359146	3,983049	0,074558	0,079932	8,477	8,3351	2,23876E-13	12,65	4,06349E-13	12,39							
P-04b		10,9	21,2	315,23	2170,6	6,89	1,47037	10,12473	0,087319	0,091011	8,147	8,0561	9,39774E-12	11,03	1,30996E-11	10,88							
P-05		48,6	41,8	12335,25	30107,6	2,44	1,303349	3,181185	0,070937	0,076083	8,576	8,4366	1,48076E-13	12,83	2,6569E-13	12,58							
P-06		71,76	45,8	29506,93	62150,48	2,11	1,259236	2,652329	0,067807	0,07262	8,663	8,5301	1,0279E-13	12,99	1,7966E-13	12,75							
P-07		30,5	33,6	3905,72	12879	3,30	1,359542	4,483046	0,07673	0,081762	8,419	8,2877	2,85573E-13	12,54	4,95554E-13	12,30							
P-08a		51,025	42,9	13972,93	32872,55	2,35	1,297617	3,052757	0,070172	0,075325	8,597	8,4569	1,35535E-13	12,87	2,44066E-13	12,61							
P-08b		66,675	47,5	26395,73	60129,5	2,28	1,267199	2,886682	0,069494	0,074271	8,616	8,4852	1,65697E-07	6,78	2,16732E-13	12,66							
P-08c		37,02	34,6	5931,64	18300,12	3,09	1,336046	4,121925	0,075521	0,080476	8,452	8,3210	2,49486E-13	12,60	4,31151E-13	12,37							
P-12		20	31,5	1575,00	6100	3,87	1,409091	5,457431	0,079479	0,084514	8,347	8,2174	3,86727E-13	12,41	7,26511E-12	11,14							
P-13		56,2	39,6	15639,02	39323,6	2,51	1,286404	3,234604	0,071546	0,076385	8,559	8,4285	1,58847E-13	12,80	2,74791E-13	12,56							
P-17a,b		76,8	45,9	33817,09	70641,8	2,09	1,252057	2,61547	0,067626	0,072341	8,669	8,5377	1,0062E-13	13,00	1,74017E-13	12,76							
P-17c,d,e,		51,4	39,1	12922,91	33330,8	2,58	1,296759	3,344605	0,072061	0,076983	8,545	8,4127	1,68519E-13	12,77	2,93703E-13	12,53							

**ANEXA A.II-9**  
**Determinarea probabilității a rezistenței admisibile pentru tabliere construite până în anul 1910**

A=25	Vs=	miu=	Sigma=	Vr=	rp5%=	rp10%=	rp2,28%=	rp1%=						
	0,4	275	41,9	0,153	205,8	221,1	190,9	177,1						
	Pv	10 <sup>-1</sup>	5x10 <sup>-2</sup>	,28x10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	
	beta	1,2815	1,645	2	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,2	5,61	6	6,35	
	gamma-zero	1,601089	1,798689	2,008903	2,216669	2,816949	3,475124	4,272217	5,285364	6,785052	9,253319	14,76614	38,20086	
	10% gamma	0,851155	0,956201	1,067953	1,178404	1,497519	1,847411	2,271153	2,809752	3,607002	4,919157	7,849827	20,30796	
	1,281 sigma-ad	259,767	231,2295	207,0333	187,6284	147,6455	119,6821	97,35227	78,6909	61,29798	44,94712	28,16647	10,88745	
	5% gamma	1,198119	0,811813	0,90669	1,000462	1,271391	1,568448	1,928205	2,385475	3,062338	4,176355	6,664489	17,24142	
	1,645 sigma-ad	171,7581	253,4902	226,9646	205,6915	161,8595	131,204	106,7245	86,26653	67,19919	49,27421	30,87808	11,9356	
	2,28% gamma	0,617309	0,693495	0,774544	0,854649	1,08609	1,339853	1,647177	2,037801	2,616015	3,567669	5,693167	14,72855	
	2 sigma-ad	309,1647	275,2004	246,4031	223,308	175,722	142,441	115,8649	93,65486	72,95449	53,49432	33,52264	12,95782	
	1% gamma	0,53424	0,600174	0,670316	0,739642	0,939939	1,159554	1,425523	1,763582	2,263987	3,087581	4,927059	12,74659	
	2,326 sigma-ad	331,5619	295,1372	264,2536	239,4855	188,4521	152,76	124,2587	100,4396	78,23964	57,36969	35,95117	13,89655	
A=25	Vs=	miu=	Sigma=	Vr=	rp5%=	rp10%=	rp2,28%=	rp1%=						
	0,35	275	41,9	0,153	205,8	221,1	190,9	177,1						
	Pv	10 <sup>-1</sup>	5x10 <sup>-2</sup>	,28x10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	
	beta	1,2815	1,645	2	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,2	5,61	6	6,35	
	gamma-zero	1,540776	1,7204	1,912385	2,102981	2,657896	3,272557	4,024066	4,988221	6,429253	8,825654	14,23917	37,52812	
	10% gamma	0,855314	0,955027	1,061602	1,167405	1,475449	1,816659	2,233836	2,769057	3,569002	4,89929	7,904439	20,83258	
	1,281 sigma-ad	258,5037	231,5138	208,2719	189,396	149,854	121,708	98,97857	79,84736	61,95063	45,12938	27,97187	10,61327	
	5% gamma	1,152986	0,817008	0,908181	0,998694	1,26222	1,554119	1,911007	2,368879	3,053217	4,191254	6,762105	17,8219	
	1,645 sigma-ad	178,4815	251,8782	226,592	206,0557	163,0354	132,4137	107,6849	86,87091	67,39994	49,09905	30,43233	11,54684	
	2,28% gamma	0,628999	0,702328	0,780703	0,858511	1,085047	1,335973	1,642766	2,036368	2,624648	3,602943	5,812933	15,3203	
	2 sigma-ad	303,4186	271,7391	244,4591	222,3034	175,891	142,8547	116,176	93,72079	72,71451	52,97058	32,83196	12,45732	
	1% gamma	0,547074	0,610852	0,67902	0,746693	0,943724	1,161968	1,428802	1,771139	2,282798	3,133674	5,055821	13,32489	
	2,326 sigma-ad	323,7833	289,9776	260,8666	237,2239	187,6964	152,4427	123,9735	100,0111	77,59494	56,52584	35,03557	13,29343	

A=25	Vs=	miu=	Sigma=	Vr=	rp5%=	rp10%=	rp2,28%=	rp1%=						
	0,3	275	41,9	0,153	205,8	221,1	190,9	177,1						
	Pv	10 <sup>-1</sup>	5x10 <sup>-2</sup>	2,28x10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	
	beta	1,2815	1,645	2	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,2	5,61	6	6,35	
	gamma-zero	1,481896	1,644011	1,818274	1,992212	2,503329	3,076351	3,78473	4,703202	6,090608	8,423131	13,75215	36,92593	
	10% gamma	0,860691	0,954848	1,056061	1,157085	1,453944	1,786757	2,198186	2,731639	3,53745	4,892188	7,987306	21,44673	
	1,281 sigma-ad	256,8888	231,5571	209,3648	191,0853	152,0705	123,7448	100,5838	80,94113	62,5032	45,19489	27,68167	10,30936	
	5% gamma	0,742501	0,823728	0,911042	0,998194	1,254288	1,541399	1,896331	2,356529	3,051686	4,220392	6,890487	18,50166	
	1,645 sigma-ad	277,1534	249,8234	225,8805	206,159	164,0665	133,5064	108,5183	87,32615	67,43375	48,76008	29,86532	11,12261	
	2,28% gamma	0,642772	0,71309	0,788676	0,864122	1,085819	1,334367	1,641627	2,040014	2,641801	3,653533	5,964996	16,01662	
	2 sigma-ad	296,9169	267,6381	241,9878	220,86	175,7659	143,0266	116,2566	93,55329	72,24238	52,23711	31,99499	11,91575	
	1% gamma	0,562211	0,623715	0,689828	0,755818	0,949729	1,167125	1,435875	1,78433	2,310693	3,19562	5,217378	14,00919	
	2,326 sigma-ad	315,066	283,9975	256,7793	234,3601	186,5096	151,7691	123,3628	99,27173	76,65819	55,4301	33,95068	12,6441	

A=25	Vs=	miu=	Sigma=	Vr=	rp5%=	rp10%=	rp2,28%=	rp1%=						
	0,25	275	41,9	0,153	205,8	221,1	190,9	177,1						
	Pv	10 <sup>-1</sup>	5x10 <sup>-2</sup>	2,28x10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	
	beta	1,2815	1,645	2	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,2	5,61	6	6,35	
	gamma-zero	1,425107	1,570389	1,727657	1,885671	2,3552	2,889164	3,557704	4,434789	5,774836	8,052892	13,31347	36,40113	
	10% gamma	0,867863	0,956337	1,05211	1,148338	1,434272	1,759445	2,166574	2,700702	3,516765	4,904057	8,107651	22,16759	
	1,281 sigma-ad	254,766	231,1967	210,151	192,5409	154,1562	125,6657	102,0514	81,86833	62,87084	45,08551	27,27078	9,974106	
	5% gamma	1,066429	0,832699	0,91609	0,999877	1,248844	1,531978	1,886472	2,351546	3,062105	4,270044	7,059466	19,30169	
	1,645 sigma-ad	192,968	247,1322	224,6359	205,812	164,7817	134,3274	109,0854	87,51121	67,20429	48,19309	29,15045	10,66158	
	2,28% gamma	0,659349	0,726567	0,799329	0,872437	1,089673	1,33672	1,646031	2,051829	2,671824	3,725805	6,1597	16,84159	
	2 sigma-ad	289,452	262,6737	238,7627	218,755	175,1444	142,7749	115,9456	93,01458	71,4306	51,22383	30,98365	11,33207	
	1% gamma	0,580425	0,639597	0,70365	0,768006	0,959239	1,176714	1,449001	1,806225	2,352007	3,279826	5,422385	14,82565	
	2,326 sigma-ad	305,1789	276,9457	251,7355	230,6407	184,6605	150,5323	122,2453	98,06837	75,31167	54,00699	32,66709	11,94777	

Contribuții la determinarea capacității portante a podurilor metalice existente în vederea menținerii lor în exploatare

A=25	Vs=	miu=	Sigma=	Vr=	rp5%=	rp10%=	rp2,28%=	rp1%=						
	0,2	275	41,9	0,153	205,8	221,1	190,9	177,1						
	Pv	10 <sup>-1</sup>	5x10 <sup>-2</sup>	,28x10 <sup>-</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	
	beta	1,2815	1,645	2	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,2	5,61	6	6,35	
	gamma-zero	1,371484	1,500947	1,642301	1,785468	2,216594	2,715101	3,348225	4,189451	5,489784	7,724084	12,93282	35,96046	
	10% gamma	0,877792	0,960653	1,051124	1,142755	1,418689	1,737749	2,142968	2,681379	3,513632	4,943653	8,277405	23,01581	
	1,281 sigma-ad	251,8841	230,158	210,3482	193,4815	155,8495	127,2347	103,1756	82,4583	62,92689	44,7244	26,7115	9,606523	
	5% gamma	1,026302	0,845133	0,924724	1,005337	1,248089	1,528782	1,885273	2,358938	3,091112	4,34917	7,282033	20,24812	
	1,645 sigma-ad	200,5128	243,4962	222,5384	204,6942	164,8814	134,6083	109,1548	87,23697	66,57366	47,31629	28,2595	10,16325	
	2,28% gamma	0,679864	0,744041	0,814112	0,885082	1,098797	1,345914	1,659763	2,076771	2,721364	3,828939	6,410983	17,82611	
	2 sigma-ad	280,7179	256,5047	234,4272	215,6297	173,6899	141,7995	114,9863	91,89748	70,13027	49,8441	29,76923	10,7062	
	1% gamma	0,602923	0,659837	0,721978	0,784916	0,974445	1,193596	1,471926	1,84174	2,413384	3,395613	5,685444	15,80871	
	2,326 sigma-ad	293,7913	268,4505	245,3448	225,6719	181,7789	148,4033	120,3414	96,17728	73,39633	52,16541	31,15562	11,20481	

A=25	Vs=	miu=	Sigma=	Vr=	rp5%=	rp10%=	rp2,28%=	rp1%=						
	0,15	275	41,9	0,153	205,8	221,1	190,9	177,1						
	Pv	10 <sup>-1</sup>	5x10 <sup>-2</sup>	,28x10 <sup>-</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	
	beta	1,2815	1,645	2	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,2	5,61	6	6,35	
	gamma-zero	1,322834	1,438043	1,565132	1,695073	2,092447	2,560518	3,164083	3,976357	5,245893	7,447919	12,62078	35,61017	
	10% gamma	0,892143	0,969842	1,055553	1,143187	1,411183	1,726859	2,133913	2,681725	3,537923	5,023008	8,511675	24,01613	
	1,281 sigma-ad	247,8325	227,9774	209,4655	193,4083	156,6784	128,0371	103,6134	82,44764	62,49484	44,01783	25,97631	9,206394	
	5% gamma	0,989897	0,863131	0,939412	1,017404	1,255913	1,536855	1,899122	2,386659	3,148651	4,470335	7,575149	21,37367	
	1,645 sigma-ad	207,887	238,4186	219,059	202,2664	163,8542	133,9011	108,3588	86,22371	65,35708	46,03383	27,16602	9,628044	
	2,28% gamma	0,70619	0,767694	0,83554	0,904908	1,117045	1,366923	1,689133	2,122763	2,8005	3,976043	6,737554	19,01035	
	2 sigma-ad	270,2531	248,6017	228,4152	210,9054	170,8526	139,6202	112,9869	89,90641	68,14855	47,99998	28,3263	10,03927	
	1% gamma	0,631675	0,686689	0,747376	0,809425	0,999178	1,22269	1,510902	1,898776	2,505001	3,556504	6,02663	17,00444	
	2,326 sigma-ad	280,4187	257,953	237,0071	218,8386	177,2793	144,872	117,237	93,28828	70,71198	49,80552	29,39181	10,4169	

Contribuții la determinarea capacității portante a podurilor metalice existente în vederea mentinerii lor în exploatare

A=25	Vs=	miu=	Sigma=	Vr=	rp5%=	rp10%=	rp2,28%=	rp1%=						
	0,1	275	41,9	0,153	205,8	221,1	190,9	177,1						
	Pv	10 <sup>-1</sup>	5x10 <sup>-2</sup>	,28x10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	
	beta	1,2815	1,645	2	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,2	5,61	6	6,35	
	gamma-zero	1,282174	1,385581	1,500946	1,620108	1,990466	2,434915	3,016331	3,80776	5,056118	7,237107	12,38801	35,35567	
	10% gamma	0,913817	0,987516	1,069738	1,154665	1,418623	1,735386	2,149766	2,713825	3,603541	5,157951	8,829048	25,19831	
	1,281 sigma-ad	241,9544	223,897	206,688	191,4857	155,8567	127,4079	102,8493	81,47244	61,35686	42,86623	25,04255	8,774476	
	5% gamma	0,95947	0,890383	0,964517	1,041091	1,279086	1,564692	1,938313	2,446891	3,249093	4,65061	7,960615	22,71978	
	1,645 sigma-ad	214,4795	231,1214	213,3571	197,6643	160,8857	131,5189	106,1679	84,10128	63,33664	44,24938	25,85059	9,057599	
	2,28% gamma	0,741524	0,801328	0,868047	0,936962	1,151153	1,408193	1,744445	2,202155	2,924121	4,18546	7,164401	20,44736	
	2 sigma-ad	257,3754	238,1672	219,8614	203,6902	165,7903	135,5283	109,4045	86,66512	65,26747	45,59833	26,63865	9,333721	
	1% gamma	0,670028	0,724066	0,784352	0,846623	1,040162	1,272418	1,576249	1,989828	2,642185	3,781908	6,473626	18,47588	
	2,326 sigma-ad	264,3675	244,6374	225,8343	209,2238	170,2943	139,2102	112,3766	89,01952	67,04057	46,83709	27,36234	9,587287	

A=25	Vs=	miu=	Sigma=	Vr=	rp5%=	rp10%=	rp2,28%=	rp1%=						
	0,05	275	41,9	0,153	205,8	221,1	190,9	177,1						
	Pv	10 <sup>-1</sup>	5x10 <sup>-2</sup>	,28x10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	
	beta	1,2815	1,645	2	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,2	5,61	6	6,35	
	gamma-zero	1,254103	1,349455	1,456885	1,568823	1,921448	2,35091	2,918789	3,697983	4,934443	7,104173	12,24394	35,20119	
	10% gamma	0,947613	1,019662	1,100837	1,185419	1,451865	1,776371	2,205466	2,794233	3,728515	5,367985	9,251644	26,59837	
	1,281 sigma-ad	233,3252	216,8385	200,8489	186,518	152,2882	124,4683	100,2518	79,12794	59,30026	41,189	23,89866	8,31261	
	5% gamma	0,938464	0,933072	1,007354	1,084753	1,328573	1,625522	2,018178	2,556947	3,41189	4,912136	8,465994	24,33964	
	1,645 sigma-ad	219,2803	220,5474	204,2844	189,7083	154,893	126,5973	101,9665	80,48138	60,31456	41,89351	24,30744	8,454793	
	2,28% gamma	0,791225	0,851383	0,919162	0,989785	1,212259	1,48321	1,84149	2,333091	3,113185	4,482087	7,724811	22,20875	
	2 sigma-ad	241,2083	224,1646	207,6348	192,8197	157,4334	128,6736	103,6389	81,80136	61,30378	42,58061	24,7061	8,59346	
	1% gamma	0,723636	0,778656	0,840645	0,905235	1,108704	1,356511	1,684185	2,133792	2,847248	4,099215	7,064937	20,31162	
	2,326 sigma-ad	244,7826	227,4863	210,7116	195,677	159,7662	130,5803	105,1746	83,01351	62,21219	43,21157	25,0722	8,7208	

ANEXA A.II-9 (continuare)

Contributii la determinarea capacitatii portante a podurilor metalice existente in vederea mentinerii lor in exploatare



B=22	Vs=	miu=	Sigma=	Vr=	rp5%=	rp10%=	rp2,28%=
	0,4	265	21,26	0,08	230,1	237,8	222,6
	Pv	$10^{-1}$	$5 \times 10^{-2}$	$,28 \times 10^{-}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$
	<i>beta</i>	<b>1,2815</b>	<b>1,645</b>	<b>2</b>	<b>2,32</b>	<b>3,09</b>	<b>3,72</b>
	gamma-zero	<b>1,53625</b>	<b>1,694771</b>	<b>1,853181</b>	<b>1,999449</b>	<b>2,367562</b>	<b>2,689626</b>
	10% gamma	0,911673	1,005747	1,099753	1,186555	1,405008	1,596134
	1,281 sigma-ad	260,886	236,4838	216,2692	200,4483	169,2821	149,0118
	5% gamma	1,334079	0,887659	0,970629	1,047238	1,240043	1,408728
	1,645 sigma-ad	<b>172,498</b>	<b>259,2503</b>	<b>237,0897</b>	<b>219,7456</b>	<b>185,5791</b>	<b>163,3573</b>
	2,28% gamma	0,716917	0,790893	0,864818	0,933076	1,104862	1,255159
	2 sigma-ad	<b>310,4964</b>	<b>281,4539</b>	<b>257,3953</b>	<b>238,5658</b>	<b>201,473</b>	<b>177,3481</b>
	1% gamma	0,647733	0,714571	0,781362	0,843033	0,998242	1,134035
	2,326 sigma-ad	<b>332,9901</b>	<b>301,8437</b>	<b>276,0421</b>	<b>255,8485</b>	<b>216,0686</b>	<b>190,1959</b>

B=22	Vs=	miu=	Sigma=	Vr=	rp5%=	rp10%=	rp2,28%=
	0,35	265	21,26	0,08	230,1	237,8	222,6
	Pv	$10^{-1}$	$5 \times 10^{-2}$	$,28 \times 10^{-}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$
	<i>beta</i>	<b>1,2815</b>	<b>1,645</b>	<b>2</b>	<b>2,32</b>	<b>3,09</b>	<b>3,72</b>
	gamma-zero	<b>1,473273</b>	<b>1,613664</b>	<b>1,754171</b>	<b>1,884096</b>	<b>2,211859</b>	<b>2,499507</b>
	10% gamma	0,912965	0,999963	1,087033	1,167545	1,370654	1,548906
	1,281 sigma-ad	260,517	237,8516	218,8001	203,7119	173,525	153,5554
	5% gamma	1,279391	0,889295	0,966728	1,03833	1,218961	1,377485
	1,645 sigma-ad	<b>179,8716</b>	<b>258,7736</b>	<b>238,0462</b>	<b>221,6308</b>	<b>188,7886</b>	<b>167,0624</b>
	2,28% gamma	0,72797	0,79734	0,866767	0,930965	1,092918	1,235051
	2 sigma-ad	<b>305,7817</b>	<b>279,1782</b>	<b>256,8164</b>	<b>239,1067</b>	<b>203,6749</b>	<b>180,2355</b>
	1% gamma	0,661004	0,723992	0,787032	0,845325	0,99238	1,121437
	2,326 sigma-ad	<b>326,305</b>	<b>297,916</b>	<b>274,0534</b>	<b>255,155</b>	<b>217,345</b>	<b>192,3325</b>

## ANEXA A.II-10

### Determinarea probabilității a rezistenței admisibile pentru tabliere construite după anul 1910

rp1%= 215,7	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>
	4,27	4,75	5,2	5,61	6	6,35
2,990119	3,270321	3,551249	3,825446	4,105336	4,375107	
1,774459	1,940742	2,107457	2,270176	2,436274	2,596367	
134,0368	122,5525	112,8577	104,7684	97,62563	91,60599	
1,566115	1,712875	1,860015	2,003629	2,150225	2,291522	
146,9407	134,3507	123,7227	114,8546	107,0241	100,425	
1,395389	1,52615	1,65725	1,785208	1,915823	2,041717	
159,5254	145,8572	134,3189	124,6913	116,1902	109,0259	
1,260732	1,378875	1,497323	1,612934	1,730944	1,844689	
171,0822	156,4238	144,0496	133,7245	124,6076	116,9242	

rp1%= 215,7	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>
	4,27	4,75	5,2	5,61	6	6,35
2,768612	3,020155	3,272923	3,520172	3,773088	4,017357	
1,715666	1,871543	2,02818	2,181396	2,338124	2,489493	
138,63	127,0838	117,2691	109,0324	101,7238	95,53863	
1,525789	1,664416	1,803717	1,939976	2,079359	2,213976	
150,8242	138,2623	127,5843	118,6231	110,6716	103,9424	
1,36802	1,492312	1,617209	1,739379	1,86435	1,985047	
162,7169	149,1645	137,6445	127,9767	119,3982	112,1384	
1,242174	1,355033	1,46844	1,579372	1,692846	1,80244	
173,6381	159,1761	146,8829	136,5662	127,4119	119,6649	

B=22	Vs=	miu=	Sigma=	Vr=	rp5%=	rp10%=	rp2,28%=	rp1%=						
	0,3	265	21,26	0,08	230,1	237,8	222,6	215,7						
	Pv	10 <sup>-1</sup>	5x10 <sup>-2</sup>	,28x10 <sup>-</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	
	beta	1,2815	1,645	2	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,2	5,61	6	6,35	
	gamma-zero	1,410755	1,533151	1,655892	1,769602	2,057345	2,310882	2,548898	2,772076	2,996994	3,217614	3,4439	3,663014	
	10% gamma	0,914672	0,994029	1,073609	1,147333	1,333893	1,498276	1,652595	1,797294	1,943121	2,086161	2,232875	2,374939	
	1,281 sigma-ad	260,0306	239,2715	221,5358	207,3005	178,3072	158,7443	143,9208	132,3339	122,4025	114,0098	106,5186	100,1469	
	5% gamma	0,820288	0,891455	0,962823	1,02894	1,196249	1,343669	1,482064	1,611832	1,742611	1,870891	2,002466	2,12987	
	1,645 sigma-ad	280,543	258,1464	239,0116	223,6534	192,3729	171,2668	155,2739	142,773	132,0582	123,0034	114,9213	108,047	
	2,28% gamma	0,740646	0,804905	0,869343	0,929041	1,080106	1,213213	1,338172	1,45534	1,573422	1,689248	1,808047	1,923082	
	2 sigma-ad	300,5482	276,5545	256,0553	239,6019	206,0909	183,4797	166,3464	152,954	141,4751	131,7746	123,1162	115,7517	
	1% gamma	0,676312	0,734988	0,79383	0,848342	0,986285	1,10783	1,221934	1,328925	1,436749	1,542514	1,650995	1,756037	
	2,326 sigma-ad	318,9193	293,4589	271,7067	254,2475	218,6882	194,6949	176,5143	162,3033	150,1228	139,8294	130,6417	122,827	

B=22	Vs=	miu=	Sigma=	Vr=	rp5%=	rp10%=	rp2,28%=	rp1%=						
	0,25	265	21,26	0,08	230,1	237,8	222,6	215,7						
	Pv	10 <sup>-1</sup>	5x10 <sup>-2</sup>	,28x10 <sup>-</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	
	beta	1,2815	1,645	2	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,2	5,61	6	6,35	
	gamma-zero	1,348949	1,453561	1,558749	1,656442	1,904679	2,124575	2,331963	2,527227	2,72477	2,919251	3,119431	3,313922	
	10% gamma	0,91703	0,988146	1,059654	1,126067	1,294821	1,444309	1,585293	1,718035	1,852328	1,984538	2,120622	2,25284	
	1,281 sigma-ad	259,3621	240,6959	224,4533	211,2155	183,6878	164,6758	150,0308	138,4388	128,4021	119,8479	112,1571	105,5747	
	5% gamma	1,171427	0,894436	0,959162	1,019277	1,172027	1,307338	1,434952	1,555106	1,676663	1,796335	1,919514	2,039192	
	1,645 sigma-ad	196,4492	257,2862	239,924	225,7738	196,3487	176,0263	160,3719	147,9809	137,2524	128,1086	119,8876	112,8515	
	2,28% gamma	0,755411	0,813994	0,872899	0,927608	1,06662	1,189762	1,305899	1,415247	1,525871	1,634781	1,746881	1,855796	
	2 sigma-ad	294,6738	273,4663	255,0122	239,9721	208,6966	187,0962	170,4572	157,287	145,8839	136,1651	127,4271	119,9485	
	1% gamma	0,694238	0,748076	0,802211	0,852489	0,980244	1,093414	1,200146	1,300639	1,402305	1,502395	1,605417	1,705512	
	2,326 sigma-ad	310,6845	288,3246	268,8679	253,0106	220,0358	197,2618	179,7188	165,833	153,8102	143,5634	134,3506	126,4657	

ANEXA A.II-10 (continuare)

Contribuții la determinarea capacității portante a podurilor metalice existente în vederea menținerii lor în exploatare

B=22	Vs=	miu=	Sigma=	Vr=	rp5%=	rp10%=	rp2,28%=
	0,2	265	21,26	0,08	230,1	237,8	222,6
	Pv	10 <sup>-1</sup>	5x10 <sup>-2</sup>	,28x10 <sup>-</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>
	<i>beta</i>	<b>1,2815</b>	<b>1,645</b>	<b>2</b>	<b>2,32</b>	<b>3,09</b>	<b>3,72</b>
	gamma-zero	1,288331	1,375511	1,463498	1,545506	1,755087	1,942121
	10% gamma	0,920477	0,982764	1,045629	1,104221	1,253961	1,387591
	1,281 sigma-ad	258,3909	242,0141	227,4639	215,3942	189,6732	171,407
	5% gamma	1,118787	0,898791	0,956284	1,00987	1,146815	1,269027
	1,645 sigma-ad	205,6925	256,0395	240,646	227,8769	200,6653	181,3404
	2,28% gamma	0,772999	0,825306	0,878099	0,927303	1,053052	1,165272
	2 sigma-ad	287,9695	269,718	253,5022	240,0509	211,3855	191,0283
	1% gamma	0,715669	0,764097	0,812975	0,85853	0,974952	1,07885
	2,326 sigma-ad	301,3806	202,2792	265,3081	251,2304	221,2301	199,9248

B=22	Vs=	miu=	Sigma=	Vr=	rp5%=	rp10%=	rp2,28%=
	0,15	265	21,26	0,08	230,1	237,8	222,6
	Pv	10 <sup>-1</sup>	5x10 <sup>-2</sup>	,28x10 <sup>-</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>
	<i>beta</i>	<b>1,2815</b>	<b>1,645</b>	<b>2</b>	<b>2,32</b>	<b>3,09</b>	<b>3,72</b>
	gamma-zero	1,229888	1,300277	1,371711	1,438632	1,611103	1,766675
	10% gamma	0,925932	0,978924	1,032704	1,083086	1,212932	1,330056
	1,281 sigma-ad	256,8686	242,9634	230,3108	219,5973	196,0891	178,8217
	5% gamma	1,068035	0,905683	0,955439	1,002052	1,122183	1,230544
	1,645 sigma-ad	215,4667	254,091	240,8589	229,6547	205,0699	187,0116
	2,28% gamma	0,794697	0,840179	0,886336	0,929578	1,04102	1,141544
	2 sigma-ad	280,1067	264,9435	251,1463	239,4635	213,8286	194,9991
	1% gamma	0,742109	0,784581	0,827684	0,868064	0,972132	1,066003
	2,326 sigma-ad	290,643	274,9095	260,5933	248,471	221,8719	202,3341

**ANEXA A.II-10 (continuare)**

rp1%=  
215,7

10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>
4,27	4,75	5,2	5,61	6	6,35
2,119639	2,287729	2,458677	2,627815	2,802741	2,973468
1,514423	1,634519	1,756657	1,877501	2,00248	2,12446
157,0517	145,5124	135,3951	126,6805	118,7741	111,9545
1,385022	1,494856	1,606558	1,717076	1,831377	1,942934
166,1533	153,9452	143,2416	134,022	125,6574	118,4425
1,271783	1,372638	1,475206	1,576689	1,681644	1,784081
175,0298	162,1695	150,8941	141,1819	132,3704	124,7701
1,177461	1,270836	1,365798	1,459754	1,556925	1,651764
183,1812	169,722	157,9215	147,757	138,5351	130,5809

rp1%=  
215,7

10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>
4,27	4,75	5,2	5,61	6	6,35
1,915684	2,05792	2,20365	2,348843	2,5	2,648452
1,442238	1,549322	1,659036	1,768346	1,882146	1,993909
164,9123	153,5141	143,3621	134,5002	126,3679	119,2847
1,334333	1,433405	1,53491	1,636042	1,741327	1,844729
172,4652	160,545	149,928	140,6602	132,1555	124,7479
1,237826	1,329733	1,423897	1,517714	1,615385	1,711307
179,8314	167,402	156,3316	146,668	137,8	130,076
1,155915	1,24174	1,329672	1,417281	1,508488	1,598064
186,5958	173,6989	162,212	152,1849	142,9834	134,9688



B=22	Vs=	miu=	Sigma=	Vr=	rp5%=	rp10%=	rp2,28%=
	0,1	265	21,26	0,08	230,1	237,8	222,6
	Pv	$10^{-1}$	$5 \times 10^{-2}$	$,28 \times 10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$
	<i>beta</i>	<b>1,2815</b>	<b>1,645</b>	<b>2</b>	<b>2,32</b>	<b>3,09</b>	<b>3,72</b>
	gamma-zero	1,175945	1,230864	1,287067	1,340132	1,478626	1,605547
	10% gamma	0,935586	0,97928	1,023995	1,066213	1,1764	1,277378
	1,281 sigma-ad	254,2181	242,8753	232,2696	223,0724	202,1785	186,196
	5% gamma	1,021191	0,91789	0,959802	0,999374	1,102653	1,197301
	1,645 sigma-ad	225,3507	250,712	239,7641	230,2702	208,7021	192,204
	2,28% gamma	0,823161	0,861605	0,900947	0,938093	1,035039	1,123883
	2 sigma-ad	270,4208	258,355	247,0734	237,29	215,0645	198,0633
	1% gamma	0,776509	0,812774	0,849886	0,884926	0,976378	1,060187
	2,326 sigma-ad	277,7673	205,3737	253,7855	243,7364	220,907	203,4441

B=22	Vs=	miu=	Sigma=	Vr=	rp5%=	rp10%=	rp2,28%=
	0,05	265	21,26	0,08	230,1	237,8	222,6
	Pv	$10^{-1}$	$5 \times 10^{-2}$	$,28 \times 10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$
	<i>beta</i>	<b>1,2815</b>	<b>1,645</b>	<b>2</b>	<b>2,32</b>	<b>3,09</b>	<b>3,72</b>
	gamma-zero	1,132622	1,175163	1,219212	1,261254	1,372892	1,477398
	10% gamma	0,95536	0,991243	1,028398	1,06386	1,158026	1,246177
	1,281 sigma-ad	248,9562	239,9439	231,275	223,5658	205,3864	190,858
	5% gamma	0,983569	0,942954	0,978298	1,012033	1,101612	1,185468
	1,645 sigma-ad	233,9704	244,048	235,2309	227,3898	208,8994	194,1225
	2,28% gamma	0,864911	0,897397	0,931034	0,963139	1,04839	1,128195
	2 sigma-ad	257,3674	248,0507	239,0889	231,1192	212,3256	197,3063
	1% gamma	0,825821	0,856839	0,888955	0,919609	1,001007	1,077205
	2,326 sigma-ad	261,1811	251,7263	242,6318	234,544	215,4718	200,2301

**ANEXA A.II-10 (continuare)**

rp1%= 215,7	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>
	4,27	4,75	5,2	5,61	6	6,35
	1,728742	1,847709	1,970884	2,094807	2,224999	2,353949
	1,375392	1,470043	1,568042	1,666635	1,770217	1,872809
	172,9272	161,7931	151,6814	142,7084	134,358	126,9979
	1,289171	1,377888	1,469743	1,562155	1,659244	1,755405
	178,507	167,0136	156,5757	147,3131	138,6933	131,0957
	1,210119	1,293396	1,379619	1,466365	1,5575	1,647764
	183,9488	172,105	161,3489	151,804	142,9214	135,0922
	1,141536	1,220094	1,30143	1,383259	1,469229	1,554378
	188,9461	176,7805	165,7322	155,928	146,8041	138,7622

rp1%= 215,7	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>
	4,27	4,75	5,2	5,61	6	6,35
	1,580617	1,681781	1,787902	1,895939	2,010675	2,125435
	1,333241	1,418573	1,508085	1,599214	1,695993	1,792792
	178,3944	167,6635	157,7118	148,7249	140,2381	132,6662
	1,268291	1,349465	1,434617	1,521306	1,613371	1,705454
	181,4458	170,5313	160,4094	151,2687	142,6368	134,9353
	1,207017	1,284269	1,365307	1,447808	1,535425	1,623059
	184,4216	173,3282	163,0402	153,7497	144,9762	137,1484
	1,152464	1,226225	1,303601	1,382373	1,46603	1,549703
	187,1544	175,8966	165,4562	156,028	147,1244	139,1807



ANEXA A.III-1 (continuare)

nr. l	0,016 delta		% Si Fai	Fcai	Fri	Fcri	xi*Fri	Sx2	Ui	F(ui)	pi	n*pi
	inf	sup										
25	1	0,011	0,019	11	0,44	0,44	0,44	0,00836	0,00019	-0,79	0,2141	5,3525
	2	0,027	0,035	7	0,28	0,28	0,72	0,0098	6,45E-06	-0,18	0,4286	5,3625
	3	0,043	0,051	2	0,08	0,08	0,8	0,00408	1E-05	0,43	0,6664	5,945
	4	0,059	0,075	1	0,04	0,04	0,84	0,003	4,96E-05	1,34	0,90988	6,087
	5	0,075	0,083	2	0,08	0,08	0,92	0,00664	0,000149	1,65	0,95053	1,01625
	6	0,091	0,099	2	0,08	0,08	1	0,00792	0,00028	2,26	0,988	0,93675
	suma			25	1,000							15,48703
<p align="center"><b>KOLMOGOROV</b></p>												
					mx=			0,040	0,000686	Ui	n*F(ui)	fcai-nF(ui)
					Sx2=			0,000686		-0,49	0,3121	3,1975
					Sx=			0,026193		0,12	0,5478	4,305
					% Vx=			65,8		0,73	0,7673	0,8175
										1,34	0,90988	-1,747
										1,95	0,97441	1,36025
										2,57	0,995	0,125
											<i>max.abs.</i>	<b>4,305</b>

nr. l	0,01 delta		% P Fai	Fcai	Fri	Fcri	xi*Fri	Sx2	Ui	F(ui)	pi	n*pi
	inf	sup										
25	1	0,016	0,021	7	0,28	0,28	0,28	0,00588	9,69E-05	-1,11	0,4562	11,405
	2	0,026	0,031	6	0,24	0,24	0,52	0,00744	1,78E-05	-0,51	0,305	-3,78
	3	0,036	0,041	4	0,16	0,16	0,68	0,00656	3,14E-07	0,08	0,5832	6,955
	4	0,046	0,056	3	0,12	0,12	0,8	0,00672	3,23E-05	0,98	0,8365	6,3325
	5	0,056	0,061	3	0,12	0,12	0,92	0,00732	5,5E-05	1,28	0,8997	1,58
	6	0,066	0,071	2	0,08	0,08	1	0,00568	7,89E-05	1,87	0,969	1,7325
	suma			25	1,000							31,33192
<p align="center"><b>KOLMOGOROV</b></p>												
					mx=			0,040	0,000281	Ui	n*F(ui)	fcai-nF(ui)
					Sx2=			0,000281		-0,81	0,209	1,775
					Sx=			0,016764		-0,21	0,4168	2,58
					% Vx=			42,3		0,38	0,648	0,8
										0,98	0,8365	-0,9125
										1,57	0,94179	-0,54475
										2,17	0,986	0,35
											<i>max.abs.</i>	<b>2,58</b>

ANEXA A.III-1 (continuare)

nr. l	0,014 delta		med	% S	Fai	Fcai	Fri	Fcri	xi*Fri	Sx2	Uj	F(ui)	pi	n*pi		
	inf	sup														
1	0,007	0,021	0,014		4	0,16	0,16	0,16	0,16	0,00224	0,000118	-1,43	0,3594	0,3594	8,985	2,765746
2	0,021	0,035	0,028		6	0,24	0,24	0,4	0,00672	4,16E-05	-0,69	0,2451	-0,1143	-2,8575	27,45593	
3	0,035	0,049	0,042		8	0,32	0,32	0,72	0,01344	2,26E-07	0,04	0,5279	0,2828	7,07	0,122334	
4	0,049	0,063	0,063		5	0,2	0,2	0,92	0,0126	9,54E-05	1,15	0,8729	0,345	8,625	1,523551	
5	0,063	0,077	0,07		1	0,04	0,04	0,96	0,0028	3,33E-05	1,52	0,93319	0,06029	1,50725	0,17071	
6	0,077	0,091	0,084		1	0,04	0,04	1	0,00336	7,34E-05	2,25	0,9861	0,05291	1,32275	0,078751	
suma					25	1,000	1,000	mx=	0,041	0,000362					Hi^2	32,11702

KOLMOGOROV		
Uj	F(ui)	n*F(ui) fcai-nF(ui)
-1,06	0,4661	11,6525
-0,32	0,3745	9,3625
0,41	0,6591	16,4775
1,15	0,8749	21,8725
1,88	0,96995	24,24875
2,62	0,99543	24,88575
		<b>max.abs. 7,6525</b>

nr. l	26 delta		med	Re	Fai	Fcai	Fri	Fcri	xi*Fri	Sx2	Uj	F(ui)	pi	n*pi		
	inf	sup														
1	214	240	227		3	0,12	0,12	0,12	27,24	341,1627	-1,51	0,3085	0,3085	7,7125	2,879437	
2	240	266	253		5	0,2	0,2	0,32	50,6	149,2765	-0,77	0,2206	-0,0879	-2,1975	23,57406	
3	266	292	279		8	0,32	0,32	0,64	89,28	0,557568	-0,04	0,484	0,2634	6,585	0,304058	
4	292	318	305		4	0,16	0,16	0,8	48,8	97,45638	0,70	0,8159	0,3319	8,2975	2,225792	
5	318	344	331		3	0,12	0,12	0,92	39,72	308,2155	1,44	0,925	0,1091	2,7275	0,027225	
6	344	370	357		2	0,08	0,08	1	28,56	470,3858	2,17	0,986	0,061	1,525	0,147951	
suma					25	1,000	1,000	mx=	280						Hi^2	29,15853

KOLMOGOROV		
Uj	F(ui)	n*F(ui) fcai-nF(ui)
-1,14	0,4443	11,1075
-0,41	0,3409	8,5225
0,33	0,6293	15,7325
1,07	0,8577	21,4425
1,80	0,964	24,1
2,54	0,9954	24,885
		<b>max.abs. 8,1075</b>





ANEXA A.III-1 (continuare)

nr. l	40 delta		med	KCU	Fai	Fcai	Fri	Fcri	xi*Fri	Sx2	Ui	F(ui)	pi	n*pi	
	inf	sup													
1	50	70	90	70	8	8	0,32	0,32	22,4	1343,693	-1,06	0,4761	0,4761	11,9025	1,279522
2	90	110	130	110	6	14	0,24	0,56	26,4	147,6096	-0,40	0,3446	-0,1315	-3,2875	26,23807
3	130	150	170	150	4	18	0,16	0,72	24	36,9664	0,25	0,5987	0,2541	6,3525	0,871193
4	170	210	210	210	5	23	0,2	0,92	42	1131,008	1,23	0,8907	0,292	7,3	0,724658
5	210	230	250	230	1	24	0,04	0,96	9,2	362,5216	1,55	0,93943	0,04873	1,21825	0,0391
6	250	270	290	270	1	25	0,04	1	10,8	731,1616	2,21	0,9863	0,04687	1,17175	0,025174
suma					25		1,000							<b>Hi^2</b>	29,17772
							mx=		134,8	3752,96		<b>KOLMOGOROV</b>			
							Sx2=		3752,96			F(ui)	n*F(ui)	fcai-nF(ui)	
							Sx=		61,26141			0,2327	5,8175	2,1825	2,1825
							% Vx=		45,4			0,4681	11,7025	2,2975	2,2975
												0,7157	17,8925	0,1075	0,1075
												0,8907	22,2675	0,7325	0,7325
												0,96995	24,24875	-0,24875	0,24875
												0,99385	24,84625	0,15375	0,15375
												<b>max.abs.</b>			2,2975
nr. l	5 delta		med	KV -20	Fai	Fcai	Fri	Fcri	xi*Fri	Sx2	Ui	F(ui)	pi	n*pi	
	inf	sup													
11	8	10	12	10	5	5	0,45	0,454545	4,545455	25,87904	-0,95	0,2266	0,2266	2,4926	2,522288
1	13	15,5	18	15,5	1	6	0,09	0,545455	1,409091	0,380353	-0,26	0,4562	0,2296	2,5256	0,921546
2	18	20,5	23	20,5	2	8	0,18	0,727273	3,727273	1,587153	0,37	0,7019	0,2457	2,7027	0,182701
3	23	28	28	28	2	10	0,18	0,909091	5,090909	19,87228	1,32	0,93319	0,23129	2,54419	0,1164
4	28	30,5	33	30,5	1	11	0,09	1	2,772727	15,25639	1,63	0,96562	0,03243	0,35673	1,159971
5					11		1,000							<b>Hi^2</b>	4,902905
suma														<b>KOLMOGOROV</b>	
							mx=		17,5	62,97521		F(ui)	n*F(ui)	fcai-nF(ui)	
							Sx2=		62,97521			0,3336	3,6696	1,3304	1,3304
							Sx=		7,935692			6,5832	6,4152	-0,4152	0,4152
							% Vx=		45,2			0,8051	8,8561	-0,8561	0,8561
												0,93943	10,33373	-0,33373	0,33373
												0,98388	2,95164	8,04836	8,04836
												<b>max.abs.</b>			8,04836



ANEXA A.III-2

ANALIZA STATISTICA a variabilelor aleatoare  
Colectivitatea B - poduri construite dupa 1910

nr. l	0,02 delta				C % otel moale				U <sub>i</sub>	F(u <sub>i</sub> )	pi	n*pi
	inf	sup	med	delta	Fai	Fcai	Fri	Fcri				
22	1	0,07	0,09	0,08	2	2	0,091	0,091	-1,73	0,04182	0,04182	0,92004
	2	0,09	0,11	0,1	3	5	0,136	0,227	-1,05	0,1469	0,10508	2,31176
	3	0,11	0,13	0,12	7	12	0,318	0,545	-0,37	0,3554	0,2085	4,587
	4	0,13	0,15	0,14	4	16	0,182	0,727	0,31	0,6217	0,2663	5,8586
	5	0,15	0,17	0,16	3	19	0,136	0,864	0,99	0,8389	0,2172	4,7784
	6	0,17	0,19	0,18	3	22	0,136	1,000	1,67	0,95254	0,11364	2,50008
suma					22	1	1	1,000				4,093406
								mx=		<b>KOLMOGOROV</b>		
								Sx2=		F(u <sub>i</sub> )	n*F(u <sub>i</sub> )	fcai-nF(u <sub>i</sub> )
								Sx=		0,08256	1,81632	0,18368
								% Vx=		0,2389	5,2558	-0,2558
										0,488	10,736	1,264
										0,65	0,7422	-0,3284
										1,33	0,90824	-0,98128
										2,01	0,97774	0,48972
											<b>max.abs=</b>	<b>1,264</b>

nr. l	0,06 delta				Mn % otel m				U <sub>i</sub>	F(u <sub>i</sub> )	pi	n*pi
	inf	sup	med	delta	Fai	Fcai	Fri	Fcri				
22	1	0,31	0,37	0,34	4	4	0,181818	0,181818	-1,33	0,04182	0,04182	0,92004
	2	0,37	0,43	0,4	6	10	0,272727	0,454545	-0,72	0,1469	0,10508	2,31176
	3	0,43	0,49	0,46	1	11	0,045455	0,1090909	-0,11	0,3554	0,2085	4,587
	4	0,49	0,55	0,52	7	18	0,318182	0,1654545	0,50	0,6217	0,2663	5,8586
	5	0,55	0,61	0,58	1	19	0,045455	0,863636	1,11	0,8389	0,2172	4,7784
	6	0,61	0,67	0,64	3	22	0,136364	1	1,72	0,95254	0,11364	2,50008
suma					22	1	1	1				22,30992
								mx=		<b>KOLMOGOROV</b>		
								Sx2=		F(u <sub>i</sub> )	n*F(u <sub>i</sub> )	fcai-nF(u <sub>i</sub> )
								Sx=		0,08256	1,81632	2,18368
								% Vx=		0,2389	5,2558	4,7442
										0,488	10,736	0,264
										0,80	0,7422	1,6716
										1,41	0,90824	-0,98128
										2,02	0,97774	0,48972
											<b>max.abs=</b>	<b>4,7442</b>

nr. l	0,02 delta			Si % otel m		Fcai	Fri	Fcri	xi*Fri	Sx2	Ui	F(ui)	pi	n*pi	Hi^2
	inf	sup	med	Fai	Fai										
1	0,01	0,03	0,02	7	7	0,318182	0,318182	0,0063636	0,000286	-0,96	0,04182	0,04182	0,92004	40,17859	
2	0,03	0,05	0,04	4	11	0,181818	0,5	0,0072727	1,82E-05	-0,32	0,1469	0,10508	2,31176	1,232894	
3	0,05	0,07	0,06	5	16	0,227273	0,727273	0,0136364	2,27E-05	0,32	0,3554	0,2085	4,587	0,037185	
4	0,07	0,09	0,08	2	18	0,090909	0,818182	0,0072727	8,18E-05	0,96	0,6217	0,2663	5,8586	2,541357	
5	0,09	0,11	0,1	1	19	0,045455	0,863636	0,0045455	0,000114	1,61	0,8389	0,2172	4,7784	2,987675	
6	0,11	0,13	0,12	2	21	0,090909	0,954545	0,0109091	0,000445	2,25	0,95254	0,11364	2,50008	0,100029	
suma				21		0,954545								47,07773	
								mx=	0,050	0,000968		<b>KOLMOGOROV</b>			
								Sx2=	0,0009682		Ui	F(ui)	n*F(ui)	fcai-nF(ui)	
								Sx=	0,0311156		-0,64	0,08256	1,81632	5,18368	5,18368
								% Vx=	62,2		0,00	0,2389	5,2558	5,7442	5,7442
											0,64	0,488	10,736	5,264	5,264
											1,29	0,7422	16,3284	1,6716	1,6716
											1,93	0,90824	19,98128	-0,98128	0,98128
											2,57	0,97774	21,51028	-0,51028	0,51028
														<b>max.abs=</b>	<b>5,7442</b>

nr. l	0,012 delta			P % otel m		Fcai	Fri	Fcri	xi*Fri	Sx2	Ui	F(ui)	pi	n*pi	Hi^2
	inf	sup	med	Fai	Fai										
1	0,012	0,024	0,018	11	11	0,5	0,5	0,009	9,3E-05	-0,76	0,04182	0,04182	0,92004	110,4361	
2	0,024	0,036	0,03	5	16	0,227273	0,727273	0,0068182	6,09E-07	-0,09	0,1469	0,10508	2,31176	3,126031	
3	0,036	0,048	0,042	1	17	0,045455	0,772727	0,0019091	4,88E-06	0,58	0,3554	0,2085	4,587	2,805007	
4	0,048	0,06	0,054	3	20	0,136364	0,909091	0,0073636	6,82E-05	1,25	0,6217	0,2663	5,8586	1,394803	
5	0,06	0,072	0,066	1	21	0,045455	0,954545	0,003	5,37E-05	1,93	0,8389	0,2172	4,7784	2,987675	
6	0,072	0,084	0,078	1	22	0,045455	1	0,0035455	9,77E-05	2,60	0,95254	0,11364	2,50008	0,900067	
suma				22				1						121,6496	
								mx=	0,032	0,000318		<b>KOLMOGOROV</b>			
								Sx2=	0,000318		Ui	F(ui)	n*F(ui)	fcai-nF(ui)	
								Sx=	0,0178339		-0,43	0,08256	1,81632	9,18368	9,18368
								% Vx=	56,4		0,24	0,2389	5,2558	10,7442	10,7442
											0,92	0,488	10,736	6,264	6,264
											1,59	0,7422	16,3284	3,6716	3,6716
											2,26	0,90824	19,98128	1,01872	1,01872
											2,94	0,97774	21,51028	0,48972	0,48972
														<b>max.abs=</b>	<b>10,7442</b>



nr. l	0,014 delta		S % otel m				Fcai	Fri	Fcri	xi*Fri	Sx2	Ui	F(ui)	pi	n*pi	
	inf	sup	med	Fai	Fai	Fri										Fcri
1	0,013	0,027	0,02	7	7	0,318182	0,318182	0,0063636	0,000176	-1,09	0,04182	0,04182	0,92004	40,17859		
2	0,027	0,041	0,034	5	12	0,227273	0,545455	0,0077273	2,07E-05	-0,44	0,1469	0,10508	2,31176	3,126031		
3	0,041	0,055	0,048	2	14	0,090909	0,636364	0,0043636	1,8E-06	0,21	0,3554	0,2085	4,587	1,45903		
4	0,055	0,069	0,062	5	19	0,227273	0,863636	0,0140909	7,74E-05	0,85	0,6217	0,2663	5,8586	0,125831		
5	0,069	0,083	0,076	2	21	0,090909	0,954545	0,0069091	9,58E-05	1,50	0,8389	0,2172	4,7784	1,6155		
6	0,083	0,097	0,09	1	22	0,045455	1	0,0040909	9,81E-05	2,14	0,95254	0,11364	2,50008	0,900067		
suma				22			1						Hi^2	47,40505		
										KOLMOGOROV						
										mx=	0,044	0,00047				
										Sx2=	0,0004702					
										Sx=	0,0216831					
										% Vx=	49,8					
												Ui	F(ui)	n*F(ui)	fcai-nF(ui)	
												-0,76	0,08256	1,81632	5,18368	5,18368
												-0,12	0,2389	5,2558	6,7442	6,7442
												0,53	0,488	10,736	3,264	3,264
												1,17	0,7422	16,3284	2,6716	2,6716
												1,82	0,90824	19,98128	1,01872	1,01872
												2,47	0,97774	21,51028	0,48972	0,48972
												<b>max.abs=</b>		<b>6,7442</b>		

nr. l	17 delta		Re % otel m				Fcai	Fri	Fcri	xi*Fri	Sx2	Ui	F(ui)	pi	n*pi	
	inf	sup	med	Fai	Fai	Fri										Fcri
1	221	238	229,5	3	3	0,136364	0,136364	31,295455	164,8831	-1,78	0,04182	0,04182	0,92004	4,702223		
2	238	255	246,5	3	6	0,136364	0,272727	33,613636	43,07316	-0,91	0,1469	0,10508	2,31176	0,204898		
3	255	272	263,5	8	14	0,363636	0,636364	95,818182	0,21713	-0,04	0,3554	0,2085	4,587	2,539474		
4	272	289	280,5	6	20	0,272727	0,909091	76,5	71,81574	0,83	0,6217	0,2663	5,8586	0,003413		
5	289	306	297,5	2	22	0,090909	1	27,045455	100,3683	1,70	0,8389	0,2172	4,7784	1,6155		
6	306	323	314,5	0	22	0	1	0	0	2,58	0,95254	0,11364	2,50008	2,50008		
suma				22			1						Hi^2	11,56559		
										KOLMOGOROV						
										mx=	264	380,3574				
										Sx2=	380,35744					
										Sx=	19,502755					
										% Vx=	7,4					
												Ui	F(ui)	n*F(ui)	fcai-nF(ui)	
												-1,35	0,08256	1,81632	1,18368	1,18368
												-0,48	0,2389	5,2558	0,7442	0,7442
												0,40	0,488	10,736	3,264	3,264
												1,27	0,7422	16,3284	3,6716	3,6716
												2,14	0,90824	19,98128	2,01872	2,01872
												3,01	0,97774	21,51028	0,48972	0,48972
												<b>max.abs=</b>		<b>3,6716</b>		

ANEXA A. III-2 (continuare)

Contributii la determinarea capacitatii portante a podurilor metalice existente in vederea mentinerii lor in exploatare

nr. l	14 delta		Rm % otel m					Sx2	Ui	F(ui)	pi	n*pi		
	inf	sup	med	Fai	Fcai	Fri	Fcri						xi*Fri	
1	326	340	333	1	1	0,045455	0,045455	15,136364	64,07551	-1,73	0,04182	0,04182	0,92004	0,006949
2	340	354	347	5	6	0,227273	0,272727	78,863636	125,9974	-1,09	0,1469	0,10508	2,31176	3,126031
3	354	368	361	6	12	0,272727	0,545455	98,454545	24,84974	-0,44	0,3554	0,2085	4,587	0,435267
4	368	382	375	2	14	0,090909	0,636364	34,090909	1,803907	0,21	0,6217	0,2663	5,8586	2,541357
5	382	396	389	4	18	0,181818	0,818182	70,727273	61,92186	0,85	0,8389	0,2172	4,7784	0,126801
6	396	410	403	4	22	0,181818	1	73,272727	191,5086	1,50	0,95254	0,11364	2,50008	0,899875
suma				22		1							Hi^2	7,136281
						mx=	371	470,157			<b>KOLMOGOROV</b>			
						Sx2=	470,15702			Ui	F(ui)	n*F(ui)	fcai-nF(ui)	
						Sx=	21,683105			-1,41	0,08256	1,81632	-0,81632	0,81632
						% Vx=	5,9			-0,76	0,2389	5,2558	0,7442	0,7442
										-0,12	0,488	10,736	1,264	1,264
										0,53	0,7422	16,3284	-2,3284	2,3284
										1,17	0,90824	19,98128	-1,98128	1,98128
										1,82	0,97774	21,51028	0,48972	0,48972
													<b>max.abs=</b>	<b>2,3284</b>

nr. l	5 delta		A % otel m					Sx2	Ui	F(ui)	pi	n*pi		
	inf	sup	med	Fai	Fcai	Fri	Fcri						xi*Fri	
1	28	33	30,5	4	4	0,181818	0,181818	5,5454545	22,54884	-1,54	0,04182	0,04182	0,92004	10,31059
2	33	38	35,5	2	6	0,090909	0,272727	3,2272727	3,423178	-0,85	0,1469	0,10508	2,31176	0,042043
3	38	43	40,5	7	13	0,318182	0,590909	12,886364	0,410875	-0,16	0,3554	0,2085	4,587	1,269363
4	43	48	45,5	4	17	0,181818	0,772727	8,2727273	2,714125	0,54	0,6217	0,2663	5,8586	0,589628
5	48	53	50,5	4	21	0,181818	0,954545	9,1818182	14,28437	1,23	0,8389	0,2172	4,7784	0,126801
6	53	58	55,5	1	22	0,045455	1	2,5227273	8,736382	1,92	0,95254	0,11364	2,50008	0,900067
suma				22		1							Hi^2	13,23849
						mx=	41,6	52,11777			<b>KOLMOGOROV</b>			
						Sx2=	52,117769			Ui	F(ui)	n*F(ui)	fcai-nF(ui)	
						Sx=	7,2192637			-1,20	0,08256	1,81632	2,18368	2,18368
						% Vx=	17,3			-0,50	0,2389	5,2558	0,7442	0,7442
										0,19	0,488	10,736	2,264	2,264
										0,88	0,7422	16,3284	0,6716	0,6716
										1,57	0,90824	19,98128	1,01872	1,01872
										2,27	0,97774	21,51028	0,48972	0,48972
													<b>max.abs=</b>	<b>2,264</b>

Contributii la determinarea capacitatii portante a podurilor metalice existente in vederea mentinerii lor in exploatare

nr. l	30 delta		KCU % otel m							Ui	F(ui)	pi	n*pi	Hi^2
	inf	sup	med	Fai	Fcai	Fri	Fcri	xi*Fri	Sx2					
1	85	115	100	7	7	0,318182	0,318182	31,818182	994,5811	-1,00	0,04182	0,04182	0,92004	40,17859
2	115	145	130	6	13	0,272727	0,590909	35,454545	183,0766	-0,46	0,1469	0,10508	2,31176	5,884311
3	145	175	160	1	14	0,045455	0,636364	7,2727273	0,760706	0,07	0,3554	0,2085	4,587	2,805007
4	175	205	190	3	17	0,136364	0,772727	25,909091	158,4805	0,61	0,6217	0,2663	5,8586	1,394803
5	205	235	220	1	18	0,045455	0,818182	10	186,7111	1,14	0,8389	0,2172	4,7784	2,987675
6	235	265	250	4	22	0,181818	1	45,454545	1609,654	1,68	0,95254	0,11364	2,50008	0,899875
suma				22			1							
						mx=		155,9	3133,264		<b>KOLMOGOROV</b>			
						Sx2=		3133,2645		Ui	F(ui)	n*F(ui)	fcai-nF(ui)	
						Sx=		55,97557		-0,73	0,08256	1,81632	5,18368	5,18368
						% Vx=		35,9		-0,19	0,2389	5,2558	7,7442	7,7442
										0,34	0,488	10,736	3,264	3,264
										0,88	0,7422	16,3284	0,6716	0,6716
										1,41	0,90824	19,98128	-1,98128	1,98128
										1,95	0,97774	21,51028	0,48972	0,48972
													<b>max.abs=</b>	<b>7,7442</b>

nr. l	10 delta		KV-20 otel m							Ui	F(ui)	pi	n*pi	Hi^2
	inf	sup	med	Fai	Fcai	Fri	Fcri	xi*Fri	Sx2					
1	10	20	15	7	7	0,318182	0,318182	4,7727273	47,92449	-0,94	0,04182	0,04182	0,92004	40,17859
2	20	30	25	9	16	0,409091	0,727273	10,227273	2,113073	-0,17	0,1469	0,10508	2,31176	19,35
3	30	40	35	3	19	0,136364	0,863636	4,7727273	8,142374	0,59	0,3554	0,2085	4,587	0,549067
4	40	50	45	1	20	0,045455	0,909091	2,0454545	14,28437	1,35	0,6217	0,2663	5,8586	4,029289
5	50	60	55	1	21	0,045455	0,954545	2,5	34,94553	2,11	0,8389	0,2172	4,7784	2,987675
6	60	70	65	1	22	0,045455	1	2,9545455	64,6976	2,88	0,95254	0,11364	2,50008	0,900067
suma				22			1							
						mx=		27,3	172,1074		<b>KOLMOGOROV</b>			
						Sx2=		172,10744		Ui	F(ui)	n*F(ui)	fcai-nF(ui)	
						Sx=		13,118972		-0,55	0,08256	1,81632	5,18368	5,18368
						% Vx=		48,1		0,21	0,2389	5,2558	10,7442	10,7442
										0,97	0,488	10,736	8,264	8,264
										1,73	0,7422	16,3284	3,6716	3,6716
										2,49	0,90824	19,98128	1,01872	1,01872
										3,26	0,97774	21,51028	0,48972	0,48972
													<b>max.abs=</b>	<b>10,7442</b>

ANEXA A. III-2 (continuare)

Contributii la determinarea capacitatii portante a podurilor metalice existente in vederea mentinerii lor in exploatare

nr. l	22		16 delta		KV-0 otel m					U <sub>i</sub>	F(ui)	pi	n*pi	
	inf	sup	med	Fai	Fcai	Fri	Fcri	xi*Fri	Sx2					
1	12	28	20	2	2	0,090909	0,090909	1,8181818	106,2179	-1,41	0,04182	0,04182	0,92004	1,267677
2	28	44	36	8	10	0,363636	0,454545	13,090909	120,2104	-0,75	0,1469	0,10508	2,31176	13,99629
3	44	60	52	4	14	0,181818	0,636364	9,4545455	0,865515	-0,09	0,3554	0,2085	4,587	0,075119
4	60	76	68	4	18	0,181818	0,818182	12,363636	34,71675	0,57	0,6217	0,2663	5,8586	0,589628
5	76	92	84	1	19	0,045455	0,863636	3,8181818	40,41473	1,23	0,8389	0,2172	4,7784	2,987675
6	92	108	100	3	22	0,136364	1	13,636364	286,269	1,89	0,95254	0,11364	2,50008	0,099965
suma				22			1						Hi^2	19,01636
						mx=		54	588,6942					
						Sx2=		588,69421						
						Sx=		24,263022						
						% Vx=		44,8						

KOLMOGOROV				
U <sub>i</sub>	F(ui)	n*F(ui)	fcai-nF(ui)	
-1,08	0,08256	1,81632	0,18368	0,18368
-0,42	0,2389	5,2558	4,7442	4,7442
0,24	0,488	10,736	3,264	3,264
0,90	0,7422	16,3284	1,6716	1,6716
1,56	0,90824	19,98128	-0,98128	0,98128
2,22	0,97774	21,51028	0,48972	0,48972
			<b>max.abs=</b>	<b>4,7442</b>

nr. l	22		15 delta		KV +20 otel m					U <sub>i</sub>	F(ui)	pi	n*pi	
	inf	sup	med	Fai	Fcai	Fri	Fcri	xi*Fri	Sx2					
1	61	76	68,5	6	6	0,272727	0,272727	18,681818	342,8249	-1,20	0,04182	0,04182	0,92004	28,04877
2	76	91	83,5	4	10	0,181818	0,454545	15,181818	76,07062	-0,69	0,1469	0,10508	2,31176	1,232894
3	91	106	98,5	1	11	0,045455	0,5	4,4772727	1,352367	-0,18	0,3554	0,2085	4,587	2,805007
4	106	121	113,5	3	14	0,136364	0,636364	15,477273	12,42487	0,32	0,6217	0,2663	5,8586	1,394803
5	121	136	128,5	3	17	0,136364	0,772727	17,522727	82,15627	0,83	0,8389	0,2172	4,7784	0,661876
6	136	151	143,5	5	22	0,227273	1	32,613636	355,4189	1,34	0,95254	0,11364	2,50008	2,49976
suma				22			1						Hi^2	36,64311
						mx=		104,0	870,2479					
						Sx2=		870,24793						
						Sx=		29,499965						
						% Vx=		28,4						

KOLMOGOROV				
U <sub>i</sub>	F(ui)	n*F(ui)	fcai-nF(ui)	
-0,95	0,08256	1,81632	4,18368	4,18368
-0,44	0,2389	5,2558	4,7442	4,7442
0,07	0,488	10,736	0,264	0,264
0,58	0,7422	16,3284	-2,3284	2,3284
1,09	0,90824	19,98128	-2,98128	2,98128
1,59	0,97774	21,51028	0,48972	0,48972
			<b>max.abs=</b>	<b>4,7442</b>

**ANEXA A. III-3**

**INTERVALE DE TOLERANTE STATISTICE  
Colectivitatea A - poduri construite înainte de 1910**

<b>Intervalele de toleranțe statistice pentru variabilele aleatoare analizate - COLECTIVITATEA A</b>													
	25 <1910	% C	% Mn	% Si	% P	% S	Re	Rm	A %	KCU	KV		
											-20	0	20
mx		<b>0,127</b>	<b>0,431</b>	<b>0,038</b>	<b>0,034</b>	<b>0,044</b>	<b>275</b>	<b>363</b>	<b>32,4</b>	<b>138,2</b>	<b>16,3</b>	<b>40,6</b>	<b>88,0</b>
Sx <sup>2</sup>		0,000919	0,010836	0,000753	0,000278	0,000344	1246,893	1439,74	68,75	3453	58,67	1356,63	1975,09
Sx		<b>0,03031</b>	<b>0,104</b>	<b>0,027</b>	<b>0,016</b>	<b>0,016</b>	<b>41,92</b>	<b>38,69</b>	<b>8,12</b>	<b>58,54</b>	<b>8,31</b>	<b>20,8</b>	<b>44,4</b>
Vx, %		<b>23,8</b>	<b>24,1</b>	<b>70,4</b>	<b>47,3</b>	<b>37,3</b>	<b>15,3</b>	<b>10,7</b>	<b>25,1</b>	<b>42,4</b>	<b>51,1</b>	<b>51,2</b>	<b>53,0</b>
3,09	<b>99%</b>	0,220658	0,75236	0,12143	0,08344	0,09344	145,4672	243,4479	7,3092	-42,6886	-9,3779	-23,672	-49,196
2	<b>97,72%</b>	0,18762	0,639	0,092	0,066	0,076	191,16	285,62	16,16	21,12	-0,32	-1	-0,8
<b>1,645</b>	<b>95%</b>	<b>0,17686</b>	<b>0,60208</b>	<b>0,082415</b>	<b>0,06032</b>	<b>0,07032</b>	<b>206,0416</b>	<b>299,355</b>	<b>19,0426</b>	<b>41,9017</b>	<b>2,63005</b>	<b>6,384</b>	<b>14,962</b>
1,281	<b>90%</b>	0,165827	0,564224	0,072587	0,054496	0,064496	221,3005	313,4381	21,99828	63,21026	5,65489	13,9552	31,1236
<b>gamma=95%</b>													
<b>1,835</b>	90% Li	0,071381	0,24016	-0,01155	0,00464	0,01464	<b>198,0768</b>	<b>292,0039</b>	<b>17,4998</b>	<b>30,7791</b>	<b>1,05115</b>	<b>2,432</b>	<b>6,526</b>
2,21	90% Ls	<b>0,182619</b>	<b>0,62184</b>	<b>0,087545</b>	<b>0,06336</b>	<b>0,07336</b>	351,9232	433,9962	47,3002	245,6209	31,54885	78,768	169,474
<b>2,29</b>	95% Li	0,05759	0,19284	-0,02383	-0,00264	0,00736	<b>179,0032</b>	<b>274,3999</b>	<b>13,8052</b>	<b>4,1434</b>	<b>-2,7299</b>	<b>-7,032</b>	<b>-13,676</b>
2,63	95% Ls	<b>0,19641</b>	<b>0,66916</b>	<b>0,09983</b>	<b>0,07064</b>	<b>0,08064</b>	370,9968	451,6001	50,9948	272,2566	35,3299	88,232	189,676
<b>3,155</b>	99% Li	0,031372	0,10288	-0,04719	-0,01648	-0,12842	142,7424	240,9331	6,7814	-46,4937	-17,6757	-43,8135	-96,4011
3,455	99% Ls	0,222628	0,75912	0,381449	0,08448	0,09448	407,2576	485,067	67,3886	322,8937	42,51805	106,224	228,082
<b>gamma=99%</b>													
<b>2,125</b>	90% Li	0,062591	0,21	-0,01938	0	0,01	185,92	280,7838	15,145	13,8025	-1,35875	-3,6	-6,35
2,495	90% Ls	0,191409	0,652	0,095375	0,068	0,078	364,08	445,2163	49,655	262,5975	33,95875	84,8	182,35
<b>2,63</b>	95% Li	0,047285	0,15748	-0,03301	-0,00808	0,00192	164,7504	261,2453	11,0444	-15,7602	-5,5553	-14,104	-28,772
2,97	95% Ls	0,206715	0,70452	0,10901	0,07608	0,08608	385,2496	464,7547	53,7556	292,1602	38,1553	95,304	204,772
<b>3,6</b>	99% Li	0,017884	0,0566	-0,0592	-0,0236	-0,0136	124,088	223,716	32,4	-72,544	-13,616	-34,28	-71,84
3,91	99% Ls	0,236116	0,8054	0,1352	0,0916	0,1016	425,912	502,284	61,632	348,944	46,216	115,48	247,84



ANEXA A.III-4

INTERVALE de TOLERANTE STATISTICE  
Colectivitatea B - poduri construite dupa 1910

Intervalele de tolerante statistice pentru variabilele aleatoare analizate - COLECTIVITATEA B

22 > 1910	% C	% Mn	% Si	% P	% S	Re	Rm	A %	KCU	-20	-10	0	10	20
mx	0,132	0,465	0,049	0,031	0,041	265	371	41	158,4	27,4	42,5	53,7	85,4	103,5
Sx2	0,001171	0,010626	0,001139	0,000328	0,000453	452,06	569,99	49,71	3715,586	237,3	500,4727	653,56	1331,655	995,974
Sx	0,034	0,103	0,034	0,018	0,021	21,262	23,87	7,05	60,96	15,4	22,37	25,56	36,49	31,56
Vx, %	25,9	22,1	69,4	58,3	52,3	8	6,4	17,2	38,5	56,2	52,7	47,6	42,7	30,5
99%	0,23706	0,78327	0,15406	0,08662	0,10589	199,3004	297,2417	19,2155	-29,9664	-20,186	-26,6233	-25,2804	49,2749	5,9796
97,72%	0,2	0,671	0,117	0,067	0,083	222,476	323,26	26,9	36,48	-3,4	-2,24	2,58	49,74197	40,38
95%	0,18793	0,634435	0,10493	0,06061	0,075545	230,024	331,7339	29,40275	58,1208	2,067	5,70135	11,6538	50,7345	51,5838
90%	0,175554	0,596943	0,092554	0,054058	0,067901	237,7634	340,4225	31,96895	80,31024	7,6726	13,84403	20,95764	52,559	63,07164
gamma=95%														
90% Li	0,06961	0,275995	-0,01339	-0,00203	0,002465	225,9842	327,1986	28,06325	46,5384	-0,859	1,45105	6,7974	18,44085	45,5874
90% Ls	0,19439	0,654005	0,11139	0,06403	0,079535	304,8158	414,8015	53,93675	270,2616	55,659	83,54895	100,6026	152,3592	161,4126
95% Li	0,05414	0,22913	-0,02886	-0,01022	-0,00709	216,31	316,3377	24,8555	18,8016	-7,866	-8,7273	-4,8324	1,8379	31,2276
95% Ls	0,20986	0,70087	0,12686	0,07222	0,08909	313,69	425,6623	57,1445	297,9984	62,666	93,7273	112,2324	168,9621	175,7724
99% Li	0,02473	0,140035	-0,05827	-0,02579	-0,132454	197,9184	295,6902	18,75725	-33,9288	-26,70739	-28,07735	-62,04814	-29,72595	-156,7673
99% Ls	0,23927	0,789965	0,485114	0,08779	0,107255	332,0816	446,3099	111,9812	350,7288	75,987	113,0774	134,3418	200,526	203,0718
gamma=99%														
90% Li	0,05975	0,246125	-0,02325	-0,00725	-0,003625	219,8183	320,2763	26,01875	28,86	-5,325	-5,03625	-0,615	7,85875	36,435
90% Ls	0,20425	0,683875	0,12125	0,06925	0,085625	310,1818	421,7238	55,98125	287,94	60,125	90,03625	108,015	162,9413	170,565
95% Li	0,04258	0,19411	-0,04042	-0,01634	-0,01423	209,0809	308,2219	22,4585	-1,9248	-13,102	-16,3331	-13,5228	-10,5687	20,4972
95% Ls	0,22142	0,73589	0,13842	0,07834	0,09623	320,9191	433,7781	59,5415	318,7248	67,902	101,3331	120,9228	181,3687	186,5028
99% Li	0,0096	0,8942	-0,0734	-0,0338	-0,0346	188,4568	285,068	41	-61,056	-28,04	-38,032	-38,316	-45,964	-10,116
99% Ls	0,2544	0,8358	0,1714	0,0958	0,1166	341,5432	456,932	66,38	377,856	82,84	123,032	145,716	216,764	217,116

ANEXA A.III-5

Expresiile CURBELOR DE CORELATIE intre  
compozitia chimica a otelului si caracteristicile mecanice

		<b>Relatii de corelatie</b> $Y = f(x)$	
Arg	Mec. Caract		
x	Y	Colectivitatea A (<1910)	Colectivitatea B (>1910)
% C	$R_e$	$= 6465.9x^2 - 836x + 270.58$	$= 699.04x^2 + 21.353x + 248.75$
	$R_m$	$= 3212.5x^2 + 10.447x + 306.65$	$= 2683.5x^2 - 317.47x + 363.27$
	A%	$= 86.605x^2 + 106.52x + 17.322$	$= 86.605x^2 + 103.5x + 17.322$
	KCU	$= -15941x^2 + 4488x - 160.82$	$= -15941x^2 + 4488x - 160.82$
	KV -20°C	$= -1206.8x^2 + 309.74x - 2.39$	$= -1206.8x^2 + 309.74x - 2.39$
	KV 0°C	$= 8217x^2 - 2885.5x + 270.86$	$= 8217x^2 - 2885.5x + 270.86$
	KV +20°C	$= -5273.6x^2 + 721.27x + 92.848$	$= -5273.6x^2 + 721.27x + 92.848$
% C <sub>e</sub>	$R_e$	$= 123.85x^2 - 594.46x + 140.04$	$= 699.04x^2 + 21.353x + 248.76$
	$R_m$	$= -1432.3x^2 + 1179.5x + 177.45$	$= 2683.5x^2 - 317.47x + 363$
	A%	$= 77.93x + 15.514$	$= 18.71x + 43.475$
%Mn/c	A%	$= 0.7465x^2 - 7.52x - 48.794$	$= 0.8993x^2 - 5.78x + 49.3$
	KCU	$= 4.615x + 121.96$	$= 19.27x^2 - 140.17x + 295.81$
	KV -20°C	$= 3.04x + 7.184$	$= 1.599x^2 - 10.805x + 44.65$
	KV 0°C	$= 21.08x - 25.436$	$= 8.829x^2 - 73.74x + 197.42$
	KV +20°C		$= 2.6964x^2 - 13.795x + 115.35$
%Si	A%	$= -2991.8x^2 + 414.08x + 23.111$	$= -497.71x^2 + 84.3x + 38.6$
	KCU	$= -19277x^2 + 1985.6x + 104.46$	$= -8927.8x^2 + 1215.5x + 133.58$
	KV -20°C	$= -190.28x + 25.96$	$= -660.49x^2 + 184.56x + 20.719$
	KV 0°C	$= -558.33x + 67.836$	$= -2236.7x^2 + 278.62x + 47.855$
	KV +20°C	$= -157.21x + 95.73$	$= -7452x^2 + 668.94x + 96.644$
%S	A%	$= 4828.3x^2 - 452.8x + 41.69$	$= -209.23x + 49.512$
	KCU	$= 16469x^2 - 2341.8x + 204.63$	$= 42454x^2 - 5898x + 309.72$
	KV -20°C	$= 3907.9x^2 - 310.41x + 20.637$	$= -425.72x + 44.728$
	KV 0°C	$= -14910x^2 + 1074.4x + 28.328$	$= -728.01x + 83.299$
	KV +20°C	$= -33092x^2 + 1910x + 81.877$	$= -305x + 115.86$
%P	A%	$= 63.425x + 30.218$	$= 713.5x^2 - 3.31x + 40.192$
	KCU	$= -22667x^2 + 1563.7x + 117.28$	$= 14339x^2 - 2463.5x + 216.5$
	KV -20°C	$= -1534.5x^2 + 171.69x + 24.038$	$= -1534.5x^2 + 171.69x + 216.5$
	KV 0°C	$= -812.21x + 66.303$	$= -8172x^2 + 786.84x + 39.688$
	KV +20°C	$= -996.32x + 119.55$	$= -2362.6x^2 - 741.35x + 129.49$

ANEXA A.V-1

**Expresiile TENSIUNILOR LA VARFUL FISURII  
pentru modurile I si II intr-un material elastic si izotrop**

	Modul I	Modul II
$\sigma_x$	$\frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right)$	$\frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \left( 2 + \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \right)$
$\sigma_y$	$\frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right)$	$\frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2}$
$\tau_{xy}$	$\frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}$	$\frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right)$
$\sigma_z$	0 - stare plana de tensiune $\vartheta(\sigma_x + \sigma_y)$ -stare plana de deformatie	0 - stare plana de tensiune $\vartheta(\sigma_x + \sigma_y)$ -stare plana de deformatie
$\tau_{xz}, \tau_{yz}$	0	0

$\nu$  = coeficientul contractiei transversale;  $r, \theta$  = conform figurii.

**Expresiile DEPLASARILOR LA VARFUL FISURII  
pentru modurile I si II intr-un material elastic si izotrop**

	Modul I	Modul II
$u$	$\frac{K_I}{2G} \sqrt{\frac{r}{2r}} \cos \frac{\theta}{2} \left( k - 1 + 2 \sin^2 \left( \frac{\theta}{2} \right) \right)$	$\frac{K_{II}}{2G} \sqrt{\frac{r}{2r}} \sin \frac{\theta}{2} \left( k + 1 + 2 \cos^2 \left( \frac{\theta}{2} \right) \right)$
$v$	$\frac{K_I}{2G} \sqrt{\frac{r}{2r}} \sin \frac{\theta}{2} \left( k + 1 - 2 \cos^2 \left( \frac{\theta}{2} \right) \right)$	$\frac{K_{II}}{2G} \sqrt{\frac{r}{2r}} \cos \frac{\theta}{2} \left( k - 1 - 2 \sin^2 \left( \frac{\theta}{2} \right) \right)$

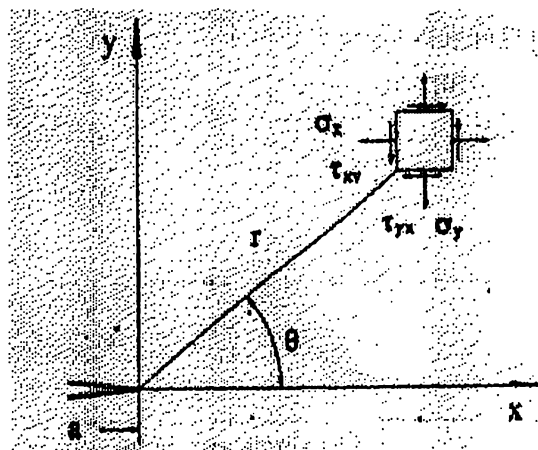
$G$  = modulul de elasticitate transversal;

$K=3-4\nu$  = pentru starea plana de deformatie;

$K= (3-\nu) / (1+\nu)$  = pentru starea plana de tensiune.

**Expresiile  
TENSIUNILOR si DEFORMATIILOR NENULE LA VARFUL FISURII  
pentru modul III intr-un material elastic si izotrop**

	Modul III
$\tau_{xz}$	$-\frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2}$
$\tau_{yz}$	$\frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2}$
$w$	$\frac{2K_{III}}{G} \sqrt{\frac{r}{2r}} \sin \frac{\theta}{2}$



**ANEXA A.V-2**

**EXPRESIILE FACTORULUI DE INTENSITATE a TENSIUNII**

Nr. Crt.	Geometria elementului	Relatia de calcul	Conditii
1.	FIGURA A.V.2.-1.a	$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \left( \sec \frac{\pi a}{W} \right)^2$ $K_{II} = \tau \sqrt{\pi a} \quad (\text{daca } a/w \text{ este mic})$	FIGURA A.V.2.-1.b
2.	FIGURA A.V.2.-2.	$K_I = Y \sigma \sqrt{\pi a} \quad \text{cu:}$ $Y = \left( 1,99 - 0,41\lambda + 18,7\lambda^2 - 38,48\lambda^3 + 53,85\lambda^4 \right)$	$0 \leq \lambda \leq 0,6$
		$Y = \frac{1}{2} \lambda^{-1/2} (1-\lambda)^{-3/2} (1+3\lambda)$	$0,3 \leq \lambda \leq 1,0$
3.	FIGURA A.V.2.-3.	$K_I = Y \sigma \sqrt{\pi a} \quad \text{cu:}$	$\lambda = \frac{2a}{W}$
		$Y = \sqrt{\pi} \left( 1,122 - 0,561\lambda - 0,015\lambda^2 + 0,091\lambda^3 \right) (1-\lambda)^{-\frac{1}{2}}$	$0 \leq \lambda \leq 1,0$
4.	FIGURA A.V.2.-4.	$K_I = \frac{PS}{BW^{3/2}} \left\{ 3 \left( \frac{a}{W} \right)^{1/2} \left[ \left( 1,99 - \frac{a}{W} \right) \left( 1 - \frac{a}{W} \right) \left( 2,15 - 3,93 \frac{a}{W} + 2,7 \left( \frac{a}{W} \right)^2 \right) \right] \right\} /$ $\left[ 2 \left( 1 + 2 \frac{a}{W} \right) \left( 1 - \frac{a}{W} \right)^{3/2} \right]$	B=grosimea
5.	FIGURA A.V.2.-5.	$K_I = \frac{6M}{tW^2} \sqrt{\pi a} \cdot F_1(\alpha) \quad \text{cu:}$	$\alpha = \frac{a}{W}$
		$F_1(\alpha) = 1,122 - 1,4\alpha + 7,33\alpha^2 - 13,08\alpha^3 + 14\alpha^4$	
6.	FIGURA A.V.2.-6.	$K_I = \frac{6M}{tW^2} \sqrt{\pi a} \cdot F_1(\alpha)$	$\alpha = \frac{2a}{W}$
		$F_1(\alpha) = \alpha \frac{\sqrt{1-\alpha}}{1-\alpha^3} \left( 1 + \frac{1}{2}\alpha + \frac{3}{8}\alpha^2 - \frac{11}{16}\alpha^3 + 0,464\alpha^4 \right)$	
7.	FIGURA A.V.2.-7.	$K_I = \frac{6M}{tW^2} \sqrt{\pi a} \cdot F_1(\alpha) \quad \text{cu:}$	$\alpha = \frac{2a}{W}$
		$F_1(\alpha) = \frac{1}{(1-\alpha)^{3/2}} \left\{ \frac{4}{3\pi} \left[ 1 + \frac{1}{2}(1-\alpha) + \frac{3}{8}(1-\alpha)^2 + \frac{5}{16}(1-\alpha)^3 \right] - 0,47(1-\alpha)^4 + 0,663(1-\alpha)^5 \right\}$	
8.	FIGURA A.V.2.-8.	$K_I(A) = \sigma \sqrt{\pi a} \{F_1(\alpha, \beta)\}_A \quad \text{cu:}$	$\alpha = \frac{2a}{W - 2e}$
		$F_1(A) = \sqrt{\sec \frac{\pi a}{2} \cdot \frac{\sin(2\alpha\beta)}{2\alpha\beta}}$	$\beta = \frac{2e}{W}$
9.	FIGURA A.V.2.-9.	$K_I = p \sqrt{\pi a} \quad \text{cu:}$	
		<p>p = sarcina uniform distribuita pe unitatea de grosime</p>	

Nr. Crt.	Geometria elementului	Relatia de calcul	Conditii
10.	FIGURA A.V.2.-10.	$K_I = \frac{P}{BW^{1/2}} \left[ \left( 2 + \frac{a}{W} \right) \left( 0,886 + 4,64 \left( \frac{a}{W} \right) + 13,32 \left( \frac{a}{W} \right)^2 + 14,72 \left( \frac{a}{W} \right)^3 - 5,6 \left( \frac{a}{W} \right)^4 \right) \right] / \left( 1 - \frac{a}{W} \right)^{3/2}$	B=grosimea
11.	Fisuri patruse pe grosime in placi	$K_I = f_w \cdot M_m \cdot \sigma_{\max} \cdot \sqrt{\pi a} \quad \text{cu}$	
	FIGURA A.V.2.-11.	$f_w = \left\{ \sec(\pi a / W) \right\}^{0.5}$	
	a) Solicitare in STAREA DE MEMBRANA (intindere)	$M_m = 1$	
	b) Solicitare de INCOVOIERE	$M_b = 1$	
12.	Fisuri de supraf. (nestrăpuse) in placi	$K_I = f_w \cdot M_m \cdot \sigma_{\max} \cdot \sqrt{\pi a} \quad \text{cu}$	
	$0 \leq a/2c \leq 1$ $2c/W < 0.5$ $0 \leq \theta \leq \pi$ $a/B < 1.25(a/c + 0.6)$ $a/B < 1.0$	$f_w = \left\{ \sec \left[ (\pi c / W)(a/B)^{0.5} \right] \right\}^{0.5}$	
	FIGURA A.V.2.-12.	a) Solicitare in STAREA DE MEMBRANA (intindere)	$0 \leq a/2c \leq 0.1$ $0.1 < a/2c \leq 1$
		$M_m = \left\{ M_1 + M_2(a/B)^2 + M_3(a/B)^4 \right\} \cdot g \cdot f_\theta / \Phi$	
		unde $\Phi$ este definit ca la pct. 11.a,	
		$M_1 = 1.13 - 0.09(a/c)$	$0 \leq a/2c \leq 0.5$
		$M_1 = (c/a)^{0.5} \{ 1 + 0.04(c/a) \}$	$0.5 \leq a/2c \leq 1$
		$M_2 = 0.89 / \{ 0.2 + (a/c) \} - 0.54$	$0 \leq a/2c \leq 0.5$
		$M_2 = 0.2(c/a)^4$	$0.5 \leq a/2c \leq 1$
		$M_3 = 0.5 - 1 / \{ 0.65 + (a/c) \} + 14 \{ 1 - (a/c) \}^{2.4}$	$0 \leq a/2c \leq 0.5$
		$M_3 = -0.11(c/a)^4$	$0.5 \leq a/2c \leq 1$
	$g = 1 + \left\{ 0.1 + 0.35(a/B)^2 \right\} (1 - \sin \theta)^2$	$0 \leq a/2c \leq 0.5$	
	$g = 1 + \left\{ 0.1 + 0.35(c/a)(a/B) \right\}^2 (1 - \sin \theta)^2$	$0.5 \leq a/2c \leq 1$	
	$f_\theta = \left[ (a/c)^2 \cdot \cos^2 \theta + \sin^2 \theta \right]^{0.25}$	$0 \leq a/2c \leq 0.5$	
	$f_\theta = \left[ (c/a)^2 \cdot \sin^2 \theta + \cos^2 \theta \right]^{0.25}$	$0.5 \leq a/2c \leq 1$	



Nr. Crt.	Geometria elementului	Relatia de calcul	Conditii
		<b>Solicitare in STAREA DE MEMBRANA (intindere)</b>	
		$K_I = f_w \cdot M_b \cdot \sigma_{\max} \cdot \sqrt{\pi a}$ cu:	
		$M_b = H \cdot M_m$ , unde:	
		$M_m$ este dat la pct. a) si $H = H_1 + (H_2 - H_1) \cdot \sin^q \theta$	
		$q = 0.2 + (a/c) + 0.6(a/B)$	$0 \leq a/2c \leq 0.5$
		$q = 0.2 + (c/a) + 0.6(a/B)$	$0.5 \leq a/2c \leq 1$
		$H_1 = 1 - 0.34(a/B) - 0.11(a/c)(a/B)$	$0 \leq a/2c \leq 0.5$
		$H_1 = 1 - \{0.04 + 0.41(c/a)\}(a/B) + \{0.55 - 1.93(c/a)^{0.75} + 1.38(c/a)^{1.5}\}(a/B)^2$	$0.5 \leq a/2c \leq 1$
		$G_1 = -1.22 - 0.12(a/c)$	$0 \leq a/2c \leq 0.5$
		$G_1 = -2.11 + 0.77(c/a)$	$0.5 \leq a/2c \leq 1$
		$G_2 = 0.55 - 1.05(a/c)^{0.75} + 0.47(a/c)^{1.5}$	$0 \leq a/2c \leq 0.5$
		$G_2 = 0.55 - 0.72(c/a)^{0.75} + 0.14(c/a)^{1.5}$	$0.5 \leq a/2c \leq 1$
13.	Fisuri pe supraf. intinsa	$K_I = f_w \cdot M_m \cdot \sigma_{\max} \cdot \sqrt{\pi a}$ cu:	
		$f_w = 1$	
	<b>FIGURA A.V.2.-13</b>	<b>a) Solicitare in STAREA DE MEMBRANA (intindere)</b>	
		$M_m = 1.12 - 0.23(a/B) + 10.6(a/B)^2 - 21.7(a/B)^3 + 30.4(a/B)^4$	$a/B \leq 0.6$
		<b>b) Solicitare de INCOVOIERE</b>	
		$M_b = 1.12 - 1.39(a/B) + 7.32(a/B)^2 - 13.1(a/B)^3 + 14(a/B)^4$	
14.	Fisuri inglobate in placi	$K_I = f_w \cdot M_m \cdot \sigma_{\max} \cdot \sqrt{\pi a}$ cu:	
	<b>FIGURA A.V.2.-14</b>	$f_w = \sec \left\{ \left[ (\pi c/w) \left( 2a/B' \right)^{0.5} \right] \right\}^{0.5}$	$B' = 2a + 2p$
		<b>a) Solicitare in STAREA DE MEMBRANA (INTINDERE)</b>	$0 \leq a/2c \leq 0.1$
			$0.1 < a/2c \leq 1$
	$0 \leq a/2c \leq 1.0$ $2c/W < 0.5$ $-\pi \leq \theta \leq \pi$	$M_m \left\{ M_1 + M_2 \left( 2a/B' \right)^2 + M_3 \left( 2a/B' \right)^4 \right\} \cdot g \cdot f\theta / \Phi$ ; unde: $\Phi$ este definit ca la pct. 11.a,	
		$M_1 = 1$	$0 \leq a/2c \leq 0.5$
		$M_1 = (c/a)^{0.5}$	$0.5 \leq a/2c \leq 1$

Nr. Crt.	Geometria elementului	Relatia de calcul	Conditii
		$M_2 = \frac{0.05}{0.11 + (a/c)^{3/2}}$	
		$M_3 = \frac{0.29}{0.23 + (a/c)^{3/2}}$	
		$g = 1 - \left[ \frac{\left( \frac{2a}{B'} \right)^4 \left\{ 2.6 - \sqrt{\left( \frac{4a}{B'} \right)} \right\}}{1 + 4(a/c)} \right]  \cos \theta $	
		$f_\theta = \left[ (a/c)^2 \cdot \cos^2 \theta + \sin^2 \theta \right]^{0.25}$	0 ≤ a/2c ≤ 0.5
		$f_\theta = \left[ (c/a)^2 \cdot \sin^2 \theta + \cos^2 \theta \right]^{0.25}$	0.5 ≤ a/2c ≤ 1
	<b>0 ≤ a/2c ≤ 1.0</b> <b>θ = π/2</b>	<b>b) Solicitare de INCOVOIERE</b>	
		$K_I = f_w \cdot M_b \cdot \sigma_{\max} \cdot \sqrt{\pi a} \quad \text{cu:}$	
		$M_b = \lambda_1 + \lambda_2(p/B) + \lambda_3(a/B) + \lambda_4 \left( pa/B^2 \right) \quad \text{unde:}$	
		$\lambda_1 = 1.044; \quad \lambda_2 = -2.44; \quad \lambda_3 = 0; \quad \lambda_4 = -3.166;$	p/B ≤ 0.1841
		$\lambda_1 = 0.94; \quad \lambda_2 = -1.875; \quad \lambda_3 = -0.1146; \quad \lambda_4 = -1.844;$	p/B > 0.1841 a/B ≤ 0.125
		$\lambda_1 = 1.06; \quad \lambda_2 = -2.20; \quad \lambda_3 = \lambda_4 = -0.6666;$	p/B ≤ 0.1841 a/B > 0.125
<b>15.</b>	<b>Fisura de colt in placi</b>	$K_I = f_w \cdot M_m \cdot \sigma_{\max} \cdot \sqrt{\pi a} \quad \text{cu:}$	
	<b>FIGURA A.V.2.-15</b>	<b>a) Solicitare in STAREA DE MEMBRANA (INTINDERE)</b>	
	<b>0.2 ≤ a/c ≤ 2</b> <b>a/B &lt; 1</b>	$f_w = 1 - 0.2\lambda + 9.4\lambda^2 - 19.4\lambda^3 + 27.1\lambda^4$ $\lambda = \frac{c}{w} \sqrt{a/B}$	c/W ≤ 0.5
	<b>0 ≤ θ ≤ π/2</b> <b>c/W &lt; 0.5</b>	$M_m = \left\{ M_1 + M_2(a/B)^2 + M_3(a/B)^4 \right\} \cdot g_1 \cdot g_2 \cdot f_\theta / \Phi;$ <b>unde: Φ este definit ca la pct. 11.a,</b>	
		$M_1 = 1.08 - 0.03(a/c)$	0.2 ≤ a/c ≤ 1.0
		$M_1 = \{1.08 - 0.03(c/a)\}(c/a)^{0.5}$	1.0 ≤ a/c ≤ 2.0
		$M_2 = \{1.06/(0.3 + a/c)\}(c/a)^{0.5}$	0.2 ≤ a/c ≤ 1.0
		$M_2 = 0.375(c/a)^2$	1.0 ≤ a/c ≤ 2.0

Nr. Crt.	Geometria elementului	Relatia de calcul	Conditii
		$M_3 = -0.5 + 0.25(a/c) + 14.18(1 - a/c)^{1.5}$ $M_3 = -0.25(c/a)^2$	$0,2 \leq a/c \leq 1,0$ $1,0 \leq a/c \leq 2,0$
		$g_1 = 1 + \left\{ 0.08 + 0.4(a/B)^2 \right\} (1 - \sin \theta)^3$ $g_1 = 1 + \left\{ 0.08 + 0.4(c/B)^2 \right\} (1 - \sin \theta)^3$	$0,2 \leq a/c \leq 1,0$ $1,0 \leq a/c \leq 2,0$
		$g_2 = 1 + \left\{ 0.08 + 0.15(a/B)^2 \right\} (1 - \cos \theta)^3$ $g_2 = 1 + \left\{ 0.08 + 0.15(c/B)^2 \right\} (1 - \cos \theta)^3$	$0,2 \leq a/c \leq 1,0$ $1,0 \leq a/c \leq 2,0$
		$f_0 = \left\{ (a/c)^2 \cdot \cos^2 \theta + \sin^2 \theta \right\}^{0.25}$ $f_0 = \left\{ (c/a)^2 \cdot \sin^2 \theta + \cos^2 \theta \right\}^{0.25}$	$0,2 \leq a/c \leq 1,0$ $1,0 \leq a/c \leq 2,0$
		<b>b) Solicitare de INCOVOIERE</b>	
		$K_I = f_w \cdot M_b \cdot \sigma_{\max} \cdot \sqrt{\pi a} \quad \text{cu:}$ $M_b = H \cdot M_m \quad \text{iar } f_w \text{ si } M_m \text{ ca la pct. 14.a}$	
		$H = H_1 + (H_2 - H_1) \cdot \sin^q \theta$	
		$q = 0.2 + (a/c) + 0.6(a/B)$ $q = 0.2 + (c/a) + 0.6(a/B)$	$0,2 \leq a/c \leq 1,0$ $1,0 \leq a/c \leq 2,0$
		$H_1 = 1 - 0.34(a/B) - 0.11(a/c)(a/B)$ $H_1 = 1 - \left\{ 0.04 + 0.41(c/a) \right\} (a/B) + \left\{ 0.55 - 1.93(c/a)^{0.75} + 1.38(c/a)^{1.5} \right\} (a/B)^2$	$0,2 \leq a/c \leq 1,0$ $1,0 \leq a/c \leq 2,0$
		$H_2 = 1 + G_1(a/B) + G_2(a/B)^2$	
		$G_1 = -1.22 - 0.12(a/c)$ $G_1 = -2.11 + 0.77(c/a)$	$0,2 \leq a/c \leq 1,0$ $1,0 \leq a/c \leq 2,0$
		$G_2 = 0.64 - 1.05(a/c)^{0.75} + 0.47(a/c)^{1.5}$ $G_2 = 0.64 - 0.72(c/a)^{0.75} + 0.14(c/a)^{1.5}$	$0,2 \leq a/c \leq 1,0$ $1,0 \leq a/c \leq 2,0$
16.	<i>Fisura de colt la gaura in placi</i>	$K_I = f_w \cdot M_m \cdot \sigma_{\max} \cdot \sqrt{\pi a} \quad \text{cu:}$	
		<b>a) Solicitare in STAREA DE MEMBRANA (INTINDERE)</b>	
	<b>FIGURA A.V.2.-16</b>	$f_w = \left[ \sec(\pi r / W) \sec \left\{ \frac{\pi(2r + nc)}{4(W/2 - c) + 2nc} \sqrt{(a/B)} \right\} \right]^{0.5}$ <p>n=1 : pentru o singura fisura  n=2 : pentru doua fisuri simetrice</p>	

Nr. Crt.	Geometria elementului	Relatia de calcul	Conditii
	$0.2 \leq a/c \leq 2$ $a/B < 1$ $0.5 \leq r/B \leq 2$ $2(r+c)/W \leq 0.5$ $0 \leq \theta \leq \pi/2$	$M_m = \{M_1 + M_2(a/B)^2 + M_3(a/B)^4\} \cdot g_1 \cdot g_2 \cdot g_3 \cdot g_4 \cdot f_0 / \Phi$ <i>unde: : <math>\Phi</math> este definit ca la pct. 11.a,</i>	
		$M_1 = 1.132 - 0.09(a/c)$ $M_1 = \{1 + 0.04(c/a)\}(c/a)^{0.5}$	$0.2 \leq a/c \leq 1.0$ $1.0 \leq a/c \leq 2.0$
		$M_2 = -0.54 + 0.89/(0.2 + a/c)$ $M_2 = 0.2(c/a)^4$	$0.2 \leq a/c \leq 1.0$ $1.0 \leq a/c \leq 2.0$
		$M_3 = 0.5 - 1/(0.65 + a/c) + 14(1 - a/c)^{24}$ $M_3 = -0.11(c/a)^4$	$0.2 \leq a/c \leq 1.0$ $1.0 \leq a/c \leq 2.0$
		$g_1 = 1 + \{0.1 + 0.35(a/B)^2\} (1 - \sin \theta)^2$ $g_1 = 1 + \{0.1 + 0.35(c/a)(a/B)^2\} (1 - \sin \theta)^2$	$0.2 \leq a/c \leq 1.0$ $1.0 \leq a/c \leq 2.0$
		$g_2 = \left(1 + 1.358\lambda + 1.425\lambda^2 - 1.578\lambda^3 + 2.156\lambda^4\right) / \left(1 + 0.13\lambda^2\right)$ <i>unde:</i> $\lambda = 1 / \{1 + (c/r) \cos(\mu\theta)\}$ $\mu = 0.85$	
		$g_3 = (1 + 0.04a/c) \{1 + 0.1(1 - \cos \theta)^2\} \{0.85 + 0.15(a/B)^{0.25}\}$ $g_3 = (1.13 - 0.09c/a) \{1 + 0.1(1 - \cos \theta)^2\} \{0.85 + 0.15(a/B)^{0.25}\}$	$0.2 \leq a/c \leq 1.0$ $1.0 \leq a/c \leq 2.0$
		$g_4 = 1 - 0.7(1 - a/B)(a/c - 0.2)(1 - a/c)$ $g_4 = 1$	$0.2 \leq a/c \leq 1.0$ $1.0 \leq a/c \leq 2.0$
		$f_0 = \left\{ (a/c)^2 \cdot \cos \theta + \sin^2 \theta \right\}^{0.25}$ $f_0 = \left\{ (c/a)^2 \cdot \sin^2 \theta + \cos^2 \theta \right\}^{0.25}$	$0.2 \leq a/c \leq 1.0$ $1.0 \leq a/c \leq 2.0$
		<b>b) Solicitare de INCOVOIERE</b>	
	$K_I = f_w \cdot M_b \cdot \sigma_{\max} \cdot \sqrt{\pi a}$ cu: $M_b = H \cdot M_m$ iar $f_w$ si $M_m$ ca la pct.15.a cu: $\mu = 0.85 - 0.25(a/B)^{0.25}$ $H = H_1 + (H_2 - H_1) \cdot \sin^q \theta$		
	$q = 0.1 + 1.3a/B + 1.1a/c - 0.7(a/c)(a/B)$ $q = 0.2 + c/a + 0.6a/b$		$0.2 \leq a/c \leq 1.0$ $1.0 \leq a/c \leq 2.0$
	$H_1 = 1 + G_{11}(a/B) + G_{12}(a/B)^2 + G_{13}(a/B)^3$ $H_2 = 1 + G_{21}(a/B) + G_{22}(a/B)^2 + G_{23}(a/B)^3$ unde:		

**Contributii la determinarea capacitatii portante a podurilor metalice existente in vederea mentinerii lor in exploatare**

Nr. Crt.	Geometria elementului	Relatia de calcul	Conditii
		$G_{11} = -0.43 - 0.74(a/c) - 0.84(a/c)^2$	$0,2 \leq a/c \leq 1.0$
		$G_{11} = -2.07 + 0.06(c/a)$	$1.0 \leq a/c \leq 2.0$
		$G_{12} = 1.25 - 1.19(a/c) + 4.39(a/c)^2$	$0,2 \leq a/c \leq 1.0$
		$G_{12} = 4.35 + 0.16(c/a)$	$1.0 \leq a/c \leq 2.0$
		$G_{13} = -1.94 + 4.22(a/c) - 5.51(a/c)^2$	$0,2 \leq a/c \leq 1.0$
		$G_{13} = -2.93 - 0.3(c/a)$	$1.0 \leq a/c \leq 2.0$
		$G_{21} = -1.5 - 0.04(a/c) - 1.73(a/c)^2$	$0,2 \leq a/c \leq 1.0$
		$G_{21} = -3.64 + 0.37(c/a)$	$1.0 \leq a/c \leq 2.0$
		$G_{22} = 1.71 - 3.17(a/c) + 6.84(a/c)^2$	$0,2 \leq a/c \leq 1.0$
		$G_{22} = 5.87 - 0.49(c/a)$	$1.0 \leq a/c \leq 2.0$
		$G_{23} = -1.28 + 2.71(a/c) - 5.22(a/c)^2$	$0,2 \leq a/c \leq 1.0$
		$G_{23} = -4.32 + 0.53(c/a)$	$1.0 \leq a/c \leq 2.0$

In relatiile din anexa A.V.2. s-au folosit urmatoarele notatii:

*B* = grosimea elementului;

*W* = latimea elementului;

*C* = semilungimea fisurii;

*r* = raza gaurii;

*a* = adancimea fisurii (la fisurile nestrapunse);



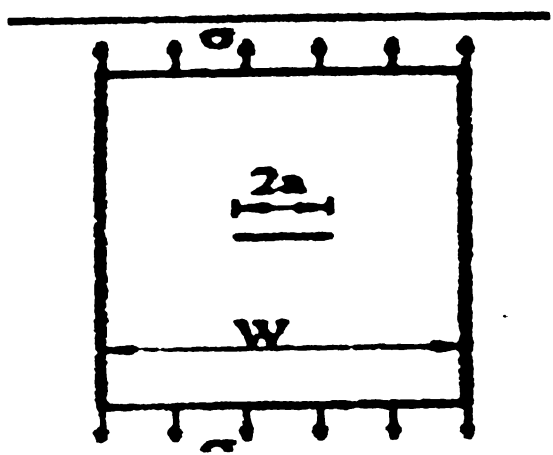


Fig. A.V.2-1a

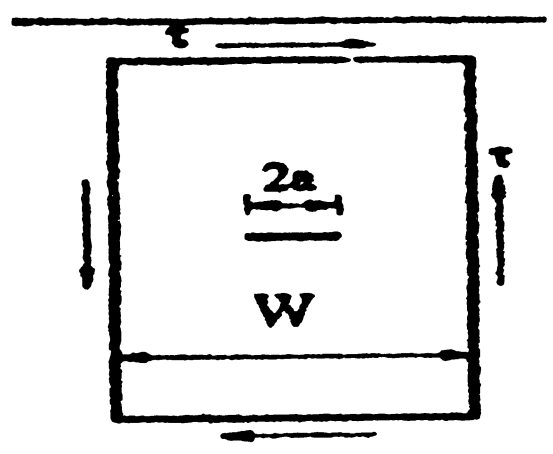


Fig. A.V.2-1b

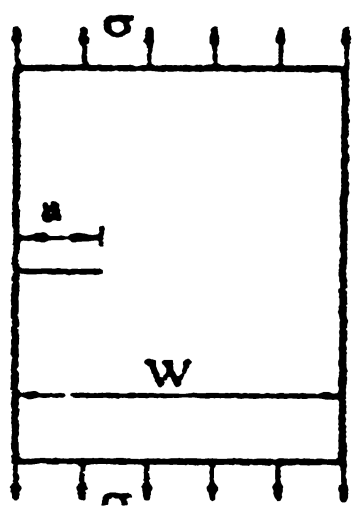


Fig. A.V.2-2

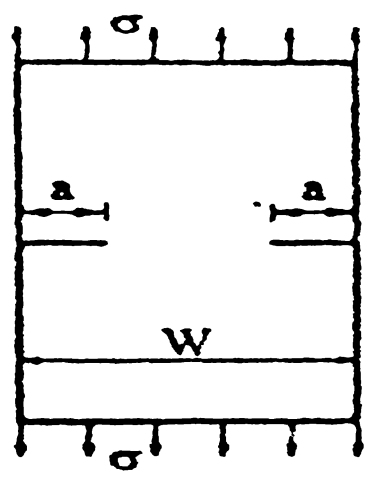


Fig. A.V.2-3

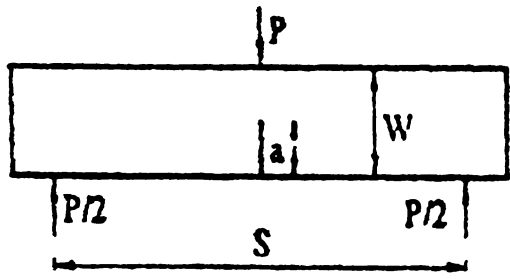


Fig. A.V.2-4

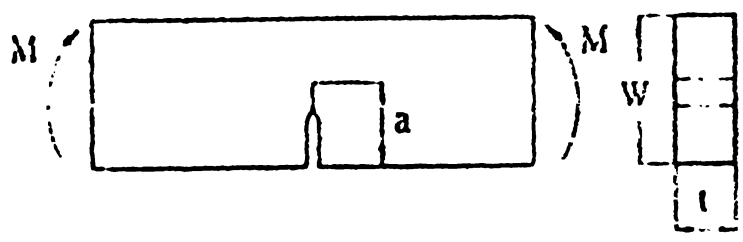


Fig. A.V.2-5

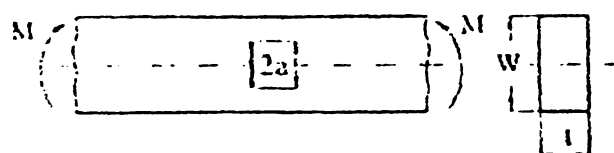


Fig. A.V.2-6

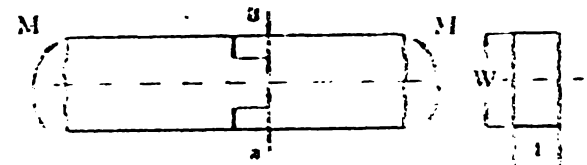


Fig. A.V.2-7

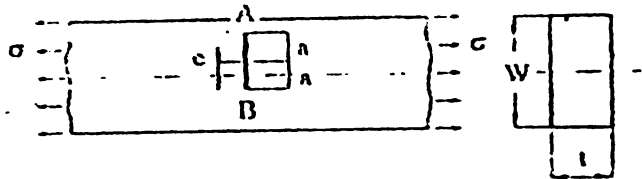


Fig. A.V.2-8

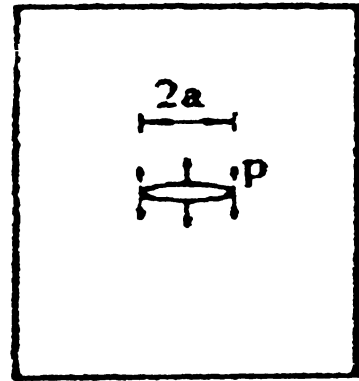


Fig. A.V.2-9

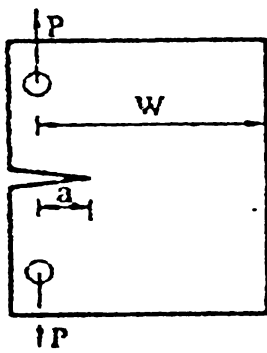


Fig. A.V.2-10

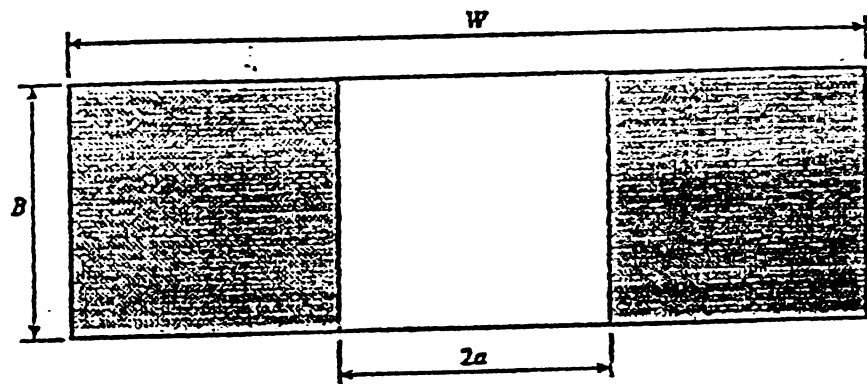


Fig. A.V.2-11

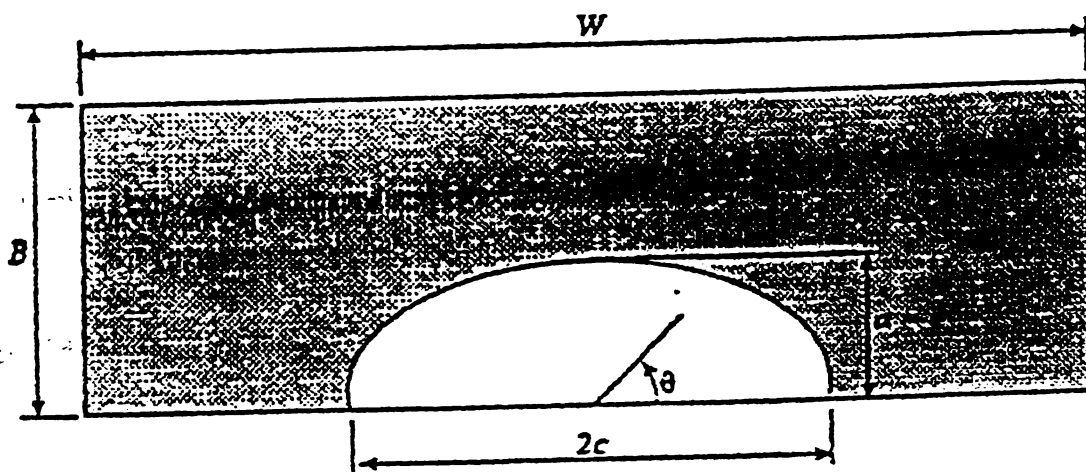


Fig. A.V.2-12

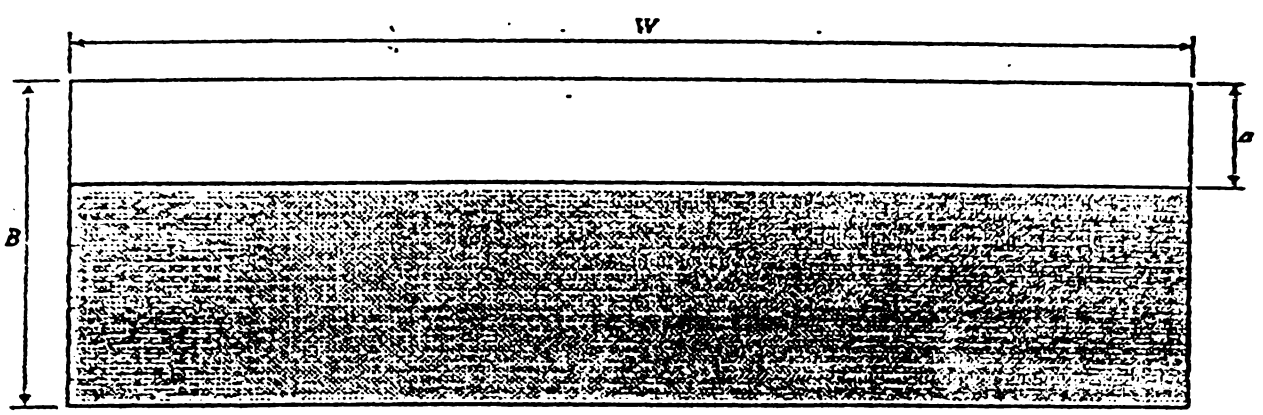


Fig. A.V.2-13

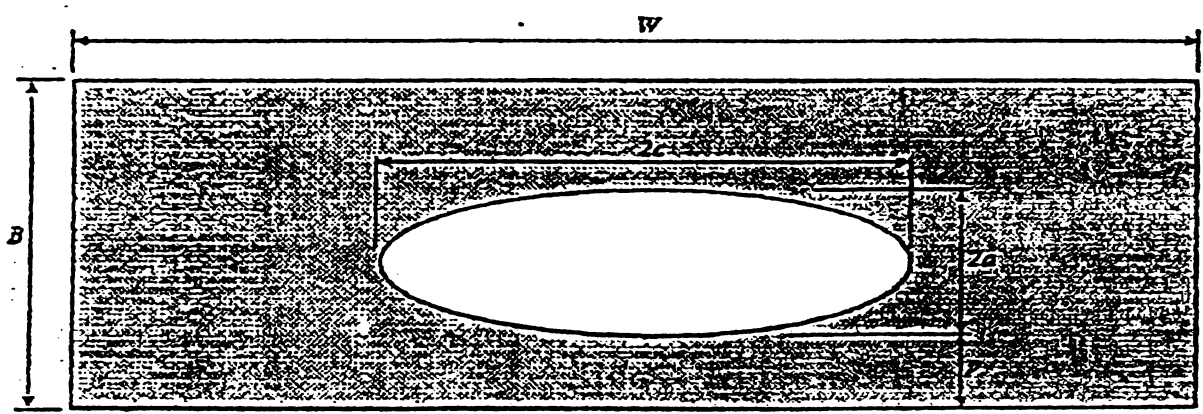


Fig. A.V.2-14

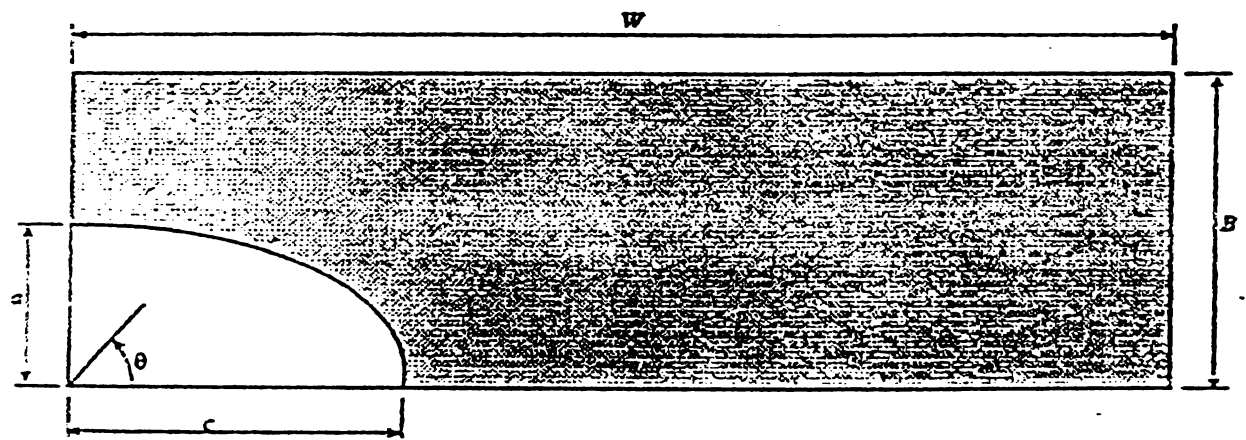


Fig. A.V.2-15

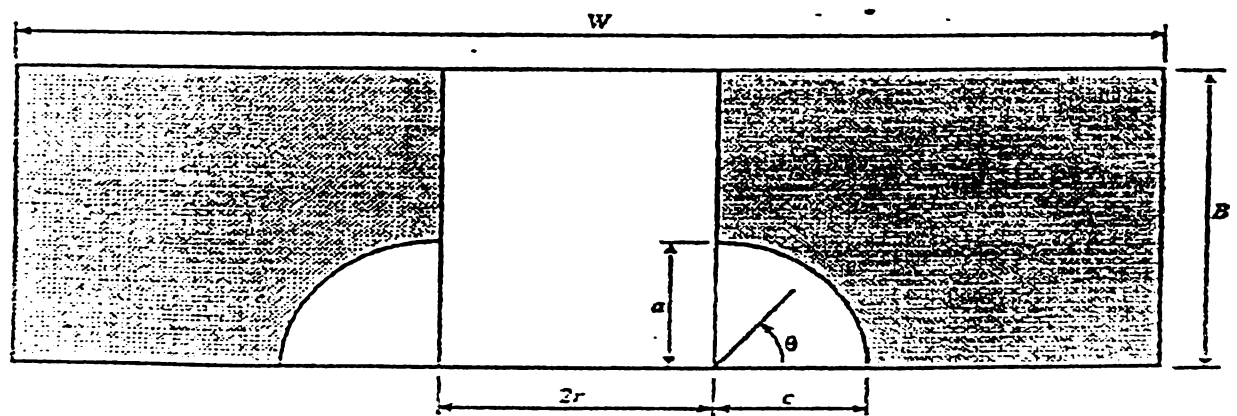


Fig. A.V.2-16

**ANEXA A.V-3**

**MODELE DE PROPAGERE A FISURII**

NR. CRT	FORMA RELATIEI	AUTOR	OBSERVATII
1	$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m$	PARIS, ERDOGAN	<p><math>C_1, C_2</math>-constante de material</p> <p><math>K_c</math> -tenacitatea la rupere;</p> <p><math>K_{Ic}</math> - tenacitatea de rupere pentru modul I;</p> <p><math>\beta=(1+R)/(1-R)</math></p> <p><math>C, M, \alpha</math> - parametri experimentali</p> <p><math>b</math> - parametru ajustabil;</p> <p><math>A, B</math> - constante de material;</p> <p><math>\Delta K_{th}</math> - limita de nepropagare a fisurii;</p> <p><math>\Delta K = K_{max}(1-R)</math>;</p> <p><math>\Delta K</math> - variatia factorului de intensitate a tensiunii</p> <p><math>\sigma_e</math> - limita de elasticitate a materialului;</p> <p style="text-align: right;">* <math>m \in [2, 4]</math></p>
2	$\frac{da}{dN} = C_1 \left( \frac{\Delta K}{1-R} \right)^3 \exp(-C_2 R)$	BROEK, SCHIJVE	
3	$\frac{da}{dN} = \frac{C(\Delta K)^m}{(1-R)K_c - \Delta K}$	FORMAN	
4	$\frac{da}{dN} = \frac{C(1-\beta)^\alpha (\Delta K - \Delta K_{th})^m}{K_c - (1-\beta)\Delta K} *$	ERDOGAN, RATWANI	
5	$\frac{da}{dN} = A \left( \frac{1-bR}{1-R} \right)^m \Delta K$	SULLIVAN, CROOKER	
6	$\frac{da}{dN} = \frac{C}{E^3} \left( \frac{K_{max}}{K_{IC}} \right)^4$	KRAFFT	
7	$\frac{da}{dN} = C \frac{\Delta K^m}{1 - K_c^n}$		
8	$\frac{da}{dN} = C \left[ K_{max} \frac{\Delta K}{2} \right]^2$	ROBERT, ERDOGAN	
9	$\frac{da}{dN} = C [\Delta K]^m K_{max}^n$	ERDOGAN	
10	$\frac{da}{dN} = \frac{C(\Delta K)^m}{K_c}$	MILLER	
11	$\frac{da}{dN} = \frac{C(\Delta K - \Delta K_{th})^m K_{max}}{K_c - K_{max}} *$	ERDOGAN, RATWANI	
12	$\frac{da}{dN} = \left( \frac{\Delta K}{E} \right)^2$	BARSON	
13	$\frac{da}{dN} = \frac{C(\Delta K^2 - \Delta K_{th}^2)^m}{E}$	DONAHUE, CLARK, MCEVILY	
14	$\frac{da}{dN} = C(1+\beta)^n \Delta K^m$	ERDOGAN	
15	$\frac{da}{dN} = \frac{C(1+\beta) \Delta K^3}{K_c - (1+\beta)\Delta K}$	ROBERTS, KIBLER	
16	$\frac{da}{dN} = \frac{C\Delta K^m}{\sqrt{(1-R)K_c - \Delta R}}$	PEARSON	

ANEXA A.V-3 (CONTINUARE)			
NR. CRT	FORMA RELATIEI	AUTOR	OBSERVATII
17	$\frac{da}{dN} = \frac{C(\Delta K)^m}{(1-R)(K_c - K_{\max})}$	YUEN	C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> -constante de material
18	$\frac{da}{dN} = \left(\frac{A}{B-R}\right) \Delta K^m$	YUEN, HOPKINS	
19	$\frac{da}{dN} = \frac{C(\Delta K - \Delta K_{th})^m}{[(1-R)K_c - \Delta K]^n}$	CHU	K <sub>c</sub> - tenacitatea la rupere;
20	$\frac{da}{dN} = C \left( \Delta K^m - \Delta K_{th}^m \right)$	KLESMIL, LUCAS	K <sub>Ic</sub> - tenacitatea de rupere pentru modul I;
21	$\frac{da}{dN} = \left( \frac{\Delta K - \Delta K_{th}}{K_c - K_{\max}} \right)^m$	PRIDLE	β=(1+R)/(1-R)
22	$\frac{da}{dN} = C \left( \frac{\Delta K}{E} \right)^{3.5}$	BLADES	C, M, α - parametri experimentali b - parametru ajustabil; A, B - constante de material;
23	$\frac{da}{dN} = \frac{C \Delta K^m K_{\max}}{K_c - K_{\max}}$	DOVER, HIBBERD	ΔK <sub>th</sub> - limita de nepropagare a fisurii;
24	$\frac{da}{dN} = \frac{(\Delta K - \Delta K_{th})^n}{K_c - K_{\max}}$	BOGAR, CROOKER	ΔK = K <sub>max</sub> (1-R);
25	$\frac{da}{dN} = \frac{C}{\sigma_e E} (\Delta K - \Delta K_{th})^2 \left[ 1 + \frac{\Delta K}{K_{Ic} - K_{\max}} \right]$	FROST, DIXON	ΔK - variatia factorului de intensitate a tensiunii
26	$\frac{da}{dN} = \frac{C \Delta K^2 (\Delta K^2 - \Delta K_{th}^2)}{K_{Ic}^2 - 1}$	BAUSS	σ <sub>e</sub> - limita de elasticitate a materialului;
27	$\frac{da}{dN} = C \left[ (1-R)^{m-1} \Delta K \right]^n$	WALKER	R - coeficientul de asimetrie a ciclului de solicitare
28	$\frac{da}{dN} = C K_{\max}^2 \Delta K$	BROEK, SCHIJVE	E - modulul de elasticitate
29	$\frac{da}{dN} = \frac{C \Delta K^2}{E \sigma_e}$	Bul. ARMN nr. 3/1996	K <sub>MAX</sub> - valoarea maxima a factorului de intensitate a tensiunii
30	$\frac{da}{dN} = C \cdot K_{\max}^m$	Bul. ARMN nr. 3/1996	σ <sub>r</sub> - limita conventionala de rupere a materialului;
31	$\frac{da}{dN} = \frac{\pi}{4} \frac{(1-\rho^2)}{E \sigma_r} \Delta K^2$	Bul. ARMN nr. 3/1996	
32	$\frac{da}{dN} = C \cdot K_{\max} (1-R)^m$	Bul. ARMN nr. 3/1996	