

**UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” TIMIȘOARA  
FACULTATEA DE MECANICĂ**

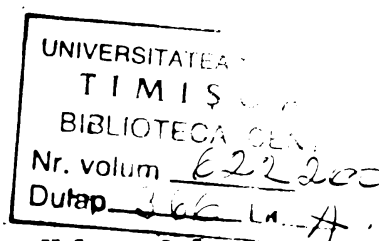
**STUDII DE REZISTENȚĂ  
ASUPRA  
CONDUCTOARELOR**

**LUCRARE ELABORATĂ ÎN VEDEREA  
ACORDĂRII TITLULUI ȘTIINȚIFIC  
DE DOCTOR**

**Conducător științific:  
TIBERIU DIMITRIE BABEU  
Profesor doctor inginer**

**Candidat elaborator  
NICOLAE CIOBOTARU  
Inginer**

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA



## CUPRINS

### 0.INTRODUCERE

### 1.NOȚIUNI GENERALE

- 1.1.Delimitarea domeniului de studiu
- 1.2.Componenta materială a liniilor electroenergetice aeriene de distribuție
- 1.3.Argumente ce justifică abordarea temei
- 1.4.Obiectivele cercetării
- 1.5.Opiniile personale aplicate în managementul cercetării
- 1.6.Stadiul actual de evoluare a degradării în timp a conductoarelor
- 1.7.Concluzii

### 2.NOȚIUNI DESPRE CALCULUL MECANIC RAȚIONAL AL CONDUCTOARELOR DE ALUMINIU - OȚEL FOLOSITE LA LINIILE ELECTRICE AERIENE

2.1.Unele caracteristici mecanice ale conductoarelor de aluminiu - oțel fabricate în România

2.2.Forțele care acționează asupra conductoarelor

- 2.2.1.Incărcarea ( forța ) datorită greutateii proprii
- 2.2.2.Incărcarea ( forța ) datorită poleiului ( gheții )
- 2.2.3.Incărcarea datorită acțiunii vântului
  - 2.2.3.1.Acțiunea staționară
  - 2.2.3.2.Acțiunea cvasi- staționară, dinamică
- 2.2.4.Incărcarea datorită variațiilor de temperatură

2.3.Elemente de calcul mecanic al conductoarelor electrice aeriene

- 2.3.1.Generalități
- 2.3.2.Intinderea conductoarelor în regim normal de exploatare
  - 2.3.2.1.Ipoteze de calcul
  - 2.3.2.2.Ecuația curbei geometrice de echilibru a unui conductor

monometalic uniform încărcat

2.3.2.3. Stabilirea unor formule aplicate la calculul de dimensionare și de verificare a conductoarelor electrice aeriene

### 3.EVOLUȚIA COMPORTĂRII MECANICE A CONDUCTOARELOR

3.1.Introducere

3.2.Definiție

3.3.Componentele evoluției comportării mecanice

3.4.Sistemul relațional între componentele evoluției comportării mecanice

3.5.Dependența matematică generală

3.6.Moduri practice de determinare

3.7.Sinteza factorilor care influențează evoluția comportării mecanice a conductoarelor

3.8.Tipuri de solicitări prezente în conductoare

3.9.Mișcarea spațio - temporală a distribuției tensiunilor pe firele secțiunii

3.10.Concluzii

### 4.CERCETĂRI EXPERIMENTALE ÎN SCOPUL DETERMINĂRII EVOLUȚIEI COMPORTĂRII MECANICE

#### 4.1.Cercetarea structurilor metalografice

4.1.1.Structuri metalografice ale firelor secționate transversal și longitudinal

4.1.2.Modificări microstructurale de margine ( MMM ) la firele de aluminiu și de oțel ce compun conductoarele.

4.1.3.Modificări microstructurale interne ( MMI ) la firele de aluminiu și de oțel ce compun conductoarele.

#### 4.2.Cercetarea comportării mecanice la solicitare

4.2.1.Între global și specific, între static și dinamic, între tensiuni și deformații și între artificial și natural

4.2.2.Despre tensiune limită temporală, deformație limită temporală, diluație mecanică, <sup>grad de</sup>umplere mecanică și grad de securitate în serviciu

4.2.3.Probe conductoare

4.2.3.1.Prelevare

4.2.3.2.Pregătiri

4.2.4.Criterii după care a fost condusă cercetarea

4.2.5.Incercări mecanice pentru determinarea evoluției comportării mecanice, fir

cu fir

4.2.5.1.Grupe de probe

4.2.5.2.Scheme de încercare

-Tipuri de fire

-Tipuri de analize mecanice

4.2.5.3.Mașini și aparate utilizate

4.2.5.4.Rezultate experimentale ( eșantion )

4.2.5.5.Concluzii

4.2.6.Incercări mecanice ale conductoarelor întregi

4.2.6.1.Mașina de încercat MOT 2500/13

4.2.6.2.Incercarea de rezistență - deformabilitate

4.2.6.2.1.Metodica de încărcare - descărcare a epruvetei

4.2.6.2.2.Reprezentări grafice în încercarea de rezistență -  
deformabilitate

4.2.6.2.3.Exemple de curbe de rezistență -deformabilitate  
pentru conductoare

## 5.STUDII STATISTICE

5.1.Despre populație statistică, unitate statistică, proprietate statistică și caracteristică statistică

5.2.Metoda de analiză statistică

5.3.Aplicație a metodei statistice asupra conductoarelor

5.4.Parametrii statistici utilizați în calculul statistic

5.5.Program de calcul; automatizat ( Expert ) specific aplicației

5.6.Rezultatele analizei statistice ( eșantion )

5.7.Concluzii

## **6.METODE DE DIAGNOZĂ A STADIULUI DE DEGRADARE A CONDUCTOARELOR**

6.1.Cercetarea structurilor metalografice

6.2.Cercetarea parametrilor statistici cu evoluție previzibilă determinați la încercările mecanice fir cu fir

## **7.CONCLUZII FINALE ȘI PRINCIPALELE CONTRIBUȚII ORIGINALE**

## **BIBLIOGRAFIE**

## **ANEXE**

## INTRODUCERE

Producerea energiei electrice în centrale hidroelectrice, termoelectrice și atomoelectrice mari, amplasate de obicei la distanțe mari de consumatori, reclamă rezolvarea problemei transportului energiei electrice la distanțe mari.

Rezolvarea acestei probleme se realizează cu ajutorul rețelei de linii aeriene de transport de energie electrică, care traversează teritoriul unei țări și uneori teritoriul mai multor țări.

După importanța lor liniile de transport de energie electrică se împart în trei categorii :

-Linii de categoria I : sunt cele de înaltă tensiune care transportă puteri mari și deservesc localități și industrii importante;

-Linii de categoria a II - a : sunt tot linii de înaltă tensiune care transportă puteri relativ mici și deservesc localități și industrii mai puțin importante;

-Linii de categoria a III - a : sunt linii de joasă tensiune.

Elementele unei linii aeriene de transport de energie electrică sunt :

- conductoarele
- izolatoarele și armăturile
- stâlpii și consolele
- fundațiile.

Conductoarele liniilor electrice aeriene se împart în conductoare active, care servesc la transportul efectiv al energiei electrice și în conductoare de protecție care au rolul de a proteja linia electrică aeriană împotriva descărcărilor atmosferice.

Materialele ale căror calități electrice și mecanice le fac corespunzătoare pentru executarea conductoarelor sunt :

- cuprul și aliajele de cupru
- aluminu și aliajele de aluminu
- oțelul

și conductoare multifilare combinate din oțel cu unul din materialele menționate mai sus.

Cele mai folosite dintre acestea sunt conductoarele de aluminu - oțel, care se fabrică din fire de aluminu înfășurate în jurul unei linii de oțel monofilare sau multifilare formând unul sau mai multe straturi concentrice.

Fotografii despre unele porțiuni ale unei linii electrice aeriene din Banat de  $U = 110 \text{ KV}$ .

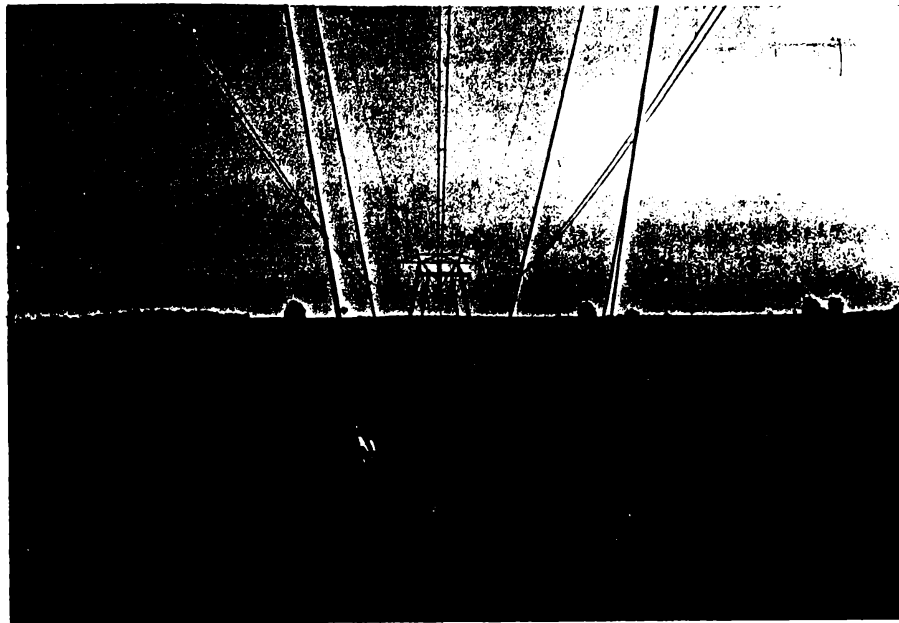


Foto 0.1.

Reprezintă traversarea zonei de șes de linia electrică

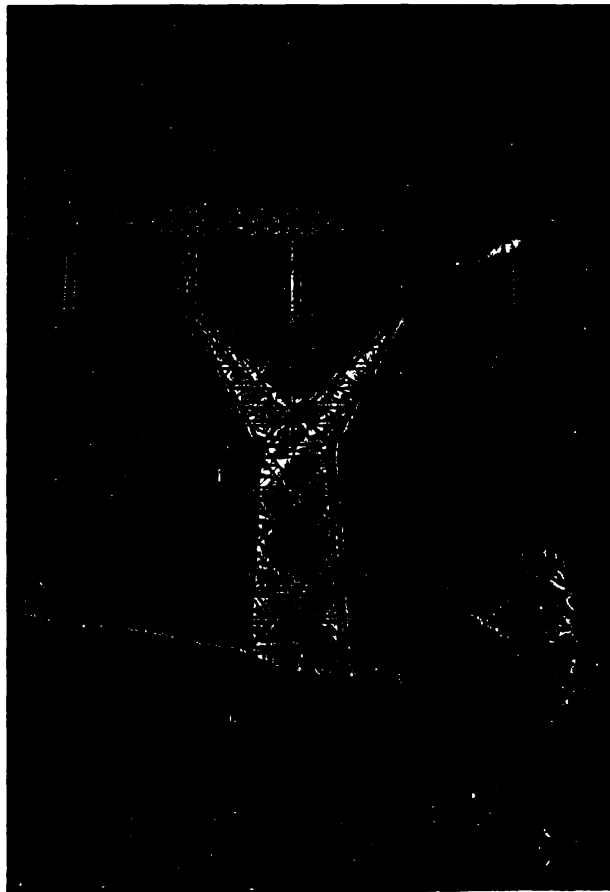


Foto 0.2.

Reprezintă un stâlp de susținere al conductoarelor liniei aeriene  
care străbate o zonă deluroasă

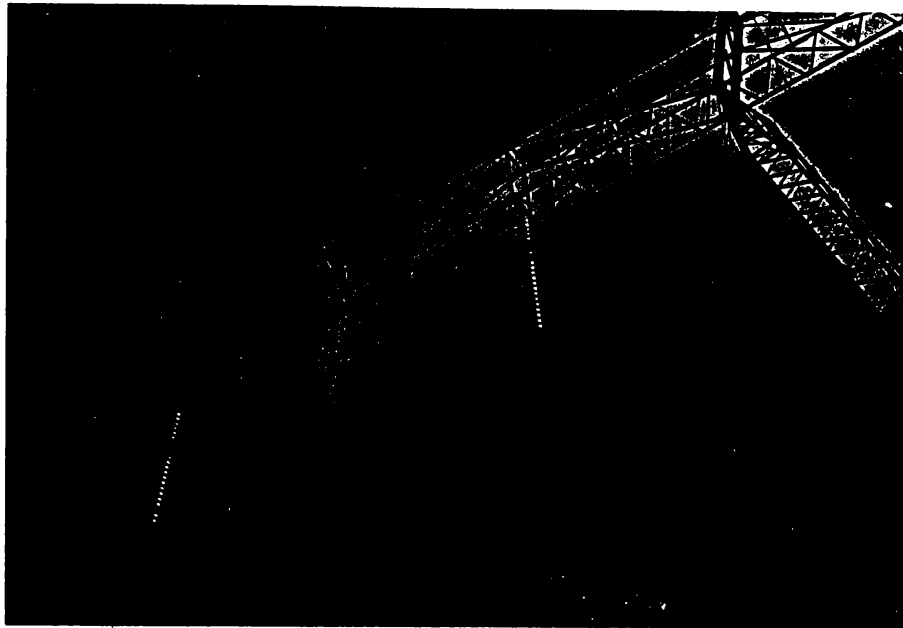


Foto 0.3.

Reprezintă partea superioară a unui stâlp de susținere a conductoarelor; cele active sunt fixate cu cleme de lanțuri de izolatoare iar cele de protecție sunt prinse direct de prelungiri ale stâlpului

Din punct de vedere mecanic atât conductoarele active cât și cele de protecție trebuie astfel dimensionate încât, în condiții impuse de norme, să reziste suprasarcinilor datorate vântului, a gheții depuse pe conductoare sau a variațiilor de temperatură.

Calculul mecanic al conductoarelor active ale liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune, se îmbină în general cu cel electric într-un calcul tehnico- economic, prin care se determină atât aria optimă a secțiunii conductorului cât și deschiderea medie optimă dintre stâlpi. Prin urmare alegerea tipului de conductor și stabilirea întinderii acestuia, trebuie făcută cu multă atenție de proiectant.

La dimensionarea conductoarelor trebuie să se țină seama de: comportarea materialului la sarcini statice și dinamice de lungă și scurtă durată; de influența încălzirii conductorului, produsă de curentul electric, asupra rezistenței statice de durată a materialului precum și de influența corozivă a atmosferei prin care trece linia electrică aeriană respectivă.

Costul conductoarelor reprezintă 30-50 % din costul integral al unei linii electrice aeriene de 110 KV, iar durabilitatea lor de circa 50 de ani se consideră satisfăcătoare [43\*].



Pentru evitarea ruperii în exploatare a conductoarelor, care pot duce atât la ruperea unor stâlpi cât și la întreruperi însemnate în furnizarea energiei electrice, în ultimele decenii se acordă pe plan mondial o atenție tot mai mare controlului periodic al stării de degradare al conductoarelor linii electrice aeriene de înaltă tensiune.

Dacă diversele examinări efectuate pe probele unui conductor evidențiază o degradare accentuată prematură a unei porțiuni sau a întregului conductor, se recurge la înlocuirea porțiunii sau conductorului respectiv cu un conductor nou. În cazul când conductorul prezintă, chiar după depășirea a 50 de ani de exploatare, o stare de degradare redusă, conductorul respectiv va fi menținut în continuare în exploatare.

Pornind de la interesul crescând al F.R.E.Timișoara pentru cunoașterea stării actuale a degradării a unor linii aeriene de transport importante de 110 KV din Banat, prezenta teză de doctorat reprezintă un studiu - primul în țara noastră - privind starea degradării în timp a unor conductoare de același tip sau de tipuri apropiate, după diferite durate de exploatare. În final s-a urmărit evidențierea progresării în timp a gradului de degradare a conductoarelor examinate.

Lucrarea este împărțită pe șapte capitole. În capitolul noțiuni generale se prezintă sintetic: delimitarea domeniului de studiu, componenta materială a liniilor electrice aeriene de distribuție, cu scoaterea în evidență a elementelor conductoare active, de protecție și a ancorelor, obiectivele cercetării, argumentele care justifică abordarea temei, opinii personale aplicate în managementul cercetării, stadiul actual al degradării în timp a conductoarelor și concluzii.

În capitolul 2 se face o prezentare succintă a elementelor calculului mecanic al conductoarelor de aluminiu - oțel folosite la liniile electrice aeriene.

În capitolul evoluția comportării mecanice a conductoarelor se prezintă: fenomene studiate în rezistența materialelor, definiția evoluției comportării mecanice și componentele ei, sistemul relațional între componentele evoluției comportării mecanice. Capitolul mai cuprinde <sup>dependența</sup> formula matematică generală a evoluției comportării mecanice, moduri practice de determinare a acesteia, factorii care o influențează, tipuri de solicitări prezente în conductoare, mișcarea spațio-temporală a distribuției tensiunilor pe firele secțiunii conductoarelor și se încheie cu concluzii.

Paragraful 4.1 prezintă structuri metalografice ale conductoarelor cu 0 ani în exploatare, 9 ani, 24 ani și 33 ani de exploatare pe fire de oțel și aluminiu pe straturi în

secțiuni transversale și pe fire de oțel și aluminiu pe straturi în secțiuni transversale și longitudinale în zone interioară și de margine după care se arată modificările microstructurale interne și de margine, cauze, manifestare și factorii care influențează evoluția acestora.

Capitolul cercetarea comportării mecanice la solicitare cuprinde 6 paragrafe.

Primul paragraf studiază variantele de încercări experimentale între global și specific, între static și dinamic, între tensiuni și deformații și între artificial și natural.

Pentru clasificarea fenomenelor ce apar în conductoare la solicitarea mecanică s-au introdus noțiunile tensiune limită temporală, deformație limită temporală, diluație mecanică, <sup>grad de</sup> umplere mecanică și grad de securitate în serviciu.

Se prezintă apoi prelevarea și pregătirea probelor și criteriile după care a fost condusă cercetarea.

Urmează în continuare încercări mecanice pentru determinarea evoluției comportării mecanice prin prezentarea: grupe de epruvete, schema de încercare (tipuri de fire și tipuri de analize mecanice), mașini și aparate utilizate, un eșantion de rezultate experimentale și concluzii.

Capitolul studii statistice tratează pentru început populație statistică, unitatea statistică, proprietate statistică, caracteristica statistică. Se arată în continuare metodele de analiză statistică tatonare din „tot” și selectare din „tot” cu avantajele și dezavantajele fiecăreia dintre ele.

Pentru metoda selectare din „tot” aleasă în calculul statistic se arată etapele parcurse pentru realizarea ei. Tabelul 5.2 cuprinde parametrii statistici și formulele de calcul utilizate în analiza statistică și ~~formulele de calcul utilizate în analiza statistică~~. Se prezintă apoi programul EXPERT de calcul specific aplicației urmat de rezultatul analizei statistice (eșantion) și concluzii.

Capitolul 6 tratează două metode de diagnoză a stadiului de degradare a conductoarelor urmat de capitolul 7, concluzii finale și principalele contribuții originale.

\*\*\*

În finalul acestei introduceri doresc să-mi exprim mulțumirile și înalta considerație față de conducătorul științific, Domnul Prof. Dr. Ing. Tiberiu Babeu, nu numai pentru îndrumarea competentă acordată la realizarea acestei teze ci și pentru înțelegerea și susținerea morală

pe toată perioada elaborării tezei, a cărei finalizare a fost afectată de grele încercări personale prin care am trecut.

Mulțumesc totodată Domnului Ing. Constantin Nicolaescu de la F.R.E.Timișoara, Domnului Ing.Dumitru Simion de la I.C.E.M.ENERG București și domnilor Fiz. Marin Liță și Ing. Marius Marcu de la Universitatea Politehnica Timișoara pentru sprijinul de specialitate acordat.

Deasemenea mulțumesc membrilor colectivului Catedrei de Rezistența Materialelor care au fost alături de mine cu ocazia susținerii examenelor și prezentării referatelor și în deosebi a Domnilor Prof.Dr.Ing. Iosif Hajdu și Prof.Dr.Ing. Adrian Buta care mi-au acordat sprijin efectiv la finalizarea tezei.

Octombrie 1997

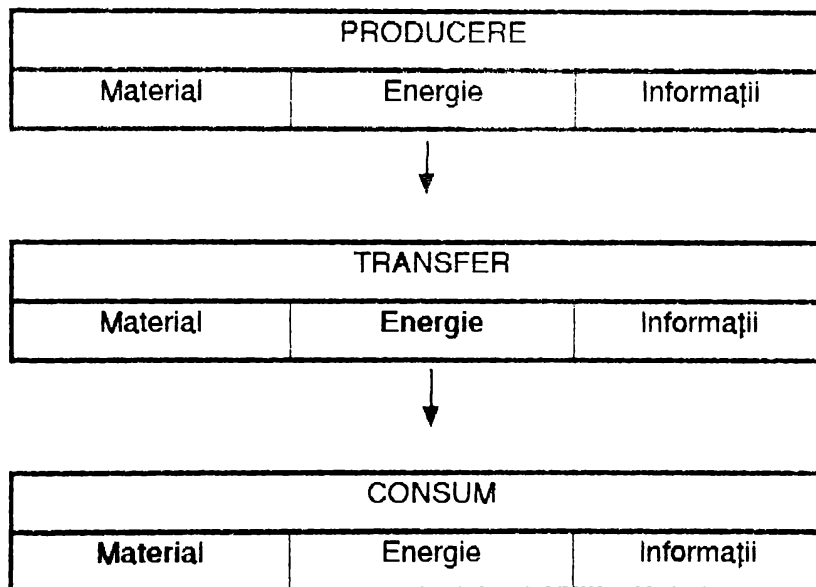
Sef lucrări Ing. Nicolae Ciobotaru

*Fara inceput si fara sfarsit*

*exista numai Dumnezeu*

## 1. NOȚIUNI GENERALE

### 1.1. DELIMITAREA DOMENIULUI DE STUDIU



Tema abordează consumul (scoaterea din uz) a unei părți a materialului de distribuție din domeniul transferului energetic.

### 1.2. COMPONENTA MATERIALĂ A LINIILOR ELECTROENERGETICE AERIENE DE DISTRIBUȚIE

#### 1. Material de transport electroenergetic.

Conductoare de aluminiu și oțel -aluminiu

2. Material de protecție a materialului de transport electroenergetic.

- Conductoare de protecție

- Izolatoare
- Antivibratoare
- Diverse

3. Material suport a materialului de transport electroenergetic.

- Ancore

- Stâlpi
- Fundații
- Diverse ( bride, manșoane, cleme )

### 1.3.ARGUMENTE CE JUSTIFICĂ ABORDAREA TEMEI

1.3.1.Problema este atacată de literatura de specialitate teoretic prin extrapolarea unor rezultate experimentale efectuate pe materiale noi care nu au fost în exploatare. Din această abordare teoretică apare problema dacă un defect apărut este accidental sau este semnalul scoaterii din uz a materialului energetic respectiv.

1.3.2.Criteriile de decizie a acestei probleme stabilite prin norme tehnice, au fost infirmate de practică care a demonstrat că acestea pot fi depășite fără a avea probleme majore, dar nu se cunoaște până unde se poate merge cu prelungirea duratei de funcționare.

1.3.3.Riscul necunoașterii duratei de funcționare reale este major

- fie prin depășirea acesteia și dereglarea rețelei de distribuție
- fie prin înlocuirea prematură a acestuia și suportarea unor cheltuieli investiționale foarte mari , nejustificate.

1.3.4.Există o situație specială a țării noastre în domeniul energetic care majorează riscul depășirii duratei de funcționare a materialului energetic de transfer. Materialul energetic de distribuție ( conductoare de transfer, conductoare de protecție, izolatoare, ancore, stâlpi ) a fost montat și pus în funcțiune într-o perioadă scurtă de timp dictat de industrializarea intensivă. Din acest motiv și durata lui de viață, poate atinge scadența într-o perioadă scurtă de timp. Aceasta poate duce la o criză

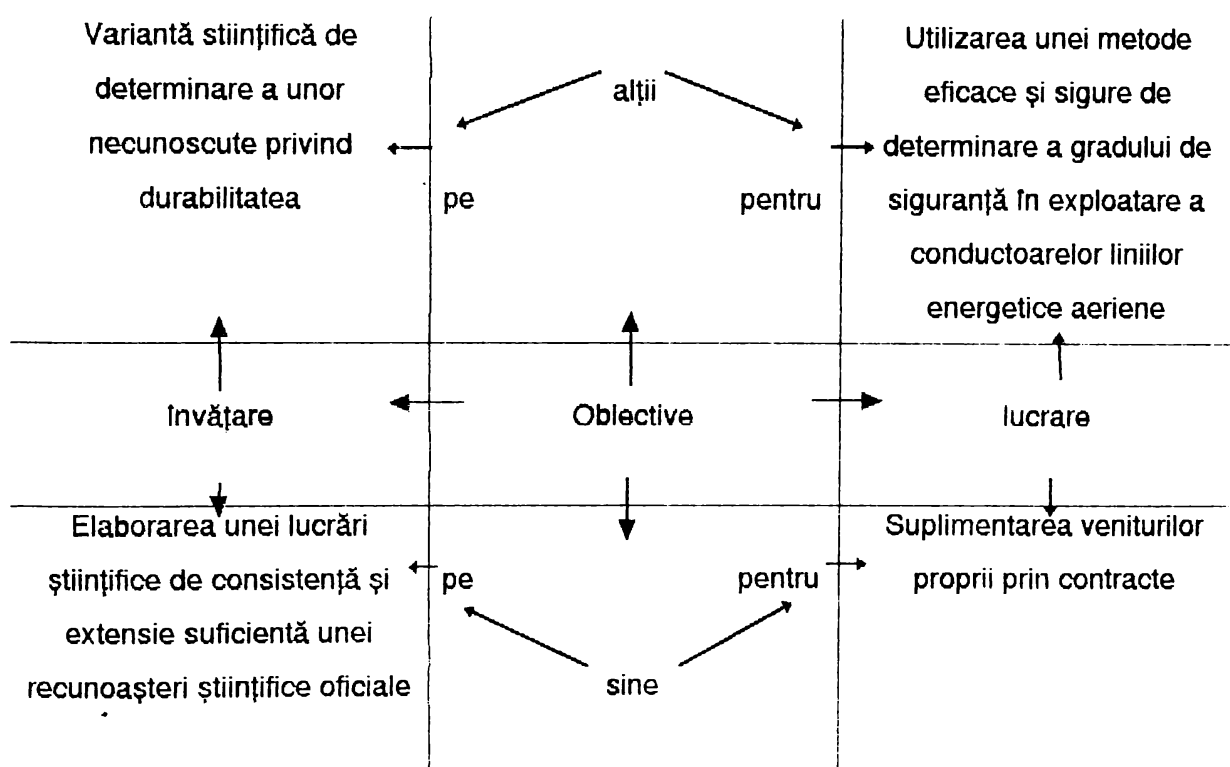
- de fonduri de investiții
- de capacitate de înlocuire
- de timp.

Dacă nu există un criteriu de priorități realist pentru linii de importanță industrială echivalentă se poate ajunge la situația înlocuirii a ceea ce mai poate fi utilizat în detrimentul rămânerii în uz a ceea ce nu mai poate fi utilizat. Problema poate deveni gravă pentru că nu se poate face

- o planificare în timp a investițiilor
- o planificare a capacităților de înlocuire și a forței acesteia cu menținerea

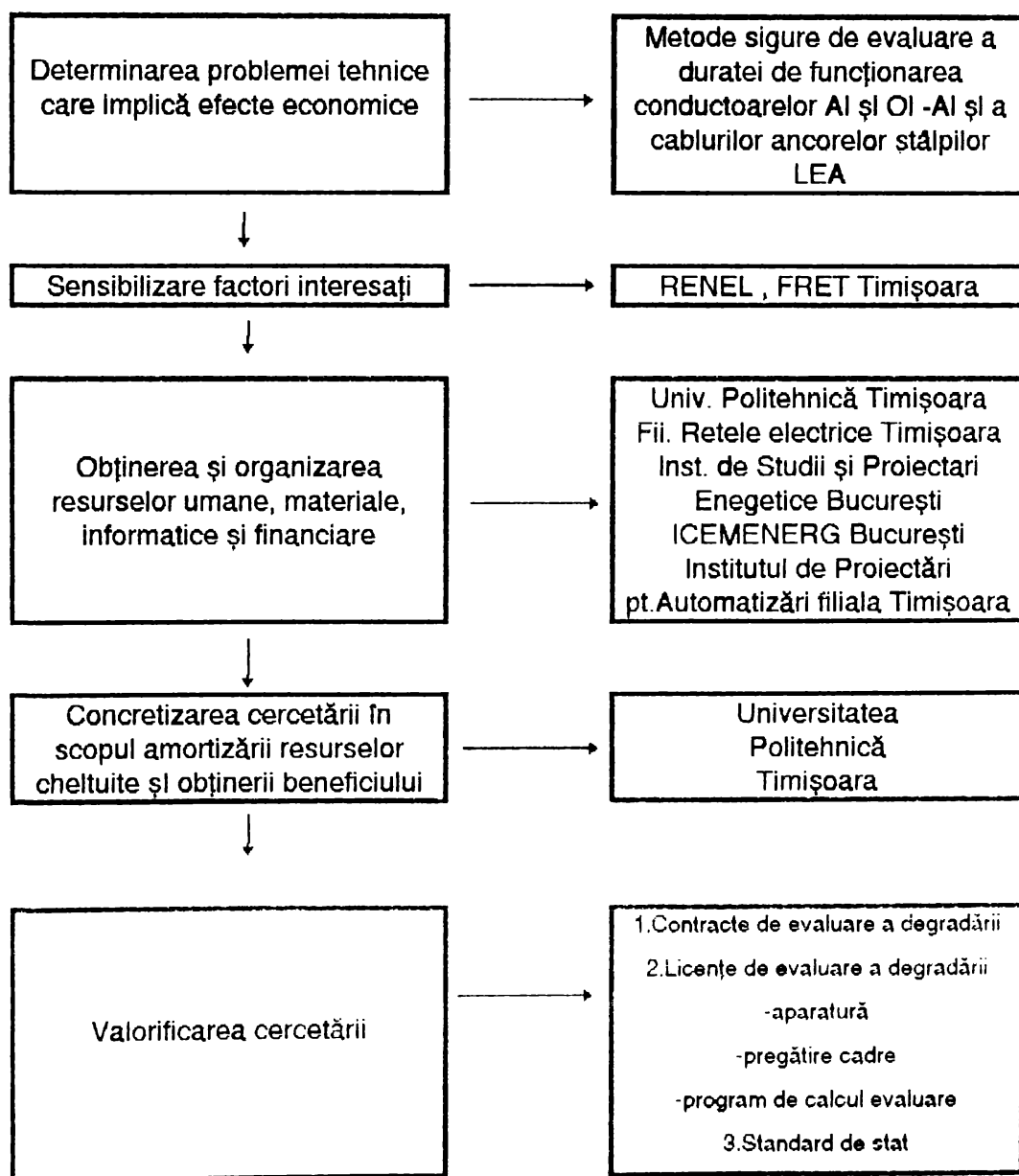
în funcțiune a sistemului național de distribuție energetică.

#### 1.4.OBIECTIVELE CERCETĂRII



## 1.5.OPINII PERSONALE APLICATE ÎN MANAGEMENTUL CERCETĂRII

Cercetarea a urmărit schema logică de mai jos, a căror elemente de concretizare sunt prezentate alăturat:





## 1.6.STADIUL ACTUAL DE EVALUARE A DEGRADĂRII ÎN TIMP A CONDUCTOARELOR

Problema evaluării menținerii în exploatare a conductoarelor liniilor energetice aeriene este abordată cu seriozitate în toate țările în care energia reprezintă o problemă națională majoră ( SUA, Canada, Franța, Germania, Suedia, Italia, Brazilia, etc.).

Există format în acest sens un Comitet Internațional al Marilor Rețele Electrice structurat pe Grupe Internaționale, Grupe și subgrupe naționale grupate în Instituții de cercetare care consumă în cercetare valori financiare și tehnologice importante.

1.6.1.O primă încercare de evaluare a degradării în timp a conductoarelor s-a făcut pe curbe Wohler [20]. După mulți ani de cercetare și de colaborare a marilor institute ale lumii s-a constatat că, condițiile de încercare ( sarcină, tip solicitare, parametrii dinamici ) conduc la estimări cu erori grosolane (chiar și între cele teoretice).

Principalul impediment al curbelor Wohler aplicate la conductoare îl reprezintă realitatea condițiilor de tip aleator, a amplitudinii frecvenței de modificare, vitezei de modificare după un model apropiat de o solicitare naturală. Curbele Wohler sunt utile în cazul în care trei elemente amintite care caracterizează un proces de oboseală sunt constante.

### 1.6.2.Detectarea deteriorării statului galvanic al miezului de oțel [38]

Localizarea coroziunii se face:

a) cu senzori de curenți turbionari dintr-un ansamblu electronic mobil motorizat, controlat prin radio, care poate să se deplaseze de-a lungul conductorului de la stâlp la stâlp. Echipamentul transmite informațiile prin releu la un computer cu baza la sol pentru stocarea și analizarea lor. Utilizarea detectorului de coroziune este restrânsă la liniile nealimentate.

Dezavantajul acestei metode constă în :

- necesitatea contactului cu conductoarele
- determină doar pierderile de zinc
- dă informații aproximative a stării liniei
- echipament foarte sofisticat

#### b) cu cameră de luat vederi în infraroșu

Camera de luat vederi în infraroșu este purtată de un elicopter. Metoda se bazează pe detectarea unei încălziri neuniforme de-a lungul conductorului cauzată de coroziunea miezului sau de alți factori. Experimentele de laborator au fost încununate de succes în detectarea unei porțiuni de pe care lipsește zincul în condiții controlate cu atenție, dar adaptările camerei de luat vederi nu au fost corespunzătoare și nici practice în condiții de exploatare. Variațiile puterii de emisie la suprafață au creat iluzia unei temperaturi care variază și ca urmare camerele în infraroșu au indicat în mod fals coroziunea. Din aceste motive metoda nu este considerată practică în condițiile tehnologice actuale.

#### 1.6.3. Testarea mecanică a conductorului în laborator [39]

Testarea mecanică este precedată de o examinare vizuală pentru identificarea tipurilor de deteriorări. Din testarea mecanică fac parte :

a) Rezistența la rupere prin întindere a conductorului. Se determină individual pe fiecare fir în parte.

Metoda are avantajul că are ca rezultat o comparație a distribuției rezistenței aluminiului și a oțelului.

b) Ductilitatea la torsiune a conductorului. Se determină pe fiecare fir în parte.

Pentru acest test, firul de conductor este ținut sub un efort de rupere de 1% din rezistența maximă de tracțiune și torsionat până la rupere cu un număr de învârtiri înregistrat.

c) Testul de oboseală privește numărul de cicluri de vibrații ( până la rupere) de o anumită amplitudine și frecvența și nivel de deformare.

#### 1.6.4. Analiza metalografică

a) Analiza spectrală fluorescentă cu radiații X. Aceasta pune în evidență producții amorfice pe suprafețele firelor de aluminiu și oțel galvanizat.

17  
18  
19

622 200  
36,6 A

b) Analiza structurii la microscopul electronic.

Multitudinea de încercări abordate până în prezent demonstrează complexitatea problemei și arată că o metodă de apreciere indirectă a perioadei de funcționare eficientă a conductoarelor trebuie să se ia în considerare un număr imens de variabile. Este nerealist să se presupună că orice model poate lua în considerare variația atâtor parametri.

## 1.7. CONCLUZII

Argumentele drumului de abordare a temei sunt:

- orice tip de încercare efectuat pe probe deja supuse la solicitări anterioare care nu sunt de natura încercării care se face, au o reflectare directă a istoriei (solicitării) anterioare.

- previziunile pe termen scurt sunt mai sigure și mai exacte decât cele pe termen lung

- există o pierdere în tensiuni limită de rupere cu creșterea timpului de solicitare .

- pierderea în tensiuni limită de rupere este factorul principal care determină distrugerea la suprasarcini.

- imposibilitatea neglijării microsolicităților date de fenomenele degradării structurale a limitei materiale a firelor și de fisurare a firelor în aprecierea stării de degradare.

- solicitările de laborator nu pot modela fidel solicitările din teren.

## 2. NOȚIUNI DESPRE CALCULUL MECANIC RAȚIONAL AL CONDUCTOARELOR DE ALUMINIU- OȚEL FOLOSITE LA LINIILE ELECTRICE AERIENE

### 2.1. Unele caracteristici mecanice ale conductoarelor de aluminiu - oțel fabricate în România

Figura 2.1 reprezintă secțiunea transversală a unui conductor de aluminiu - oțel alcătuit dintr-un fir central și un prim strat de fire de oțel, formând împreună o funie de oțel, și din alte două straturi concentrice, compuse din fire de aluminiu.

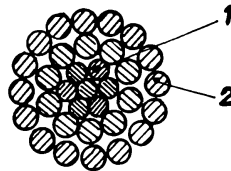


figura 2.1.

Conductor de aluminiu oțel

1 - fir de oțel

2 - fir de aluminiu

Straturile de aluminiu sunt strânse în jurul funiei de oțel astfel încât să nu se producă deplasări reciproce. Din același motiv straturile concentrice învecinate sunt răsucite în sensuri contrare.

Prin alegerea corespunzătoare a raportului secțiunilor individuale ale celor două metale, oțel și aluminiu, se poate varia rezistența mecanică și conductibilitatea electrică a conductorului. Deși cele două metale au module de elasticitate și coeficienți de dilatare termică liniară diferite, totuși din cauza forțelor de frecare care apar între diferitele fire prin înfășurare, conductorul în ansamblu se comportă ca și când ar fi format dintr-un material omogen.

În țara noastră se fabrică în principiu două tipuri de conductoare de aluminiu - oțel :

a) normale cu secțiunea de aluminiu având aria de circa șase ori mai mare decât cea de oțel;

b) întărite cu secțiunea de aluminiu cu aria de circa patru ori mai mare decât cea de oțel. [2], [43\*],[130].

Conductoarele de aluminiu - oțel întărite sunt folosite în zone cu mari depuneri de gheață sau traversări mari.

Valorile calculate ale forței de rupere și ale rezistenței electrice la temperatura de 20 °C, precum și masa conductoarelor de aluminiu - oțel fabricate în țară sunt date în STAS 3000/1-86, tabelul 2., iar în tabelul 7 din anexa C sunt date valorile informative ale modulelor de elasticitate și ai coeficienților de dilatație globali ai conductoarelor respective.

În STAS 3000/2 -86 sunt date numărul, diametrul firelor și secțiunilor celor două metale, precum și diametrul conductoarelor fabricate în țară.

Conductoarele multifilare de aluminiu - oțel , pe lângă o rezistență sporită, datorită omogenității și procesului de fabricare al firelor, au o mare flexibilitate, ceea ce este foarte important pentru montaj și comportarea conductorului în exploatare.

Firele (sârmele) de aluminiu folosite pentru conductoarele liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune se fabrică din aluminiu de primă fuziune, conținând minimum 99,5 aluminiu pur.

Rezistența mecanică a firelor de aluminiu este influențată mult de gradul de ecrusare obținut la trefilare și de diametrul acestora.

Valorile medii ale caracteristicilor mecanice și fizice ale sârmei de aluminiu în stare de ecrusare tare, destinată fabricării conductoarelor liniilor aeriene de energie electrică sunt date în STAS 12488-86. [ 138 ]

Aluminiu tras tare își reduce mult rezistența mecanică dacă, după ecrusare, temperatura sa crește până la limita de recristalizare. Dacă durata de încălzire este de ordinul orelor, scăderea rezistenței începe de la 100 °C , iar dacă încălzirea este de lungă durată scăderea începe de la 75-80 °C [2].

Rezistența la fluaj a firelor de aluminiu ecrusate tare este de circa  $\sigma_{r/10}^5 = 120 \text{ N/mm}^2$ , aproximativ 2/3 din rezistența la rupere medie ( $\sigma_r = 180 \text{ N/mm}^2$ ).

Rezistența la oboseală la încovoiere alternant simetrică a firelor de aluminiu pentru un număr  $N=10^6$  cicluri este circa  $\sigma_{-1} \approx 90 \text{ N/mm}^2$ .

Coroziunea aluminiu este produsă fie de o atmosferă viciată de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  sau  $\text{SO}_2$  fie datorită contactului cu un alt metal (cupru sau fier) cu care formează în prezența umezelii o pilă electrochimică. Coroziunea aluminiului are ca efect micșorarea rezistenței mecanice și mărirea rezistenței sale electrice.

Firele de oțel au o conductibilitate electrică redusă în schimb prezintă rezistență mecanică superioară, rezistența la rupere putând fi ridicată considerabil prin trefilare la rece din bare de oțel cu un conținut mai mare de carbon. Firele de oțel trebuie zincate pentru a fi protejate contra coroziunii atmosferice și a contactului cu firele de aluminiu.

Valorile medii ale unor caracteristici mecanice și fizice ale firelor (sârmelor) de oțel zincate destinate a fi utilizate pentru conductoarele liniilor aeriene de energie electrică sunt date în STAS 3732/1-85 și STAS 3732/2-86 [132], [133]. După rezistența minimă de rupere la tracțiune aceste fire se clasifică în trei categorii :

A cu  $\sigma_{r, \min} = 372 \text{ N/mm}^2$  ;

B cu  $\sigma_{r, \min} = 1176 \text{ N/mm}^2$  și

C cu  $\sigma_{r, \min} = 1373 \text{ N/mm}^2$  .

Firele de categoria B și C se execută din următoarele mărci de oțel : OLC 45, OLC 50, OLC 55, OLC 65A și OLC 75A, conform STAS 880-80 și STAS 795-80.

## 2.2 Forțele care acționează asupra conductoarelor

Asupra conductoarelor electrice aeriene în exploatare, acționează mai multe forțe (încărcări) : o forță permanentă, constantă în timp, datorită greutatei proprii a conductorului și alte trei forțe a căror intensitate variază în timp în limite relativ largi. Din categoria acestor forțe variabile în timp fac parte :

a) depunerile solide de polei (gheață);

b) acțiunea vântului

c) acțiunea variațiilor de temperatură ale mediului ambiant,

fiecare din aceste forțe fiind dependente de condițiile atmosferice în care se găsește conductorul respectiv la un moment dat.

Pentru simplificarea calculului, de obicei, se operează cu forțe (încărcări) specifice, încărcările în N fiind raportate la unitatea de lungime ( N/m ) și la unitatea de lungime și secțiune a conductorului ( N/m•mm<sup>2</sup> ).

### 2.2.1. Încărcarea (forța) datorită greutății proprii

Pentru conductoarele oțel - aluminiu neizolate, destinate a fi folosite la liniile electrice aeriene de energie electrică, valoarea informativă a masei conductoarelor, valoarea forței de rupere calculată, modulul de elasticitate global și coeficientul de dilatare termică liniară a conductoarelor respective sunt date în STAS 3000/1-86, tabelul 2 și 7, iar dimensiunile detaliate ale conductoarelor sunt cuprinse în tabelul din STAS 3000/2-86.

Spre exemplu, pentru conductorul oțel - aluminiu, cu secțiunea nominală (AI/OL) 185/32 mm<sup>2</sup> și secțiunea efectivă 183,9/31,7 mm<sup>2</sup>, având 1+6 fire din oțel cu  $d_1=2,4$  mm și 10+16 = 26 fire de aluminiu cu  $d_2 =3$  mm, secțiunea totală este 215,5 mm<sup>2</sup>, iar diametrul exterior al conductorului  $d = 19,2$ mm. Valoarea informativă a masei acestui conductor este  $M_0=757$  kg/km, respectiv sarcina specifică  $q_0 \approx 7,57$  N/m, valoarea forței de rupere calculată pentru același conductor este  $F_r= 66686$  N, modulul de elasticitate global are valoarea  $E=77000$ N/mm<sup>2</sup>, iar pentru coeficientul de dilatație liniară (calculat) se indică  $\alpha_l = 18,9 \times 10^{-6}$ .

### 2.2.2. Încărcarea (forța) datorită poleiului (gheții)

Depunerile solide de polei (ghiață) în timpul iernii pe conductoare constituie cea mai importantă dintre încărcările variabile în timp. Prin urmare cunoașterea cantităților probabile a acestor depuneri este determinantă pentru siguranța și durabilitatea în exploatarea a unei anumite linii electrice aeriene. O prevedere prea pesimistă conduce la o supradimensionare inutilă, iar o prevedere prea optimistă poate expune linia la avarii grave, respectiv la rupturi de conducte înprăbușiri de stâlpi. [2]

Valorile de calcul ale suprasarcinii de gheață se stabilesc, pentru diferite zone geografice, de obicei pe baza metodelor de analiză statistico-probabilistice, pentru a se asigura atât economicitatea cât și siguranța în exploatare pe toată durata proiectată a liniilor electrice aeriene.

Pe baza observațiilor efectuate în diferite țări se recomandă adoptarea la dimensionarea liniilor electrice aeriene în zonele muntoase a următoarelor valori ale suprasarcinii datorită gheții, indicate în [2]

la înălțimea de 1000 m	$q_1 = 20 \text{ N/m}$
la înălțimea de 1000 - 1800 m	$q_1 = 35 \text{ N/m}$
la înălțimea de 1800 - 2000 m	$q_1 = 50 \text{ N/m}$
la înălțimea de 2000 - 2300 m	$q_1 = 80 \text{ N/m}$
peste înălțimea de 2300 m	$q_1 = 120 \text{ N/m}$

În țara noastră, în regiunile în care nu s-au cunoscut datele locale, pentru liniile cu tensiunea nominală de  $U \leq 110 \text{ KV}$  au fost admise în clacule și următoarele valori ale grosimii stratului de gheață:

pentru liniile din zona I (Oltenia, Muntenia, Dobrogea și Moldova)  $b = 22 \text{ mm}$ , iar pentru liniile din zona II (restul țării)  $b = 16 \text{ mm}$ .

Greutatea specifică aparentă a gheții pe conductoare se consideră în toate cazurile egală cu  $\gamma_1 = 9 \text{ N/dm}^3$ .

Complexitatea fenomenului depunerilor de gheață face ca stabilirea unor ecuații matematice, corespunzătoare pentru predeterminarea cantității de gheață în timp și în funcție de diametrul conductorului, să nu fie încă rezolvată în mod satisfăcător.

Cu toate că stratul de gheață are în general forma unui manșon cu solzii îndreptați în direcția vântului, pentru simplificarea calculelor se admite că stratul de gheață depus se așează uniform pe conductor sub forma unei centuri circulare concentrice.

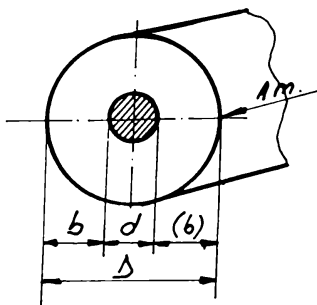


Fig. 2.2. Incărcarea conductorului cu gheață

$d$  - diametrul conductorului ;

$b$  - grosimea gheții

Greutatea gheții depuse pe metru liniar al conductorului se calculează cu formula:



$$q_1 = V_1 \gamma_1 = \pi \mu [(d+2b)-d^2] \quad | \quad \gamma_1 = \pi b [(d+b) 10 \gamma_1] \quad [\text{N/m}] \quad (2.1)$$

în care  $b$  și  $d$  se exprimă în dm iar  $\gamma_1$  în  $\text{N/dm}^3$ .

În majoritatea țărilor - inclusiv în țara noastră - prescripțiile de calcul a suprasarcinilor de gheață indică folosirea formulei

$$G_S = m + n d \quad (2.3)$$

în care :

$G_S$  este suprasarcina de gheață în  $\text{daN/m}$

$d$  - diametrul exterior al conductorului în mm

$m$  [ $\text{daN/m}$ ] și  $n$  [ $\text{daN}/(\text{m mm})$ ] sunt constante dimensionale specifice fiecărei țări.

Din tabelul 1.12 din manualul [2] rezultă că în România sunt prescrise formulele:

$$G_S = 1,140 + 0,0518 d \quad \text{în zona I} \quad (2.3.a)$$

$$G_S = 0,603 + 0,037 d \quad \text{în zona II} \quad (2.3.b)$$

Aceste formule se consideră valabile pentru cazul când înălțimea medie  $h$  a conductorului față de sol este 10 m. Pentru înălțimi medii  $h > 10$  m valorile date de formulele (2.3.a) și (2.3.b) se înmulțesc cu următorii coeficienți  $k_h$ :

pentru  $h = 20$  m cu  $k_h = 1,2$ ;  $h = 30$  m cu  $k_h = 1,4$ ;  $h = 70$  m cu  $k_h = 1,6$ ;  $h = 100$  m cu  $k_h = 2$ .

Din analiza numeroaselor observații făcute în multe țări, a rezultat că depunerile catastrofale de gheață au avut loc în regiuni în care vânturile au adus mase mari de aer umed și cald peste un sol rece, în general peste pereții reci ai unor masive muntoase.

### 2.2.3. Incărcarea datorită acțiunii vântului

Acțiunea vântului asupra conductoarelor liniilor electrice aeriene poate fi staționară (atunci când sub acțiunea vântului conductorul capătă o poziție de echilibru stabilă) sau cvasi-staționară-dinamică (când sub acțiunea vântului conductorul oscilează).

### 2.2.3.1. Acțiunea staționară

Conform normativului PE 104/1974 , forța statică care acționează asupra unui conductor aerian - aflat în bătaia unui vânt staționar - este dată de formula :

$$F = S p_m \sin \theta = k S \alpha (v^2/16) \sin \theta \quad [\text{daN}], \quad (2.4)$$

unde :

$p_m$  este presiunea medie de calcul, pe un cilindru normal la direcția vântului [ $\text{daN/m}^2$ ]

$\alpha$  - factor de neuniformitate a vitezei vântului pe lungimea deschiderii între stâlpi;

$k$  - coeficientul aerodinamic având valorile :

-pentru conductoare active și de protecție cu diametrul  $d \leq 20 \text{ mm}$  ..... $k=1,2$

-pentru conductoare active și de protecție cu diametrul  $d > 20 \text{ mm}$  ..... $k=1,1$

-pentru conductoare active și de protecție acoperite cu gheață..... $k=1,2$

$S$  - suprafața expusă presiunii vântului în  $\text{m}^2$  (pentru suprafețe cilindrice aceasta este egală cu aria secțiunii axiale)

$v$  - viteza vântului în  $\text{m/s}$

$\theta$  - unghiul orizontal, mai mic sau egal cu  $90^\circ$  , format de direcția vântului cu axa cilindrului (conductorului).

Valoarea factorului  $\alpha$  în cazul liniilor cu  $U_n \leq 110 \text{ KV}$  este conform tabelului 1.16 din [2] : pentru vânt maxim  $\alpha = 0,75$  iar pentru vânt simultan cu gheață  $\alpha = 0,85$ .

Conform normativului menționat vitezele  $v$  se aleg pe baza datelor din tabelul 1.17 din [2], respectiv la  $U_n \leq 110 \text{ KV}$  în zona II pentru vânt maxim  $v = 26 \text{ m/s}$  iar pentru vânt simultan cu gheață  $v = 14 \text{ m/s}$ .

Se menționează că valorile vitezelor indicate mai sus se aplică la utilizarea metodelor determinate de calcul a liniilor electrice aeriene.

### 2.2.3.2. Acțiunea cvasi - staționară - dinamică

Principala cauză a producerii oscilației (vibrației) conductoarelor electrice aeriene este vântul. Aceste oscilații generează îndoiri repetate ale conductoarelor care pot duce la oboseala și ruperea materialului acestora, dacă nu se iau măsuri practice de reducere sau chiar eliminare a vibrațiilor.

Principalele mișcări repetate ale conductoarelor electrice aeriene în exploatare provin din :

- a) vibrații eoliene;
- b) galopare;
- c) oscilații corona.

a) Vibrațiile eoliene sunt mișcări în plan vertical, caracterizate de frecvență mare (5-150 Hz) și amplitudine mică, comparabilă cu diametrul conductoarelor. Ele sunt cauzate de vânturi de viteze 5-9 m/s și stabile datorită vârtejurilor din partea opusă a conductorului față de direcția vântului.

Experiența arată că amplitudinea și numărul vibrațiilor în 24 de ore depind la rândul lor de solicitarea de tracțiune din conductor, crescând odată cu acestea. Normativul PE 104/79 recomandă ca la liniile electrice aeriene de aluminiu - oțel cu deschideri de peste 120 m , ce trec prin zone plane deschise și având la temperatura medie anuală în conductoarele active și cele de protecție tensiuni de întindere  $\sigma > 50 \text{ N/mm}^2$  , să se folosească mijloace de protecție contra vibrațiilor.

b) Galoparea constă în oscilații puternice de joasă frecvență ( 0,1-0,5Hz) și amplitudine mare, fiind cauzată de existența unor forme instabile determinate de depunerile neuniforme de gheață pe conductor. Datorită circulației de aer în jurul unui astfel de conductor apare o forță portantă însemnată. Fenomenul apare în cazul vânturilor instabile cu viteze de peste 7 m/s, și poate conduce la solicitări foarte puternice ale clemelor și lanțurilor de izolatoare.

Pentru amplitudinea maximă  $a_m$  a oscilațiilor în funcție de viteza vântului și de pulsația proprie  $\omega$  a conductorului s-a stabilit relația :  $a_{max} = 0,821 v / \omega$ . (2.5)

Pentru  $v = 10 \text{ m/s}$  și pulsația 0,18 Hz (corespunzător unei lungimi de undă egală cu deschiderea  $l = 300 \text{ m}$  ) rezultă  $a_{max} = 7,8 \text{ m}$ .

Distanțele minime a între conductoarele active în poziție nedeviată sub influența vântului se pot determina cu relația :

$$a = k \sqrt{f + l_v} + U_n / 150 \quad [\text{m}] \quad (2.6)$$

unde:  $f$  -este săgeata maximă de deschidere a conductoarelor , în m  
 $l_z$  -lungimea lanțului de izolatoare , în m  
 $U_n$  -tensiunea nominală a liniei , în KV  
 $k$  -coeficient ce depinde de tensiunea nominală a liniei, de materialul și secțiune a conductoarelor precum și de poziția acestora pe stâlpi ( $k_v$  în cazul conductoarelor plasate aproximativ în același plan vertical și  $k_h$  în cazul plasării conductoarelor în același plan orizontal). Valorile coeficienților  $k_v$  și  $k_h$  sunt date în tabelul 4.3 din [2].

Pentru un conductor aluminiu - oțel cu secțiunea totală  $A = 185 - 300 \text{ mm}^2$  și  $U_n > 35 \text{ KV}$  se dă  $k_v = 0,75$  și  $k_h = 0,62$ .

c) Oscilațiile corona sunt în general caracterizate de frecvențe de 1-5 HZ și amplitudini de 1- 5 cm. Ele sunt determinate de descărcarea corona ce se produce la extremitatea exterioară a picăturilor de apă aflate la partea de jos a conductorului. Fenomenul nu se produce pe vreme uscată sau în cazul depunerilor de zăpadă.

În general oscilațiile corona nu necesită mijloace suplimentare de amortizare față de cele folosite pentru limitarea tipurilor a și b de oscilații.

#### 2.2.4. Încărcarea datorită variațiilor de temperatură

Variația temperaturii mediului ambiant produce variația lungimii conductoarelor între doi stâlpi vecini, iar această variație a lungimii are drept consecință variația săgeții conductoarelor și variația efortului, respectiv a tensiunii de întindere din secțiunile acestora.

Datorită acestui fapt în calculele de proiectare trebuie să se țină seama de următoarele valori ale temperaturii din zona amplasamentului liniei electrice aeriene: temperatura maximă, la care săgeata conductorului este maximă; temperatura minimă la care efortul axial de întindere al conductorului poate deveni maxim; temperatura medie anuală pentru care se verifică efortul de durată și la vibrații; temperatura la care se formează grosimea maximă de gheață pe conductor.

Pentru țara noastră prescripțiile prevăd următoarele valori ale temperaturii aerului [2]: maximă + 40 °C ; minimă - 30 °C ; medie la peste 1000 m, + 10 °C ; medie sub 1000 m +15°C ; la montarea liniei și la determinarea distanței dintre conductoare +15°C ; când conductoarele sunt acoperite de gheață cu grosime maximă de - 5 °C.

## 2.3. Elemente de calcul mecanic al conductoarelor electrice aeriene

### 2.3.1. Generalități

Conductoarele multifilare au o mare flexibilitate dacă se ține seama de distanțele foarte mari între punctele de suspensie, secțiunile lor relativ mici și de încărcările uniforme pe toată lungimea lor. Neputând prelua momente încovoietoare în toate secțiunile lor transversale se vor produce numai eforturi de întindere ( $S$ ). Valoarea efortului maxim de întindere  $S_{max}$  trebuie astfel stabilit ca conductorul considerat să reziste la toate suprasarcinile care pot apărea în regiunea respectivă pe toată durata proiectată a liniei electrice aeriene în cauză.

Efortul de întindere al unui conductor este dependent de o serie de factori: deschiderea dintre stâlpi (care se stabilește pe baza unor calcule tehnico-economice); forțele exterioare care acționează asupra liniei electrice aeriene considerate; forma geometrică pe care o ia conductorul sub acțiunea forțelor exterioare; săgeata maximă admisă pentru conductorul respectiv pe baza căreia se stabilesc distanțele minime între conductoarele electrice ale diferitelor faze; distanțele minime admise față de sol sau față de obstacolele pe care le traversează linia, precum și înălțimea stâlpilor liniei aeriene respective.

Așa cum s-a arătat în paragraful 2.2., felul și valoarea forțelor exterioare care acționează asupra conductoarelor precum și combinațiile acestora sunt indicate în diferite prescripții și norme în funcție de zona pe care o traversează linia electrică aeriană respectivă.

Aceleași prescripții prevăd și valoarea coeficienților de siguranță admiși. Astfel, conform Normativului PE 104/1979 pentru construcția liniilor de energie electrică peste 1000V, conductoarele active și de protecție se montează cu tracțiune normală în așa fel ca solicitările maxime de întindere ( $\sigma_{max}$ ) să le corespundă un coeficient nominal de siguranță egal cu 2,0.

Unele prescripții prevăd posibilitatea creșterii efortului de întindere în conductoare situate în regiunile cu depuneri mari de gheață. Astfel în cazul conductoarelor încărcate cu o sarcină de gheață cu o grosime  $b \leq 35$  mm, pentru linii cu tensiunea nominală  $U \leq 110$  KV se admit coeficienți de siguranță de 1,55 (pentru un efort de întindere de 65 % din forța de rupere a conductorului).

În scopul protejării conductoarelor împotriva vibrațiilor normativul actual pentru construcția liniilor electrice aeriene de energie electrică peste 1000 V, prevede următoarele valori ale efortului de întindere la temperatura medie anuală (conductorul fiind considerat că nu este supus acțiunii vântului)

a) efortul maxim de întindere  $S_{max}$  este egal cu 25 % din rezistența de rupere  $F_{rup}$  a conductorului dacă acesta este prevăzut cu antivibratoare sau are o deschidere mai mică de 120 m ;

b)  $S_{max}$  este egal cu 18 % din  $F_{rup}$  a conductorului dacă acesta nu este prevăzut cu antivibratoare și are o deschidere mai mare de 120 m .

### 2.3.2. Întinderea conductoarelor în regim normal de exploatare

#### 2.3.2.1. Ipoteze de calcul

Conform celor menționate la punctul 2.3.1. la montaj un conductor trebuie astfel întins încât în timpul iernii, sub acțiunea stratului de gheață depus de grosime maximă, sau a temperaturii minime admise de norme, efortul de întindere în conductor și săgeata acestuia să nu depășească valorile admisibile. De asemenea trebuie ca vara la temperatura maximă admisă de norme săgețile aceluiși conductor să nu depășească valorile la care acesta nu poate respecta distanțele minime impuse atât față de celelalte elemente ale liniei cât și față de obiectivele din zona pe care o traversează linia electrică.

În prima etapă a calculului întinderii unui conductor se stabilesc relațiile care determină forma geometrică de echilibru a conductorului în funcție de forțele exterioare care acționează asupra lui precum și tensiunile din fire în ipoteza că forțele exterioare ( gheața și vântul ) nu variază, iar temperatura mediului înconjurător rămâne constantă. În acest caz, forma geometrică de echilibru a conductorului se determină de regulă în ipoteza că aceasta este un fir flexibil și inextensibil.

În a doua etapă se stabilesc relațiile dintre valorile pe care le iau eforturile, tensiunile și săgețile conductorului atunci când forțele exterioare ( gheața și vântul ) precum și temperatura mediului ambiant variază, respectiv când conductorul trece de la o stare la alta.

În cazul folosirii unui conductor bimetalic, ale cărui părți componente se consideră că nu se pot deplasa liber una față de alta, calculele se fac pe baza caracteristicilor corespunzătoare unui conductor echivalent monometalic.

Astfel, pentru un conductor de aluminiu -oțel, având următoarele caracteristici:

$A_{al}$ ,  $E_{al}$ ,  $\alpha_{al}$  reprezintă : aria secțiunii, modulul de elasticitate și coeficientul de dilatație termică liniară, aferente colectivului firelor de aluminiu ;

$A_{o}$ ,  $E_{Oo}$ ,  $\alpha_{ol}$  : aria secțiunii, modulul de elasticitate și coeficientul de dilatație termică liniară, aferente colectivului firelor de oțel,

trebuie să se determine în prealabil un conductor monometalic echivalent, având aria secțiunii  $A$ , modulul de elasticitate  $E$  și coeficientul de dilatație termică liniară  $\alpha$ , care să îndeplinească următoarele condiții :

- aria  $A$  să fie egală cu  $A_{al} + A_{o}$ ;
- efortul de întindere  $S$  din secțiunea conductorului echivalent să fie egal cu suma  $S_{al} + S_{ol}$  a eforturilor de tracțiune aferente secțiunilor firelor de aluminiu, respectiv de oțel;
- dilatarea termică liniară  $\alpha$  a conductorului monometalic echivalent să fie egală cu cea a conductorului real, iar dilatățile firelor de aluminiu și cele ale firelor de oțel să fie de asemenea egale între ele.

S-au mai introdus și notațiile :  $\sigma$  - tensiunea de întindere în secțiunea  $A$  a conductorului echivalent;  $\sigma_{al}$  - tensiunea din secțiunea  $A_{al}$  al firelor de aluminiu ;  $\sigma_{ol}$  - tensiunea din secțiunea  $A_{ol}$  al firelor de oțel.

Pe baza ipotezelor admise rezultă:

$$\sigma / E = \sigma_{al} / E_{al} = \sigma_{ol} / E_{ol} \quad (2.7)$$

valabilă pentru o anumită temperatură constantă.

$$\sigma = \frac{(\sigma_{al} \cdot A_{al} + \sigma_{ol} \cdot A_{ol})}{A} \quad (2.8)$$

$$E = \frac{(E_{al} \cdot A_{al} + E_{ol} \cdot A_{ol})}{A} = \frac{(n E_{al} + E_{ol})}{(1+n)} \quad (2.9)$$

$$\alpha = \frac{(\alpha_{al} E_{al} A_{al} + \alpha_{ol} E_{ol} A_{ol})}{(E_{al} A_{al} + E_{ol} A_{ol})} = \frac{(n \alpha_{al} E_{al} + \alpha_{ol} E_{ol})}{(n E_{al} A_{al} + E_{ol})} \quad (2.10)$$

unde s-a notat  $n = A_{al} / A_{ol}$  . (2.11)

Astfel dacă pentru o stare dată, la care temperatura mediului ambiant este  $t$  la care se cunoaște tensiunea  $\sigma$  din conductorul echivalent, în ipoteza că la temperatura respectivă în conductor nu avem tensiuni termice, din (2.7) rezultă tensiunile din secțiunea firelor de aluminiu și cea de oțel

$$\sigma_{al} = (E_{al} / E) \sigma \quad (2.12.a) \quad \text{și} \quad \sigma_{ot} = (E_{ot} / E) \sigma \quad (2.12.b)$$

Deoarece temperatura de fabricație  $t_f$  a conductorului de aluminiu -oțel (+15°C) diferă în general de temperatura  $t$  a stării considerate, pe lângă tensiunile date de relațiile (2.12.a,b) trebuie adăugate și cele datorate variației de temperatură ( $t - t_f$ ). În consecință tensiunile totale din secțiunea firelor de aluminiu și cele din secțiunea firelor de oțel vor fi:

$$\sigma_{t,al} = \sigma_{al} + \sigma_{al}' = (E_{al} / E) \sigma - (\alpha_{al} - \alpha)(t - t_f) E_{al} \quad (2.13.a)$$

$$\sigma_{t,ot} = \sigma_{ot} + \sigma_{ot}' = (E_{ot} / E) \sigma - (\alpha_{ot} - \alpha)(t - t_f) E_{ot} \quad (2.13.b)$$

2.3.2.2. Ecuația curbei geometrice de echilibru a unui conductor monometalic uniform încărcat

Considerând conductorul flexibil și inextensibil, curba geometrică este cuprinsă în plan vertical, atunci când forțele exterioare care acționează asupra conductorului se datorează numai greutății proprii a acestuia și unei supraîncărcări (gheața). Curba geometrică este cuprinsă într-un plan geometric ce formează un unghi diedru cu planul vertical, atunci când forța rezultantă pe unitatea de lungime a conductorului provine din forțele verticale menționate și din forțele orizontale cauzate de vânt.

Se consideră al doilea caz când conductorul este suspendat între două reazeme, încărcat cu o sarcină specifică  $q_t$  uniform distribuită

$$q_t = q_p + q_s + q_v \quad [N/m] \quad (2.14)$$

unde :  $q_p$  -este greutatea proprie specifică

$q_s$  -suprasarcina specifică a stratului de gheață  
 $q_v$  -sarcina specifică orizontală datorat vântului ,

toate exprimate în N/m .

Asupra unui element de conductor  $dL$  (Fig.2.3,b) detașat din curbageometrică a conductorului în echilibru (Fig.2.3,a), în dreptul punctului P, acționează eforturile de întindere  $S_1$  și  $S_2$  , tangente la curbă în punctele care limitează elementul considerat și o forță rezultantă de încărcare elementară  $q_t dL$ .



Componentele eforturilor  $S_1$  și  $S_2$  în planul forței elementare rezultante  $q_t dL$  s-au notat cu  $V_1, H_1, V_2$  și  $H_2$ .

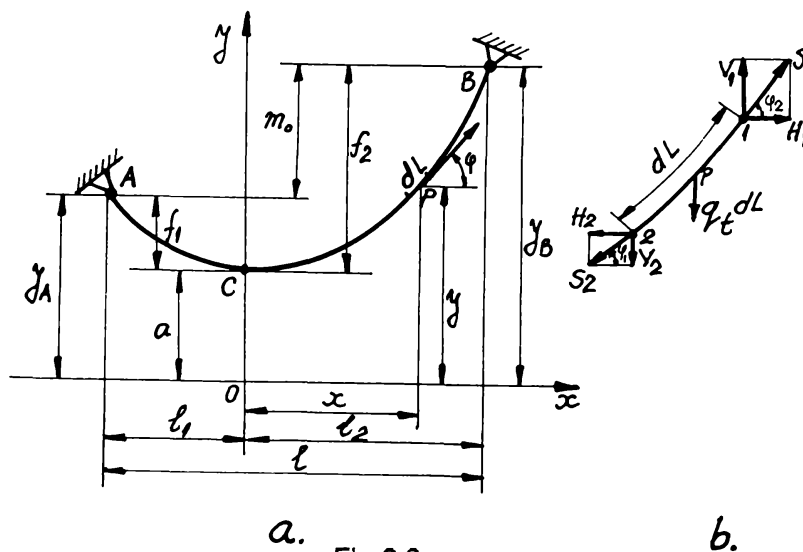


Fig.2.3

a. Conductor cu puncte de suspensie denivelate

b. Element de conductor flexibil și inextensibil, sub acțiunea forțelor exterioare și al eforturilor la capete

Din ecuațiile de echilibru ale elementului de conductor rezultă:

$$H_1 = H_2 \quad (2.15) ; \quad V_1 - V_2 = dV = q_t dL \quad (2.16,a)$$

Din ecuația (2.15) rezultă că de-a lungul întregului conductor componentele orizontale  $H_1, H_2, \dots, H_n$  sunt constante și egale între ele. Această valoare constantă se notează cu  $H$ .

De asemenea se mai poate scrie relația:

$$V = H \operatorname{tg} \varphi = H dy/dx = H y' \quad (2.16,b)$$

Din relațiile 2.16,a) și (2.16,b) se obține expresia:

$$dV/dx = H dy'/dx = \sigma_0 A y'' = q_t dL/dx = q_t \sqrt{(dx^2+dy^2)/dx^2} = q_t \sqrt{1+(y')^2} \quad (2.16,c)$$

din care, prin împărțirea tuturor membrilor cu aria  $A$  a secțiunii conductorului monometalic echivalent, apoi prin efectuarea unor transformări simple și mai multe integrări, rezultă pentru curba geometrică a conductorului considerat următoarele relații importante:

$$y' = \text{sh}(x/a) \quad (2.17);$$

$$y = a \text{ ch}(x/a) \quad (2.18);$$

$$L(x) = a \text{ sh}(x/a) \quad (2.19)$$

unde:  $\sigma_0 = H/A$  este tensiunea în conductorul monometalic echivalent în punctul inferior C al curbei din figura 2.3,a și unde tangenta la curbă este paralelă cu axa Ox, în care  $S=H$  și  $V=0$ , în  $\text{N/mm}^2$ ;

$\gamma_t = q_t / A$  -sarcina totală specifică (raportată la unitatea de lungime și de arie a secțiunii conductorului) în  $\text{N/m mm}^2$ .

$a = \sigma_0 / \gamma_t$  (2.20) -este ordonata punctului inferior C în sistemul de axe xOy ales;

$L(x)$  -lungimea arcului de curbă între punctul C al curbei de abscisă  $x = 0$  și ordonată  $y = a$  și punctul P de abscisă  $x$  și ordonată  $y$  (fig.1.3,a).

Curba de echilibru a conductorului considerat, reprezentată de ecuația (2.18) se numește curba lăntișorului.

Prin dezvoltarea în serie a relației (2.18) se obține formula de calcul a ordonatei  $y$  în punctul P.

$$y = a [ 1 + (1/2!) (x/a)^2 + (1/4!) (x/a)^4 + \dots ] \quad (2.18,a)$$

Observație Folosirea în calcul a ecuației lăntișorului, dedusă pe baza considerării conductorului examinat ca fir flexibil și inextensibil este complet acoperitoare deoarece erorile față de rezultatele obținute cu relațiile stabilite pe baza considerării conductorului ca fir flexibil și extensibil, așa cum este el în realitate, sunt în toate cazurile întâlnite în practică sub 0,5% [2].

2.3.2.3. Stabilirea unor formule aplicate la calculul de dimensionare și de verificare a conductoarelor electrice aeriene

Se consideră conductorul din figura 2.3,a cu punctele de suspensie A și B denivelate, diferența de nivel fiind  $m_0$ , deschiderea între punctele A și B  $l = l_1 + l_2$ , iar lungimea conductorului  $L_0$ .

Pentru conductorul considerat, cu (1.18) și (1.13) se pot scrie următoarele relații :

$$y_A = a \operatorname{ch} (l_1 / a) \quad \text{și} \quad y_B = a \operatorname{ch} (l_2 / a) \quad (2.21)$$

$$L(l_1) = a \operatorname{sh} (l_1 / a) \quad \text{și} \quad L(l_2) = a \operatorname{sh} (l_2 / a) \quad (2.22)$$

$$y_B - y_A = m_0 = a [\operatorname{ch} (l_2 / a) - \operatorname{ch} (l_1 / a)] \quad (2.23)$$

$$L(l_1) + L(l_2) = L_0 = a [\operatorname{sh} (l_1 / a) + \operatorname{sh} (l_2 / a)] \quad (2.24)$$

Ținând seama de relațiile de adunare și de scădere a două funcții hiperbolice, relațiile (2.23) și (2.24) se pot scrie sub forma:

$$m_0 = 2 a \operatorname{sh} \frac{(l_1+l_2)}{2a} \operatorname{sh} \frac{(l_2-l_1)}{2a} \quad \rightarrow \quad (m_0/2)^2 = a^2 \operatorname{sh}^2 \frac{(l_2-l_1)}{2a} \quad (2.23,a)$$

$$L_0 = 2 a \operatorname{sh} \frac{(l_1+l_2)}{2a} \operatorname{ch} \frac{(l_2-l_1)}{2a} \quad \rightarrow \quad (L_0/2)^2 = a^2 \operatorname{sh}^2 \frac{(l_2-l_1)}{2a} \quad (2.24,a)$$

Din (2.23,a) și (2.24,a) rezultă :

$$(L_0/2)^2 - (m_0/2)^2 = a^2 \operatorname{sh}^2 \frac{l_2-l_1}{2a} \quad \text{sau} \quad (1/2) \sqrt{L_0^2 - m_0^2} = a \operatorname{sh} \frac{l_2-l_1}{2a} \quad (2.25)$$

Introducând notația  $l/2a = \beta$  , din (2.25) se poate obține relația :

$$\frac{\sqrt{L_0^2 - m_0^2}}{2l} = \frac{\operatorname{sh} \beta}{\beta} \quad (2.26) , \text{ din care se poate determina valoarea lui } \beta \text{ și}$$

apoi cea a lui  $a = (l/2\beta)$  (2.27).

Cunoscând parametrul  $a$  și datele problemei, cu relațiile de mai sus se pot calcula pe rând și mărimile necunoscute ale unei probleme concrete.

Astfel, din (1.25) se determină mai întâi  $L_0$  , iar apoi din raportul relațiilor (2.28,a) și (2.24,a)

$$\frac{m_0}{L_0} = \frac{\operatorname{th} \frac{l_2-l_1}{2a}}{2a} \quad \text{se obține diferența } l_2-l_1 .$$

Aceasta, împreună cu suma  $l = l_1 + l_2$  permite determinarea lungimilor parțiale  $l_1$  și  $l_2$  .

În continuare se calculează cu (2.21) ordonatele  $y_A$  și  $y_B$  cu care se obțin săgețile :

$$f_1 = y_A - a \text{ și } f_2 = y_B - a .$$

### Determinarea tensiunii maxime de întindere

Într-un punct oarecare P de abscisă x, efortul de întindere S din secțiunea conductorului este rezultanta componentei orizontale H și a celei verticale V.

Având  $H = \sigma_0 A$  și  $V = q_t L(x)$  se obține :

$$S = \sqrt{H^2 + V^2} = \sqrt{\sigma_0^2 A^2 + q_t^2 L^2(x)}, \text{ respectiv}$$

$$\frac{S}{A} = \sigma(x) = \sqrt{\sigma_0^2 + \gamma_t^2 L^2(x)} = \dots = \sigma_0 \operatorname{ch} \frac{\gamma_t x}{\sigma_0} = \gamma_t y$$

Astfel, în dreptul punctului de suspensie cel mai ridicat al conductorului monometalic, cu

$$y_{\max} = Y_B = a + f_2 = (\sigma_0 / \gamma_t) + f_2 \quad \text{rezultă} \quad \sigma_{\max} = \gamma_t (\sigma_0 / \gamma_t + f_2) = \sigma_0 + \gamma_t f_2 \quad (2.28)$$

### Observații

1. De obicei secțiunea conductorului monometalic se determină mai întâi pe baza condiției electrice, respectiv a puterii care se transmite prin aceasta.

Apoi pentru secțiunea respectivă se calculează încărcările prevăzute de normativele în vigoare și se alege o valoare corespunzătoare  $\sigma_0$  a tensiunii la montare cu care apoi se stabilesc și tensiunile  $\sigma_{al}$  și  $\sigma_{ol}$  la montare cu formulele (2.12) și apoi tensiunile din conductor în diversele condiții de exploatare (temperatură, gheață și vânt) indicate în normativele amintite pentru zona în care se află linia electrică aeriană respectivă. Va trebui ca tensiunile din secțiunea conductorului să nu depășească tensiunile admisibile ale firelor de aluminiu și cele ale firelor de oțel, prevăzute în norme în nici una din condițiile de exploatare posibile.

2. Pentru alte condiții de exploatare decât cea admisă la montare (când s-a considerat temperatura  $t = t_m \approx t_r$ , lungimea  $L_0$  a conductorului între punctele de suspensie se modifică într-o măsură relativ mică cu  $\Delta L_0(t) = L_0 \alpha (t - t_r)$  și cu  $\Delta L_0(\sigma) = L_0 (\sigma - \sigma_0) / E$ . Totodată și tensiunile din secțiunea firelor de aluminiu și în cea a firelor de oțel se vor calcula cu relațiile (2.13), iar valoarea mărimii se va recalcula cu formula (2.20).

3. În prezent proiectarea conductoarelor electrice aeriene, ca și a celorlalte componente ale liniilor electrice respective se fac în instituții de proiectare specializate, cu ajutorul calculatoarelor electronice numerice pe baza unor programe de calcul elaborate de specialiști în domeniu, în colaborare cu informaticieni ținând seama de toate normativele de calcul în vigoare.

*Puterea unei teorii se verifică  
în valoarea rezultatelor practice*

## CAP.3. EVOLUȚIA COMPORTĂRII MECANICE A CONDUCTOARELOR

### 3.1.INTRODUCERE

De obicei cercetările în rezistența materialelor sunt orientate spre fenomene cu pondere majoritară, negative care pun în pericol funcționalitatea ansamblului, fenomene determinate de condițiile specifice de exploatare.

Exemple sunt prezentate mai jos.

Tabelul 3.1.

Nr.crt	Fenomen studiat	Material - piesa
1	Fisurare	-Poduri metalice -Conducte gaz, abur, apă, petrol -Construcții beton, etc.
2	Uzare	-Came, lanțuri -Piston cilindru -Ghidaje -Lagăre -Scule așchietoare -Angrenaje, etc.
3	Îmbătrânire	-Amortizoare cauciuc
4	Relaxare	-Segment piston -Îmbinare șurub - piuliță
5	Fluaj	-Palete turbine- -Conducte -Conductoare , etc.
6	Oboseală	-Arbori, osii -Caroserii -Arcuri , etc.
7	Evoluția comportării mecanice	-Conductoare

### 3.2. DEFINIȚIE

Evoluția comportării mecanice ( E ) este procesul complex de modificări epuizabile interdependente a :

- structurii interne și de margine
- răspunsului mecanic în tensiuni și deformații
- solicitării,

prin schimbări :

- cantitative și calitative
- neconținute
- imperceptibile și neînsemnate în timp relativ scurt

a proprietăților mecanice, sub acțiunea modificărilor ( nepuizabile și independente ) de:

- încărcare
- timp de existență
- energie externă ( temperatură )

### 3.3. COMPORTĂRII MECANICE

Tabelul 3.2.

Nr. crt.	Caracteristici modificare		Componentă		Influență asupra altor componente globale	
			globală	specifică	cauze	efect
1	Inepuizabile	1.1	Încărcare	-	-	Solicitarea
		1.2	Timp de existență	-	-	Structura
		1.3	Temperatură	-	-	Răspuns
2	Epuizabile	2.1.	Solicitarea	Mecanică Electrică Termică Chimică	Încărcarea Răspuns	Structura
		2.2	Structura	Internă De margine	Solicitare Timp de existență	Răspuns
		2.3	Răspuns mecanic	Tensiuni Deformații	Structura Temperatura	Solicitarea

### 3.4. SISTEMUL RELAȚIONAL ÎNTRE COMPONENTELE EVOLUȚIEI COMPORTĂRII MECANICE

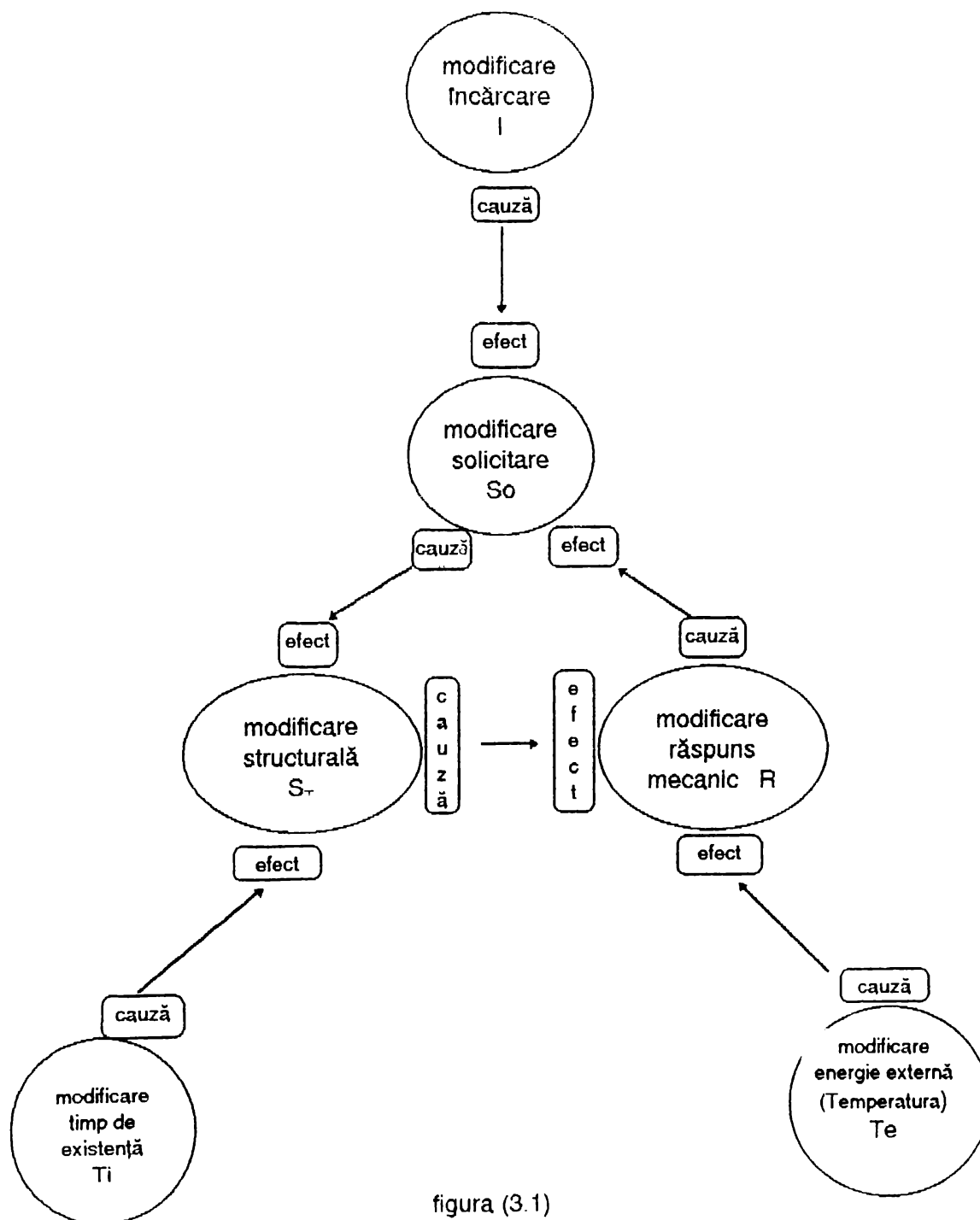


figura (3.1)

### 3.4.1. Macroevoluția modificărilor

Are loc între componentele globale ale evoluției comportării mecanice ( vezi fig.3.1). Apare un fenomen de influențare a modificărilor globale nepuizabile asupra modificărilor globale epuizabile . Dinamica modificării ar putea fi studiată doar în cazul determinării ponderii celor două efecte asupra modificării epuizabile.

### 3.4.2. Microevoluția modificărilor

Are loc între componentele specifice ale evoluției materialelor. Apare un fenomen de influențare reciprocă a modificărilor specifice epuizabile.

#### 3.4.2.1. Microevoluția modificărilor cu referire la solicitare

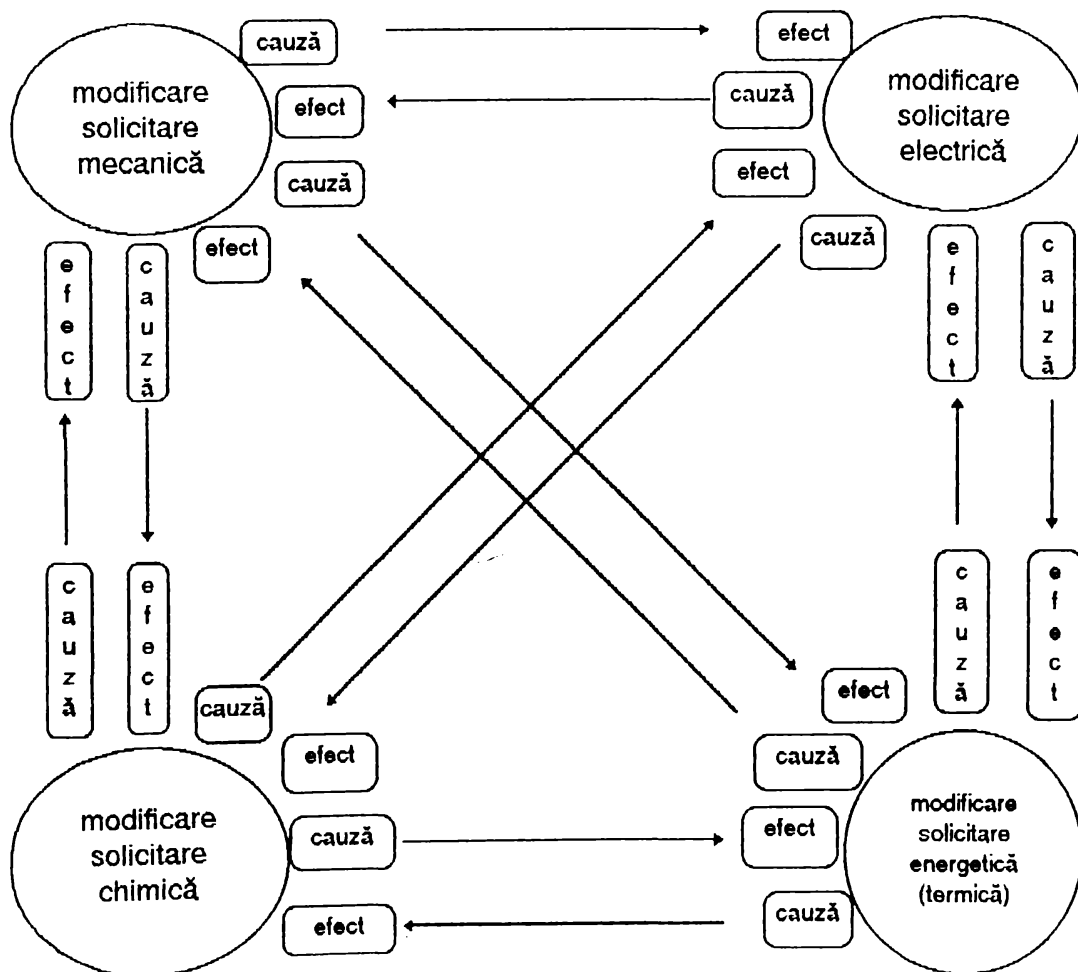


figura (3.2)

Orice modificare a unui tip de solicitare are implicații asupra celorlalte trei.



## 3.4.2.2. Microevoluția modificărilor cu referire la structură

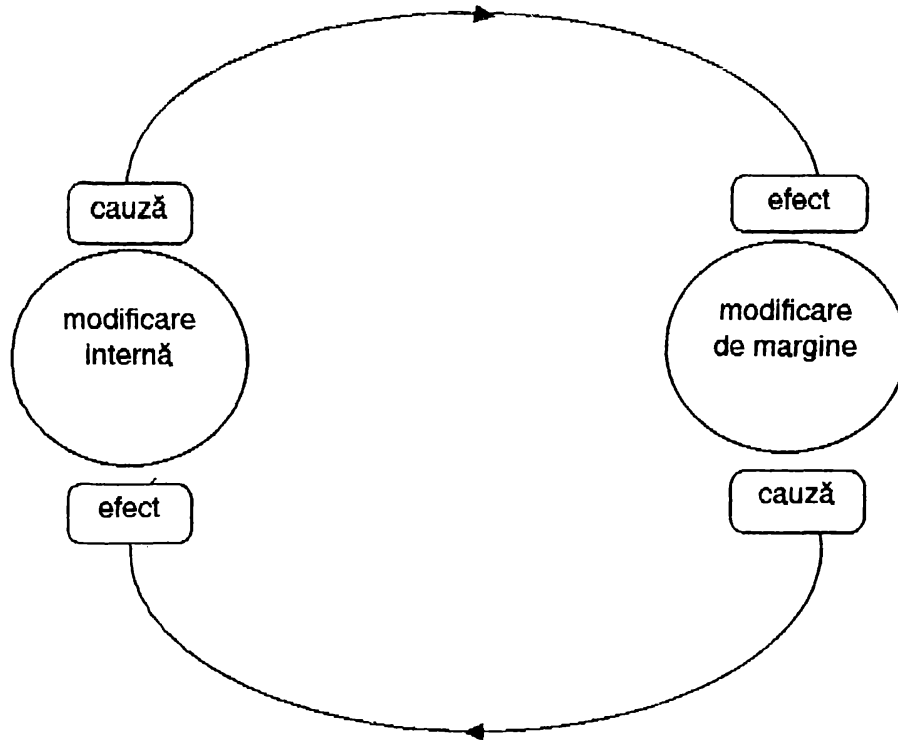


figura (3.3)

## 3.4.2.3. Microevoluția modificărilor cu referire la răspuns mecanic.

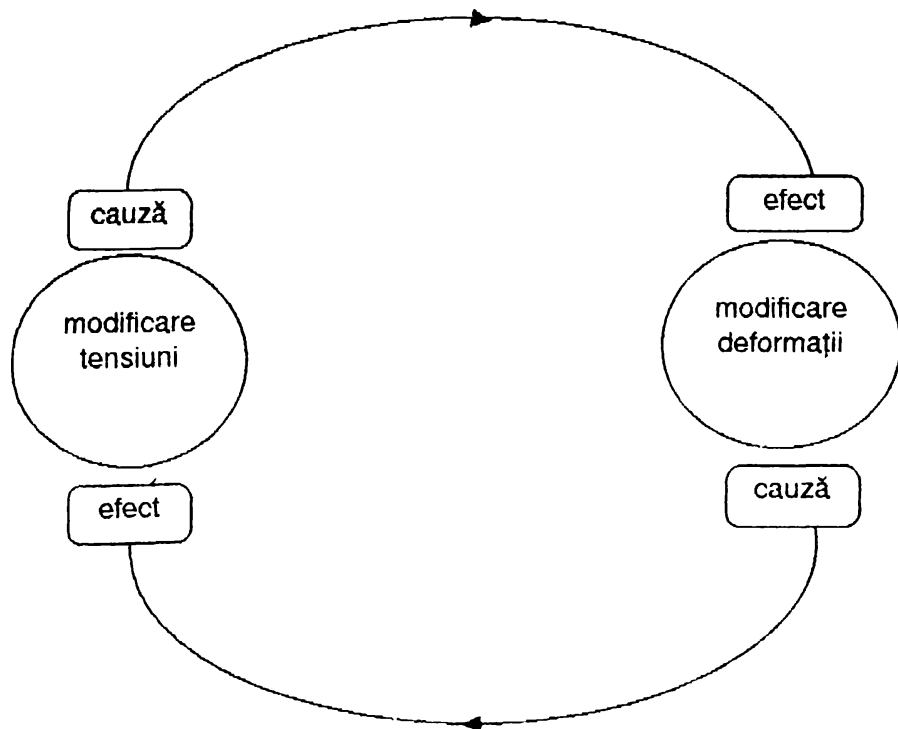


figura (3.4)

## 3.4.3.COMENTARII PRIVIND INFLUENȚA RECIPROCĂ A MODIFICĂRILOR

Tabelul 3.3.

Nr. crt.	Etape temporale	Viteză relativă	Timp relativ	Caracteristici influență
1	inițială	mare	scurt	activă spre inactivă („vie“ spre „moartă“)
2	de durată	mică	lung	aproape inactivă
3	finală	mare	scurt	inactivă spre activă

## 3.5. DEPENDENȚA GENERALĂ A EVOLUȚIEI COMPORTĂRII MECANICE

Având în vedere relațiile între componentele prezentate în figura ( 3.1 ) dependența matematică generală este:

$$E = f \{ l, T_i, T_e, S_o = f [ T_e, S_T = f ( T_i ) ] \},$$

$$R = f \{ T_e, S_T = f [ T_i, S_o = f ( l ) ] \},$$

$$S_T = f \{ T_i, S_o = f [ l, R = f ( T_e ) ] \}.$$

## 3.6.MODURI PRACTICE DE DETERMINARE A EVOLUȚIEI COMPORTĂRII MECANICE

Regula de bază a determinării evoluției comportării mecanice o reprezintă condițiile de încercare și examinare identice decalate în timp.

Tabelul 3.4.

Nr. crt.	Parametru determinat	Variante	Masini si aparate
1	Solicitare mecanică limită	Tensiuni limită temporale și/sau Deformații limită temporale	încercări limită care dau tensiuni de aceeași natură $\sigma$ sau $\tau$
2	Structură fizico -chimică	Formă și/sau conținut	Microscop optic sau electronic
3	Răspuns mecanic în condiții de încărcare identice	Tensiuni și/sau Deformații	Unități de măsură tensometrice

Deoarece în cazul conductoarelor există dificultăți tehnice și financiare de determinare a evoluției comportării mecanice cu unități de măsură tensometrice, lucrarea abordează doar primele două variante.

### 3.7. SINTEZA FACTORILOR CARE INFLUENȚEAZĂ EVOLUȚIA COMPORTĂRII MECANICE A CONDUCTOARELOR

Factorii sunt prezentați în figura 3.5.:

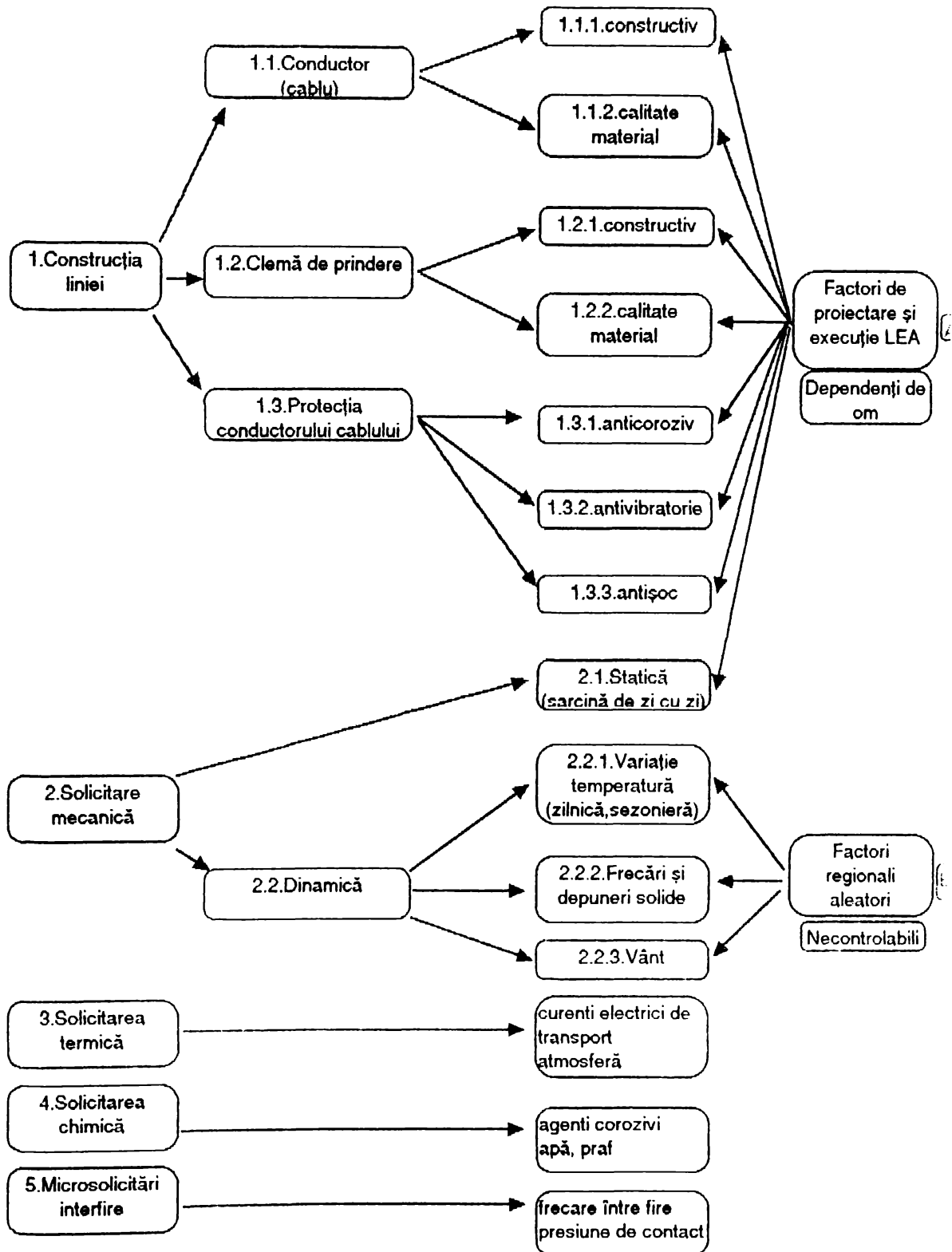


Figura 3.5.

### 3.8.TIPURI DE SOLICITĂRI PREZENTE IN CONDUCTOARE

Tabelul 3.5.

Solicitare	Directe (Mecanice pure)	Indirecte (Cu reflectare mecanica)
Macrosolicitări	-Statice (EDS, chiciură) -Dinamice (vânt)	Termice (curent de funcționare, atmosferă ambientală)
Microsolicitări a) de margine b) interne	-Frecare -Presiune de contact	Chimice (apă, agenți corozivi)

### 3.9.EVOLUȚIA SPAȚIO - TEMPORALĂ A DISTRIBUȚIEI TENSIUNILOR PE FIRELE SECȚIUNII CONDUCTORULUI

Cauzele producerii acestei mișcări sunt:

#### 3.9.1. Întinderea neuniformă a firelor în conductor

- constructiv din împletire
- poziția diferită în secțiune (strat)

#### 3.9.2.Sarcini variabile spațio - temporal : aleatorii

- tracțiune
- torsiune
- încovoiere

datorate condițiilor atmosferice.

#### 3.9.3.Variația de temperatură

- schimbarea temperaturii mediului
- schimbarea puterii electrice transportate

Din cauza coeficientului de dilatare diferiți ai aluminiului și ai oțelului apar situațiile:

Tabelul 3.6.

	Secțiune AI	Secțiune OI
Încălzire	descarcă	încarcă
Răcire	încarcă	descarcă

#### 3.9.4. Curgerea individuală a firelor la creșterea sarcinii sau la sarcini de lungă durată

La o suprasolicitare sau solicitare de lungă durată globală a conductorului pe firele cu grad de solicitare locală mare și tensiuni limită de curgere locale mai mici, apare o deformație plastică care descarcă firul din punct de vedere tensional și redistribuie solicitările în plan secțional. Fenomenul este continuu și apare la mai multe fire în grade de deformare plastică diferite, cu grade de descărcare diferite. Curgerea continuă are tendința spre uniformizarea tensiunilor limită, fenomen pozitiv care duce la o comportare globală mai bună.

#### 3.10. Concluzii

Având în vedere numărul mare de factori și tipuri de solicitări care influențează durata de viață în serviciu, apar probleme legate de cunoașterea valorilor tensiunilor și deformațiilor pe fire care :

1. Din punct de vedere teoretic sunt deocamdată dificil calculabile.
2. Din punct de vedere experimental sunt deocamdată dificil măsurabile.
3. Din punct de vedere al modului de variație
  - neconținute
  - imperceptibile.

## 4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE IN SCOPUL DETERMINĂRII EVOLUȚIEI COMPORTĂRII MECANICE

### 4.1. Cercetarea structurilor metalografice

4.1.1. Structuri metalografice ale materialelor firelor secționare transversal și longitudinal au fost supuse analizei structurale metalografice fire componente ale conductoarelor în variantele :

tabel 4.1.

	Simbol
-neutilizat în exploatare	0
-utilizat 9 ani în exploatare	9
-utilizat 24 ani în exploatare	24
-utilizat 33 ani în exploatare	33

În următoarea configurație :

tabelul 4.2.

Probe Material (foto.4.1)	Simbol	Sectiuni În fir (foto 4.4. - 4.40)				Strat De Împietire	Simbol
		Tip	Simbol	Zona secțiunii Cercetate	Simbol		
-oțel	0	-transversală	T	Interioară	I	Exterior	E
-aluminu	A	-longitudinală	L	De margine	M	Interior	I

cu ajutorul microscopelor:

tabelul 4.3.

Tip	Optic metalografic (figura 4.2.)	Electronic prin transmisie (figura 4.3.)
Marca	Epityp	Tesla b.s.613
Mărire	500x	5000X

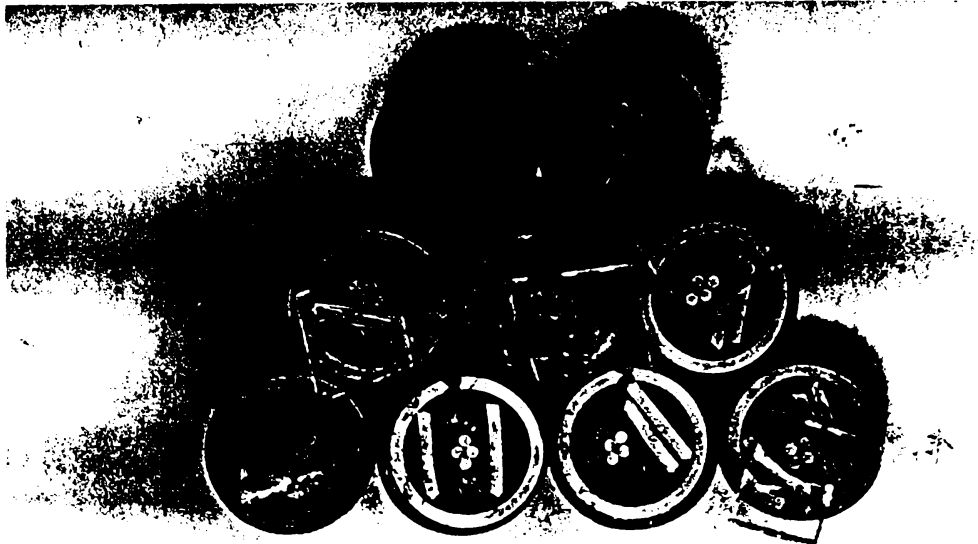


Foto 4.1.

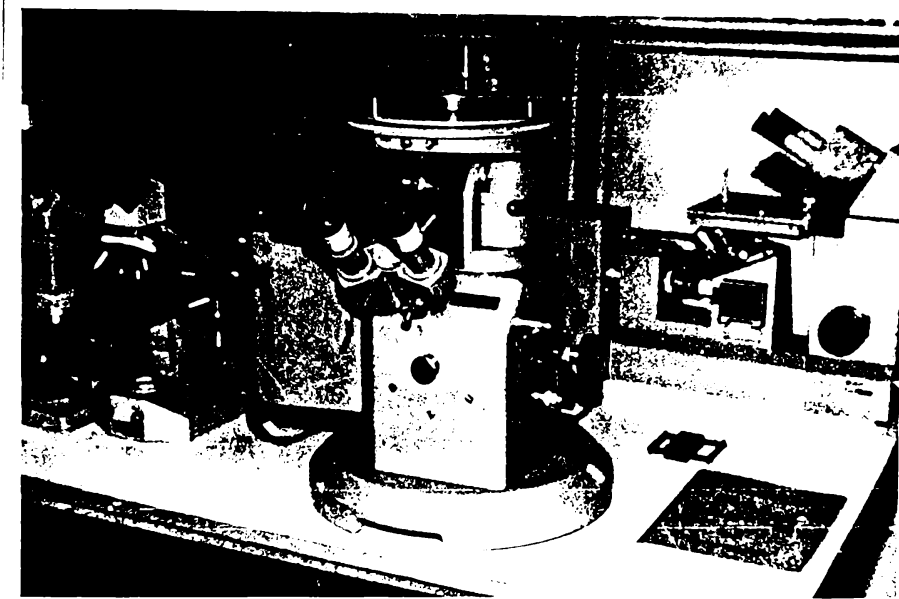


Foto 4.2.

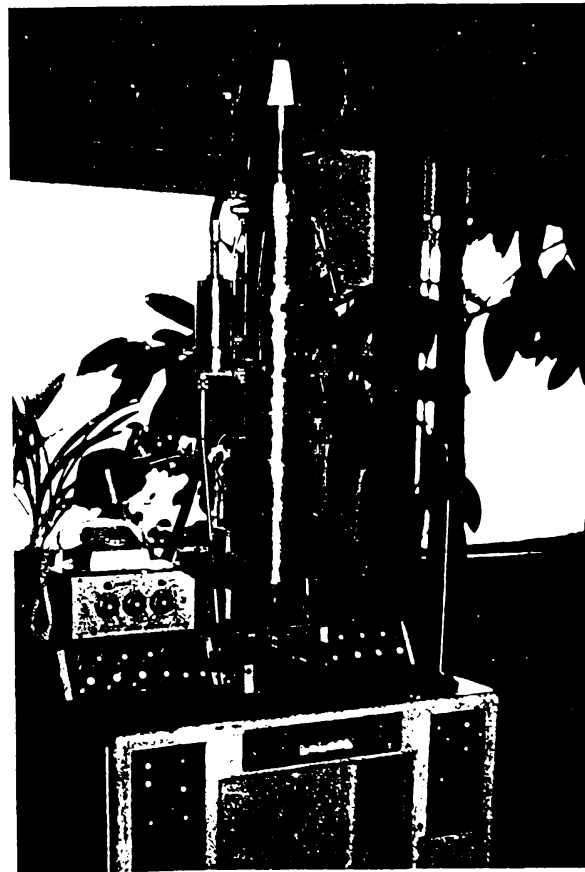


Foto 4.3.

Structurile sunt prezentate in ANEXA 1.

#### 4.1.2. Modificări microstructurale de margine ( MMM ) la firele de aluminiu și de oțel ce compun conductoarele

Evoluția la nivelul ariei de contact a structurii de margine .

##### 1) Cauze externe care determină MMM

- mecanice
  - trefilarea firelor
  - apăsarea variabilă și impactul (șocul micromecanic) cu oscilații de mică amplitudine intrefire determinate de solicitările globale ale conductoarelor (în principal tracțiunea)
    - pe strat (pe arii cu origine liniară)
    - interstraturi (pe arii cu origine punctiformă)
  - apăsarea în cleme
  - frecarea abrazivă interfire (praf + strat de oxid aluminiu exfoliat + vaselină)
- chimice
  - coroziune chimică; apă, agenți chimici (praf, gaze, vapori, rugină)
- electrice
  - microdescărcări electrice interfire.

##### 2) Manifestare macromaterială MMM

- exfoliere
- ciupire
- abraziuni
- umflături
- ruginire
- coroziune chimică
- cojire
- microfisuri de suprafață transversale
- deformări plastice microstructurale de suprafață.

##### 3) Factorii care influențează evoluția MMM a firelor

- geometria ariilor ( suprafețelor ) de contact interfire
- materialul firelor
  - duritatea suprafeței
  - sensibilitatea la abraziuni



- spațiul parcurs în deplasarea relativă interfiră
  - frontală
  - laterală
- timpul parcurs între două poziții extreme
  - frontale
  - laterale
- dinamica microdeplasărilor relative interfiră
- ungerea ( vâscozitatea , aditivitatea vaselinei )
- temperatura de funcționare ( crește viteza de reacție chimică )
- calitatea acoperirilor galvanice
- factorii tehnologici de trefilare

Tensionarea variabilă distruge stratul protector de oxizi și produce intensificarea fenomenului coroziv.

#### 4.1.3.Modificări microstructurale interne MMI la firele de aluminiu și oțel ce compun conductoarele

Evoluția la nivel intern a structurii

##### 1) Cauze externe care determină MMI

- solicitarea complexă macromecanică cu sarcini variabile spațio -temporal
- variația ( locală pe rază și generală ) a temperaturii ( cu implicații mecanice )  
 conductoarelor, determinată de
  - mediul ambiant
  - puterea electrică transportată
- modificări spațio - temporale ale solicitărilor firelor dintr-o secțiune prin descărcări tensionale mecanice locale ( deformări plastice locale )

## 2) Manifestare

- modificarea structurii fibroase cu orientare preferențială de tip textură ( obținută inițial prin trefilare )
- apariția și dezvoltarea golurilor sferice sau fusiforme între fibre ( vezi foto 4.7 ).
- apariția și dezvoltarea fisurilor în fire cu origine superficială sau exclusiv internă cu direcții preferențiale de-a lungul texturii interfibre sau perpendiculare pe textură
- realizarea zonală de structuri dezordonate ( zdrobite ) sau cu grad de mărunțire diferit sau sub formă de » nori « ( vezi foto 4.19 ).

## 3) Factorii care influențează evoluția MMI

- factorii tehnologici de trefilare și tratament termic
- compoziția chimică a firelor de oțel și de aluminiu
- întinderea firelor în împletire
- dinamica solicitării mecanice, electrice, termice și chimice
- sarcina statică curentă de zi cu zi
- modificările microstructurale de margine
- sensibilitatea la propagarea fisurilor
- frecarea internă

## 4.2. CERCETAREA COMPORTĂRII MECANICE LA SOLICITARE

4.2.1. Între global și specific, între static și dinamic, între tensiuni și deformații și între artificial și natural

Dacă urmărim materialul de încercat, tipul de încercare și parametrul urmărit la încercare, apar 8 variante de încercări experimentale, în configurația:

Tabelul 4.4.

1	Material de încercat	1.1. conductor întreg ( global ) 1.2. fire componente ( specific )
2	Mod de încercare	2.1 <u>statică</u> 2.2 dinamică
3	Parametru urmărit	3.1 <u>deformație limită temporală</u> 3.2 <u>tensiune limită temporală</u>
4	Studiul evoluției comportării mecanice	4.1 În laborator 4.2 <u>În condiții naturale</u>

Alegerea variantei a fost determinată de analiza avantajelor și dezavantajelor fiecărei variante și optimizarea cercetării.

### 1.1. Probă de conductor întreg

Avantaje:

- dă indicații mai precise asupra comportării ansamblului
  - timp de încercare redus pentru încercarea la tracțiune
  - existența în laborator a mașinilor de încercat corespunzătoare MOT 2500/13.
- foto [ 4.48 ], și de încărcare la fluaj.

**Dezavantaje:**

- necesită lungimi mari de conductor cu toate consecințele ce decurg din modul de prelevare și refacere a rețelei
- prezintă o imagine globală a degradării cu variații dificil perceptibile
- timp de încercare mare pentru încercarea la fluaj

**1.2. Probă de sârmă ( încercare fir cu fir )****Avantaje:**

- reduce substanțial timpul de deranjare a rețelei de distribuție ( necesitând lungimi mici de epruvete ) cu toate consecințele ce decurg din modul de prelevare și refacerea rețelei
- prezintă o imagine a degradării cu contrast mai mare ( mai ușor decelabilă ) a stadiului de degradare
- cost redus a instalațiilor de încercare

**Dezavantaje:**

- ansamblul se comportă ușor diferit în raport cu suma comportării părților componente
- timp de efectuare a încercărilor mai mare decât la încercarea conductorului

Întreg. ( Dezavantajul este eliminat prin metoda propusă în lucrare )

**2.1. Mod de încercare mecanică statică****Avantaje:**

- rapiditatea încercării
- condiții tehnice de încercare simple, în raport cu cele dinamice

**Dezavantaje:**

- indicații mai puțin precise asupra comportării în timp a materialului

## 2.2. Mod de încercare mecanică dinamică

### Avantaje:

- indicații mai precise asupra comportării în timp a materialului

### Dezavantaje:

- timp de încercare mare
- complexitate deosebită a standului de încercare pentru aproximarea condițiilor naturale de mediu
- concentrarea excesivă a sistemului de încercare ( standuri unicat )

## 3. Parametru de urmărit

Am ales determinarea tensiunilor limite temporale pentru încercările de tracțiune și forfecare și deformații limită temporale pentru încercările de îndoire alternantă și răsucire.

## 4.1. Probe din conductoare noi supuse unor încărcări în laborator

### Avantaje:

- determinarea cu precizie mare a influenței unui factor de degradare asupra conductorului și controlul lor

### Dezavantaje:

- costurile ridicate ale unui stand
- complexitatea standului de simulare a condițiilor naturale
- număr mare de standuri complexe pentru simularea unor condiții naturale dintre cele mai diverse
- necunoașterea ponderii fiecărui factor natural de acțiune asupra conductorului în procesul degradării
- gradul mare de împrăștiere a condițiilor de solicitare

#### 4.2. Probe prelevate direct din rețeaua de distribuție

##### Avantaje :

- dispariția tuturor dezavantajelor care apar la epruvete obținute prin încercări de laborator
- epruvete cu un stadiu de degradare determinat de condiții reale de solicitare ca sumă a tuturor influențelor condițiilor natural aleatoare ( Condițiile de lucru naturale dau cea mai reală situație de comportare în timp)

##### Dezavantaje:

- deranjarea rețelei de distribuție

##### Specificație rezultată din experimente:

Tabelul 4.5.

Probe	Forța de rupere la tracțiune	
	0 ani de funcționare	33 de ani de funcționare
fir cu fir	Fr total	Fr total
conductor întreg	0,94 Fr total	0,99 Fr total

#### 4.2.2. Despre tensiunea limită temporală, deformația limită temporală, diluația mecanică, securitate în serviciu

De-a lungul cercetărilor pe conductoare de aceeași calitate aflate în diverse stadii de serviciu în exploatare, am constatat modificări importante a tensiunilor ( deformațiilor ) limită. În acest context am introdus noțiunile:

##### Tensiune limită temporală zero [ $\sigma_{LT0}$ ]

Ca expresie a tensiunii limită suportată de un material în timpul unei încercări mecanice de laborator efectuată înainte de a fi în serviciu la solicitări complexe. Unități de măsură [ MPa ].

##### Tensiune limită temporală [ $\sigma_{LT}$ ]

Ca expresie a tensiunii limită suportată de un material, în condiții de încercare de laborator identice determinării tensiunii limită temporale zero, efectuate după ce a fost supus în serviciu un timp îndelungat la solicitări complexe. Unități de măsură [ MPa ].

##### Deformație limită temporală zero [ $\varepsilon_{LT0}$ ]

Ca expresie a deformației elasto - plastice limită suportată de un material în timpul unei încercări mecanice de laborator efectuată înainte de a fi supus în serviciu la solicitări complexe. Unități de măsură [ % ].

##### Deformație limită temporală [ $\varepsilon_{LT}$ ]

Ca expresie a deformației elasto - plastice limită suportată de un material, în condiții de încercare de laborator identice determinării deformației limită temporale zero, efectuate după ce a fost supus în serviciu un timp îndelungat la solicitări complexe. Unități de măsură [ % ].

Studiind evoluția tensiunii limită temporale în timp am constatat un proces de schimbare descrescătoare permanentă definitivă a acestora, fenomen pe care l-am denumit diluație mecanică. Cauzele acestui fenomen stau în grad de umplere mecanică variabilă

definită ca raport dintre tensiunea ( deformația ) apărută în materialul aflat în serviciu sub acțiunea încărcării dinamice mobilă în parametri intensitate, amplitudine și frecvență și tensiunea (deformația) limită temporală.

Cu cât diluația mecanică este mai mare cu atât gradul de siguranță în serviciu a materialului - piesă în lucru scade.

Gradul de securitate în serviciu este capacitatea unui material de a suporta o anumită pierdere de tensiune limită temporală.

Gradul de securitate se apreciază prin atribute grupate în 6 clase de degradare:

- alarmantă
- periculoasă
- acceptabilă
- semnificativă
- moderată
- mică.

Clasele de degradare transferă decizia de înlocuire de la cel care face analiza calității la beneficiarul ei, funcție de situația economică concretă și importanța liniei.

#### 4.2.3. Epruvete conductoare

4.2.3.1. Prelevarea din rețeaua de distribuție a epruvetelor de conductor activ și de protecție , se face cu echipamente și echipe specializate și implică efort în decuparea eșantioanelor supuse probelor și refacerea continuității conductoarelor. Lucrarea nu își propune prezentarea acestor echipamente și nici a metodelor de prelevare din linie, acestea derulându-se după normative bine stabilite.

Toate epruvetele prelevate din linie sunt etichetate:

- Tip conductor
- Numele LEA
- Panoul
- Deschiderea
- Data - punerii în funcțiune ( luna, anul )
- Data prelevării probei ( luna, anul )



4.2.3.2. Procesul de pregătire a probelor implică următoarele faze :

1.-Matisarea capetelor

2.-Secționarea îngrijită a conductoarelor epruvete

3.-Desfundarea cu etichetarea

-material

-strat

-număr fir

4.-Decaparea

5.-Îndreptarea firelor

6.-Tranșarea firului la lungimi necesare tipurilor de încercări propuse a se efectua

7.-Etichetarea fragmentelor de fire

8.-Măsurarea diametrului mediu a fiecărui fir și notarea acestuia.

4.2.4. Criterii după care a fost condusă cercetarea

1. Analiza extensivă de determinare a contrastului maxim de evaluare a degradării în timp a conductoarelor.

2. Analiza extensivă de precizare a contrastului maxim de evaluare a degradării în timp a conductoarelor.

3. Caracterul deschis al cercetării și efectuării programului bază de date care atinge două obiective simultan.

-continuarea unei cercetări de tip extensiv pe timp foarte îndelungat.

-realizarea concretă a unei evaluări a stadiului de degradare pentru un conductor activ de protecție sau o ancoră în cazul unui tip de analize concret prestabilite.

## Etape de cercetare

### I. Prima etapă

Cercetare de tip extensiv asupra analizelor de laborator, care determină un contrast mare, de mărimi ce caracterizează evoluția comportării mecanice, în timp cât mai scurt.

Cercetarea s-a încheiat cu concluzia că analiza se va face fir cu fir prin probe de tracțiune, îndoire alternantă, răsucire și forfecare.

### II. A doua etapă

Cercetare de tip extensiv pe un număr foarte mare de probe pe care s-a aplicat tipul de analiză la care m-am oprit pentru evidențierea clară dintr-un număr extensiv de parametri statistici a celor cu cel mai mare contrast în aprecierea gradului de securitate în serviciu.

#### 4.2.5. Încercări mecanice <sup>fir cu fir</sup> pentru determinarea evoluției comportării mecanice

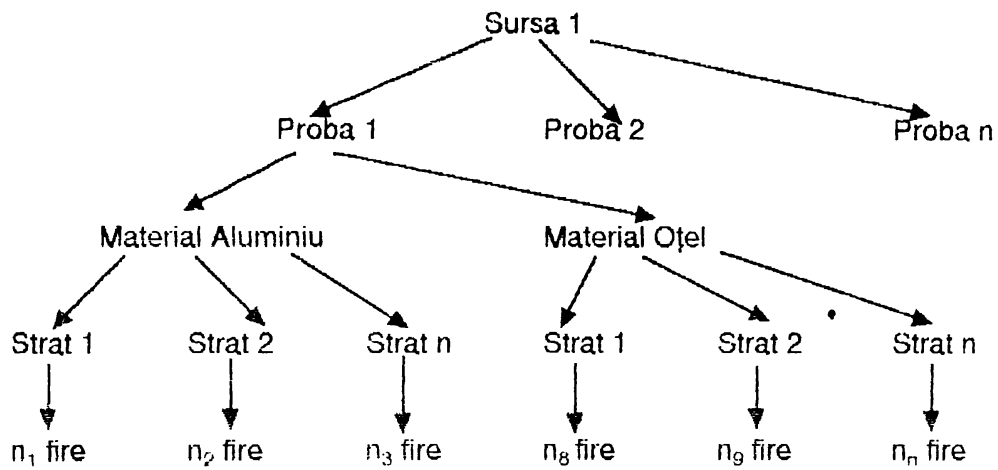
##### 4.2.5.1. Grupe de epruvete

Tabelul 4.6.

Număr cercetare majoră	1	2	3
Cod program cercetare	CER 1	CER 2	CER 3
Tip material energetic	conductor activ	conductor de protecție	ancore
Tip de diferențiere	timp de serviciu	-panouri diferite -construcție diferită	-stâlpi diferiți - construcție diferită
Observații	0 ani exploatare		
	9 ani exploatare		
	24 ani exploatare		
	33 ani exploatare		

## 4.2.5.2. Schema de încercare

A. Ierarhizarea pozițională a firului în baza de date [ figura 4.1.].



[ figura 4.1.].

B. Ierarhizarea pozițională a analizei mecanice în baza de date.

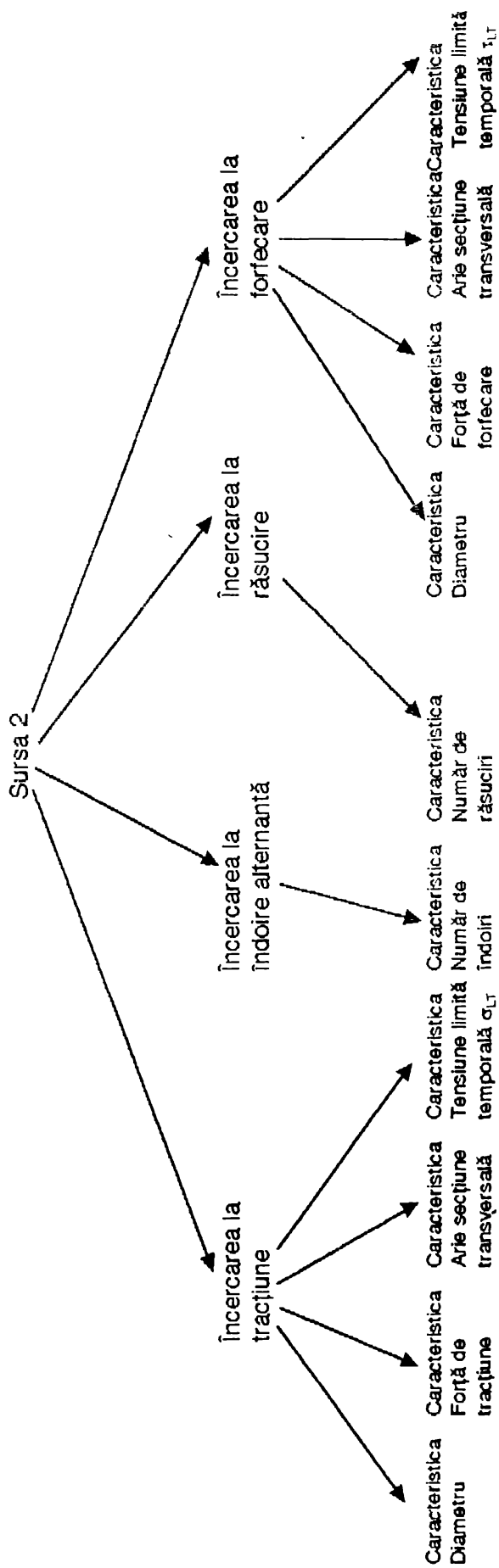


Figura [ 4.2.]

## 4.2.5.3. Mașini și aparate utilizate la încercări

Tabelul 4.7.

Nr.crt	Încercarea	Masina	Dispozitiv	Foto
1	Tracțiune	-Mașină de încercat la tracțiune pe domeniul 0-5000 N -Mașină de încercat la tracțiune pe domeniul 0-10000 N	Bacuri specializate pentru sârme	4.44
2	Îndoire alternantă	-	Dispozitiv de îndoire alternantă	4.45
3	Răsucire	-	Dispozitiv de răsucire	4.46
4	Forfecare	-Mașină de încercat la tracțiune pe domeniul 0-5000 N	Dispozitiv de încercare la forfecare	4.47
5	Tracțiune conductor întreg	MOT 2500/13	-	4.48

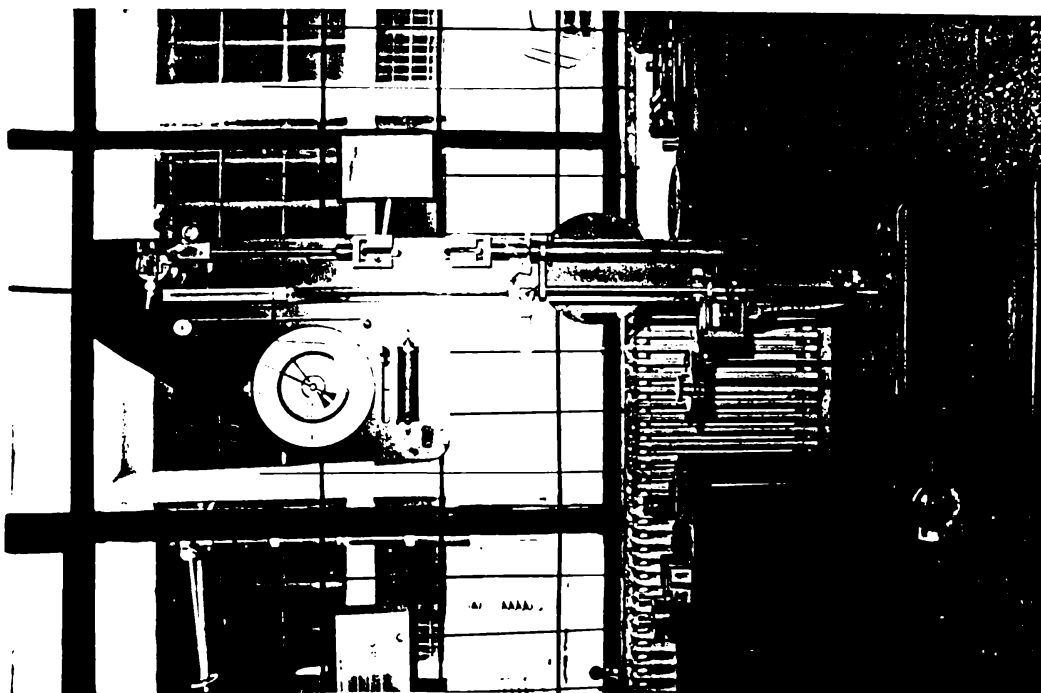


Foto 4 44

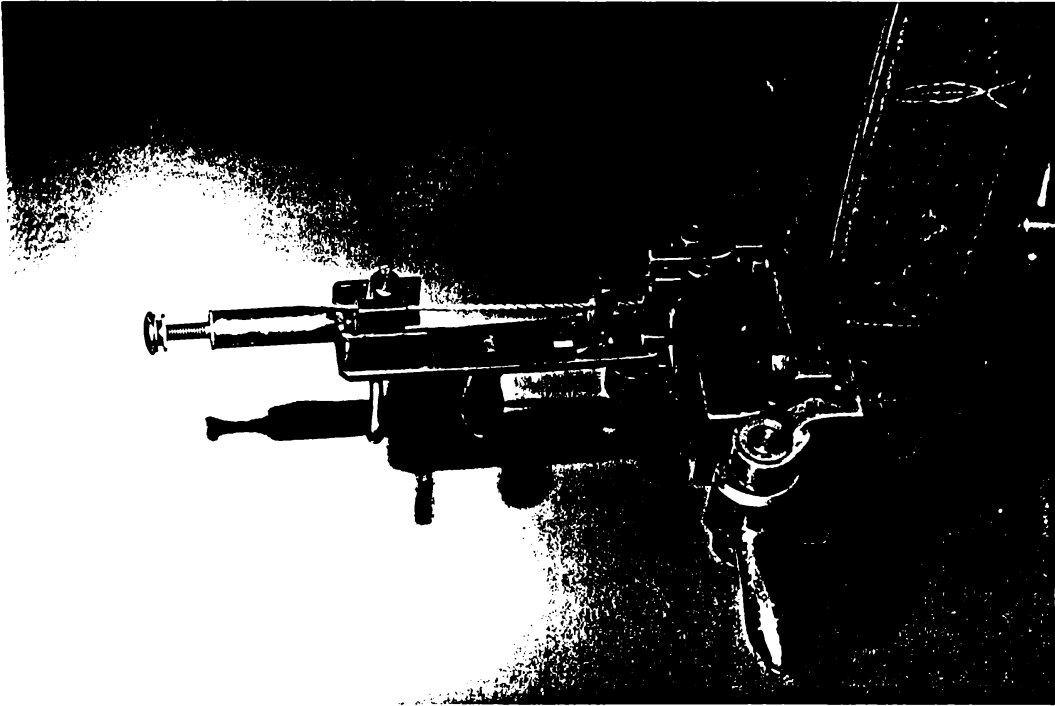


Foto 4.45

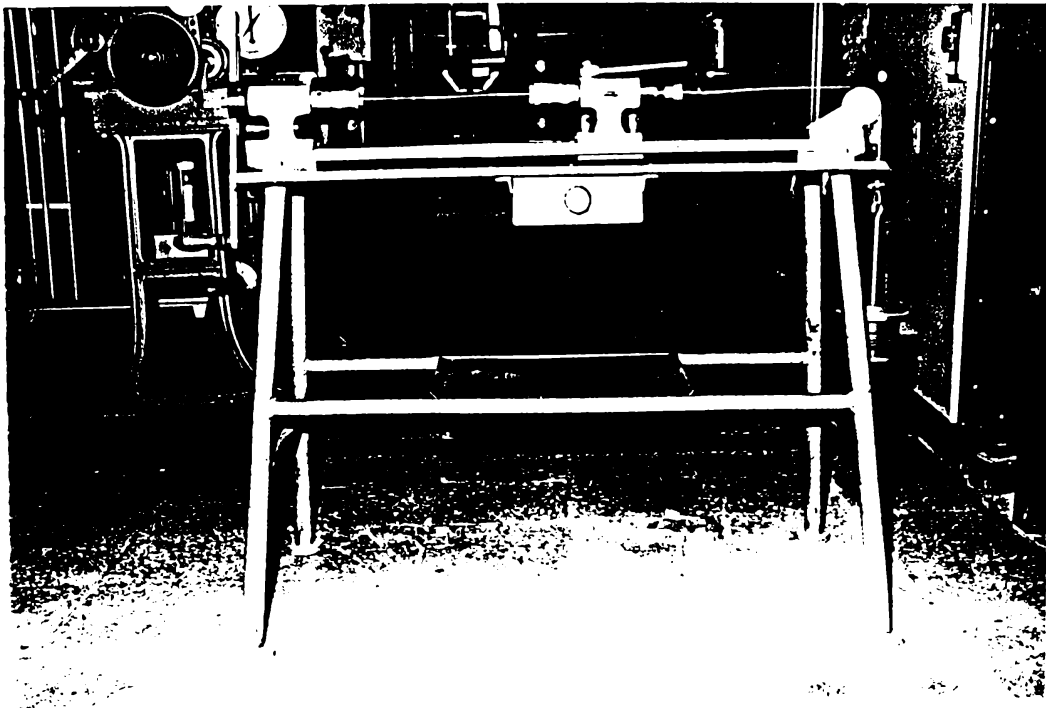


Foto 4.46

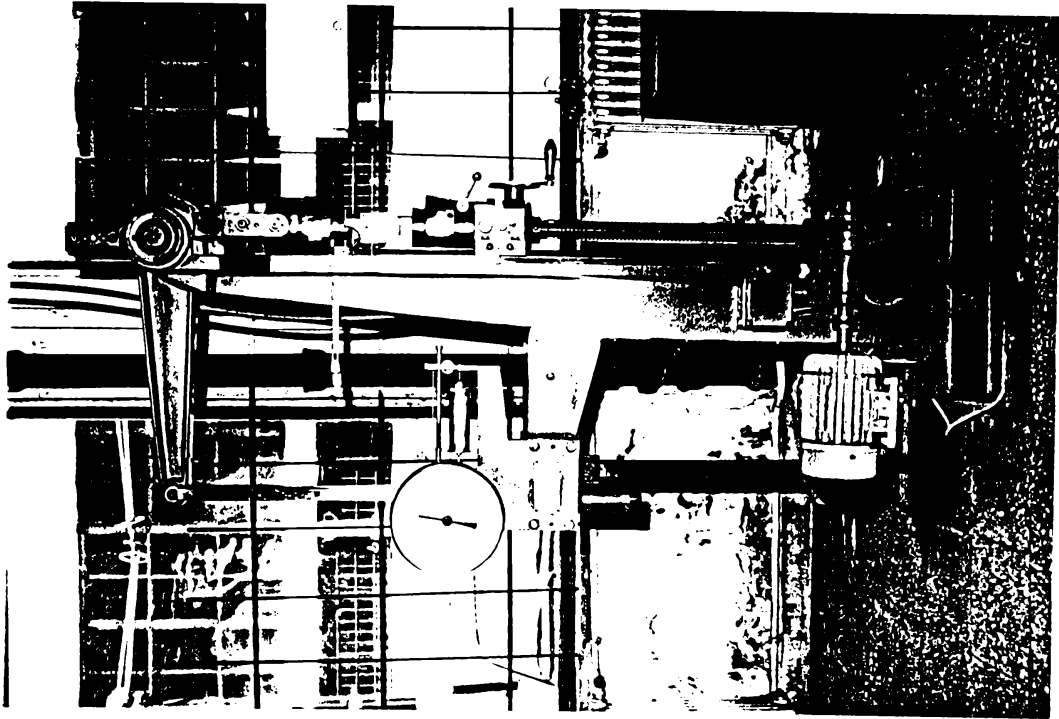


Foto 4.47

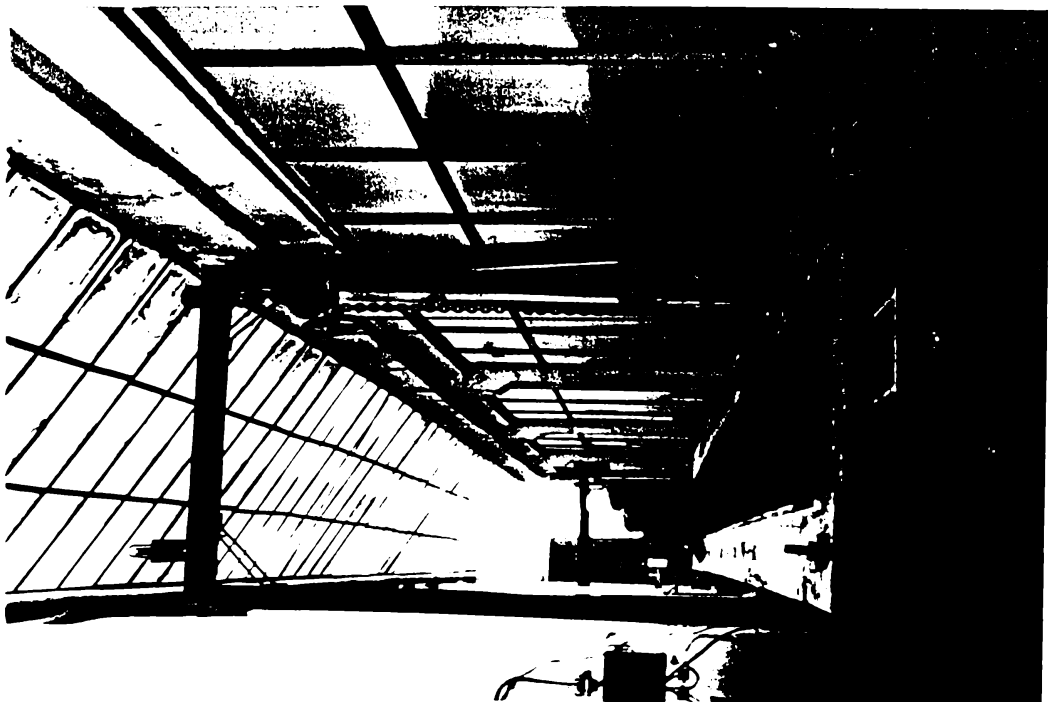


Foto 4.48

#### 4.2.5.5. CONCLUZII

##### A. Pentru conductoare neutilizate în exploatare

La încercarea la tracțiune pentru firele de aluminiu se observă o tensiune de rupere medie mai mare la diametre mai mari. Variabilitatea valorii tensiunii de rupere este foarte clar evidențiată de stratul din care face parte firul și de modul de împletire.

Variabilitatea valorilor tensiunilor de rupere la tracțiune pentru straturile de aluminiu este net superioară variabilității tensiunilor de rupere la tracțiune pentru inima de oțel.

Valorile tensiunii la rupere la tracțiune a firelor de oțel sunt de 12 ÷ 14 ori mai mari decât cele ale firelor de aluminiu. Se observă că straturile interioare de aluminiu suportă un număr de îndoiri alternante și răsuciri până la rupere sensibil mai mare decât la stratul exterior.

Valorile tensiunii la rupere la forfecare a firelor de oțel sunt de 4 ÷ 5 ori mai mari decât ale firelor de aluminiu.

##### B. Pentru conductorul utilizat 9 ani în exploatare

La încercarea la tracțiune pentru firele de aluminiu se observă tensiuni de rupere medii identice pentru ambele straturi. Variabilitatea valorilor tensiunilor de rupere a scăzut foarte mult.

Se constată că stratul interior de aluminiu suportă un număr de îndoiri alternante și răsuciri până la rupere mai mare decât stratul exterior.

Firele inimii de oțel suportă un număr de îndoiri alternante până la rupere mai mare decât la conductorul nou.

Variabilitatea valorilor tensiunilor de rupere la forfecare atât pentru firele de aluminiu cât și pentru cele de oțel este foarte mică.

##### C. Pentru conductorul utilizat 24 ani în exploatare

La încercarea de tracțiune pentru firele de aluminiu se observă tensiuni de rupere medii mai mici pentru stratul exterior decât ale celui interior. Rezistența la rupere la tracțiune a



scăzut cu 18 % față de cea a unui conductor nou pentru stratul exterior și cu 13 % pentru stratul interior. Rezistența la rupere la tracțiune medie pentru firele de oțel a scăzut cu 27 %.

Variabilitatea valorilor tensiunilor de rupere la tracțiune pentru firele de oțel și cele de aluminiu se menține mică. Se constată scăderea sensibilă a numărului de îndoiri alternante și de răsuciri până la rupere față de un conductor utilizat 9 ani în exploatare.

Variabilitatea valorilor tensiunilor de rupere la forfecare atât pentru firele de aluminiu cât și pentru cele de oțel este foarte mică. Tensiunea la rupere prin forfecare scade sensibil mai mult pentru stratul exterior de aluminiu față de cel interior și ambele față de tensiunea obținută la conductorul utilizat 9 ani în exploatare.

#### **D. Pentru conductorul utilizat 33 de ani în exploatare**

La analiza metalografică a unor secțiuni longitudinale și transversale a probelor de aluminiu din ambele straturi și oțel se constată microfisuri.

##### **1. Conductor dintr-o zonă curență**

La încercarea de tracțiune pentru firele de aluminiu se observă tensiuni de rupere medii mai mici pentru stratul interior decât ale celui exterior. Se constată scăderea sensibilă a numărului de îndoiri alternante până la rupere față de un conductor utilizat 24 de ani în exploatare.

Variabilitatea valorilor tensiunilor de rupere la forfecare atât pentru firele de aluminiu cât și pentru cele de oțel este foarte mică.

##### **2. Conductori dintr-o zonă în care s-a produs ruperea**

Se constată creșterea accentuată a variabilității valorilor tensiunilor de rupere la tracțiune pentru stratul exterior de aluminiu și inima de oțel. De asemenea se constată la încercarea la răsucire până la rupere a probelor din aluminiu din stratul exterior un număr mare de fire care nu se încadrează în standard. Se observă creșterea accentuată a variabilității valorilor tensiunilor de rupere la forfecare pentru stratul exterior de aluminiu cât și scăderea drastică a valorii absolute a tensiunii de rupere.

#### 4.2.6. Incercări mecanice a conductoarelor întregi

##### 4.2.6.1. Mașina de încercat MOT 2500 / 13 ( mașină orizontală de tracțiune )

( vezi foto 4.48)

Principalele caracteristici funcționale ale MOT 2500 / 13 sunt :

- Forța maximă 2500 KN
- Cursa maximă 1200 mm
- Lungimea epruvetei 13 m ( 500 inch )
- Reglarea lungimii epruvetei din 500 în 500 mm
- Domenii de măsurare a forței 3 (în funcție de celula de sarcină montată)
- Clasa de precizie 1 în intervalul 60 - 200 KN  
2 în intervalul 30 - 60 KN
- Viteze de încercare
  - în sarcină ( 90... 300 ) mm / min
  - în gol 600 mm / min
- Utilizare încărcări de tracțiune pentru
  - conductoare - oțel - aluminiu
  - aluminiu
  - conductoare de protecție
  - cabluri

Pentru evitarea ruperilor în secțiunile de fixare în bac, s-au realizat tamburi canelați spiralat pe cărucloarele mașinii ( MOT ).

Conductorul matisat la ambele capete se despletește și se înfășoară pe tamburii canelați, separat miezul din sârme de oțel și învelișul din sârme de aluminiu.

Tamburii sunt montați pe o placă de bază asigurându-se o mișcare de translație a căruciorului pe roți de rulare. Întreg sistemul de fixare utilizează articulații pentru realizarea unei întinderi centrice.

#### 4.2.6.2 Incercarea de rezistență - deformabilitate ( Stress - Strain )

##### 4.2.6.2.1 Metoda de încărcare - descărcare a epruvetei ( vezi fig. 4.3 si fig. 4.4 )

Incercarea stress - strain se face în patru faze conform tabel 4.8.

Tabelul 4.8

FAZA	Procentul de încărcare din forța de rupere calculată ( $F_{r,c}$ )	Timp de menținere	Notăție forță	Valoarea forței de descărcare
	%	minute	-	-
1.	30	30	$F_{30}$	$F_8$
2.	50	60	$F_{50}$	$F_8$
3.	70	60	$F_{70}$	$F_8$
4.	100 ( până la rupere )	-	-	-

Fiecare încercare la rezistență - deformabilitate ( stress - strain ) conține patru tabele care au forma generală exprimată în tabelele 4.9 ; 4.10 ; 4.11 ; 4.12 și sunt exemplificate într-un caz concret în tabelele 4.13 ; 4.14 ; 4.15 și 4.16.

Notățiile se referă la :

Tabelul 4.9

Deformațiile, în mm - corespunzătoare fazelor 1,2 și 3

( 4.1 )  $\Delta l^1_{t_i}$  - lungirea în mm, corespunzătoare fazei 1 ( prin aplicarea încărcării  $F_{30}$  ), la timpul  $t_i$  ;

$t_i$  : 0 ; 5' ; 10' ; 15' ; 30' - timpul la care se măsoară lungirea în minute.

( 4.2 )  $\Delta l^2_{t_i}$  - lungirea în mm, corespunzătoare fazei 2 ( prin aplicarea încărcării  $F_{50}$  ), la timpul  $t_i$  ;

$t_i$  : 0 ; 5' ; 10' ; 15' ; 30' ; 45' ; 60' - timpul la care se măsoară lungirea în minute

STRESS STRAIN CHARACTERISTIC FOR A.C.S.R. RAIL

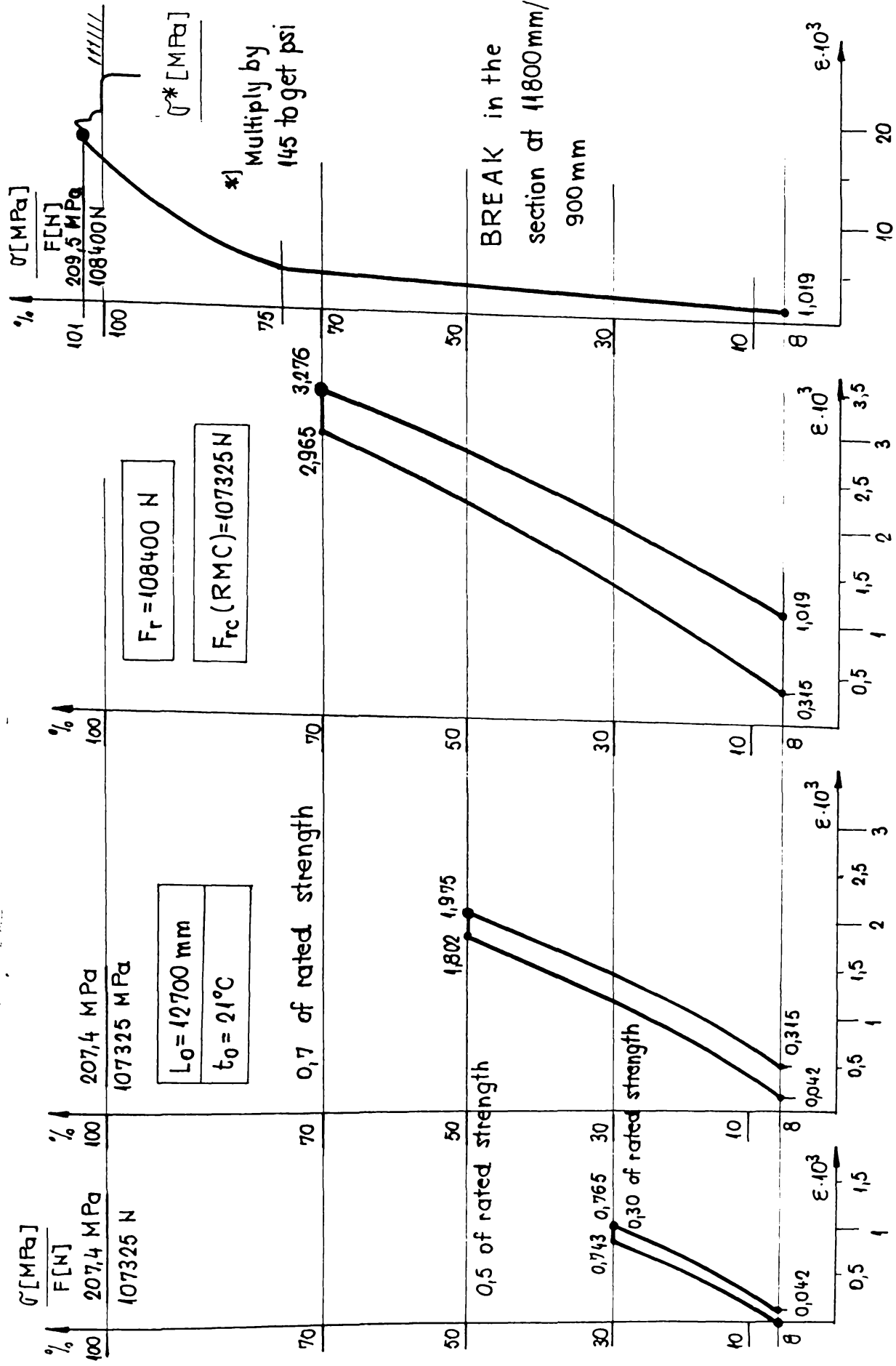


Fig. 4.3

LABORATORUL DE REZISTENȚA MATERIALELOR - mai 1987  
**STRESS STRAIN CHARACTERISTIC FOR ALUMINUM CONDUCTOR "IRIS"**

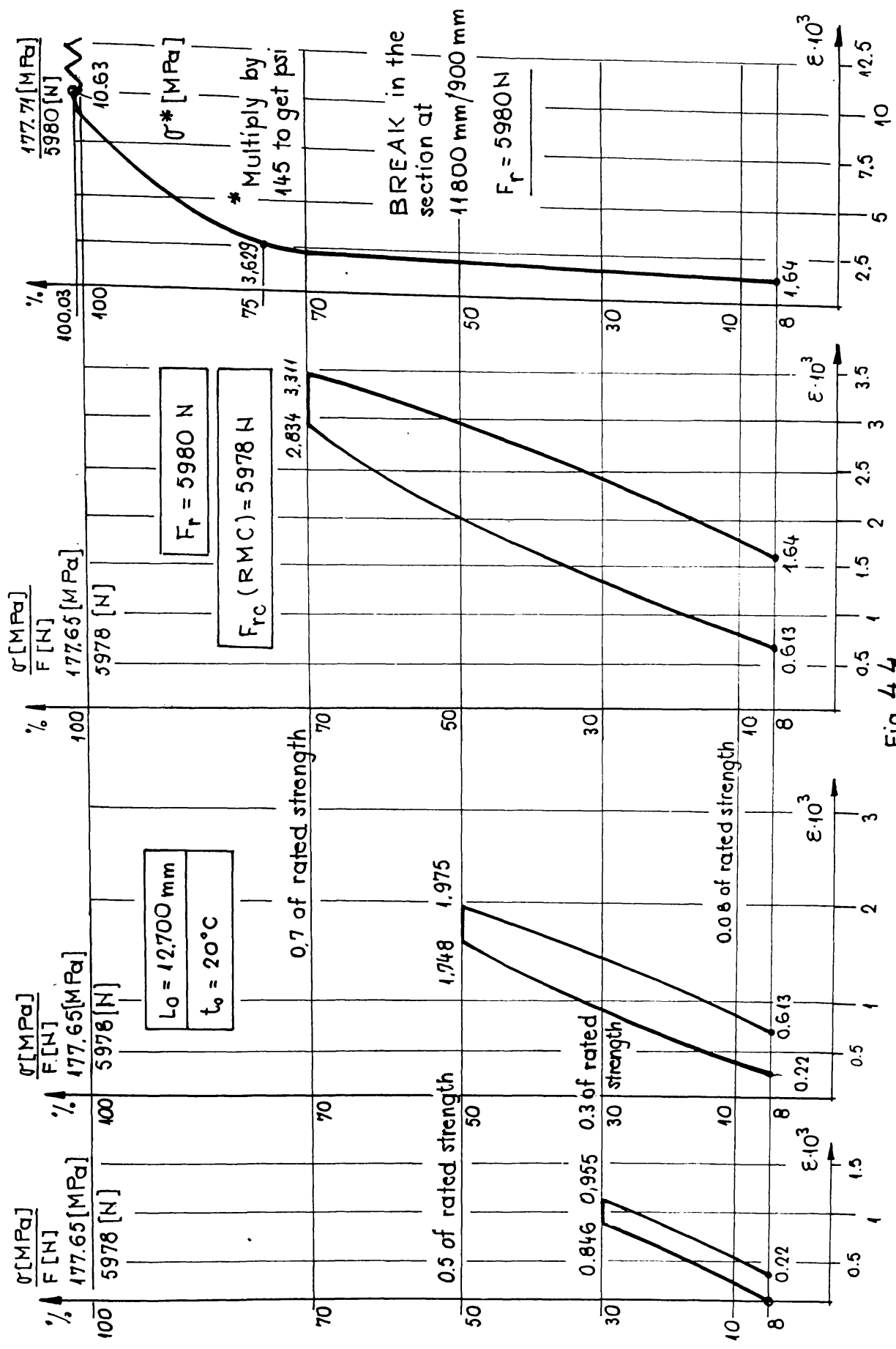


Fig. 4.4

- ( 4.3 )  $\Delta l_{t_i}^3$  - lungirea în mm, corespunzătoare fazei 3 ( prin aplicarea încărcării  $F_{70}$  ), la timpul  $t_i$  ;  
 $t_i$  : 0 ; 5' ; 10' ; 15' ; 30' ; 45' ; 60' - timpul la care se măsoară lungirea în minute

#### Tabelul 4.10

Deformațiile în mm - corespunzătoare fazei 4

- ( 4.4 )  $\Delta l_{30\%}$  - lungirea probei, la aplicarea încărcării  $F_{30}$   
 ( 4.5 )  $\Delta l_{50\%}$  - lungirea probei, la aplicarea încărcării  $F_{50}$   
 ( 4.6 )  $\Delta l_{70\%}$  - lungirea probei, la aplicarea încărcării  $F_{70}$   
 ( 4.7 )  $\Delta l_{75\%}$  - lungirea probei, la aplicarea încărcării  $F_{75}$

#### Tabelul 4.11

Alungirile  $\varepsilon_0$  , în mm / mm - corespunzătoare fazelor 1, 2 și 3 s-au determinat cu relațiile ( 4.8.....4.10 )

$$( 4.8 ) \quad \varepsilon_0^1 = \Delta l_0^1 / l_0 ;$$

$$( 4.9 ) \quad \varepsilon_0^2 = \Delta l_0^2 / l_0 ;$$

$$( 4.10 ) \quad \varepsilon_0^3 = \Delta l_0^3 / l_0 ;$$

în care :

$\Delta l_0^1$  - lungirea conductorului, în faza 1, la  $t_i = 0$  ( vezi relația ( 4.1 ) )

$\Delta l_0^2$  - lungirea conductorului, în faza 2, la  $t_i = 0$  ( vezi relația ( 4.2 ) )

$\Delta l_0^3$  - lungirea conductorului, în faza 3, la  $t_i = 0$  ( vezi relația ( 4.3 ) )

$l_0$  - 12700 mm - lungimea inițială a probei.

Variațiile alungirilor  $\Delta \varepsilon$  în mm / mm, corespunzătoare fazelor 1, 2 și 3 s-au determinat cu relațiile : ( 4.11 )..... ( 4.13 ).

$$( 4.11 ) \quad \Delta \varepsilon_{t_i}^1 = ( \Delta l_{t_i}^1 - \Delta l_0^1 ) / l_0 \quad - \text{variația alungirii în faza 1, după timpul } t_i$$

unde:

$\Delta \varepsilon_{5'}^1 \dots \Delta \varepsilon_{30'}^1$  variația alungirii în faza 1, după 5' ... 30'

$\Delta l_{t_i}^1$  - lungirea, în faza 1, după timpul  $t_i$  , vezi relația 4.1

$$(4.12) \quad l_0^1 = l_0 + \Delta l_0^1 - \text{lungimea probei în faza 1 după aplicarea încărcării } F_{30} \text{ la } t_1 = 0$$

$$\Delta \varepsilon_{t_1}^2 = (\Delta l_{t_1}^2 - \Delta l_0^2) / l_0^2 \quad - \text{ variația alungirii în faza 2, după timpul } t_1$$

unde:

$$\Delta \varepsilon_{5'}^2 \dots \Delta \varepsilon_{60'}^2 \quad \text{variația alungirii în faza 2, după } 5' \dots 60'$$

$\Delta l_{t_1}^2$  - lungimea, în faza 2, după timpul  $t_1$ , vezi relația 4.2

$$(4.13) \quad l_0^2 = l_0 + \Delta l_0^2 - \text{lungimea probei în faza 2 după aplicarea încărcării } F_{50} \text{ la } t_1 = 0$$

$$\Delta \varepsilon_{t_1}^3 = (\Delta l_{t_1}^3 - \Delta l_0^3) / l_0^3 \quad - \text{ variația alungirii în faza 3, după timpul } t_1$$

unde:

$$\Delta \varepsilon_{5'}^3 \dots \Delta \varepsilon_{60'}^3 \quad \text{variația alungirii în faza 3, după } 5' \dots 60'$$

$\Delta l_{t_1}^3$  - lungimea, în faza 3, după timpul  $t_1$ , vezi relația 4.3

$$l_0^3 = l_0 + \Delta l_0^3 - \text{lungimea probei în faza 3 după aplicarea încărcării } F_{70} \text{ la } t_1 = 0$$

Tabelul (4.12)

$$(4.14) \quad \varepsilon_{30\%} = \Delta l_{30\%} / l_0 \quad - \text{ alungirea probei, la aplicarea încărcării } F_{30}$$

$$(4.15) \quad \varepsilon_{50\%} = \Delta l_{50\%} / l_0 \quad - \text{ alungirea probei, la aplicarea încărcării } F_{50}$$

$$(4.16) \quad \varepsilon_{70\%} = \Delta l_{70\%} / l_0 \quad - \text{ alungirea probei, la aplicarea încărcării } F_{70}$$

$$(4.17) \quad \varepsilon_{75\%} = \Delta l_{75\%} / l_0 \quad - \text{ alungirea probei, la aplicarea încărcării } F_{75}$$

$$(4.18) \quad \sigma_8 = F_8 / A_0 \quad \text{în } N / mm^2 - \text{ tensiunea inițială, la aplicarea încărcării } F_8$$

unde:

$$F_8 = 0,08 F_r, \text{ în } N \quad \text{în care } F_r - \text{ forța de rupere în } N$$

$$A_0 = n\pi\delta_1^2 / 4 \quad \text{secțiunea conductorului în } mm^2$$

$\delta_1$  - diametrul mediu al sârmelor

$$(4.19) \quad \sigma_{30} = F_{30} / A_0 \quad \text{în } N / mm^2 - \text{ tensiunea inițială, la aplicarea încărcării } F_{30}$$

$$(4.20) \quad \sigma_{50} = F_{50} / A_0 \quad \text{în } N / mm^2 - \text{ tensiunea inițială, la aplicarea încărcării } F_{50}$$

$$(4.21) \quad \sigma_{70} = F_{70} / A_0 \quad \text{în } N / mm^2 - \text{ tensiunea inițială, la aplicarea încărcării } F_{70}$$

$$(4.22) \quad \sigma_{75} = F_{75} / A_0 \quad \text{în } N / mm^2 - \text{ tensiunea inițială, la aplicarea încărcării } F_{75}$$

#### MODULE DE ELASTICITATE :

##### Modul de elasticitate inițial

$$(4.23) \quad E_{30}^i = (\sigma_{30} - \sigma_8) / \varepsilon_{30}^1 \quad \text{în } N / mm^2 - \text{ inițial corespunzător încărcării de } 30 \%$$

unde :

Tabelul 4.9

FAZA	FORȚA	DEFORMAȚIA ( în mm )									
		0'	5'	10'	15'	30'	45'	60'			
1.	F <sub>30</sub>	$\Delta l^1_0$	$\Delta l^1_5$	$\Delta l^1_{10}$	$\Delta l^1_{15}$	$\Delta l^1_{30}$	-	-	-	-	-
2.	F <sub>50</sub>	$\Delta l^2_0$	$\Delta l^2_5$	$\Delta l^2_{10}$	$\Delta l^2_{15}$	$\Delta l^2_{30}$	$\Delta l^2_{45}$	$\Delta l^2_{60}$	$\Delta l^2_{60}$	$\Delta l^2_{60}$	$\Delta l^2_{60}$
3.	F <sub>70</sub>	$\Delta l^3_0$	$\Delta l^3_5$	$\Delta l^3_{10}$	$\Delta l^3_{15}$	$\Delta l^3_{30}$	$\Delta l^3_{45}$	$\Delta l^3_{60}$	$\Delta l^3_{60}$	$\Delta l^3_{60}$	$\Delta l^3_{60}$

Tabelul 4.10

FAZA	FORȚA	F <sub>8</sub>	F <sub>30</sub>	F <sub>50</sub>	F <sub>70</sub>	F <sub>75</sub>
4	$\Delta l_{gt.} ( mm )$	0	$\Delta l_{30\%}$	$\Delta l_{50\%}$	$\Delta l_{70\%}$	$\Delta l_{75\%}$

Tabelul 4.11

FAZA	FORȚA	$\Delta \epsilon$									
		$\epsilon_0$	5'	10'	15'	30'	45'	60'			
1.	F <sub>30</sub>	0	$\Delta \epsilon^1_5$	$\Delta \epsilon^1_{10}$	$\Delta \epsilon^1_{15}$	$\Delta \epsilon^1_{30}$	-	-	-	-	-
2.	F <sub>50</sub>	$\epsilon^2_0$	$\Delta \epsilon^2_5$	$\Delta \epsilon^2_{10}$	$\Delta \epsilon^2_{15}$	$\Delta \epsilon^2_{30}$	$\Delta \epsilon^2_{45}$	$\Delta \epsilon^2_{60}$	$\Delta \epsilon^2_{60}$	$\Delta \epsilon^2_{60}$	$\Delta \epsilon^2_{60}$
3.	F <sub>70</sub>	$\epsilon^3_0$	$\Delta \epsilon^3_5$	$\Delta \epsilon^3_{10}$	$\Delta \epsilon^3_{15}$	$\Delta \epsilon^3_{30}$	$\Delta \epsilon^3_{45}$	$\Delta \epsilon^3_{60}$	$\Delta \epsilon^3_{60}$	$\Delta \epsilon^3_{60}$	$\Delta \epsilon^3_{60}$

Tabelul 4.12

FAZA	FORȚA	$\sigma_8$	$\sigma_{30}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{70}$	$\sigma_{75}$
4	$\epsilon \times 10^3$	0	$\epsilon_{30\%}$	$\epsilon_{50\%}$	$\epsilon_{70\%}$	$\epsilon_{75\%}$



Tabelul 4.13

FAZA	FORȚA	DEFORMAȚIA ( în mm )						
		0'	5'	10'	15'	30'	45'	60'
1.	F <sub>30</sub>	25,53	25,68	25,72	25,74	25,81	-	-
2.	F <sub>50</sub>	52,94	53,53	53,65	53,60	53,85	53,97	54,04
3.	F <sub>70</sub>	74,79	75,99	76,50	76,98	77,42	77,84	78,04

Tabelul 4.14

FAZA	FORȚA	F <sub>8</sub>	F <sub>30</sub>	F <sub>50</sub>	F <sub>70</sub>	F <sub>75</sub>
4	$\Delta l_{el.}$ ( mm )	0	26,51	53,86	78,95	80,5

Tabelul 4.15

FAZA	FORȚA	$\varepsilon_0 \times 10^3$	$\Delta \varepsilon \times 10^3$					
			0'	5'	10'	15'	30'	45'
1.	F <sub>30</sub>	2,010	11,79	14,93	16,5	22,0	-	-
2.	F <sub>50</sub>	4,169	46,26	55,67	59,59	71,36	80,77	86,25
3.	F <sub>70</sub>	5,889	93,94	126,0	171,4	205,9	238,8	254,4

Tabelul 4.16

FAZA	FORȚA	$\sigma_8$	$\sigma_{30}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{70}$	$\sigma_{75}$
4	$\varepsilon \times 10^3$	0	2,087	4,241	6,217	6,339

$\varepsilon^1_0$  - alungirea în faza 1, la  $t_i = 0$ , vezi relația (4.9)

( 4.24 )  $E^i_{50} = (\sigma_{50} - \sigma_B) / \varepsilon^2_0$  , în  $N / mm^2$  -inițial corespunzător încărcării de 50 %  
 $\varepsilon^2_0$  - alungirea în faza 2, la  $t_i = 0$ , vezi relația (4.8)

( 4.25 )  $E^i_{70} = (\sigma_{70} - \sigma_B) / \varepsilon^3_0$  în  $N / mm^2$  -inițial corespunzător încărcării de 70 %  
 $\varepsilon^3_0$  - alungirea în faza 3, la  $t_i = 0$ , vezi relația (4.10)

#### Modul de elasticitate final

( 4.26 )  $E^f_{30} = (\sigma_{30} - \sigma_B) / (\varepsilon^1_0 - \varepsilon^1_p)$  în  $N / mm^2$  -final corespunzător încărcării de 30 %

unde :

$\varepsilon^1_0$  - alungirea în faza 1, la  $t_i = 0$ , vezi relația (4.8)

$\varepsilon^1_p$  - alungirea remanentă, după descărcare

( 4.27 )  $E^f_{50} = (\sigma_{50} - \sigma_B) / (\varepsilon^2_0 - \varepsilon^2_p)$  în  $N / mm^2$  -final corespunzător încărcării de 50 %

unde :

$\varepsilon^2_0$  - alungirea în faza 2, la  $t_i = 0$ , vezi relația (4.9)

$\varepsilon^2_p$  - alungirea remanentă, după descărcare

( 4.28 )  $E^f_{70} = (\sigma_{70} - \sigma_B) / (\varepsilon^3_0 - \varepsilon^3_p)$  în  $N / mm^2$  -final corespunzător încărcării de 70 %

unde :

$\varepsilon^3_0$  - alungirea în faza 3, la  $t_i = 0$ , vezi relația (4.10)

$\varepsilon^3_p$  - alungirea remanentă, după descărcare

#### 4.2.6.2.2. Reprezentări grafice în încercarea de rezistență - deformabilitate

( vezi fig. 4.5; 4.6.a; 4.6.b; și 4.7 )

a) Figura 4.5 reprezintă :

- diagrama ALUNGIRE  $\varepsilon_0$  (în ordonată) în funcție de ÎNCĂRCARE  $F$  (în abscisă)

- diagramele VARIAȚIEI ALUNGIRII  $\varepsilon$  (în ordonată) pentru fiecare fază de încărcare

1,2 și 3 în funcție de TIMP  $t$  (în abscisă)

b) Figurile 4.6.1 și 4.6.b reprezintă :

- două diagrame TENSIUNE  $\sigma$  (în ordonată) în funcție de ALUNGIREA  $\varepsilon_0$  (în abscisă) cu menționarea ALUNGIRILOR REMANENTE  $\varepsilon_p$  după descărcare și a MODULELOR DE ELASTICITATE inițiale și finale :  $E^i_{30}$ ,  $E^f_{30}$ ,  $E^i_{50}$ ,  $E^f_{50}$ ,  $E^i_{70}$ ,  $E^f_{70}$ , ( relațiile 4.23 ... 4.28 ) din fazele 1, 2 și 3 pentru conductoare mărcile "RAIL" și "IRIØ".

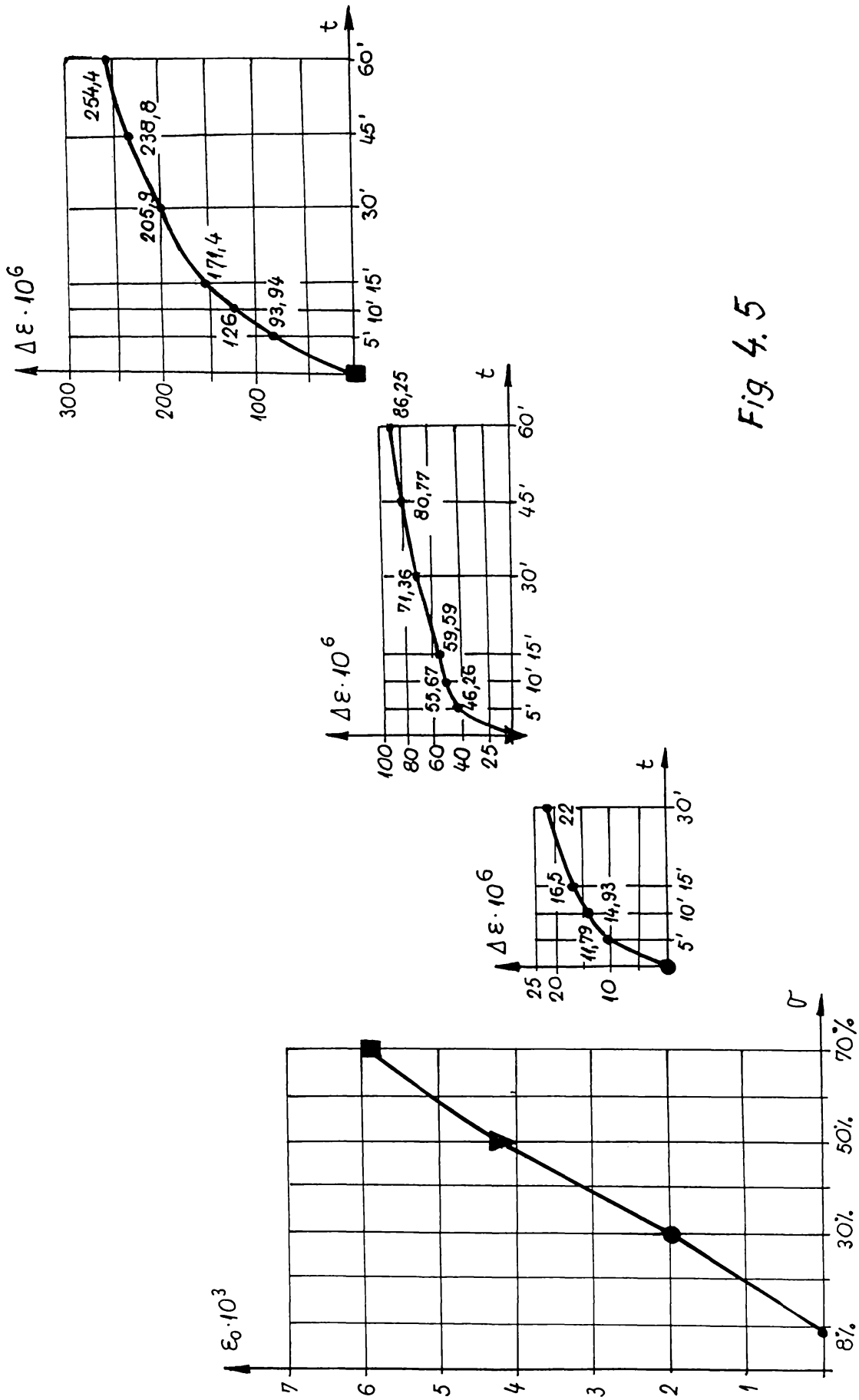


Fig. 4.5

Fig. 4.6. a A.C.S.R. "RAIL"

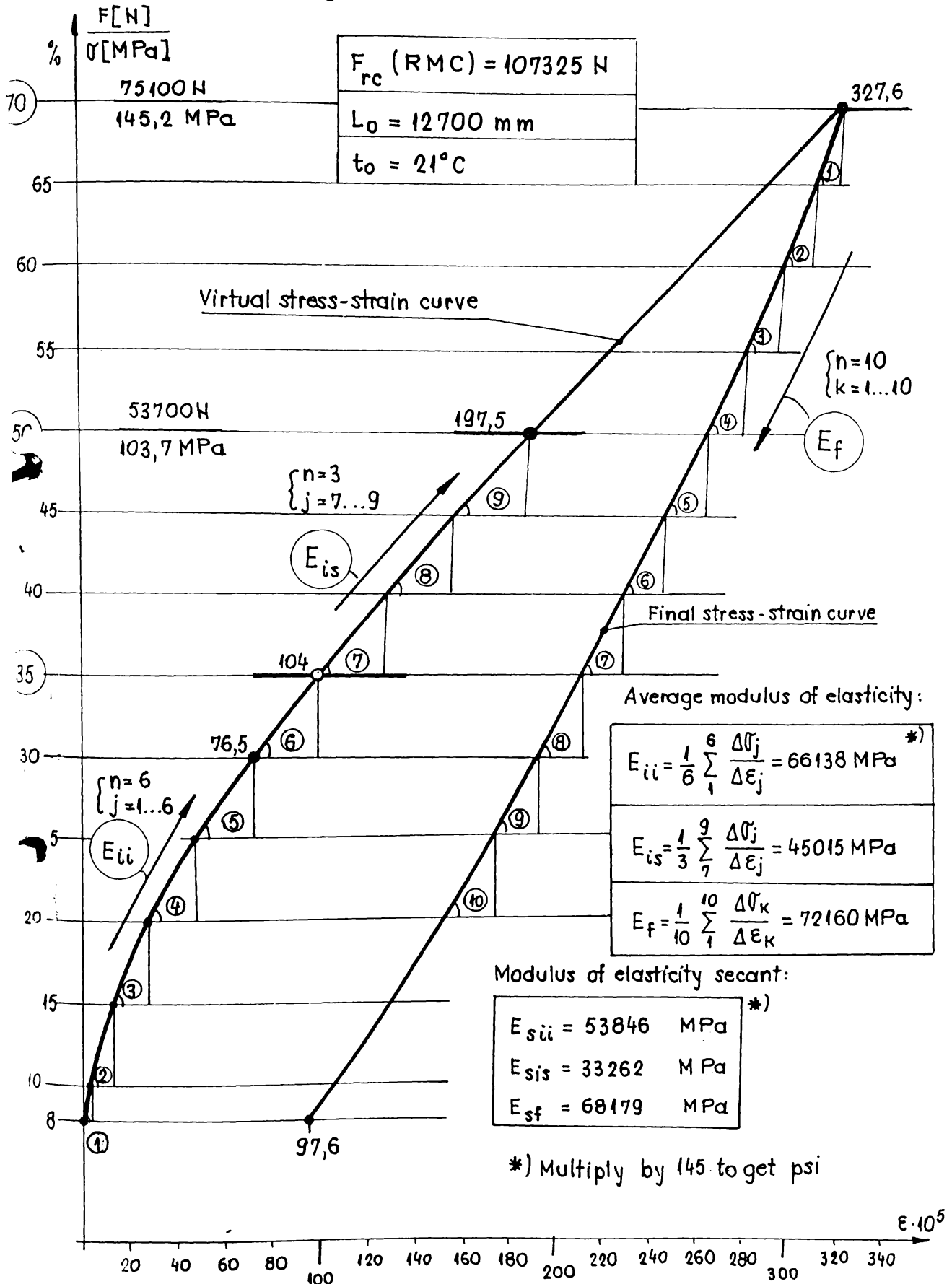
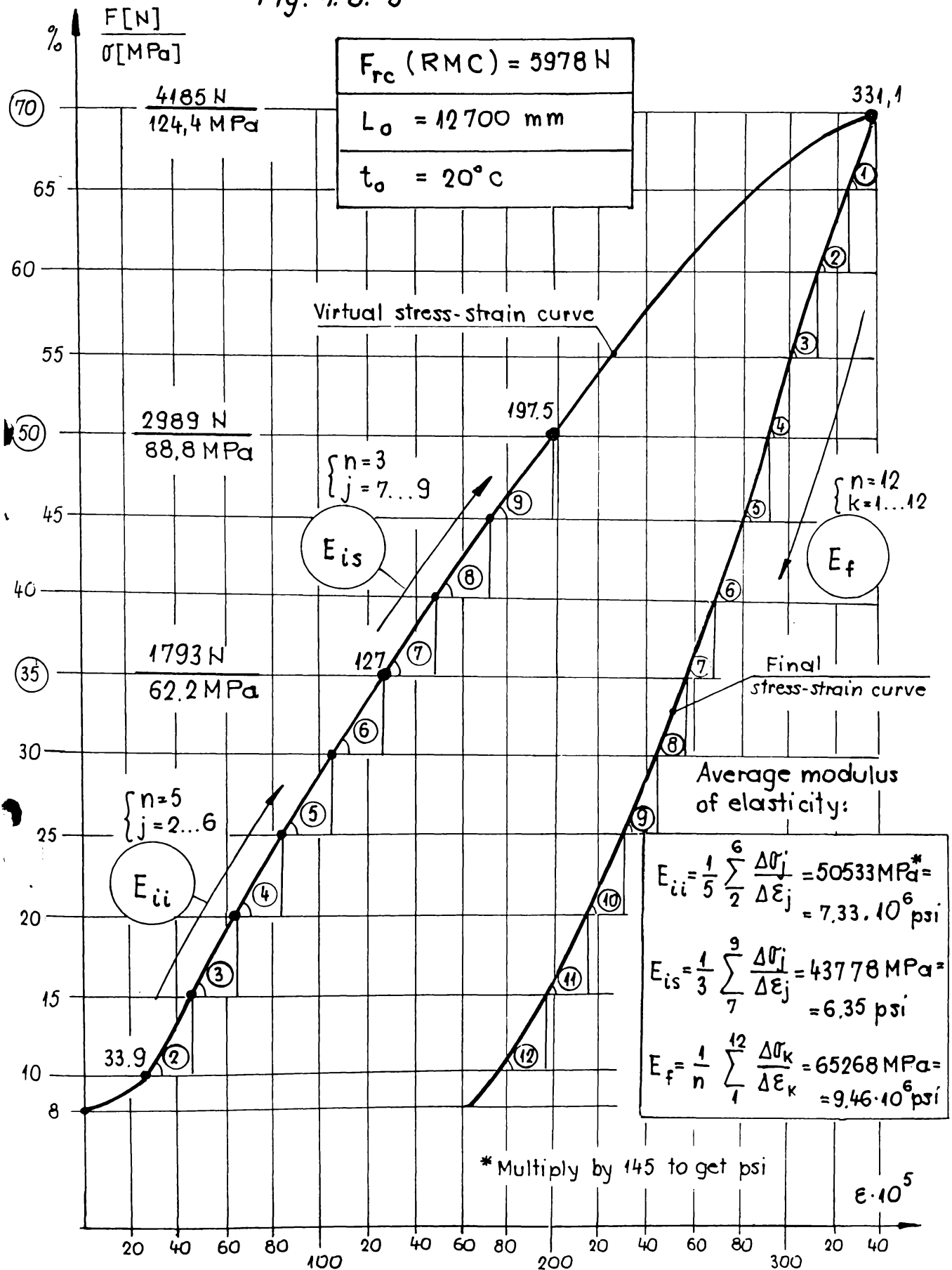


Fig. 4.6. b Aluminum Conductor "IRIS"



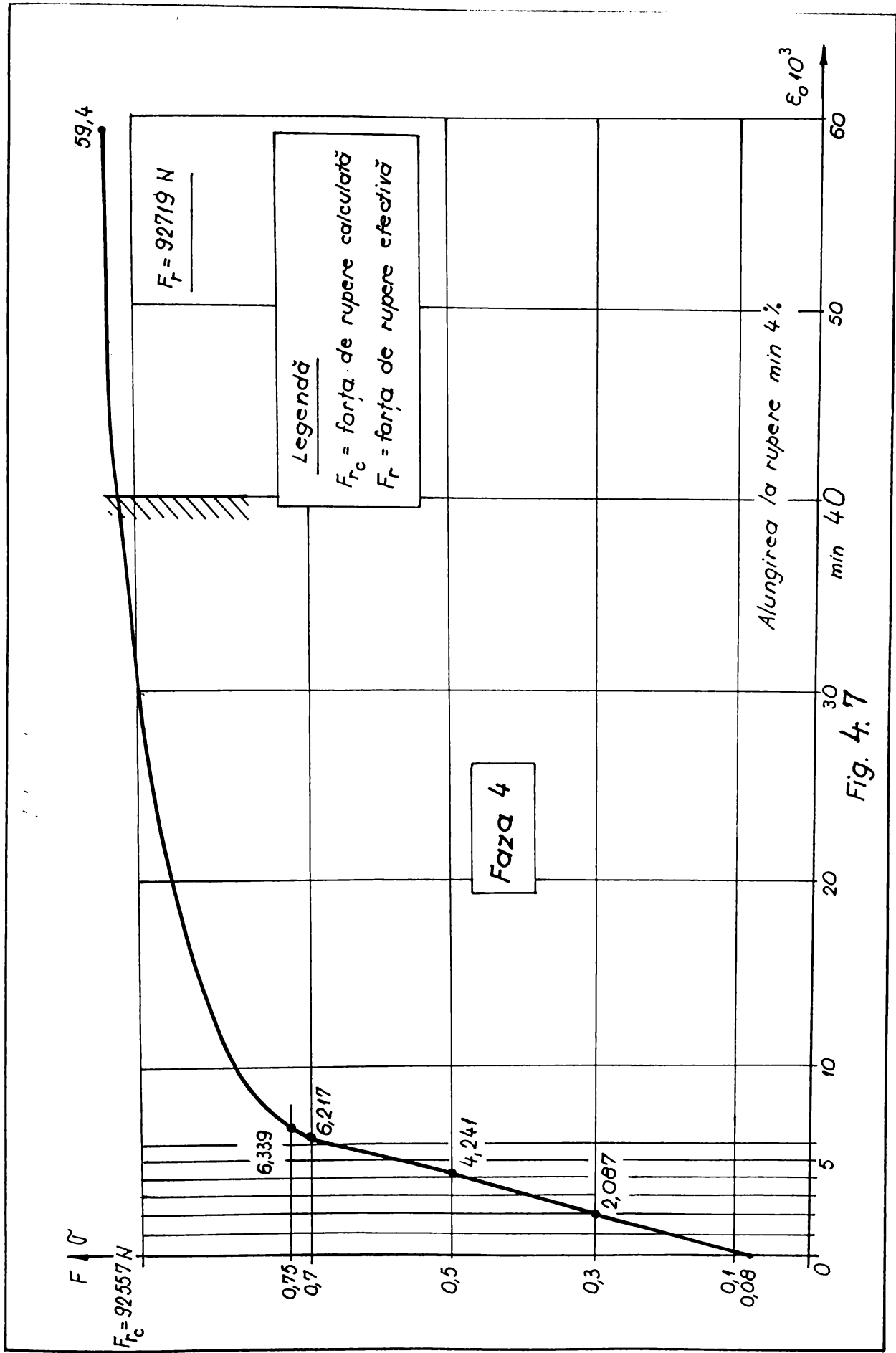


Fig. 4.7

c) Figura 4.7 reprezintă :

- diagrama TENSIUNE  $\sigma$  (în ordonată ) în funcție de ALUNGIREA  $\varepsilon_0$  (în abscisă ) pentru faza a 4- a de încărcare.

4.2.6.2.3. Exemple de curbe rezistență - deformabilitate ( stress - strain ) pentru conductoare

a) Conductoare active ( vezi fig. 4.8a și fig. 4.8.b )

Curbele rezistență - deformabilitate au fost trasate pentru foarte multe mărci de conductoare active monometalice din aluminiu dintre care se prezintă selectiv mărcile "DOVE" și "DRAKE".

Pentru aceste curbe s-au determinat ecuațiile lor

-pentru încărcare o funcție polinom de gradul 3 de forma :

$$( 4.29 ) \quad y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$$

-pentru descărcare o funcție polinom de gradul 1 de forma :

$$( 4.30 ) \quad y = b_0 + b_1x$$

b) Conductoare de protecție

Având în vedere că un conductor de protecție se montează împreună / lângă un conductor monometalic de aluminiu, cea mai de seamă caracteristică este modulul de elasticitate care reprezintă panta diagramei caracteristice cvasiliniare  $\sigma - \varepsilon$ .

Încercările s-au efectuat pe câte trei epruvete extrase din trei probe, prin cicluri de încărcare - descărcare în final determinându-se sarcina efectivă de rupere, pentru conductorul de protecție OL -Zn / 9 x 2,21 mm. Rezultatele obținute sunt date în tabelele 1.17 ....1.19 și fig. 4.9 care conține și ecuațiile curbelor de încărcare - descărcare.

Fig. 4.8. a

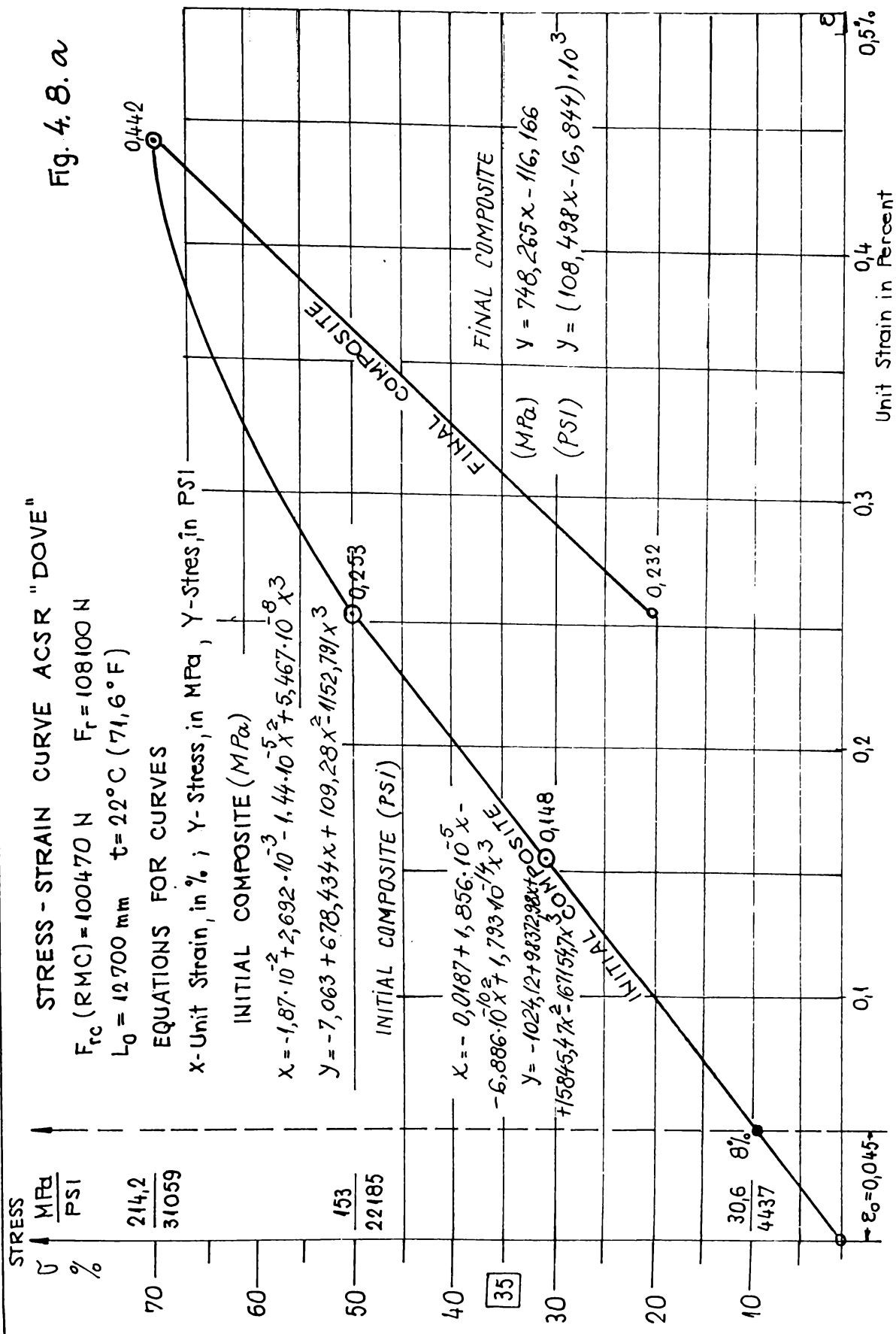
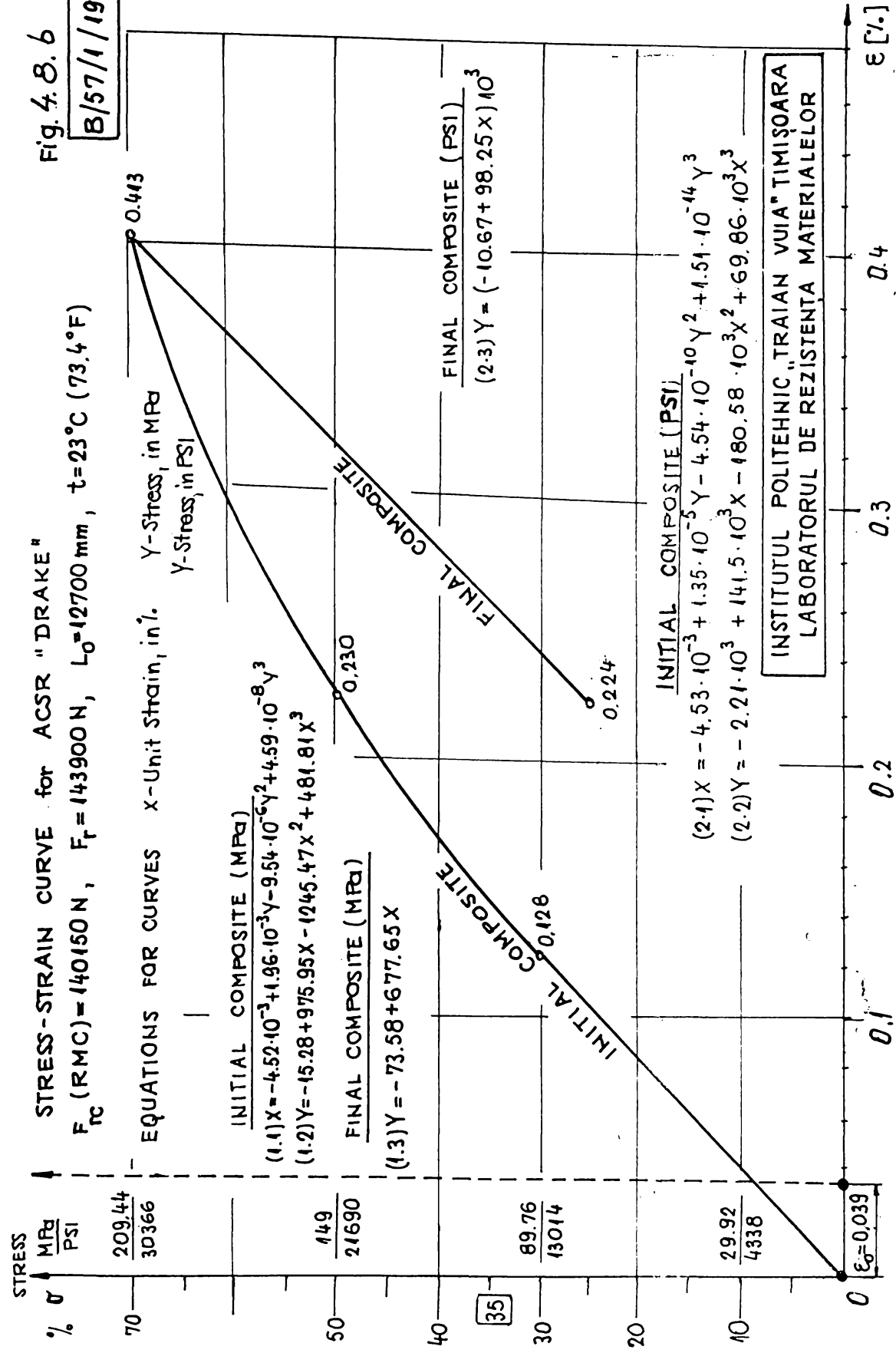




Fig. 4.8.6

B/57/1/1989



### CURBA TENSIUNE - ALUNGIRE PENTRU CONDUCTORUL DE PROTECTIE OL-Zn / 72,88 mm<sup>2</sup>

(CALCULATE)  $F_{rc} = 92557 \text{ N}$ ; (EFFECTIVE)  $F_{r0} = 103800 \text{ N}$   $d = 11,05 \text{ mm}$ ,  $L_0 = 12700 \text{ mm}$ ,  $t = 23^\circ \text{C}$  ( $73,4^\circ \text{F}$ )

ECUAȚII PENTRU CURBE

X - ALUNGIRI

Y - Tensiunea MPa (1.1... 1.3), PSI (2.1... 2.3)

INITIAL (1.1)  $X = 2.976 \cdot 10^{-3} + 7.886 \cdot 10^{-4} Y - 4.588 \cdot 10^{-7} Y^2 + 4.506 \cdot 10^{-10} Y^3$

INITIAL (2.1)  $X = 2.9268 \cdot 10^{-3} + 5.4424 \cdot 10^{-6} - 2.188 \cdot 10^{-11} X^2 + 1.4815 \cdot 10^{-16} Y^3$

(1.2)  $Y = -13.3977 + 1385,288X + 777,8579X^2 - 1224,668X^3$

(2.2)  $Y = -1933,123 + 200745,5X + 113220,96X^2 - 178026,947X^3$

FINAL (1.3)  $Y = -243,392 + 1710,699X$

FINAL (2.3)  $Y = -35286,8929 + 248037,58469X$

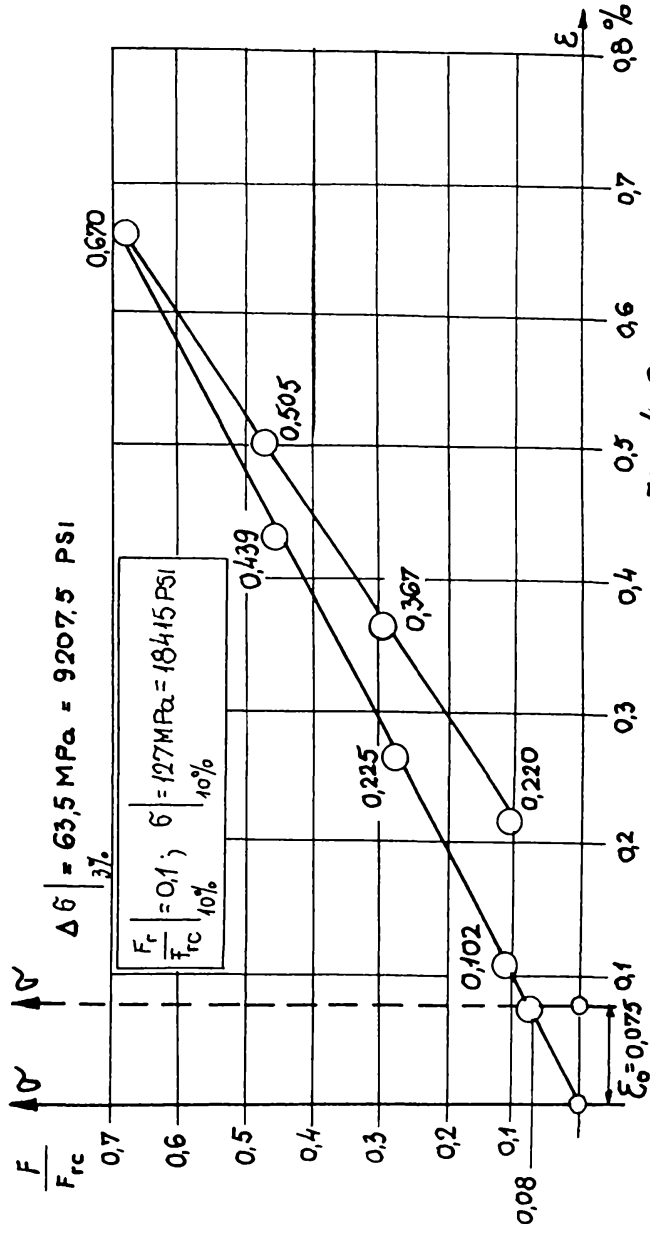


Fig. 4.9

PROBA 1 - Epruveta 1

CONDUCTOR DE PROTECȚIE OL - Zn - TURCIA

Construcția 19-2,21 (Aria secțiunii transversale  $A = 72,846 \text{ mm}^2$ )

Sarcina de rupere calculată:  $F = 94.350 \text{ N}$

Lungimea între repere  $L_0 = 5000 \text{ mm}$

Tabelul 4.17

Nr.	Forța $F \text{ [N]}$	Tensiunea $\sigma = F/A$ $[\text{N/mm}^2]$	$\Delta \sigma$ $[\text{N/mm}^2]$	INCERCAREA I			INCERCAREA II			INCERCAREA III					
				100 E [ % ]	100 ΔE [ % ]	E [N/mm <sup>2</sup> ]	100 E [ % ]	100 ΔE [ % ]	E [N/mm <sup>2</sup> ]	100 E [ % ]	100 ΔE [ % ]	E [N/mm <sup>2</sup> ]	E <sub>med</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]		
1	$F_0 = 4000$	54,9103		0			0								
2	$F_1 = 0,1F = 9435$	121,5198		3,5319	7,1915	180,101	3,5532	7,2766	177,994	3,6363	7,1702	180,636	179,577		
3	$F_2 = 0,2F = 18870$	259,0396	129,5198	10,7234	7,3772	175,567	10,8298	7,4255	174,425	10,8085	7,3617	175,937	175,310		
4	$F_3 = 0,3F = 28,305$	388,5594	129,5198	18,1063	8,3831	154,501	18,2553	8,6809	149,201	18,1702	8,3192	155,688	153,130		
5	$F_4 = 0,4F = 37,740$	518,0792	129,5198	26,4894	7,9787	162,332	26,9362	7,9574	162,766	26,4894	7,8723	164,526	163,208		
6	$F_5 = 0,5F = 47,175$	647,5990	129,5198	34,4681	8,8298	146,685	34,8936	8,6170	150,307	34,3617	9,000	143,911	146,967		
7	$F_6 = F_4 = 37,740$	518,0792	129,5198	25,6363	7,532	171,959	26,2766	7,9788	162,329	25,3617	7,9575	162,764	165,684		
8	$F_7 = F_3 = 28,305$	388,5594	129,5198	18,1063	7,3829	175,432	18,2978	7,7872	166,324	17,4042	6,9787	185,593	175,783		
9	$F_8 = F_2 = 18870$	259,0396	129,5198	10,7234	7,1915	180,101	10,5106	8,3830	154,503	10,4255	7,1702	180,636	171,746		
10	$F_9 = F_1 = 9435$	121,5198	129,5198	3,5319			2,1276			3,2553					
11	$F_{10} = F_0 = 4000$	54,9103													

Sarcina efectivă de rupere a cablului întreg:  $F = 104.400 \text{ N}$   
 $r_{\text{max}}$

PROBA 1 - Epruveta 2

CONDUCTOR DE PROTECȚIE OL-Zn-TURCIA

Construcția 19x2,21 (Aria secțiunii transversale  $A=72,846 \text{ mm}^2$ )

Sarcina de rupere calculată:  $F=94.350 \text{ N}$

Lungimea între repere  $L_0=5.000 \text{ mm}$

Tabelul 4.18

Nr.	Forța $F \text{ [N]}$	Tensiunea $\sigma = F/A$ $[\text{N/mm}^2]$	$\Delta U$ $[\text{N/mm}^2]$	INCERCAREA I			INCERCAREA II			INCERCAREA III			$E_{med}$ $[\text{N/mm}^2]$
				100E [%]	100ΔE [%]	E $[\text{N/mm}^2]$	100E [%]	100ΔE [%]	E $[\text{N/mm}^2]$	100E [%]	100ΔE [%]	E $[\text{N/mm}^2]$	
1	$F_0 = 4000$	54,9103		0			0			0			
2	$F_1 = 0,1F = 0,435$	129,5198	74,6095	5,3238	8,3401	155,297	5,6275	8,1781	158,373	5,2631	8,3603	154,922	156,197
3	$F_2 = 0,2F = 18870$	259,0396	129,5198	13,6639	8,7247	148,451	13,8056	8,5628	151,258	13,6234	8,5628	151,258	150,322
4	$F_3 = 0,3F = 28305$	388,5594	129,5198	22,3886	9,1296	141,867	22,3684	9,1295	141,869	22,1862	8,9474	144,756	142,830
5	$F_4 = 0,4F = 37740$	518,0792	129,5198	31,5182	9,0486	143,137	31,4979	9,0486	143,137	31,1336	9,0081	143,781	143,351
6	$F_5 = 0,5F = 47175$	647,5990	129,5198	40,5668	7,6114	170,165	40,5465	7,6518	169,267	40,1417	8,6843	149,142	162,858
7	$F_6 = F_4 = 37740$	518,0792	129,5198	32,9554	11,9231	108,629	32,8947	11,8826	108,999	31,4574	8,8461	146,414	121,347
8	$F_7 = F_3 = 28305$	388,5594	129,5198	21,0323	7,3481	176,262	21,0121	7,3279	176,748	22,6113	9,4535	137,007	163,339
9	$F_8 = F_2 = 18870$	259,0396	129,5198	13,6842	6,5992	196,265	13,6842	6,8017	190,422	13,1578	7,9352	163,221	183,302
10	$F_9 = F_1 = 9,435$	129,5198	74,6095	7,0850			6,8825			5,2226			
11	$F_{10} = F_0 = 4000$	54,9130											

Sarcina efectivă de rupere a cablului întreg:  $F_{rmax} = 94.500 \text{ N}$

PROBA 1 - Epruveta 3

CONDUCTOR DE PROTECȚIE OL- Zn - TURCIA

Construcția 19+2,21 (Aria secțiunii transversale  $A=72,846 \text{ mm}^2$ )

Sarcina de rupere calculată  $F=94350 \text{ N}$

Lungimea între repere  $L_0=5030 \text{ mm}$

Tabelul 4.19

Nr.	Forța $F [N]$	Tensiunea $\sigma = F/A$ $[N/mm^2]$	$\Delta\sigma$ $[N/mm^2]$	INCERCAREA I			INCERCAREA II			INCERCAREA III			$E_{med}$ $[N/mm^2]$
				100 $\epsilon$ [%]	100 $\Delta \epsilon$ [%]	E $[N/mm^2]$	100 $\epsilon$ [%]	100 $\Delta \epsilon$ [%]	E $[N/mm^2]$	100 $\epsilon$ [%]	100 $\Delta \epsilon$ [%]	E $[N/mm^2]$	
1	$F_0 = 4000$	54,9103		0			0				0		
2	$F_1 = 0,1 F = 9435$	129,5198	74,6095	5,7256			5,7654				5,8051		
3	$F_2 = 0,2 F = 18.870$	259,0396	129,5198	13,9363	8,2107	157,745	13,7773	8,0119	161,659		13,6978	7,8927	164,100
4	$F_3 = 0,3 F = 28.305$	388,5594	129,5198	22,4652	8,5289	151,859		8,3499	155,115			8,4294	153,652
5	$F_4 = 0,4 F = 37740$	518,0792	129,5198	31,3519	8,8867	145,745	22,1272	8,9264	145,097		22,1272	8,8469	146,401
6	$F_5 = 0,5 F = 47.175$	647,5990	129,5198	40,3976	9,0457	143,183	31,0536	8,9464	144,773		30,9741	8,8867	145,745
7	$F_6 = F_4 = 37.740$	518,0792	129,5198	40,3976	8,6083	150,459	40,000	8,6482	149,765		39,8608	8,6481	149,766
8	$F_7 = F_3 = 28.305$	388,5594	129,5198	22,7634	9,0259	143,497	31,3518	8,6282	150,112		31,2127	8,7078	148,739
9	$F_8 = F_2 = 18.870$	259,0396	129,5198	14,1749	8,5894	150,790	22,7236	8,9264	145,097		22,5049	8,7475	148,064
10	$F_9 = F_1 = 9435$	129,5198	129,5198	8,1709	6,004	215,722	13,7922	7,9722	162,464		13,7574	8,0318	161,258
11	$F_{10} = F_0 = 4000$	54,9103	74,6095				5,8250				5,7256		

Sarcina efectivă de rupere a cablului întreg :  $F_{max} = 96.600 \text{ N}$

## 5. STUDII STATISTICE

### 5.1. Despre populație statistică, unitate statistică, proprietate statistică și caracteristică statistică

Pentru o mai bună claritate a expunerii metodei statistice care urmează se definesc următoarele noțiuni:

**5.1.1. Populație statistică** : o unitate în diversitate reprezentată de o mulțime de elemente grupate după una sau mai multe însușiri comune și necomune care le caracterizează.

**5.1.2. Macropopulație statistică** : populație statistică cu una sau mai multe însușiri comune, caracteristice formării inițiale pe criterii comparative externe.

**5.1.3. Micropopulație statistică** : populație statistică cu una sau mai multe însușiri comune, caracteristice organizării și / sau ierarhizării pe criterii comparative interne.

**5.1.4. Unitate statistică** : element al populației statistice individualizat de însușiri comune și necomune aflate într-un raport determinat de poziția organizatorică și / sau ierarhică.

**5.1.5. Proprietate statistică** : ansamblul de însușiri organizate și / sau ierarhizate, calitative și / sau cantitative ale unei unități statistice care îi definește locul spațial și temporal în populația statistică și individualitatea (unicitatea).

**5.1.6. Caracteristică statistică** : ansamblul de legături (relații) interne (parametri de poziție și de variație) și / sau externe (raportate sau diferențiale), structurale și / sau temporale, calitative și / sau cantitative, ale unităților statistice exprimat unic sau multiplu.

## 5.2. Metodă de analiză statistică

### 5.2.1. Introducere

Statistica are ca obiectiv rarefierea ceții care acoperă adevărul cauzelor reale a unor procese rămase ostentativ ascunse chiar și minților încercate în pătrunderea în spații în care ochiul nu vede, urechea nu aude.

Alegerea căii științifice de analiză statistică a evoluției comportării mecanice a conductoarelor pare o soluție de altfel încercată de-a lungul zecilor de ani de studii de rezistență dar împotmolită de prea multe ori în tatonări cu realizări mai mult sau mai puțin remarcabile.

Literatura de specialitate ( statistică ) bogată în metode de analiză statistică, pune la dispoziția cercetătorilor un material de extensie, selectat prin generalizarea unor aplicații concrete rezolvate cu succes.

Aspectul profund experimental al teoriei statistice și neasemănarea experimentelor cunoscute cu nevoile de cercetare specifice evoluției comportării mecanice a conductoarelor m-a condiționat la o "haină" pe măsură în regim de unicat.

### 5.2.2 Metode de determinare a caracteristicii statistice de analiză

Tabelul 5.1.

Detalii	Tip	Tatonare din „tot” (experiment parțial)	Selectare din „tot” (experiment total)
Motivația alegerii		fenomen cunoscut cu aproximație din punct de vedere teoretic fiind analog cu fenomene experimentate anterior	fenomen puțin cunoscut din punct de vedere teoretic nefiind analog cu fenomene experimentate anterior
Avantaje		șansa unui efort uman și financiar mic în timp relativ scurt	siguranța determinării celor mai bune rezultate în timp programat
Dezavantaje		posibile erori inacceptabile în aprecierea fenomenului cauzate de erori de analogie necunoscute	efort uman și financiar mare

\* aparține autorului

### 5.2.3. Metoda selectare din „tot“ a caracteristicii statistice de analiză

#### 5.2.3.1. Introducere

Analiza statistică ca metodă în dezvăluirea fenomenelor convinge în cazul satisfacerii unei obiectivități maxime a concluziilor, ceea ce presupune costuri mari financiare și temporale de culegere și prelucrare a informațiilor. Costurile mari (mai ales cele temporale) o elimină de obicei din impunerea ei ca metodă. Impedimentele legate de obiectivitate și cost sunt depășite prin metoda selectare din „tot“.

#### 5.2.3.2. Etape

1. Construcția planului anchetei statistice după o structură logică „antiplantă“ (vezi figura 5.1.) în funcție de :

- efortul uman și financiar disponibil
- timpul finit aflat la dispoziție
- cerințele concrete de aprofundare a fenomenului legate de importanța lui .

Se dimensionează, organizează și ierarhizează :

- populația statistică de cercetat
- proprietatea statistică
- caracteristica statistică,

cu specificarea

- numărului și numelui nivelelor de agregare a însușirilor cantitative și / sau

calitative

- numărului de însușiri și numelui de departajare a fiecărui nivel de departajare a

însușirilor calitative și / sau cantitative.

2. Prelevare probe.

3. Stabilirea planului experimental

- aparatură ( tip, precizie, etc.)
- condiții de încercare.



4. Execuția eperimentului cu prelevarea datelor primare.

5. Prelucrarea automată a datelor

- întocmire program de prelucrare ( vezi foto 5.1;5.2;5.3;5.4;5.5 )
- introducerea datelor primare
- prelucrarea automată ( vezi tabelele 5.2;5.3;5.4 )

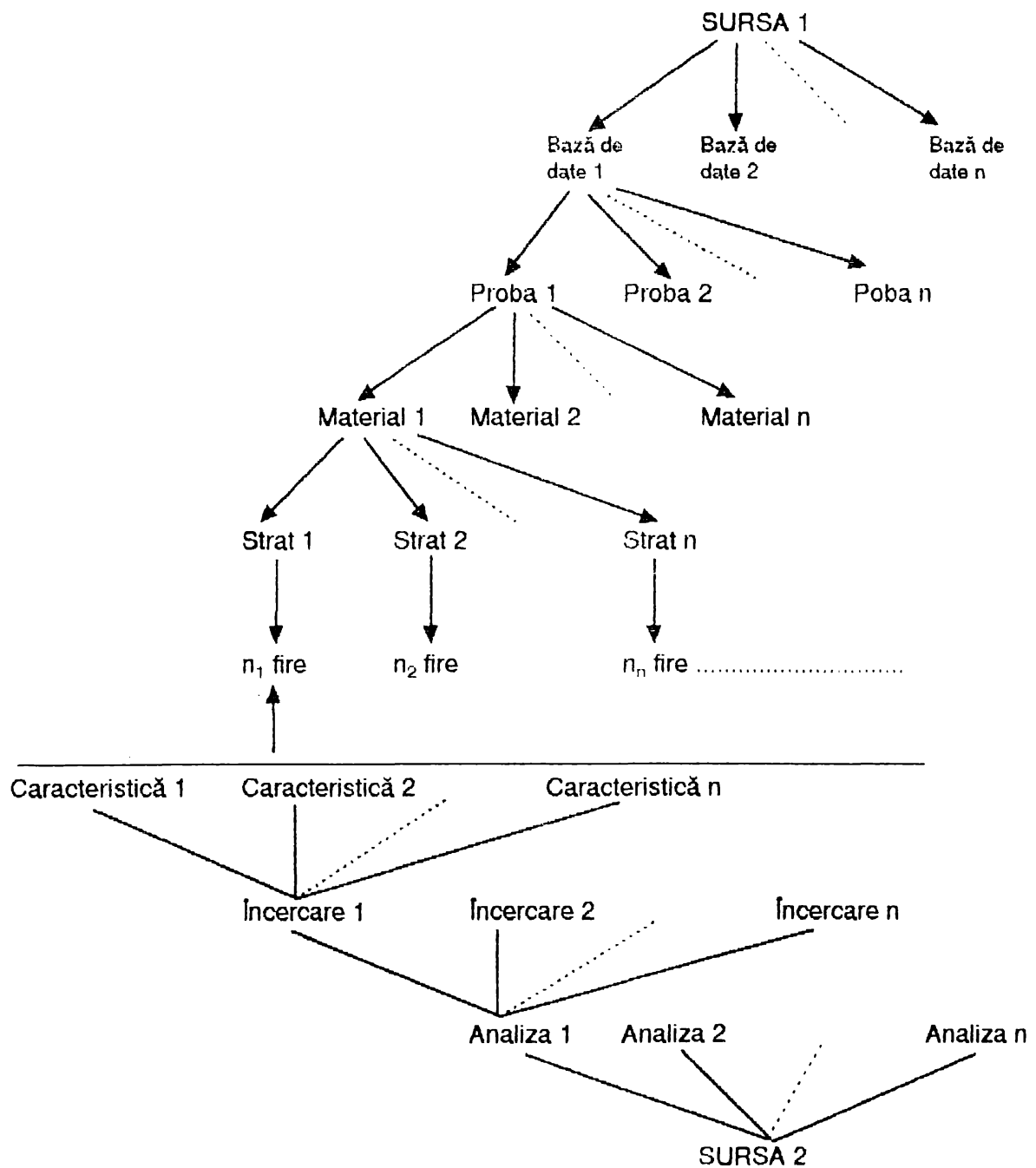
6. Determinarea caracteristicii statistice unic ssau multiplu exprimată analizând volumul de relații statistice prin selectarea relațiilor statistice, omogene cu variație previzibilă și eliminând cele omogene invariante ( sau cu variație nesemnificativă ) și aleatoare ( vezi tabelul 6.1.).

7.Stabilirea planului de analiză operativ ( de rutină ) cu caracteristicile:

- obiectivitate maximă
- cost financiar și / sau temporal minim.

### 5.3. Aplicație a metodei statistice asupra conductoarelor

Calcul statistic pe populații de fire cu subordonare ierarhică bipolară



Fiecărui element al bazei sursei 1 ii se aplică elementele bază ale sursei 2

Figura [ 5.1 ]

## 5.4. Parametrii statistici utilizați la calculul statistic

### 1. Parametrii statistici primari

Tabelul 5.2.

Nr. crt.	Exprimă	Nume parametru	Simbol	Formula de calcul sau definiția
1	Tendința centrală	1.1 Media aritmetică	MA	$MA = \frac{1}{n} \cdot \sum X_i$
		1.2 Mediana	ME	Elementul populației care împarte șirul valorii seriei aranjate în ordinea mărimii lor, în două grupe egale ca număr
		1.3 Modul	MO	Valoarea din repartiție căreia îi corespunde frecvența maximă $[MA + 3(ME - MA)]$
		1.4 Valoare centrală	VC	$VC = (X_{MAX} - X_{min}) / 2$
		1.5 Media geometrică	MG	$MG = \sqrt[n]{X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_k}$
		1.6 Media armonică	MAR	$MAR = k / \sum \frac{1}{X_i}$
2	Împrăștierea	2.1 Amplitudinea absolută a variației	A	$A = X_{MAX} - X_{min}$
		2.2 Amplitudinea relativă a variației	AR	$AR = [(X_{MAX} - X_{min}) / MA] \times 100$
		2.3 Abaterea medie absolută	AMA	$AMA = \sum  X_i - MA $
		2.4 Abaterea medie pătratică	AMP	$AMP = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (X_i - MA)^2}$
		2.5 Dispersia	D	$D = \frac{1}{n} \sum (X_i - MA)^2$
3	Momentele unei repartiții	3.1 Moment de ordin r	$M_r$	$M_r = \sum X_i^r / n$
		3.2 Moment centrat de ordin r	$MC_r$	$MC_r = \sum (X_i - MA)^r / n$

## 2. Parametrii statistici complexi

Sistematizarea parametrilor statistici ce exprimă asimetria și concentrarea unor populații.

Tabelul (5.3.)

ASIMETRIA		
	externă	internă
absolută	asimetria	coeficient de asimetrie
	$AEA = MA - MO$	$AIA = MC_3^2 / D^3$
relativă	* coeficient AER	coeficient Pearson
	$AER = (MA - MO) / MA \times 100$	$AIR = (MA - MO) / AMP$

Tabelul (5.4.)

CONCENTRAREA		
	externă	internă
absolută	coeficient de boltire	*coeficient CIA (de extensie)
	$CEA = MC_4 / D^2$	$CIA = AMP / A$
relativă	coeficient de variație	excesul
	$CER = AMP / MA$	$CIR = (MC_4 / D^2) - 3$

## Specificație

Coeficientul AER este o mărime statistică care exprimă asimetria externă relativă a unei populații statistice având ca expresie raportul între diferența mediei aritmetice și modul, și media aritmetică.

Coeficientul CIA este o mărime statistică care exprimă concentrarea internă absolută a unei populații statistice având ca expresie raportul între abaterea medie pătratică și amplitudinea absolută a variației.

\* parametrii introduși de autor

## 5.5. Program EXPERT de calcul specific aplicației

### 5.5.1. Selecțiuni din programul de calcul ( vezi Anexa 3 )

### 5.5.2. Date despre programul de calcul

Programele de baze de date se folosesc în problemele în care se aplică un set de operații și calcule asupra unui număr mare de date organizate într-o structură complexă de fișiere relaționate între ele. Aceste operații și calcule nu se pot implementa într-un limbaj de programare de nivel înalt, decât cu un efort considerabil de timp și de programare; iar de efectuare a lor manuală, nici nu se pune problema. De aceea a fost ales ca mediu de dezvoltare pentru aplicația dată, limbajul de proiectare a bazelor de date, FoxPro v.2.6 pentru Windows, care pe lângă alte limbaje de baze de date (Visual FoxPro, Progress, Access), mai performante, este cel mai potrivit pentru calculatoarele aflate în dotarea școlii noastre, atât ca și performanțe cât și ca viteză de rulare.

Dintre operațiile ce se doresc aplicate asupra datelor amintim: introducerea cât mai facilă de noi elemente în baza de date, modificarea unor elemente existente în baza de date, ștergerea unui element din baza de date, cu posibilități de revenire asupra deciziei; executarea de rapoarte și listări asupra întregii baze de date sau doar asupra unor elemente. Tot asupra datelor se dorește efectuarea de calcule atât la nivel de element cât și la nivelul tuturor elementelor din baza de date sau doar asupra unei categorii de elemente.

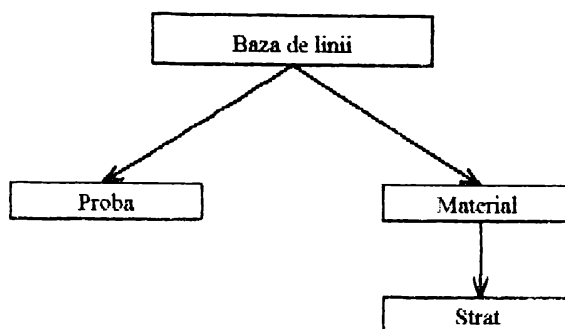
Baza noastră de date a fost împărțită în patru mari părți:

1. Baza de date de linii;
2. Baza de date de analize;
3. Baza de date de cuplări și populații;
4. Baza de date de statistici.

În continuare vom lua pe rând fiecare din aceste baze de date, urmând ca la sfârșit să dăm câteva detalii despre modul de folosire al programului.

Baza de date de linii (conținută de fișierele de baze de date FoxPro: "dbase.dbf", "probe.dbf", "mater.dbf", "strat.dbf") conține:

1. un număr de linii (componente), fiecare linie având mai multe straturi, iar un strat conținând și el, la rândul lui, un număr de fire din același material;
2. un număr de probe luate pentru o anumită linie.



În tabelele următoare sunt prezentate structurile fișierelor care compun Baza de date de linii și probe:

“dbase.dbf”

Nr.crt	Câmp	Tip	Lungime	Semnificație
1	dbase	numeric	5	Numărul curent al Bazei de date
2	componenta	caracter	40	Denumirea componentei
3	cod	caracter	40	Codul componentei
4	linia	caracter	40	Linia de exploatare a componentei
5	data_pif	caracter	10	Data punerii în funcțiune
6	data_proba	caracter	10	Data luării probei
7	nr_probe	numeric	5	Numărul de probe
8	nr_mater	numeric	5	Numărul de materiale
9	nr_analize	numeric	5	Numărul de analize aplicate componentei

Fișierul de probe: “probe.dbf”

Nr.crt	Câmp	Tip	Lungime	Semnificație
1	proba	numeric	5	Numărul curent al probei
2	nume	caracter	20	Denumirea probei
3	dbase	numeric	5	Baza de date pentru care a fost luată proba

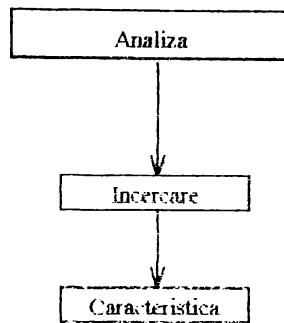
Fișierul de materiale: "mater.dbf"

Nr.crt	Câmp	Tip	Lungime	Semnificație
1	material	numeric	5	Numărul curent al materialului
2	nume	caracter	20	Denumirea materialului
3	dbase	numeric	5	Baza de date de care aparține materialul
4	nr_strat	numeric	5	Numărul de straturi ale materialului

Fișierul de straturi: "strat.dbf"

Nr.crt	Câmp	Tip	Lungime	Semnificație
1	strat	numeric	5	Numărul curent al stratului
2	nume	caracter	20	Denumirea stratului
3	material	numeric	5	Materialul din care este făcut stratul
4	dbase	numeric	5	Baza de date de care aparține materialul
5	nr_fire	numeric	5	Numărul de fire ale stratului

O analiză (conținută de fișierele: "analize.dbf", "incerc.dbf" și "caract.dbf") conține un număr de mărimi caracteristice, pentru care au fost făcute mai multe încercări. O încercare conține un set de valori pentru toate caracteristicile unei analize. O mărime caracteristică are o denumire, un simbol, o unitate de măsură. Caracteristica poate fi de calcul, caz în care câmpul *rcupd* conține o relație de calcul între celelalte caracteristici ale analizei curente, sau caracteristica mai poate fi o mărime măsurabilă. Dacă mărimea caracteristică este calculabilă, atunci ea este calculată automat de program pe baza relației de calcul furnizate.



În tabelele următoare sunt prezentate structurile fișierelor bazei de date de Analize:

Fișierul de analize: "analize.dbf"

Nr.crt	Câmp	Tip	Lungime	Semnificație
1	analiza	numeric	5	Numărul curent al analizei
2	nume	caracter	20	Denumirea analizei
3	identif	memo		Descrierea analizei
4	nr_incerc	numeric	5	Numărul de încercări ale analizei
5	nr_dbase	numeric	5	Numărul de baze de date la care a fost aplicată analiza

Fișierul de încercări: "incerc.dbf"

Nr.crt	Câmp	Tip	Lungime	Semnificație
1	incerc	numeric	5	Numărul curent al încercării
2	nume	caracter	40	Denumirea încercării
3	analiza	numeric	5	Analiza de care aparține încercarea
4	nr_caract	numeric	5	Numărul de caracteristici ale încercării



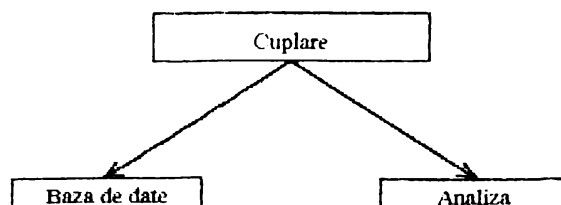
Fișierul de caracteristici: "caract.dbf"

Nr.crt	Câmp	Tip	Lungime	Semnificație
1	caract	numeric	5	Numărul curent al caracteristicii
2	nume	caracter	30	Denumirea caracteristicii
3	simbol	caracter	10	Simbolul corespunzător caracteristicii
4	um	caracter	10	Unitatea de măsură
5	calcul	logic		Este o caracteristică calculată sau măsurată
6	rcupd	caracter	100	Relația de calcul
7	incerc	numeric	5	Încercarea de care aparține caracteristica
8	analiza	numeric	5	Analiza de care aparține încercarea

Printr-o cuplare (conținută de fișierele: "cuplari.dbf" și "populat.dbf") se atribuie fiecărui strat al tuturor probelor de linii din baza de date, toate mărimile caracteristice din fiecare încercare definită în baza de analize. Din această atribuire se generează o baza de date de populații care conține toate câmpurile de forma următorului vector general:

*simbol(DB(dbase, proba, material, strat)A(analiza, încercare, caracteristică))*

obținut în urma cuplării bazei de date *dbase* cu analiza *analiza*. În baza de populații vor fi trecute, pentru fiecare fir al fiecărui strat din baza de date, valorile măsurate sau calculate ale caracteristicilor din analiza. Deci în baza de populații vom avea toate combinațiile posibile între toate straturile probelor de linii din baza de date și toate caracteristicile încercărilor din analiză.



Fișierul de cuplări: "cuplari.dbf"

Nr.crt	Câmp	Tip	Lungime	Semnificație
1	nr_crt	numeric	5	Numărul curent al cuplării
2	dbase	numeric	5	Baza de date
3	analiza	numeric	5	Analiza

Pe baza acestei baze de populații de generează pentru fiecare cuplare o bază de date de statistici (conținută în fișierele "statist.dbf"). Această bază de statistici se crează folosind informațiile din fișierul "statistn.dbf", care conține:

Fișierul cu numele parametrilor statistici: "statistn.dbf"

Nr.crt	Câmp	Tip	Lungime	Semnificație
1	nr_crt	numeric	5	Numărul curent al statisticii
2	grupa	numeric	5	Grupa în care se încadrează parametrul statistic dat
3	caract	caracter	15	
4	simbol	caracter	15	Simbolul parametrului statistic
5	denumire	caracter	30	Denumirea parametrului statistic
6	formula	caracter	50	Formula de calcul pentru parametrul statistic

Grupa de încadrare pentru un parametru statistic poate fi:

1. Parametrii populației cu următoarele subgrupe:

- Tendința centrală;
- Împrăștiere;
- Asimetrie;
- Concentrare;
- Alții;

## 2. Parametrii raportați:

- Intergrupe;
- Interpopulații;

## 3. Parametrii comparativi:

- Interpopulații;
- Raport standard.

Formula de calcul poate conține următoarele variabile:

1. Număr de elemente;
2. Media aritmetică;
3. Media geometrică;
4. Media armonică;
5. Element maxim;
6. Element minim;
7. Abaterea medie absolută;
8. Abaterea medie pătratică;
9. Dispersia;
10. Amplitudinea
11. Valoare centrală;
12. Coeficient de variație;
13. Mediana;
14. Modul;
15. Coeficient Pearson;
16. Moment de ordinele 2, 3, 4;
17. Moment centrat de ordinele 2, 3, 4;
18. Coeficient de asimetrie;
19. Coeficient de boltire;
20. Exces.

În continuare câteva cuvinte despre meniul programului și modul de lucru. Acesta conține următoarele opțiuni:

1. Fișier
2. Bază de date
3. Analiză
4. Cuplare
5. Populații
6. Statistică
7. Sistem

Submeniul "Fișier" conține, la rândul lui:

1. Crează
2. Deschide
3. Salvează
4. Arhivează
5. Șterge
6. Setare imprimantă
7. Tipărire
8. Ieșire

Primele cinci opțiuni: cea de creare, deschidere, salvare, arhivare și ștergere; operează cu o sesiune de lucru. O sesiune conține totalitatea bazelor de date descrise până în acest moment, referite (identificate unic) printr-un nume pe opt caractere. Pentru o sesiune se construiește un subdirector cu numele sesiunii, în directorul ce conține programul. Opțiunea de "Creare" construiește o sesiune nouă cu numele dat de către utilizator, având Bazele de date, Analizele și Cuplările vide. Opțiunile de "Deschidere" și "Salvare", încarcă și respectiv salvează o anumită sesiune. Opțiunea de "Arhivare" comprimă într-un fișier ARJ, toate fișierele de baze de date dintr-o sesiune. Iar opțiunea de "Ștergere", șterge o anumită sesiune.

Tot cu acest program se pot tipări la imprimantă tabele cu valorile Populațiilor și Statisticilor selectate de către utilizator. Pentru acestea se folosește opțiunea de "Tipărire" din meniu. Dacă se dorește a se seta imprimanta se selectează "Setare imprimantă".

Ieșirea din program se face selectând opțiunea de "Ieșire".

Următoarele trei submeniuri: "BazăDate", "Analiza" și "Cuplare", conțin aceleași opțiuni:

- Parcurge - parcurge elementele Bazei de Date, Analizei sau Cuplării;
- Adaugă - adaugă un element nou la Baza de Date, Analiza sau Cuplare;
- Modifică - modifică un element al Bazei de Date, Analizei sau Cuplării;
- Șterge - șterge un element al Bazei de Date, Analizei sau Cuplării;
- Raport - listează pe ecran elementele Bazei de Date, Analizei sau Cuplării;
- Verifică - verifică consistența elementelor Bazei de Date, Analizei sau Cuplării.

Submeniul de "Populații" conține:

- Calculează - calculează totalitatea populațiilor pentru o anumită Cuplare (caracteristicile de calcul care apar în Analiza din Cuplare);
- Nume populații - afișează un tabel cu numele populațiilor (numele unei populații este dat de vectorul *simbol\_caracteristică*( *DB* (*dbase*, *proba*, *material*, *strat*) *A* (*analiza*, *incercare*, *caracteristică*));
- Pagina 1, Pagina următoare, Pagina precedentă - opțiunile de parcurgere a tuturor paginilor de populații. Populații cu care se va lucra se selectează din fereastra de cuplări;
- Verifică - verifică consistența bazei de populații.

Submeniul de "Statistici" conține:

- Parametrii statistici - toți parametrii statistici ce se vor aplica populațiilor;
- Parametrii populații, raportați și comparativi - selecționează doar anumite grupe de parametrii statistici, cu care se va lucra în continuare;
- Adaugă, Calculează și Șterge parametru statistic;
- Pagina 1, Pagina următoare, Pagina precedentă - opțiunile de parcurgere a tuturor paginilor de populații selectate;
- Verifică - verifică consistența bazei de statistici.

Folosirea programului implică urmarea următorilor pași (nu obligatoriu în ordinea dată):

1. Crearea unei noi sesiuni de lucru;
2. Introducerea bazei de date de linii, (adaugare, modificare, ștergere, vizualizare, verificare);

3. Introducerea bazei de date de analize, (adaugare, modificare, ștergere, vizualizare, verificare);
4. Realizarea de cuplări între linii și analize (aplicarea unui set oarecare de analize asupra unui set dat din baza de linii), urmând ca apoi să se introducă caracteristicile măsurate pentru vectorii de populații generați și să se calculeze caracteristicile de calcul pe baza datelor introduse;
5. Introducerea parametrilor statistici ce se doresc aplicați asupra bazei de populații. Efectuarea calculelor statistici corespunzătoare parametrilor statistici introduși;
6. Vizualizarea sau tipărirea rezultatelor finale (tabelele de populații și se statistici);
7. Salvarea și eventual arhivarea sesiunii de lucru.

5.5.3. Imagini din program

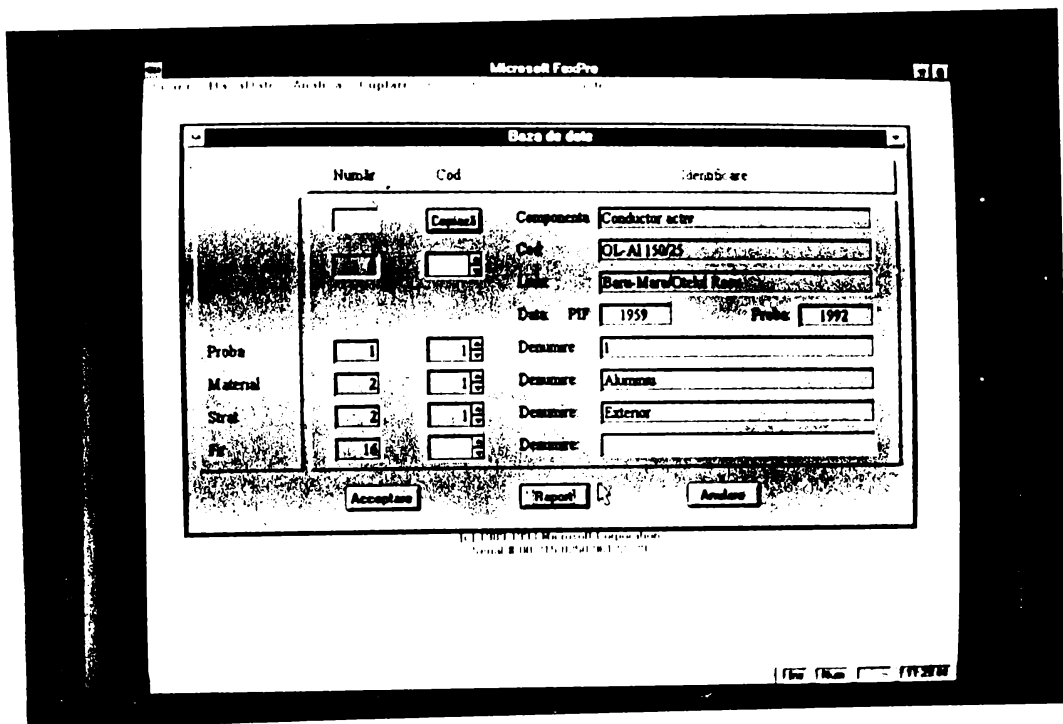


Foto [ 5.1 ]

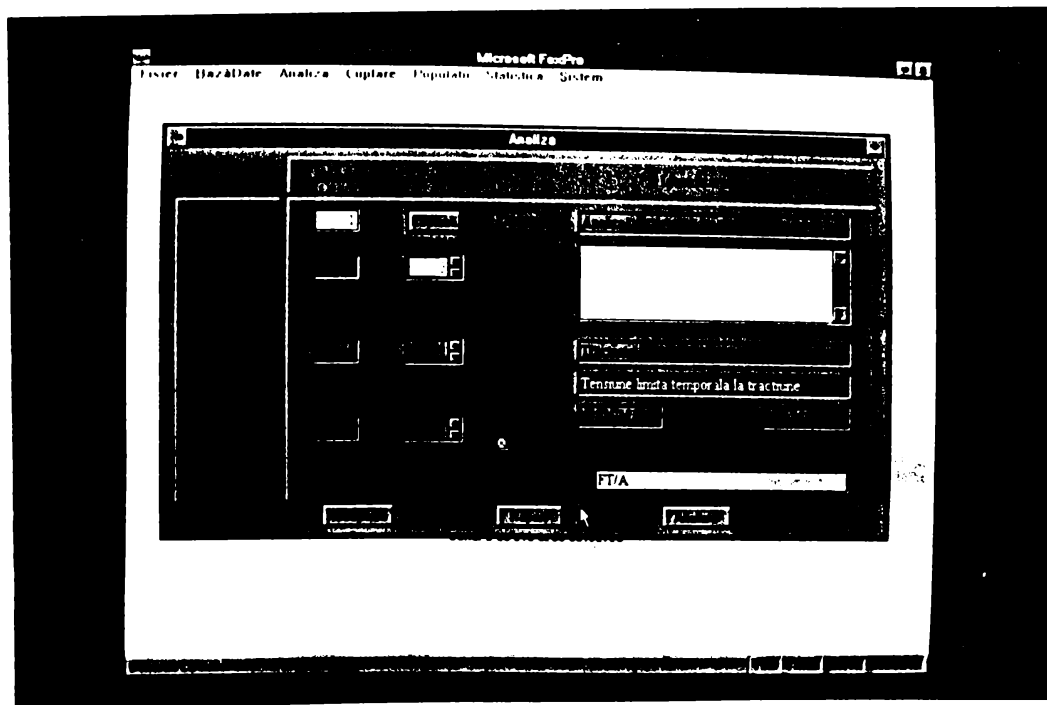


Foto [ 5.2 ]

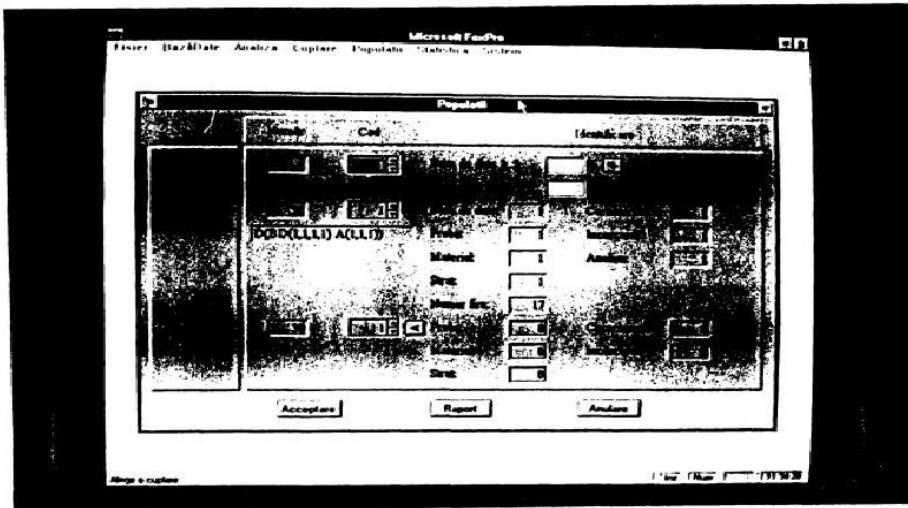


Foto [ 5.3 ]

The image shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "Export ke Windows (KERE)". The spreadsheet contains a table with multiple columns of data. The data is organized into rows and columns, with some cells containing numerical values and others containing alphanumeric codes. The table is as follows:

No	Item	Material	Materi	Materi Baru	Materi Lama	Materi	Materi Baru	Materi Lama	Materi	Materi Baru	Materi Lama	Materi	Materi Baru	Materi Lama
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														

Foto [ 5.4 ]



Microsoft Excel

File Edit Data Analiza Cuplare Populatii Statistica Sistem Browse

Expert for Windows (CERI) Cuplarea: 1 Parametrii statistici

1	ASIMETRIE	AAA	Asimetrie externa absoluta	MEDIA ME
1	ASIMETRIE	AIA	Asimetrie externa relativa	COEF_AIM
1	ASIMETRIE	AEF	Asimetrie interna absoluta	MEDIA M100, MEDIA M10
4	ASIMETRIE	AIR	Asimetrie interna relativa	COEF_PEARSON
1	CONCENTRARE	CEA	Concentrarea externa absoluta	COEF_BOLT
2	CONCENTRARE	CIA	Concentrarea externa relativa	ABATEREA/AMPLIT
3	CONCENTRARE	CER	Concentrarea interna absoluta	COEF_VAR
4	CONCENTRARE	CIR	Concentrarea interna relativa	EXCES
1	IMPRASTIERE	A	Amplitudinea imprastierii	AMPLIT
2	IMPRASTIERE	AMA	Abaterea medie absoluta	ABAT_MEDIIE_AEC
3	IMPRASTIERE	AMP	Abaterea medie patratica	ABATEREA
4	IMPRASTIERE	D	Dispersia	DISPERSIA
1	TENDINTA CEN	MA	Medie aritmetica	MEDIA
2	TENDINTA CEN	ME	Mediana	MEDIANA
3	TENDINTA CEN	MO	Modulul	MODUL
4	TENDINTA CEN	MC	Valoarea centrala	VAL_CENTR
5	TENDINTA CEN	MO	Medie geometrica	M_GEOM
6	TENDINTA CEN	MAR	Medie armonica	M_ARM

Foto [ 5.5 ]

## 5.7. CONCLUZII

Calculul statistic pe eşantioane prelevate din LEA cu timpi de funcționare 0 ani, 9 ani, 24 ani, și 33 ani, a condus la rezultatul a cca. 900 de parametri statistici.

Analiza dinamică ( în timp ) a structurii de relații statistice evidențiază parametrii statistici:

- invarianți
- cu variație
  - aleatoare
  - previzibilă.

Pentru aceasta este necesară selecționarea parametrilor statistici cu variație previzibilă în timp pentru a evidenția stadiul de degradare în timp a conductoarelor.

## 6. METODE DE DIAGNOZĂ A STADIULUI DE DEGRADARE A CONDUCTOARELOR

### 6.1. CERCETAREA STRUCTURILOR METALOGRAFICE

Cercetarea structurilor metalografice implică studiul structurii pe secțiuni transversale și longitudinale.

Stadiul de degradare a conductoarelor este dat de :

- a ) - formă
  - mărimea relativă ( raportată la diametrul firului )

a fisurilor cu origine superficială sau exclusiv internă cu direcții preferențiale de-a lungul texturii interfibre sau perpendiculare pe textură ce apar în firele de aluminiu și de oțel.

- b ) mărimea stratului cu tendință de exfoliere.

### 6.2. CERCETAREA PARAMETRILOR STATISTICI CU EVOLUȚIE PREVIZIBILĂ DETERMINAȚI LA ÎNCERCĂRILE MECANICE FIR CU FIR

Din cei 900 de parametri statistici am selecționat 50 de parametri statistici cu evoluție previzibilă, pentru a evidenția stadiul de degradare în timp a conductoarelor ( vezi tabelul 6.1. și fig. 6.1...6.12 ).

Deoarece până la 33 de ani de funcționare, conductoarele active nu prezintă ruperi frecvente în zona Banatului este necesară continuarea cercetării pentru un număr de ani de funcționare mai mare.

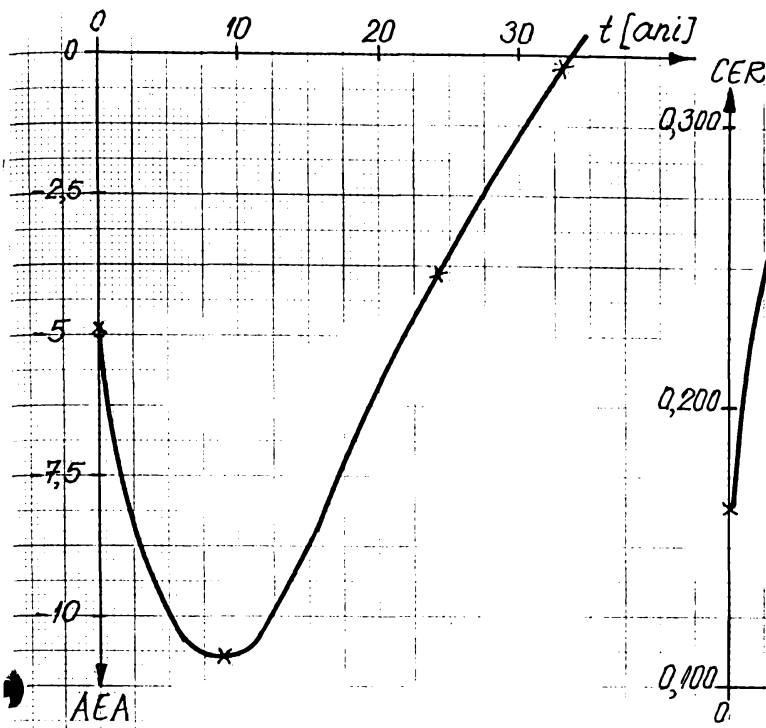
Tablou cu parametri statistici cu evoluție previzibilă

Tabelul 6.1.

Nr.crt.	Încercarea	Caracteristica mecanică	Material	Strat	Parametru statistic de comparație				
					Denumire	Valori efective			
						0 ani	9 ani	24 ani	33 ani
1.	Tracțiune	Forța de tracțiune la rupere	Aluminiu	exterior	AEA	0,706	-3,2	-8,44	
2.					CEA	2,709	2,906	3,697	
3.					CEP	0,066	0,049	0,049	
4.		Oțel		-	AIR	-0,073	0,455	1,467	
5.					CEA	1,751	2,506	1,957	
6.	Tracțiune	Tensiune limită temporală $\sigma_{LT}$	Aluminiu	exterior	AIA	0,024	0,058	0,194	
7.					CEA	1,298	2,3	3,2	
8.					A	28,33	12,16	20,7	
9.				interior	AMA	52,5	38,1	48,52	
10.					D	55,12	12,9	29,8	
11.	Îndoire alternantă	Număr de îndoiri	Aluminiu	interior	CEA	1,9	2,71	1,91	
12.					AIA	0,28	0,051	0	
13.					CEA	1,844	1,510	2,720	
14.					A	60	11,0	10,0	
15.					AMA	19,82	54,36	23,0	
16.					AMP	2,093	2,934	2,375	
17.					A	5,0	6,0	12,0	
18.					AMA	10,86	13,71	21,71	
19.					AMP	1,726	2,185	6,534	
20.					D	2,98	4,77	15,388	

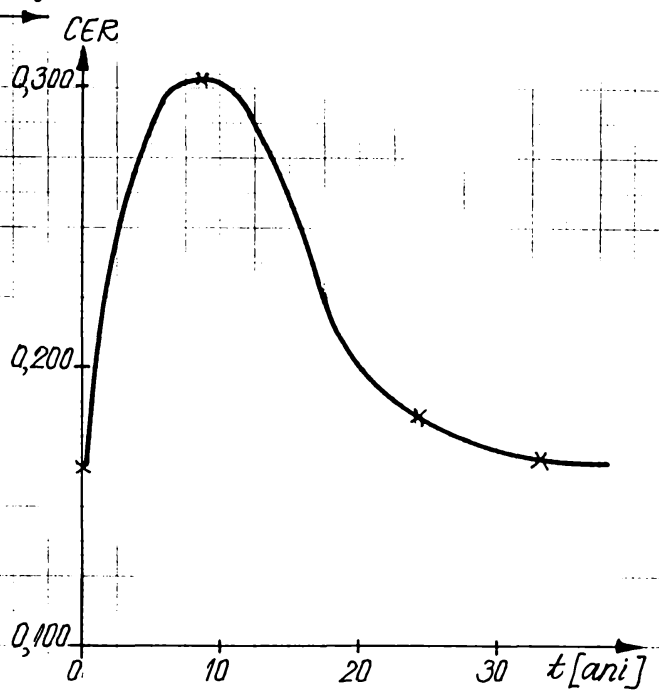
Tablou cu parametri statistici cu evoluție previzibilă ( continuare )

Nr.crt.	Încercarea	Caracteristica mecanică	Material	Strat	Denumire	Parametru statistic de comparație				
						Valori efective				
						0 ani	9 ani	24 ani	33 ani	
21.					AEA	-4,921	-10,76	-3,938	-0,188	
22.				exterior	AER	-13,59	-32,218	-14,22	-0,606	
23.			Aluminiu		CIA	0,231	0,267	0,275	0,225	
24.					CER	0,165	0,304	0,179	0,167	
25.				interior	AIR	-1,85	-1,401	-0,703	-0,459	
26.					CER	0,075	0,081	0,309	0,158	
27.	Răsucire	Număr de răsuciri			A	9	11	31,9	17,0	
28.					AIA	0,097	0,732	3,926	0,852	
29.			Oțel		AIR	-2,35	0,150	1,71	-1,167	
30.					A	23	9	29	30	
31.					AMA	67,71	15,14	47,14	70,28	
32.					AMP	9,85	2,85	9,693	11,387	
33.					D	97,06	8,12	93,96	129,67	
34.			Aluminiu	exterior	AEA	28,41	25,94	24	1,5	
35.					AER	2,085	1,895	1,7	0,129	
36.					AER	2,126	0,081	-1,106	3,769	
37.		Forța de forfecare la rupere	Oțel		CIA	0,389	0,296	0,305	0,319	
38.					A	1043,0	367	427	500	
39.					AMA	2426,8	554,3	723,86	754,3	
40.					AMP	405,3	108,62	130,176	159,4	
41.	Fortfecare				D	164270,9	11798,2	16945,8	25402	
42.			Aluminiu	exterior	AIA	0,036	0,040	0,189	1,493	
43.					CEA	1,819	2,047	2,154	4,951	
44.					A	13,85	7,324	8,406	9,7	
45.					AIA	0,28	0	0,131	2,425	
46.		Tensiune limită temporală $\sigma_{LT}$	Oțel		CER	0,083	0,030	0,033	0,046	
47.					A	94,42	34,69	37,34	64,88	
48.					AMA	219,89	67,95	80,25	98,98	
49.					AMP	37,57	11,59	12,57	20,52	
50.					D	1411,44	134,38	157,99	421,09	



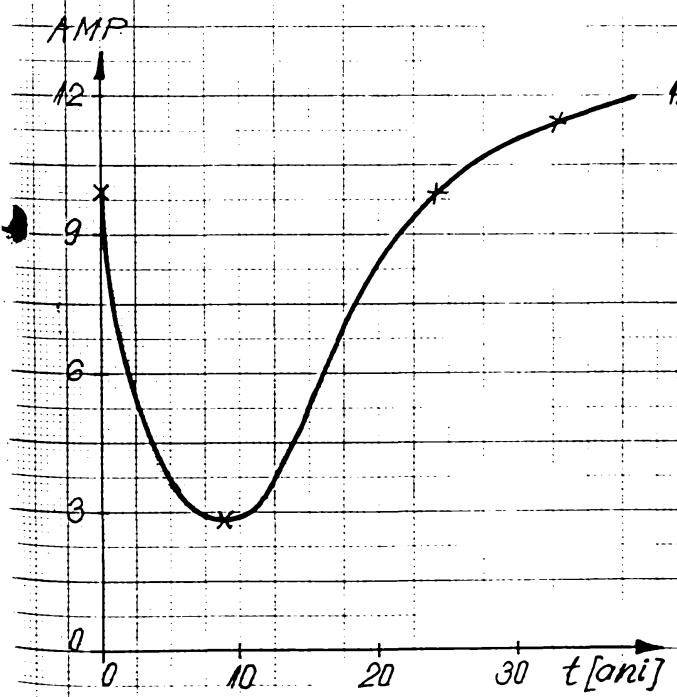
Inercarea : răsucire  
 Caracteristica mecanică : număr  
 de răsuciri  
 Material : aluminiu  
 Strat : exterior

Fig. 5.1



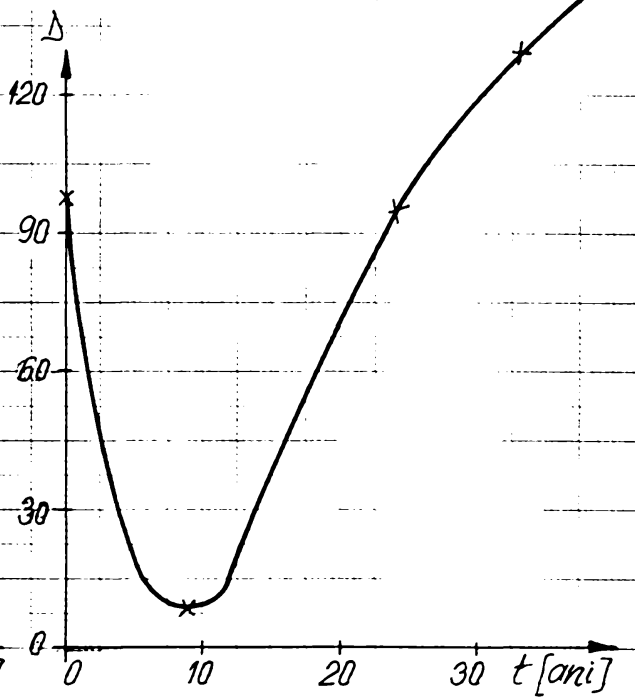
Inercarea : răsucire  
 Caracteristica mecanică : număr  
 de răsuciri  
 Material : aluminiu  
 Strat : exterior

Fig. 6.2



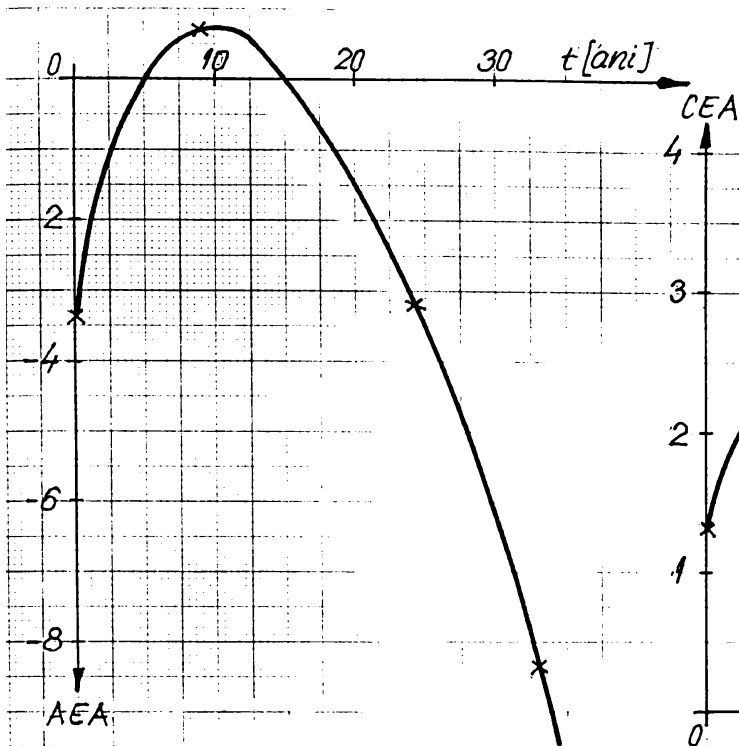
Inercarea : răsucire  
 Caracteristica mecanică : număr  
 de răsuciri  
 Material : otel

Fig. 6.3



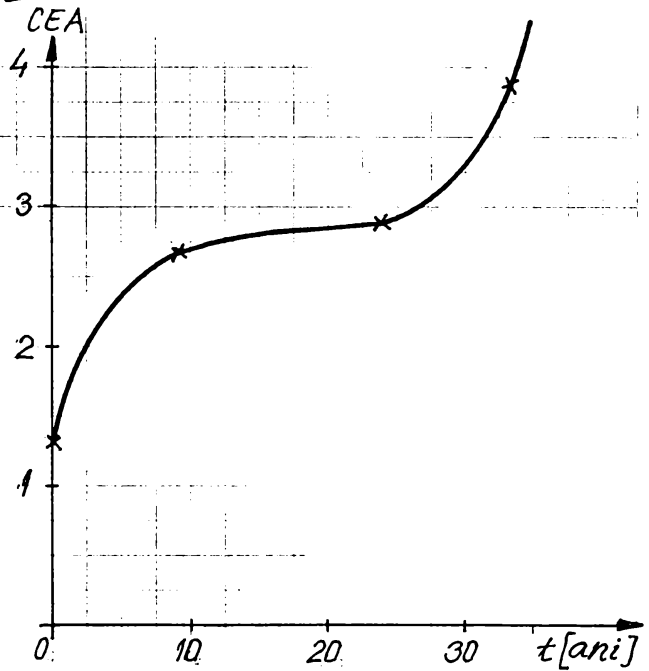
Inercarea : răsucire  
 Caracteristica mecanică : număr  
 de răsuciri  
 Material : otel

Fig. 6.4.



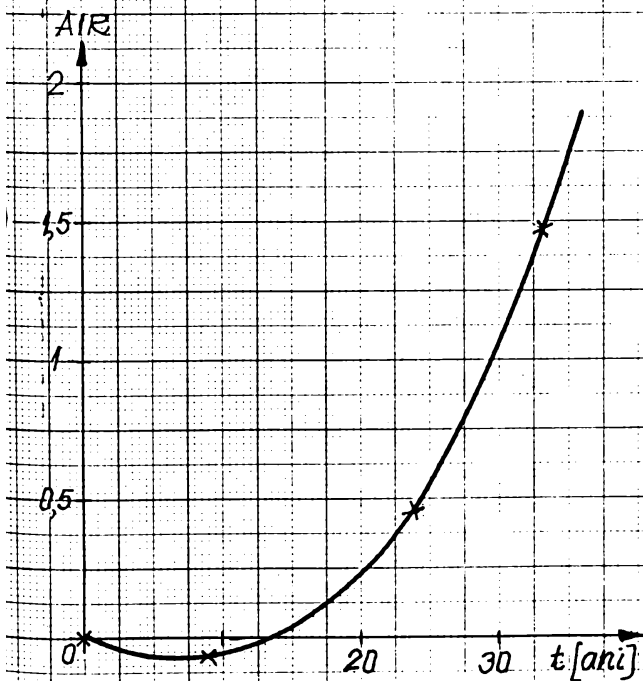
Incercearea : tractiune  
 Caracteristica mecanică : forța de  
 tractiune la rupere  
 Material : aluminiu  
 Strat : exterior

Fig. 6.5



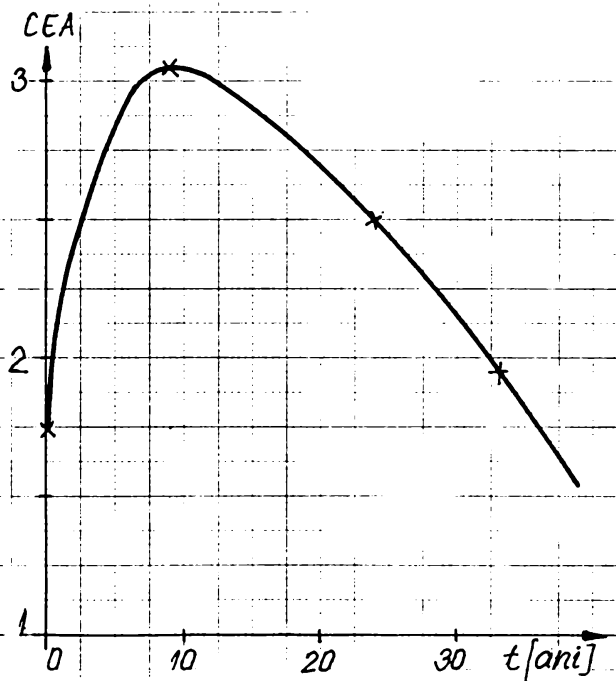
Incercearea : tractiune  
 Caracteristica mecanică : forța de  
 tractiune la rupere  
 Material : aluminiu  
 Strat : exterior

Fig. 6.6



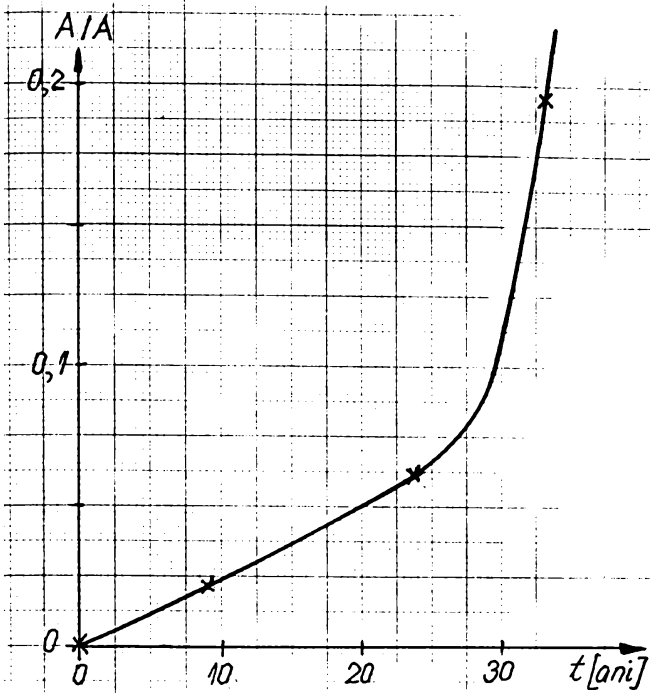
Incercearea : tractiune  
 Caracteristica mecanică : forța de  
 tractiune la rupere  
 Material : oțel

Fig. 6.7

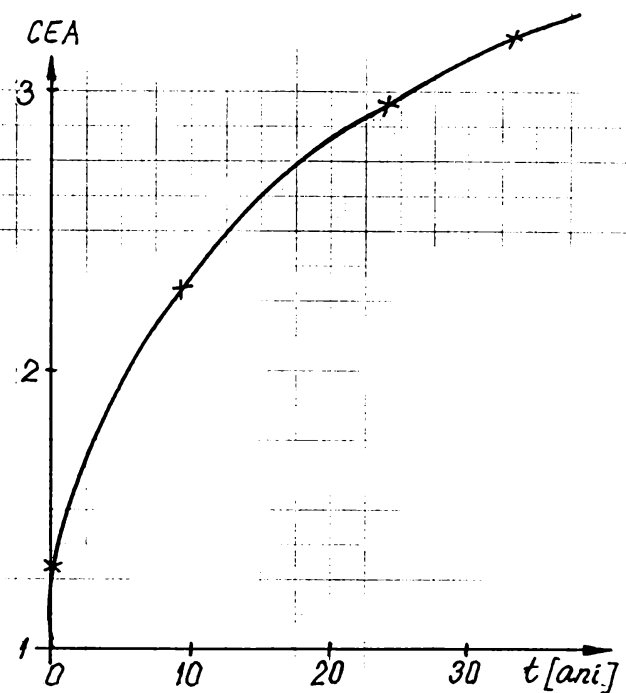


Incercearea : tractiune  
 Caracteristica mecanică : forța de  
 tractiune la rupere  
 Material : oțel

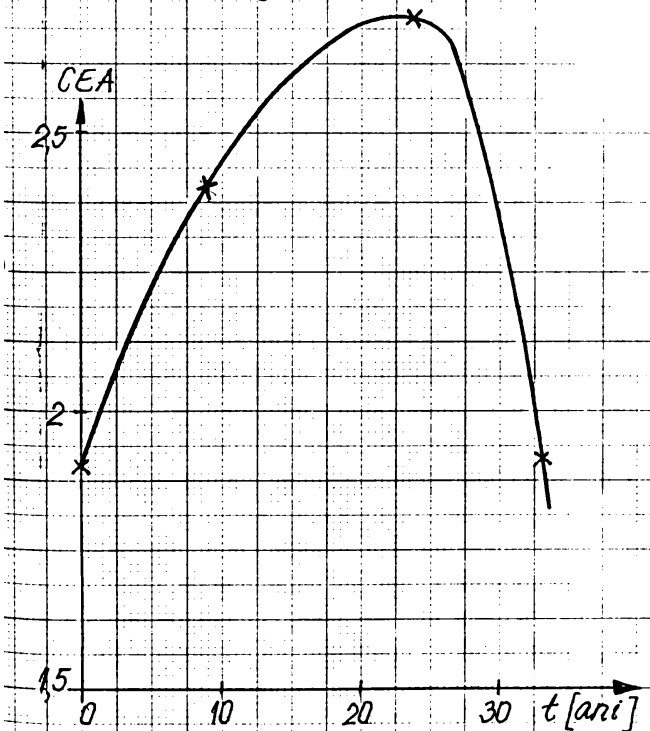
Fig. 6.8



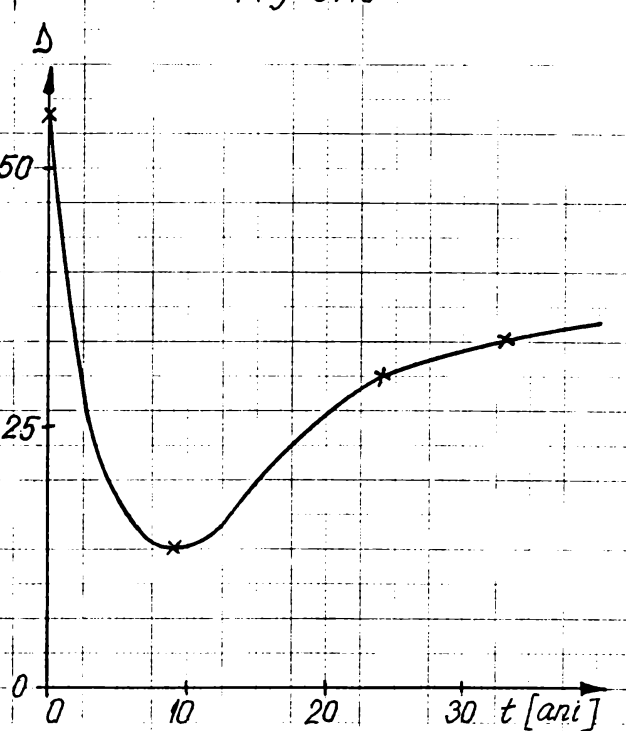
Incercorea : tracțiune  
 Caracteristică mecanică : tensiune  
 Limită temporală  
 Material : aluminiu  
 Strat : exterior  
 Fig. 6.9



Incercorea : tracțiune  
 Caracteristică mecanică : tensiune  
 Limită temporală  
 Material : aluminiu  
 Strat : exterior  
 Fig. 6.10



Incercorea : tracțiune  
 Caracteristică mecanică : tensiune  
 Limită temporală  
 Material : oțel  
 Fig. 6.11



Incercorea : tracțiune  
 Caracteristică mecanică : tensiune  
 Limită temporală  
 Material : aluminiu  
 Strat : interior  
 Fig. 6.12



## 7. CONCLUZII FINALE ȘI PRINCIPALELE CONTRIBUȚII ORIGINALE

Cercetarea desfășurată de autor în rezistența mecanică a conductoarelor sub îndrumarea Prof. Dr. Ing.T.Babeu , a fost începută în 1987 și cuprinde o gamă variată de preocupări.

Studiile prezentate în această lucrare cuprind cercetări demarate în 1992 orientate în problematica practică a stării tehnice a conductoarelor aflate în exploatare timp îndelungat.

Ea abordează limitativ :

- linii energetice aeriene LEA de înaltă tensiune
- elemente LEA :
  - conductoare active
  - conductoare de protecție
  - cabluri de ancorare
- evoluția comportării mecanice după o perioadă de serviciu
- organizarea computerizată a unei baze de date deschise unor cercetări de lungă durată
- organizarea unei baze de date cu structuri metalografice pentru conductoare aflate în diverse stadii de deteriorare

Abordare temei stării tehnice a conductoarelor aflate în exploatare este de o deosebită importanță în cercetările actuale asupra liniilor de înaltă tensiune. Criteriile de decizie a înlocuirii conductoarelor reprezintă obiectul de studiu a multor cercetări în domeniu, determinate de preîntâmpinarea dereglării rețelei de distribuție a energiei electrice și scurtarea duratei de amortizare a rețelei.

Problema evoluării menținerii în exploatare a conductoarelor linii electrice aeriene este abordată cu seriozitate în toate țările în care energetica reprezintă o problemă națională majoră ( SUA, Canada, Franța, Germania, Suedia, Italia, Brazilia, etc. ).

Metodele cele mai cunoscute de evaluare a degradării în timp a conductoarelor sunt:

- curbe Wohler
- detectarea deteriorării stratului galvanic al miezului de oțel
- testarea mecanică a conductorului în laborator prin :
  - rezistența la rupere prin întindere a conductorului
  - ductilitatea la torsiune a conductorului
  - testul de oboseală ce privește numărul de cicluri la vibrații (până la rupere) de o anumită amplitudine și frecvență și nivel de deformare
- analiza metalografică prin :
  - analiza spectrală fluorescentă cu radiații X
  - analiza structurii la microscopul electronic.

Elementele esențiale ale încercărilor care au fost luate în calcul la evaluarea stării de degradare a conductoarelor sunt:

- previziunile pe termen scurtat sunt mai sigure și mai exacte decât cele pe termen lung.
- există o pierdere în tensiuni limită de rupere cu creșterea timpului de solicitare.
- orice tip de încercare efectuat pe probe deja supuse la solicitări anterioare care nu sunt de natura încercării care se face, au o reflectare directă a istoriei ( solicitării ) anterioare.
- pierderea în tensiuni limită de rupere este factorul principal care determină distrugerea la suprasarcini.
- imposibilitatea neglijării microsolicităților date de fenomenele degradării structurale a limitei materiale a firelor și de fisurare a firelor în aprecierea stării de degradare.
- solicitările de laborator nu pot modela fidel solicitările din teren.

Teza studiază conductoarele aluminiu - oțel alcăturate dintr-un fir central și un prim strat de fire de oțel, formând împreună o funie de oțel și din alte două straturi concentrice compuse din fire de aluminiu.

Studiind forțele care acționează asupra conductoarelor montate în LEA se constată:

- o forță permanentă, constantă în timp, datorită greutateii proprii a conductorului
- forțe cu intensitate variabilă în timp cum ar fi:
  - forțe datorită gheții
  - forțe datorită acțiunii vântului

- staționare
- dinamice
  - vibrații eoliene
  - galopare
  - oscilații corona

-forțe datorită variațiilor de temperatură.

Calculul mecanic al conductoarelor LEA presupune calculul întinderii stabilindu-se:

-forma geometrică de echilibru a conductorului în funcție de forțele care acționează asupra lui

-relațiile între eforturi, tensiuni și săgețile conductorului în diverse ipoteze de solicitare

În prezent proiectarea conductoarelor electrice aeriene, ca și a celorlalte componente ale LEA se face în instituții de proiectare specializate, cu ajutorul calculatoarelor electronice numerice pe baza unor programe de calcul înalt elaborate de specialiști în domeniu în colaborare cu informaticieni ținând seama de toate normativele de calcul în vigoare.

O contribuție a autorului o prezintă deschiderea capitolului în rezistența materialelor de studiu a evoluției comportării mecanice a conductoarelor. El cuprinde ca elemente originale:

- definiția evoluției comportării mecanice ECM
- componentele ei
- sistemul relațional între componentele evoluției comportării mecanice
- depenența generală ECM
- moduri practice de determinare
- factorii care influențează evoluția comportării mecanice a conductoarelor
- tipuri de solicitări prezente în conductoare
- evoluția spațio - temporală a distribuției tensiunilor pe firele secțiunii conductorului.

O concluzie importantă a acestui capitol o prezintă constatarea modelului curgerii individuale a firelor la o suprasolicitare sau solicitarea de lungă durată globală a conductorului, constând din deformații locale plastice mici ale firelor care ating tensiunea limită care descarcă firul din punct de vedere tensional și redistribuie solicitările în plan secțional. Fenomenul este continuu și apare la mai multe fire în grade de deformare plastică diferite, cu grade de descărcare diferite. Curgerea continuă are tendința spre uniformizarea tensiunilor limită pe toate firele secțiunii. fenomen pozitiv care duce la o comportare globală mai bună.

Având în vedere numărul mare de factori și tipuri de solicitări care influențează durata de viață în serviciu, apar probleme legate de cunoașterea valorilor tensiunilor și deformațiilor pe fire care din punct de vedere teoretic sunt deocamdată dificil calculabile, din punct de vedere experimental sunt deocamdată dificil măsurabile și din punct de vedere al modului de variație neconținute și imperceptibile.

Structurile metalografice ale materialelor firelor secționate transversal și longitudinal au fost supuse analizei structurale metalografice fire componente ale conductoarelor în variantele

- neutilizat în exploatare
- utilizat 9 ani în exploatare
- utilizat 24 ani în exploatare
- utilizat 33 ani în exploatare

în următoarea configurație:

Probe material	Secțiuni în fir		Strat de împletire
	tip	zona secțiunii cercetate	
oțel	transversală	interioară	exterior
aluminiiu	longitudinală	de margine	interior

cu ajutorul microscopelor optic metalografic și electronic prin transmisie.

Din analiza metalografică s-au constatat modificări microstructurale de margine (MMM) și interne (MMI), la firele de aluminiiu și oțel.

Evoluția la nivelul ariei de contact a structurii de margine are cauze :

- mecanice
- electrice
- chimice.

Se manifestă prin :

- exfoliere
- ciupire
- abraziuni

- umflături
- coroziune
- microfisuri de suprafață transversale
- deformări plastice microstructurale de suprafață

și are următorii factori care o influențează

- geometria arilor de contact interfir
- materialul firelor
- spațiul parcurs în deplasarea relativă interfir
- timpul parcurs între două poziții extreme
- dinamica microdeplasărilor relative interfir
- ungere
- temperatura de funcționare
- calitatea acoperirilor galvanice
- factorii tehnologici de trefilare.

Evoluția la nivel intern a structurii are cauze

- solicitarea complexă macromecanică cu sarcini variabile spațio - temporal
- variația temperaturii
- modificările spațio -temporale ale solicitărilor firelor dintr-o secțiune prin descărcări

tensionale mecanice locale.

Se manifestă prin:

- modificarea structurii fibroase cu orientarea preferențială de tip textură
- aparitia și dezvoltarea golurilor sferice și fusiforme între fibre
- aparitia și dezvoltarea fisurilor longitudinale și transversale pe textură
- realizarea zonală de structuri zdrobite sau cu un grad de mărunțire diferit

și are următorii factori care o influențează:

- compoziția chimică a firelor de oțel și de aluminiu
- întinderea firelor în împletire
- tehnologia de trefilare și tratament termic
- dinamica solicitărilor mecanice, electrice, termice și chimice
- sarcina statică curentă de zi cu zi
- modificările microstructurale de margine
- sensibilitatea la propagarea fisurilor

Cercetarea comportării mecanice la solicitare s-a efectuat pe fire componente ale conductoarelor și pe conductoare întregi, modul de încercare static, urmărind deformația limită temporală și tensiunea limită temporală, pe probe prelevate din rețeaua de distribuție a energiei electrice și noi.

În cadrul cercetării comportării mecanice la solicitare s-au introdus noțiuni teoretice noi cum sunt:

- tensiune limită temporală zero
- deformație limită temporală zero
- tensiune limită temporală
- deformație limită temporală
- diluție mecanică
- grad de umplere mecanică

și șase clase de degradare cum ar fi:

- alarmantă
- periculoasă
- acceptabilă
- semnificativă
- moderată
- mică.

Încercările la solicitare mecanică fir cu fir cuprind programele de cercetare cu codul :

CER 1	pe conductoare active cu	0 ani în funcționare
		9 ani în funcționare
		24 ani în funcționare
		33 ani în funcționare

CER 2 pe conductoare de protecție

și CER 3 pe ancore.

Schema de încercare se bazează pe ierarhizarea pozițională, a firului în baza de date și a analizei mecanice.

Încercările mecanice la care au fost supuse firele componente ale conductoarelor sunt:

- tracțiune
- îndoire alternantă
- răsucire
- forfecare

Făcând analiza tensiunii limită temporală și a deformației limită temporale pe probe având timpi de funcționare diferiți se constată scăderea permanentă a valorilor lor o dată cu creșterea timpului de funcționare.

Incercările mecanice fir cu fir sunt completate de încercări mecanice ale conductoarelor active și de protecție întregi cu lungimea între bacuri de 13 m. Incercările mecanice la tracțiune s-au efectuat cu o mașină orizontală MOT 2500/13. Proiectarea mașinii a fost efectuată de un colectiv din catedra de rezistența materialelor din care autorul a făcut parte.

Incercările cuprind încercarea de rezistență - deformabilitate și încercarea la rupere totală.

Incercările mecanice sunt secundate de studii statistice.

În cadrul acestor studii statistice a fost necesară definirea originală a :

- populației statistice
- macro populației statistice
- micro populației statistice
- unității statistice
- proprietății statistice
- și -caracteristicii statistice.

În studiul statistic se utilizează o metodă de cercetare statistică originală numită selectare din " tot ", care conține etapele:

-construcția planului anchetei statistice după o structură logică "antiplantată", în concepție originală (vezi figura 5.1)

-prelevare probe

-stabilirea planului experimental

-aparatură

-condiții de încercare

-execuția experimentului cu prelevarea datelor primare

-prelucrarea statistică automată a datelor

-determinarea caracteristicii statistice analizând volumul de relații statistice, prin selectarea relațiilor statistice, omogene cu variație previzibilă și eliminând pe cele omogene invariante și aleatoare

-stabilirea planului de analiză operativ.

Parametrii statistici de calcul sunt organizați în tabelele 5.2, 5.3, 5.4 din care

-coeficientul de asimetrie externă relativă

și -coeficientul de concentrare internă absolută

sunt originali.

Programul EXPERT de diagnoză a stadiului de degradare a

-conductoarelor active

-conductoarelor de protecție

și a -ancorelor

s-a făcut într-un mediu de dezvoltare FOXPRO 2.6 pentru WINDOWS cu o extensie de 250 de pagini și este de concepție complet originală.

Teza prezintă două metode de diagnoză a stadiului de degradare a conductoarelor:

-cercetarea structurilor metalografice

-cercetarea parametrilor statistici cu evoluție previzibilă determinați din încercările mecanice.

Cercetarea structurilor metalografice implică studiul structurii pe secțiuni transversale și longitudinale.

Stadiul de degradare a conductoarelor este dat de :

a) - forma

- mărimea relativă (raportată la diametrul firului)

a fisurilor cu origine superficială sau exclusiv internă cu direcții preferențiale de-a lungul texturii interfibre sau perpendiculară pe textură ce apar în firele de aluminiu și de oțel.

b) mărimea stratului cu tendință de exfoliere.

Cercetarea parametrilor statistici cu evoluție previzibilă determinați la încercările mecanice s-a efectuat prin selecționare (vezi tabelul 6.1).

Deoarece până la 33 de ani de funcționare, conductoarele active nu prezintă ruperi frecvente în zona Banatului este necesară continuarea cercetării pentru un număr de ani de funcționare mai mare.



## BIBLIOGRAFIE

1. Alexandrov G.N, Peterson L.L, s.a.  
Proiectarea liniilor electrice de foarte înalta tensiune.Traducerea selectiva din lb.rusa si adaptare .  
Ed Tehnica Bucuresti 1989
- 2 Arie A. Arie , Golovanov N ,Hurdubeți S , Zaharie Neag, Gheorghită G., Tudor S.E.  
Rețele electrice, calculul mecanic  
Editura tehnica , Bucuresti 1981 pag 23, 24
- 3 Babeu T., Ciobotaru N.  
Despre rezistenta tancorelor stâlpilor de linii electrice aeriene.  
Sesiune anuală de comunicari stiintifice  
Universitatea din Oradea -30 mai - 1 iunie 1996
- 4.Babeu T.,Ciobotaru N.  
Comentarii asupra aspectelor globale din examinarea unor conductori în exploatare.  
Sesiune de comunicari stiintifice ed.III-a Universitatea Aurel Vlaicu Arad  
16-17 mai 1996
- 5.Babeu T.,Ciobotaru N.  
Studiu statistic de interpretare a degradarii calitatii sârmelor din conductori de aluminiu si aluminiu-otel.  
Sesiune de comunicari stiintifice Ed.III-a Universitatea Aurel Vlaicu Arad  
16-17 mai 1996
- 6.Babeu T.,Dumitru I.,Negut N.,Ciobotaru N.  
Consideratii privind calitatea conductorilor mono si bimetalici multifilari .  
Sesiune jubiliara I.S.Resita -decembrie 1991 pag.64-69
- 7.Babeu T.,Ciobotaru N.  
Asupra comportării unor conductori de protecție  
Analele Universității „Eftimie Murgu “ Reșița  
Fascicolul 2, An 3, pg.479-484 , 1996
- 8.Babeu T., Dumitru I.,Negut N.  
Aspects of the traction test of the conductors.  
Simpozion national de tensometrie Galati -septembrie 1989
- 9.Babeu T., Popa M. Exploiting behavior of a Mutiwire Conductor estimated by opening-  
stress curve  
Buletin Stiintific Timișoara., seria Mecanica Tom 40 (54), F1, 1995
- 10.Balekics M Tribologie , lito , IPT Timisoara 1988

11. Boleantu L. - Studii asupra cablurilor de tractiune si sârmelor de oțel.  
Teza de doctorat IPTimisoara 1968
12. Boleantu L. O definitie statistica a coeficientului de siguranta al cablurilor de tractiune în studii si cercetari de metalurgie, tom 14 nr.1 1969
13. Boleantu L. Rezistenta materialelor - Lito . Timisoara 1973
14. Boleantu L., Ciobotaru N., ș.a.  
Cercetări privind proprietățile mecanice și reologice ale cablurilor din oțel și conductorilor mono și bimetalici multifilari  
Contract de cercetare cu Ministerul Învățământului nr.51/1991, 1992, 1993
15. Bolki Eugen  
Conditii tehnice generale pentru exploatarea limita a ancorelor uzate ale stâlpilor LEA 400 KV S.C. februarie 1994.  
Institutul de Studii energetice Bucuresti Sectia Ilinii
16. Bozan C., Aezel O.  
Dislocatiile si frecarea interna la metale  
Ed.Facla , 1974
17. Buzdugan Gh., s.a.  
Probleme de rezistenta materialelor Cap.V Calculul firelor  
Editura Tehnica . Bucuresti 1975
- 17\*. Burlacu M., Vodă V.  
Tehnici moderne in controlul statistic al calității  
Editura Tehnică București 1989
18. Bückner W. and Working Group 04 Study Committe 22 CIGRE  
Guide for endurance tests of conductors inside clamps. Electra nr.100  
mai 1985
19. Bückner W. and Group de Travail 04 CE ( Lignes aériennes )  
Regard retrospectif de actions entreprises pour résoudre le probleme des vibration éoliennes des conducteurs de lignes aériennes de transport  
Electra nr.120 octombrie 1988
20. Bückner W. and Working Group 04 Study Committe 22 CIGRE  
Recommendation for evaluation of the lifetime of transmission line conductors  
Electra nr.63, Paris March 1979
21. Calin V., Tufescu C.  
Conductori neizolati de aluminiu si oțel / aluminiu  
MICM ODPT Bucuresti 1970

22. Caraiman M., Boncu L., Ionita D.  
 Metodologie pentru aprecierea starii tehnice a liniilor electrice aeriene de 110-400 KV în vederea luării deciziilor de modernizare sau trecere la reparatii capitale  
 Institutul de Studii Energetice Secția Linii București 15.05.1992  
 reactualizată în 1995
23. Caraiman M., Boncu L., Ionita D. .  
 Metodologie pentru proiectarea lucrarilor de reabilitare (RK) ale LEA 110 KV  
 Institutul de Studii Energetice Secția Linii București - aprilie 1995
24. Catuneanu V., Mihalache A.  
 Bazele teoretice ale fiabilitatii  
 Ed. Academiei Bucuresti 1983
25. Ceausescu Dumitru  
 Utilizarea statisticii matematice în chimia analitica  
 Ed. Tehnica Bucuresti 1982
26. Ciobotaru Nicolaie  
 Aspecte și rezultate experimentale obținute la încercarea mecanică a conductoarelor  
 Zilele Academice Timișorene - Simpozion rezistența materialelor, elasticitate, plasticitate 25 - 27 mai 1995
27. Ciobotaru Nicolaie  
 Influența condițiilor de încercare asupra rezultatelor obținute la încercările de rezistență  
 Zilele Academice Timișorene - Simpozion rezistența materialelor, elasticitate, plasticitate 25 - 27 mai 1995
28. Ciobotaru Nicolaie  
 Documentație contract expertize tehnice cu FRE Timișoara nr.49/1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997
29. Cioclov D.  
 Degradarea cumulativa a otelurilor prin solicitari repetate cu amplitudini variabile  
 Teza doctorat IPTimisoara 1971
30. Ciucu G., Craiu V  
 Introducere în teoria probabilitatilor si statistica matematica  
 EDP Bucuresti 1971
31. Ciucu G., Craiu V  
 Interferenta stastistica .  
 EDP Bucuresti 1974

32. Douglass D.A.  
Radial and Axial Temperature Gradients in Bare Stranded Conductor ,  
IEEE Transactions on Power System Vol.PWRD-1, nr.2, April 1986
33. Filipescu Gh.Em.  
Statistica constructiilor si rezistenta materialelor  
Imprimeria Nationala Bucuresti 1940
34. Geru N.  
Teoria structurala a proprietatilor metalelor EDP a Bucuresti 1980
35. Hajdu I , Safta V., Cristuinea C.  
Untersuchung der wechselwirkung von spannung Szustand, temperatur  
und belastungsgeschwindigkeit auf die zugfestigkeit und  
brucheinschnung eines weichen stahles congress on material testing  
sectiunea Metal physics and its test methods  
Budapest 19-24 october 1970 pag.311-321  
(Cercetari privind actiunea alternanta a starii de tensiune, temperaturii si  
vitezei de incarcare asupra rezistentei la tractiune si a gaturii la rupere a  
unui otel moale).
36. Hajdu Iosif  
Contributii la studiul influentei temperaturii si vitezei de incarcare asupra  
limitei de curgere a unui otel moale. Teza de doctorat Timisoara 1964
37. Hajdu Iosif  
Influenta temperaturii si vitezei de incarcare asupra limitei de curgere a  
unui otel moale . Studii si cercetari de metalurgie, Editura Academiei  
Tomul 14 nr.1 ,1969
38. D.G.Havard, G.Bellamy, P.G. Buchan, H.A.Ewing, D.J.Horrocks, S.G.Krishnasamy,  
J.Mottis, K.S.Yoshiki-Gravelsins  
-Aged ASCR Conductors, Part I - Testing Procedures for conductors and  
Line Items, IEEE Transactions on Power Delivery , vol.7, nr.2, april 1992  
Ontario Hydro, Toronto, Canada
39. D.G.Havard, M.K.Bissada, G.G.Fajardo, D.J.Horrocks, J.R.Meale, J.Mottis, M.Tobatabai,  
and K.S.Yoshiki- Gravelsins  
-Aged ASCR Conductors, Part II - Prediction of remaining life IEEE  
Transactions on Power Delivery , vol.7, nr.2, april 1992, Ontario Hydro,  
Toronto, Canada
40. Hicks R.Charles  
Fundamental Concepts in the Design of Experiments, Third Edition, Holt,  
Rinehart and Winston.Inc, The Dryden Press 1982 New York
41. Iacob Calus, Gheorghita Stefan, Soare Mircea, Dragos Lazar  
- Dictionar de mecanica  
Editura stiintifica si enciclopedica Bucuresti 1980

42. Kees Wilhelm  
Elasticitate si vâscoelasticitate , Ed. Tehnica , Bucuresti 1986
43. Mark Walter ( editor)  
Aluminium Electrical Conductor Handbook, Second Editium 1982
- 43\*. Mateescu D.  
Construcții metalice speciale  
Ediția a doua - Editura tehnică București 1962
44. Mihoc Gh., Urseanu V.  
Sondaje si estimatii statistice. Teorie si aplicatii.  
Ed. Tehnica Bucuresti 1977
45. Militaru P., Chirita I., Gheorghita G., Baicoianu E.  
Calculul LEA in raport cu fenomenul de galopare  
Energetica Nr.5 1957
46. Mitelea Ion, Budau Victor      Studiul metalelor .  
Indrumator tehnic.ed.Facla 1987 Timisoara
47. Mocanu R.D., s.a  
Inercarea materialelor  
Ed. Tehnica Bucuresti 1982 , vol. I, II, III
48. Mocinschi I.  
Linii de telecomunicatii , Ed. Institutului de cai ferate 1955
49. Montgomery C. Douglas  
Design and Analysis of Experiments, Third Expedition,  
John Wiley and Sons 1991, Arizona State University
50. Morgan V.T., Findlay R.D.  
Effects of Axial Tension and Reduced Air Pressure on the Radial Thermal  
Conductivity of a Stranded Conductor, IEEE Transactions on Power  
Delivery vol.8, nr.2, april 1993
51. Morgan V.T.  
Magnetic Properties in Axial 50 Hz Fields of Steel Core Wire for  
Overhead-line Conductors , IEEE Proceedings , vol.116, No.10, oct.1969  
pag.1681-1693
- 51\*. Mutnyanszky A.  
Statika, Tankonykiado, Budapest 1954
52. Nadasan S., s.a.  
-Oboseala metalelor , Editura Tehnica , 1962

53. Nadasan Stefan, Ratiu M., Safta V., Slatineanu I  
- Incercari si analize de metale  
.Ed. Tehnica Bucuresti 1965
54. Naftali Simion  
Funiculare , Ed tehnica , Bucuresti 1958
55. Namesnicov I.  
Asupra fluajului aliajului de aluminiu la incercari variabile.  
Jurnal Prikladnoi mehanichi i tenicescoi fizichi nr.2 1964, pag.90-106
56. Nicolaescu Ctin., Tomescu M., Nicolaescu A.  
Despre dimensionarea LEA din Banat ca urmare a unor conditii  
meteorologice deosebite.  
Simpozionul National al Retelelor Electrice Sectia II-a Timisoara 1984  
pag.98-106
57. Nichici Alex.  
Prelucrarea datelor experimentale - Curs si aplicatii  
Lito Timisoara 1996
58. Nicolau Gh.  
Analiza statistica a erorilor care intervin in calculul mecanic a  
conductoarelor liniilor electrice aeriene .  
Energetica nr.35, 1987, nr.8
59. Nicolau Gh.  
Model matematic, algoritm si program de calcul mecanic al  
conductoarelor liniilor electrice aeriene  
Energetica nr.5 , 1990 pag.204-210
60. Pop O. Gacichevici, F. Tudose, M. Voicu, F. Costache  
Raport privind incidentele din LEA in intervalul 5-7.11.1995  
Universitatea "Politehnica" Bucuresti . Fundatia Stiintifica Constantin  
Dinculescu. buletin 5 din martie 1996 si 6 din mai 1996
61. Redlov T. Fire elastice , EDP Bucuresti 1962
62. Rizzo Assuncao F.C., A.H.P. Carvalho, R.A.M. Samico, P.P. Rosa F.  
- Investigation on the aging of old ASCR cables in transmission lines:  
microstructural evolution and Loss of Strength
63. Rucareanu C., Militaru P., Hotoboc V. Chiricescu V. Prioteasa  
Linii electrice aeriene si subterane Indreptar Ed. Tehnica Bucuresti 1989
64. Rumsiski L.Z.  
Prelucrarea matematica a datelor experimentale . Indrumar .  
Ed. tehnica Bucuresti 1974

65. Scheiber Ernest, Dorin Lixandroi  
MathCAD Prezentare si probleme rezolvate  
Ed. Tehnica Bucuresti 1994
66. Silas G., Grosanu I.  
Mecanica , EDP , Bucuresti 1981
67. Sima Petre, Olariu Virgil, Macovei Marius  
Mecanica tehnica - Aplicatii statice , Ed. tehnica 1990
68. Simion Dumitru  
-Consideratii privind analiza starii tehnice a conductoarelor de protectie din otel zincat, prin experimentari mecanice de laborator pe epruvete prelevate din LEA aflate in exploatare. Raport intern ICEMENERG 1996
69. Sireteanu T., Emil Videa Petre Tita, Daniela Constantin Voici, Laurentiu Goia, Alexandru Albrecht  
Unele aspecte privind masurarea si analiza vibratiilor conductoarelor LEA  
Energetica 37 1989 nr.4-5
70. Southwell R.V.  
Relaxation Methods in Theoretical Physics  
Ed. Clarendon Press Oxford 1952
71. Spigel R.M.  
Theory and Problems of Statistics  
Sdraum Publisching, New-York, 1961
72. Taloi Dragos  
Optimizarea proceselor tehnologice. Aplicatii in metalurgie  
Ed. Academiei , Bucuresti 1987
73. Tiron M.  
Prelucrarea statistica si informatională a datelor de masurare.  
Editura Academiei Bucuresti 1976
74. Tiron M.  
Analiza preciziei de estimare a functiilor aleatoare.  
Editura Tehnica Bucuresti 1981
75. Titeica R., Popescu I.  
Fizica generala , Ed. tehnica 1971
76. Todoran I.  
Tratarea matematica a datelor experimentale. Functii empirice  
.Ed. Academiei Bucuresti 1976

77. Tovissi L., Voda V.  
Metode statistice. Aplicatii in productie  
Ed. stiintifica si enciclopedica , Bucuresti 1982
78. Trusculescu M., Tache A., Mitelea I., Budau V.  
Studiul metalelor tehnici de laborator Ed. Facla 1977 Timisoara
79. Trusculescu M. Studiul metalelor EDP Bucuresti 1977
80. Tudorel Andrei, Stancu Stelian  
Statistica-teorie si aplicatii  
Editura ALL Bucuresti 1995
81. Undy A.G., Kendall M.G.  
Introducere in teoria statistica. Bucuresti 1969
82. Ursache M., Chirca D.  
Proprietatile metalelor EDP Bucuresti 1982
83. Vaicum Alex.  
Studiul reologic al corpurilor solide, Editura Academiei 1978
84. Vălcovici V., Bolan St., Voinea R.  
Mecanica teoretica Ed. Tehnica 1963
85. Vasiu Lucian  
FoxPro 2.5. Seria Microsoft  
Editura Tehnica Bucuresti 1994
86. Voda Gh. Viorel  
Gândirea statistica  
Ed. Albatros , Bucuresti 1977
87. Voinea Radu, Dumitru Voiculescu , Florian Paul Simion  
Introducere in mecanica solidului cu aplicatii in inginerie  
Editura Academiei , 1989
88. Worthing A.G., Geffner J.  
Prelucrarea datelor experimentale ( Traducere din limba engleza)  
Ed. Tehnica 1959
89. Yule G.U., Kendall M.C.  
Introducere in teoria statistica, Editura stiintifica Bucuresti 1969
90. Ziman J.M.  
Principles of the theory of solids, Cambridge and the University Press 1972



91. \*\*\* Dictionar de neologisme  
Editura Academiei, Bucuresti 1989
92. \*\*\* Dictionarul limbii ramâne moderne.  
Editura Academiei Bucuresti 1978
93. \*\*\* Materiale si echipamente electrotehnice. Date si informatii.  
Institutul National de Informare si Documentare Bucuresti 1987
94. \*\*\* The Aluminium Association, Stress-Strain-Creep curve for Aluminium  
Conductors, 1994
- 94\*. \*\*\* The Aluminium Association, Stress-Strain Curve for Conductor, Equation  
for Curves 1969/ revised 1974
95. \*\*\* Frecarea interna si studii ale metalelor aliajelor si materialelor  
nemetalice Culegere de lucrari stiintifice Moscova Ed.Nauca 1989  
(lb.rusa)
96. \*\*\* Incercari mecanice a metalelor vol.II , Incercari de rezistenta CSIM ,  
Timisoara, 1984
97. \*\*\* Incercari mecanice ale materialelor. Culegere de standarde comentate ,  
Vol.1,C S I M, 1984
98. \*\*\* -Rapport sur les vibrations éoliennes, Group de travail 01 du Comité  
d'Etudes 22 ( Lignes aeriennes ) Electra nr.124/ mai 1989
99. \*\*\* -3.2. FT 37.84 -Fisa tehnologica pentru revizia liniilor electrice aeriene de  
110 KV - ICEMENERG Bucuresti 1986
100. \*\*\* -FL 2-77 - Montarea prin metoda bascularii a stâlpilor de metal si beton  
pentru LEA 110 KV simplu si dublu circuit si a stâlpilor metalici pentru  
LEA 220 KV simplu circuit - ICEMENERG Bucuresti 1978
101. \*\*\* PE 104/93 Normativ pentru construcția liniilor aeriene de energie  
electrică cu tensiuni peste 1000 V  
Institutul de Cercetări și modernizări energetice București 1993
102. \*\*\* -PE 135/1991 - Instructiuni privind determinarea sectiunii economice a  
conductoarelor In instalatiile electrice de distributie de 1-110KV -  
prof.dr.ing. Pavel Buhus, conf.dr.ing. Gh. Comanescu
103. \*\*\* PE 016 / 1996 Normativ tehnic de reparatii la echipamentele și instalațiile  
energetice
104. \*\*\* -Analiza starii de coroziune a LEA (stalpi, conductori, armaturi)amplasate  
In zonele cu mare poluare (coroziune)-ISPE Bucuresti (lucrare ISPE  
1073/1993)

105. \*\*\* -Expertizarea LEA 400 KV Mintia- Arad privind modernizarea sau reparatia acesteia ; lucrare ISPE București 1995
106. \*\*\* -IEC ( CEI ) / TC or SC: TC7; Overhead Electrical Conductors, Creep Test Procedures for Stranded Conductors , July 1993 TC- Technical Committe nr.7, Working Group 7
107. \*\*\* Revue de l'Energie 1995, 1996 Paris
108. \*\*\* Electric Power International / Power Generation, Transmission and Distribution 1995, 1996 New-York
- 109 - Energetica Revista de specialitate a energeticienilor din Romania 1990,1991,1992,1993,1994,1995,1996,1997
- 110 - Lab' Linedyn nr.1 / 1991  
Revista editata de Institutul Politehnic Bucuresti , Institutul de mecanica solidului ( a Academiei Romane ) . Institutul de Studii si Cercetari Energetice Bucuresti , ICEMENERG Bucuresti , ROMELECTRO Bucuresti, ELECTROMONTAJ Bucuresti, ICMNERG
- 111 - Buletin ISPE Publicatie trimestriala a Institutului de proiectari energetice 1990, 1991, 1992,1993,1995
- 112 - IEC ( CEI ) / TC or SC: TC7 Bare Aluminium Conductors Mr.E.Daniel, Brazil: Requirements of grease for Bare Aluminium Conductors march 1991
- 113 -IEC (CEI) ITC or SC : TC 7 overhead Electrical Conductors, Creep Test Procedures for Standed Conductors , July 1993 Technical Committe Nr.7 , Working Group 7
- 114 -IEC ( CEI ) Technical committe 7 overhead Electrical Conductors Amendements to IEC 1089 in order to include conductors made of combinations of zinc - coated and aluminium - dad steel wires . August 1994 . Committe Draft
- 115 -IEC ( CEI ) 104 - Aluminium - magnesium - silicon ailoy wire for overhead line conductors International Standarded 1987
- 116 -IEC ( CEI ) 888 Sârme din otel zincate pentru conductori cablati. Zinc-coated steel wires for standed conductors International standard 1987 prepared by Technical Committee nr.7
- 117 -IEC ( CEI ) 889 Hard - draw aluminium wire for overhead line conductors International Standard 1987
- 118 -IEC ( CEI ) 1089 Round wire concentric lay overhead electrical conductors International Standard 1991

- 119 - ISO 6892- ( 1989 )      **Materiale metalice : Incercarea la tractiune . Metoda de Incercare ( la temperatura ambianta ).**
- 120 - ISO 9003      **Sistemele calitatii. Model pentru asigurarea calitatii in inspectia si incercare finala**
- 121 - NBR 7302 ABR / 1982  
Conductores electricos aluminio tensio - Deformação en conductores de aluminio - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- 122 - NBR 7303 ABR / 1982  
Conductores electricos de aluminio fluencia en conductores de aluminio Norma brasileira registrada - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- 123 - STAS 10108/0-1978-**Calculul elementelor din otel**
- 124 - STAS 10919/1978- **Incercari de duritate Terminologie**
- 125 - STAS 1963/1981- **Rezistenta materialelor. Terminologie si simboluri**
- 126 - STAS 1965/1975- **Incercarile materialelor. Terminologie**
- 127 - STAS 1999/1986  
Linii aeriene de telecomunicatii pe stâlpi. Calculul rezistentei mecanice si date constructive. Prescriptii de proiectare
- 128 - STAS 200/1987      **Incercarea la tractiune**
- 129 - STAS 3000/1-1986      **Conductoare de otel-aluminiu pentru linii electrice aeriene. Conditii tehnice generale**
- 130 - STAS 3000/2-19986 - **Conductoare de otel-aluminiu pentru linii aeriene de energie electrica. Dimensiuni**
- 131  
STAS 3160/1-1984      **Reguli de utilizare**  
STAS 3160/2-1984      **a procedeeelor si tabelelor statistico-matematice pentru**  
STAS 3160/3-1984      **verificarea calitatii prin atribute si prin masurare**
- 132 - STAS 3732/1-1985 - **Sârme de otel zincate pentru electrotehnica. Conditii tehnice generale (M-SR 7/87)**
- 133 - STAS 3732/2-1985 - **Sârme de otel zincate pentru electrotehnica. Dimensiuni**
- 134 - STAS 6488/1991-**Solicitari variabile periodice. Terminologie si simboluri**
- 135 - STAS 6637/1975-**Incercari statice de durata . Terminologie si simboluri**
- 136 - STAS 6951/1976-**Incercarea la tractiune a sarmelor**

137 - STAS 6967/1988-Incercarile mecanice ale metalelor. Clasificare

138 - STAS 12488/1986- Sarmă rotundă de aluminiu pentru conductoarele liniilor aeriene de energie

1  
DIVERTISMENT

