

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA  
BIBLIOTECA CENTRALĂ

Nr. Inv. 027 701

Dulap 1 Lit. E

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" TIMIȘOARA  
Facultatea de Mecanică  
Catedra de Rezistența Materialelor

Silviu David BABEU

**Studii privind comportarea mecanică a  
cablurilor în dimensiunea timp**

**TEZĂ DE DOCTORAT**

**Conducător Științific  
Prof.Univ.Dr.Ing.Eur.ing. T. BABEU  
membru titular al  
Academiei de Științe Tehnice**

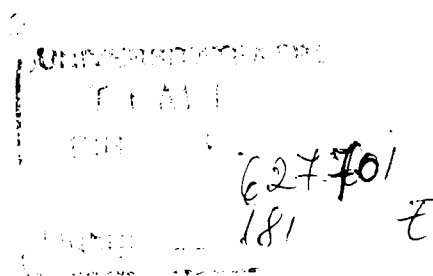
**TIMIȘOARA, 2000**

**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" TIMIȘOARA**  
**Facultatea de Mecanică**  
**Catedra de Rezistența Materialelor**

Silviu David BABEU

**Studii privind comportarea mecanică a  
cablurilor în dimensiunea timp**

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA



**Conducător Științific**  
**Prof.Univ.Dr.Ing.Eur.ing. T. BABEU**  
**membru titular al**  
**Academiei de Științe Tehnice**

**TIMIȘOARA, 2000**

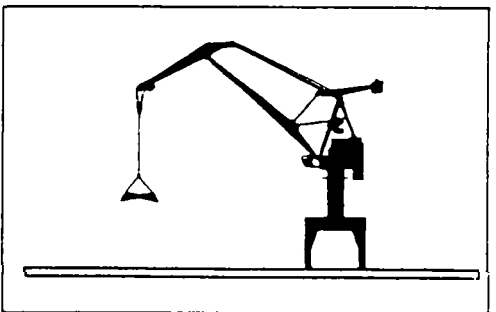
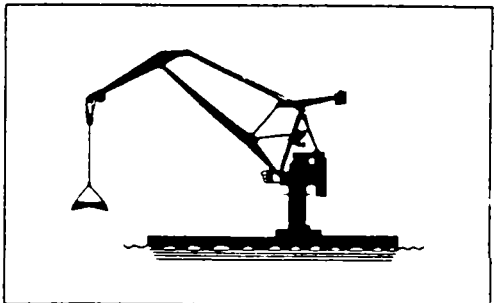
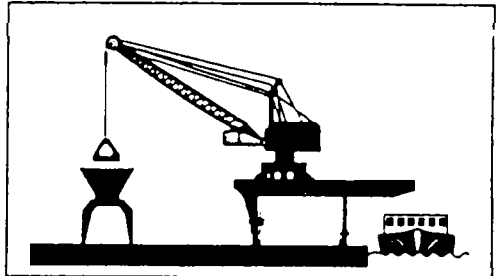
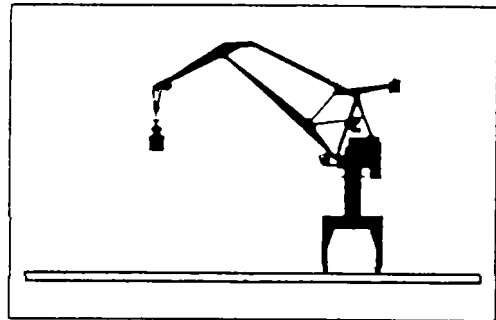
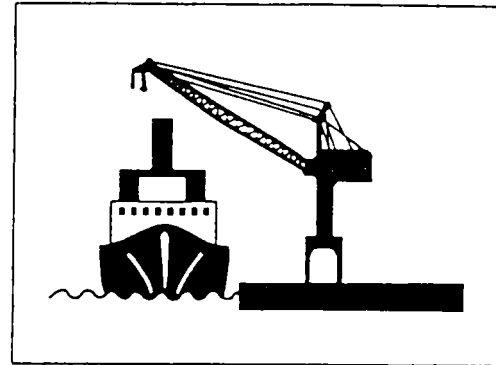
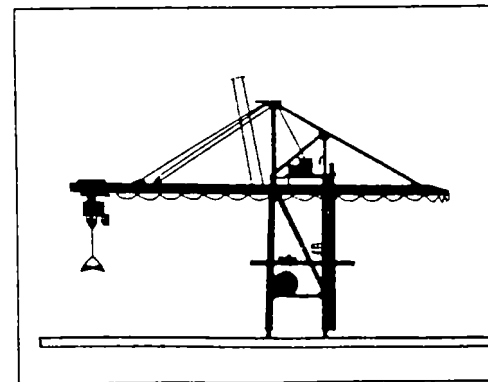
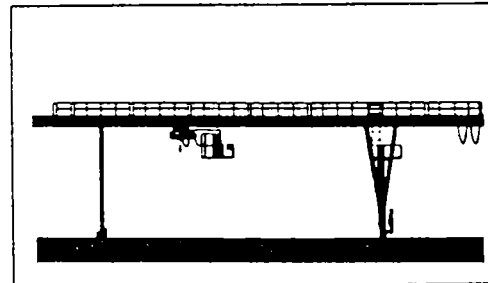
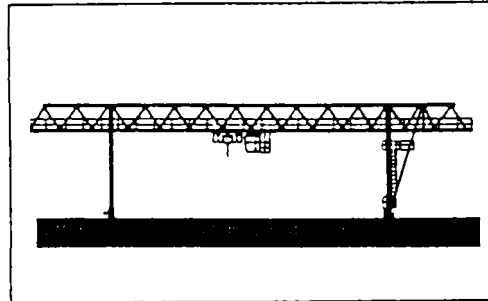
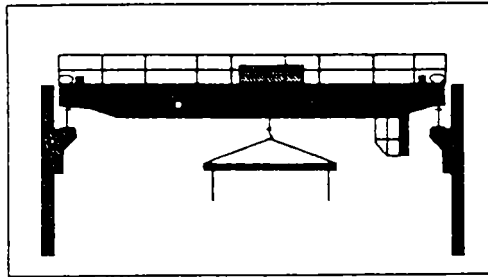
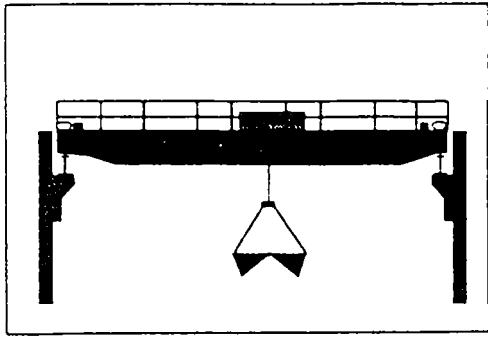
**Închin această lucrare  
mamei mele**

# O MĂRTURIE DE EXCEPȚIE A TIMPULUI TRECUT ...



...azi un imbold în acordarea încrederii și atenției “cablurilor”

...din multiplele utilizări, în care cablul este element de rezistență flexibil din componenta echipamentelor de ridicare ale podurilor rulante, portalelor, transbordoarelor, macaralelor.



...50 de ani de activitate în mașini de ridicat și transportat în Timișoara.

# CUPRINS

• PREFAȚĂ	8
• Capitolul 1. Introducere.	11
• Capitolul 2. Stadiul actual al cercetărilor în domeniul durabilității cablurilor.	59
• Capitolul 3. Studii teoretice privind relațiile analitice pentru calculul durabilității cablurilor	68
• Capitolul 4. Mașini de încercat. Studii experimentale de laborator. Prelucrarea rezultatelor. Observații și recomandări.	83
• Capitolul 5. Studii comparative. Cablul de referință (REFWIRO). Influența suprasolicitărilor. Studiul durabilității sârmelor pe baza conceptelor de mecanica ruperii.	128
• Capitolul 6. Considerații finale și concluzii.	156
• Bibliografie	158

# NOTAȚII

A - aria secțiunii  
A,B,... - în ordinea alfabetică, notarea unor cabluri  
a,b... - idem  
C - constantă  
CD - cumulara degradării  
D - diametru  
D - degradare  $D=1$  (criteriul lunicar - MINER)  
d - diametru  
F - French  
G - Gauss  
i - număr de ordine  $i = 1,2,\dots$   
ii - idem  $ii = 11, 22,\dots$   
Î - înaltă, treaptă de încărcare  
J - joasă, idem  
j - idem,  $j = 1,2,\dots$   
jj - idem,  $jj = 11,22,\dots$   
K - constantă  
L - logaritmic  
m - panta (coeficient unghiular) dreptei  
N - număr de cicluri  
n - idem  
P - probabilitate  
R - rază  
r - rest  
S - secvență, secvența treptelor de încărcare  
W - Wohler  
X -  $\log \sigma$ , logaritmul tensiunii normale  
Y -  $\log N$ , logaritmul numărului de cicluri la rupere  
 $\alpha, \beta, \gamma$  - unghiuri  
 $\delta$  - diametrul sârmei  
 $\phi$  - diametrul secțiunii circulare  
> - mai mare  
< - mai mic  
= - egal

**...despre dimensiuni:**

**“Metrul este definit ca fiind distanța parcursă de lumină în 0,00000003335640952 secunde, măsurate cu un ceas de cesiu”.**

**Scurtă istorie a timpului, Stephen**

**W.Hawking, Ed.Humanitas, 1995, p.38**

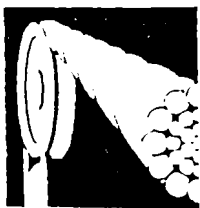


# PREFAȚĂ

Cablurile din oțel, organ flexibil utilizat în mai toate utilajele, mașinile și instalațiile industriale au reprezentat un domeniu de investigație din ce în ce mai aprofundat în cadrul Laboratorului de Rezistența materialelor. Dacă despre utilizarea rațională a cablurilor la noi în țară prima monografie a apărut doar în 1967 (MERET N. NOVAC Șt.- Utilizarea rațională a cablurilor din oțel în industrie, Ed. Tehnică) primele încercări sistematice au început cu mult înainte la INDUSTRIA SĂRMELI – Câmpia Turzii, I.E.T. – Timișoara și Laboratorul de Rezistența materialelor din Timișoara sub conducerea Prof. Emerit C.C. Teodorescu (menționi în Analele POLITEHNICII din Timișoara )

Epoca modernă surprinde aceste preocupări prin cativitatea Prof. Lazăr Boleanțu și colectivul catedrei fiind și tema tezei sale de doctorat.

Pe plan internațional începând cu lucrările pregătitoare din 1961 se constituie în 1963 ORGANIZAȚIA INTERNAȚIONALĂ PENTRU STUDIUL DURABILITĂȚII CABLURILOR - O I P E E C cu sediul la Paris – Franța.



## O.I.P.E.E.C.

ORGANISATION INTERNATIONALE POUR L'ETUDE DE L'ENDURANCE DES CABLES  
INTERNATIONAL ORGANISATION FOR THE STUDY OF THE ENDURANCE OF ROPES  
INTERNATIONALE ORGANISATION ZUM STUDIUM DER BETRIEBSFESTIGKEIT VON SEILEN  
ORGANIZZAZIONE INTERNAZIONALE PER LO STUDIO DELLA FATICA DELLE FUNI

Țara noastră este reprezentată în O I P E E C prin profesorii L.Boleanțu (1973) și T.Babeu (1973), ultimul devenind membru cooptat al Comitetului Director O I P E E C în 1993 (La a XVI –a Adunare Generală O I P E E C, Delft –NL).

Numeroasele încercări efectuate în Laboratorul de Rezistența materialelor a dus treptat la dezvoltarea unui Laborator de încercări de cabluri și conductori care în prezent face parte din Centrul de cercetări în Rezistența materialelor și viitorul centru de excelență de Științe și Rezistența materialelor, inițiatorul realizării acestor etape a fost regretatul Prof.L.Boleanțu (1921 – 1998).

Menționez că sugerarea temei mele de doctorat a fost făcută și pregătită de regretatul Prof. L.Boleanțu care încă de pe timpul ultimelor clase de liceu ( Liceul C.D.Loga Timișoara) m-a îndrumat pentru realizarea unui “Dispozitiv de măsurarea efortului în cabluri” (Premiul I pe liceu și municipiul Timișoara –1983 ). A urmat ca în calitatea mea de doctorand cu frecvență (1996 – 2000 ) să particip la mai multe studii și cercetări, în prim plan fiind încercările și Studiile asupra cablurilor din oțel.

Mulțumirile mele se adresează în primul rând Prof. L.Boleanțu care m-a inițiat în activitatea tehnică și de cercetare în *laborator*, tuturor membrilor catedrei- profesori, conferențieri, șefi de lucrări și asistenți care m-au sprijinit. De asemenea celor cu care am colaborat în realizarea lucrărilor de cercetare și care m-au îndrumat Prof.Dr.Eng. I.Dumitru, Prof.Dr.Eng.C.Cristuinea, Conf.Dr.Eng.E.Ghiță, Conf.Dr.Eng.L.Marsavina.

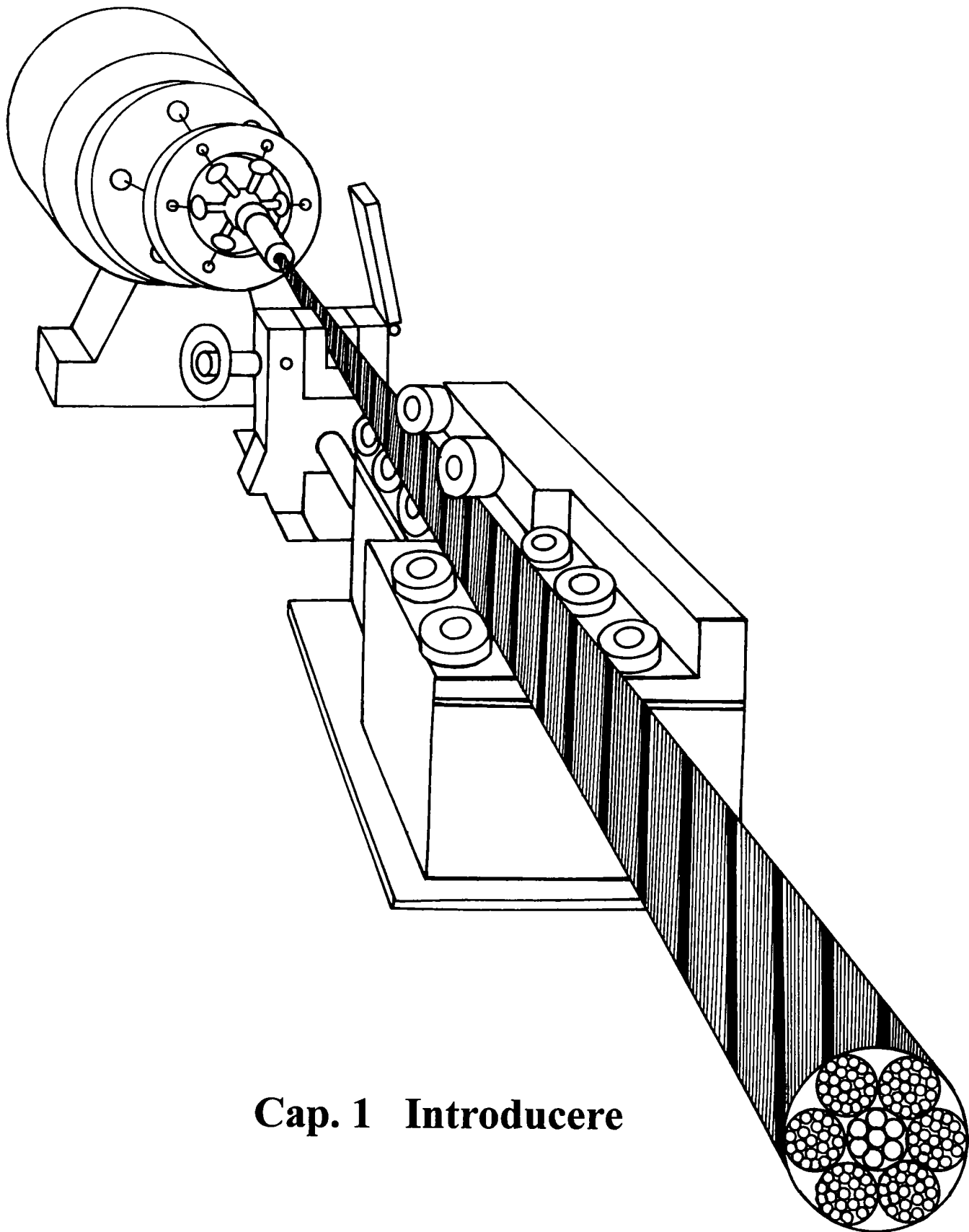
Asist.Ing.I.Sisak, Ing.L.Fiat, tehniceniloe I.Bredicen, A. Kovacs, V. Costici.Mulțumesc în mod deosebit domnilor decani Prof.Dr.Ing.G.Urdea (1996 –2000) și Prof.Dr.Ing.N.Neguț (2000 - ), șefului de catedră Prof. Dr.Ing.P.Tripa și colegilor de catedră.

Mulțumesc profesorilo Prof.Dr.Ing. Hankus, Katowice –PL, Prof.onorifici – Prof.Dr.R.Chaplin,Reading –U.K. și Prof.Dr. B.Csizmadia, Godollo - Ungaria Prof.Dr.A.Pristyak, Budapest –H, Prof.Dr.D.M.Therriez. Grenoble –F,Prof.Ugo Rossetti, care m-au încurajat pe tot parcursul studiilor mele inclusiv și la nominalizare mea în cadrul O I P E E C pentru premiul O I P E E C.

Mulțumesc Domnului Rector Prof.Dr.ing.I.Carțiș care a avut amabilitatea nominanalizării mele la O I P E E C.

Datorez mulțumiri membrilor Comisiei de doctorat –Președinte Prof. Dr.Ing.N.NĚGUȚ, Decanul Facultății de Mecanică Timișoara, Prof.Dr.Ing.I. Dumitru Universitatea Politehnică Timișoara , Prof.Dr.Ing.M.Bejan, U.T.Cluj –Napoca și Prof.Dr.Ing.T.Mănescu – Universitatea “ Eftimie Murgu” Timișoara.

# CABLURI DIN OȚEL PENTRU TRACȚIUNE



## Cap. 1 Introducere

## Capitolul 1 INTRODUCERE

Este bine cunoscut că primul care s-a ocupat în mod curent de organele flexibile a fost o personalitate recunoscută în activitatea inginerească funii, lanțuri apoi cabluri și anume ALBERT (Hoppe O.: "Alberts Versuche und Erfindungen" în Stahl und Eisen, 1896) și în paralel cu el și inginerul Francois Vicat, la Grenoble –F (Vicat F., "Note sur l'allongement progressif du fil de fer soumis a diverses tensions" în An des Ponts et Chaussees, 1834).

Astfel nominalizând cronologic preocupările și rezultatele primelor cercetări de durabilitate, le putem menționa prin Albert (1829), Hodgkinson (1837), Poncelet (1839), Rankine (1843), Morin (1853), Mc Connel (1849) apoi Wohler (1847), Gerber (1847), Bach (1889).

Primele instalații / mașini pentru încercarea durabilității cablurilor sunt prezentate succint prin schemele instalațiilor realizate de Albert, Bigart, Marteus, Staatsbahn, Benoit și "Moskow" din figura 0.1.

Fig. 11

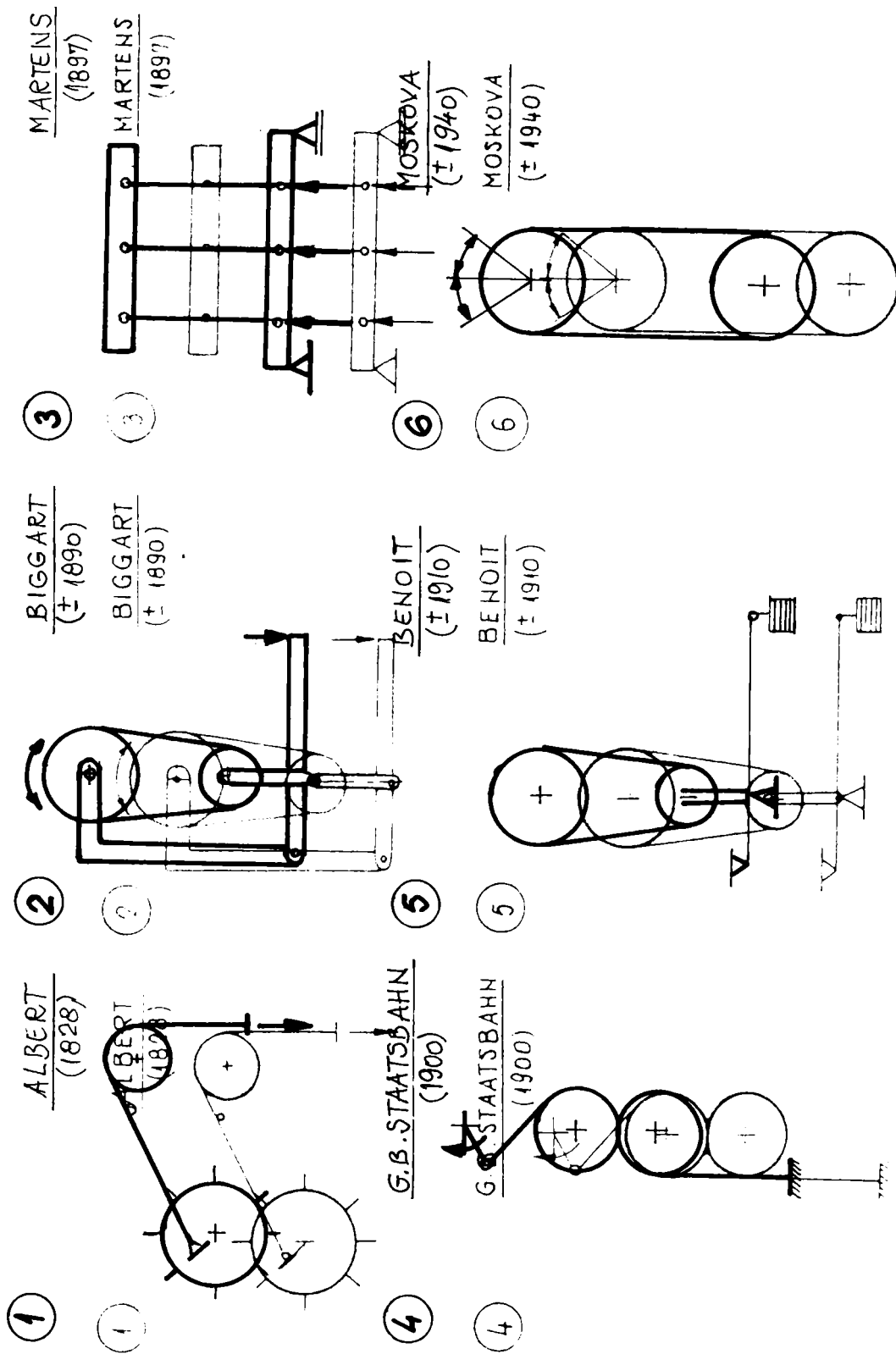
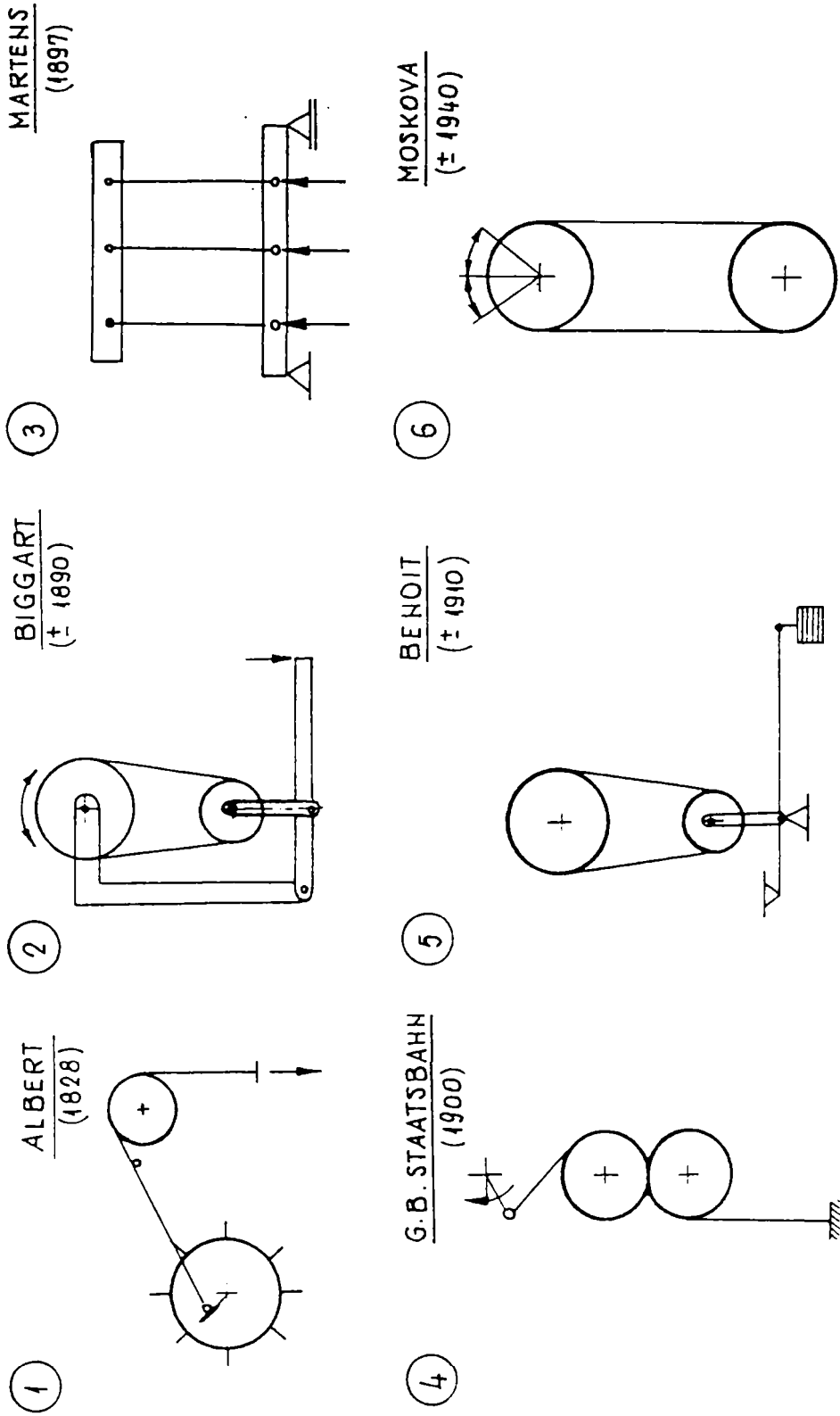
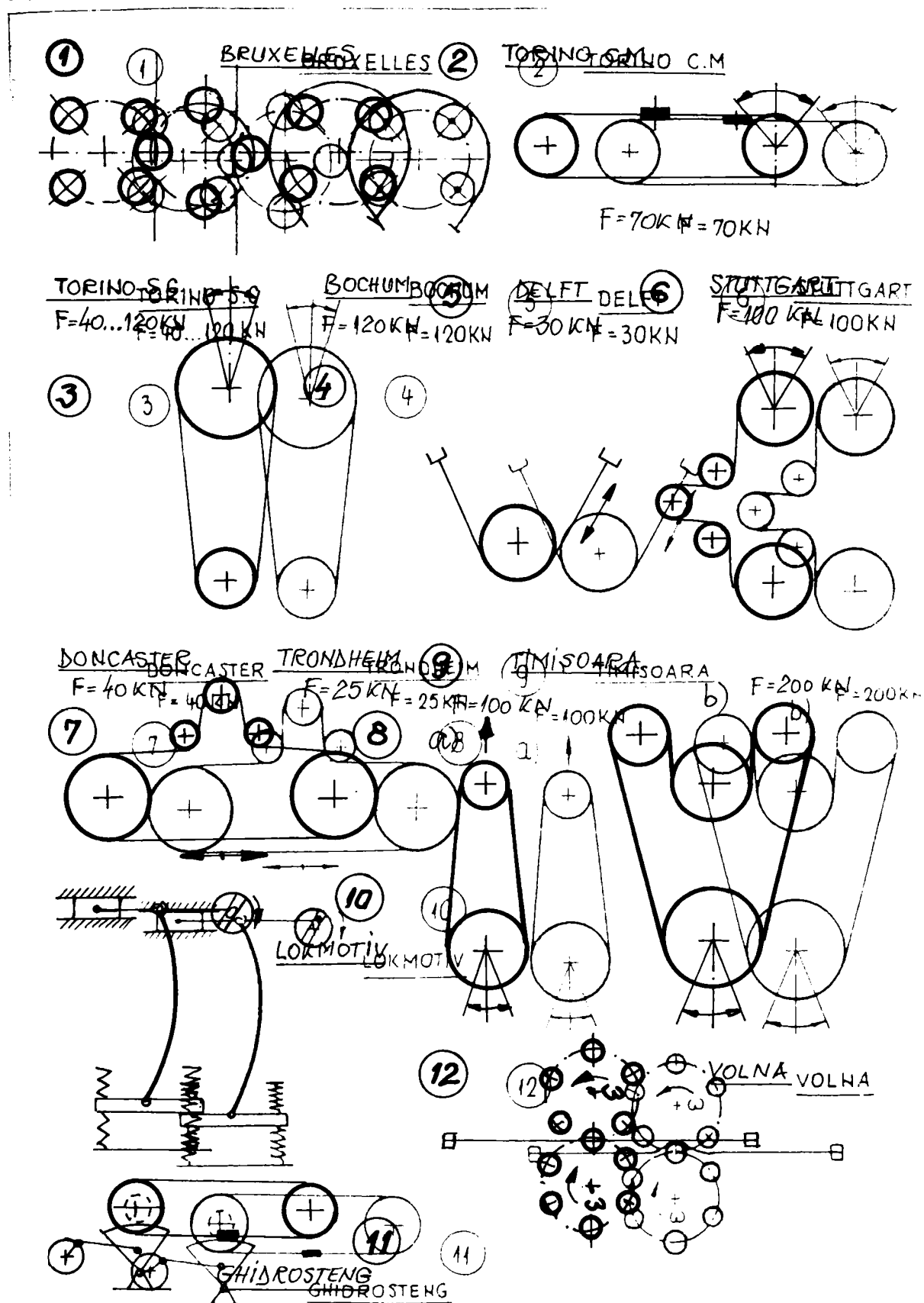


Fig.0.1



Această activitate s-a transmis generațiilor următoare, care modernizat schemele și a realizat mașini în baza necesităților formulate de industrie. Schemele cu denumirea localității laboratoarelor unde funcționează sunt date în figura 0.2.

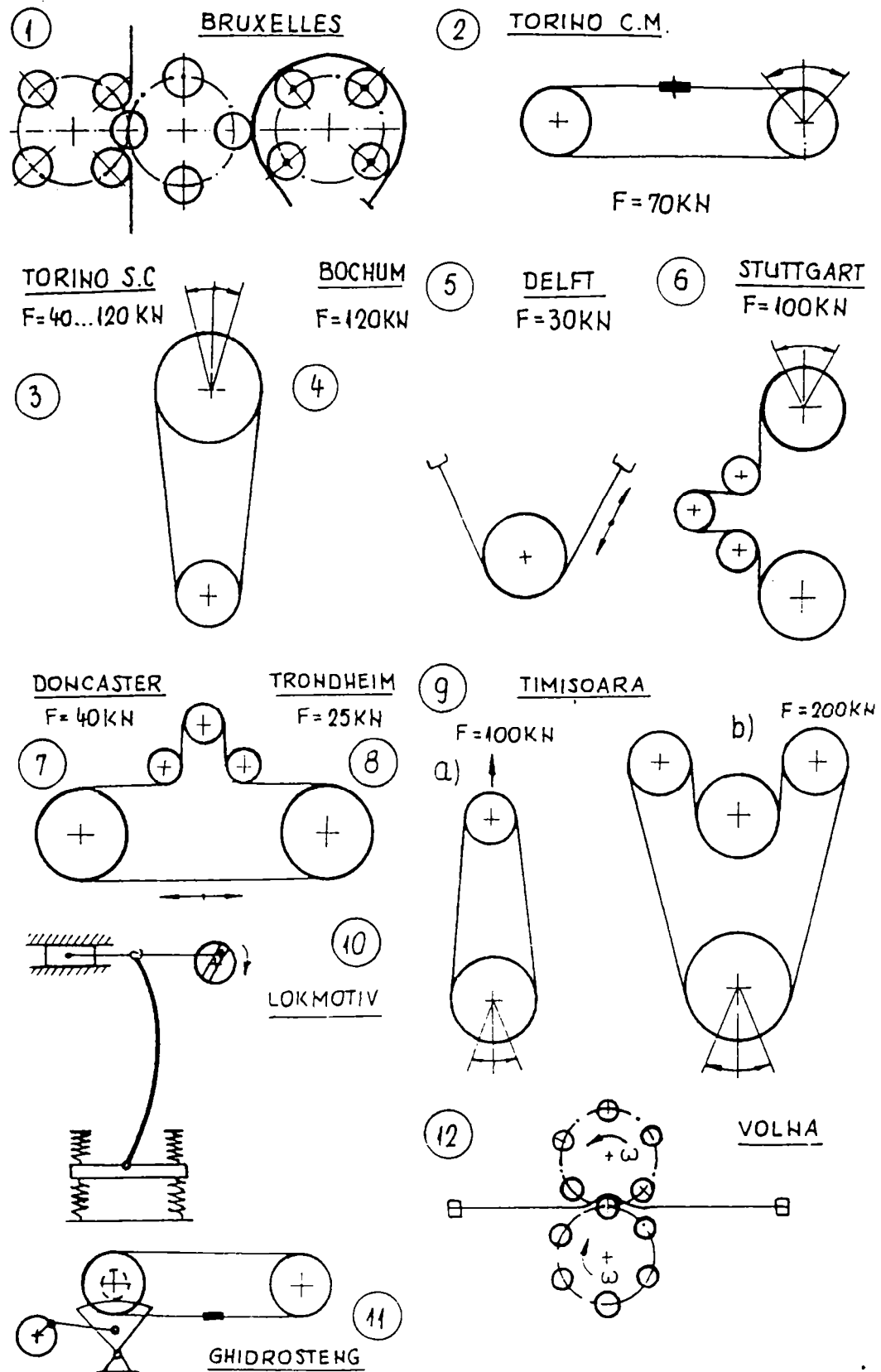
Fig.0.2





Această activitate s-a transmis generațiilor următoare, care modernizat schemele și a realizat mașini în baza necesităților formulate de industrie. Schemele cu denumirea localității laboratoarelor unde funcționează sunt date în figura 0.2.

Fig.0.2



Având în vedere că realizarea acestor mașini a fost costisitoare și până la verificarea conceptelor de bază unanim recunoscute au trecut zeci de ani în paralel laboratoarele au efectuat încercări de cabluri “ fir cu fir “ și pentru aprecierea degradării lor – periodice, perioadele acceptate fiind din 6 în 6 luni. Un astfel de punct de vedere realizat și interpretat cu unele observații și concluzii se prezintă în paragrafele următoare pentru comportarea în timp a încercărilor “ fir cu fir “.

## 1.0 CONSIDERAȚII GENERALE

Examinarea cablurilor din oțel înainte de introducerea lor în exploatare, cât și la controlul periodic al calităților lor mecanice, se face prin determinarea forței de rupere a epruvetei de cablu, fie prin încercarea țir cu țir a sârmelor componente, în conformitate cu standardele în vigoare.

Datorită unor cauze expuse mai pe larg în lucrarea B., ruperea epruvetei de cablu nu este concludentă, deoarece din 1000 bucăți epruvete de cablu rupte, numai la 3% din cazurile studiate s-a produs ruperea simultană în cele 6 toroane, cele mai frecvente cazuri de rupere producându-se în 1.....2 toroane, în care sârmele sunt mai întinse, datorită procesului de împletire. În felul acesta, toroanele nelucrând solidar, forța de rupere determinată de epruvetă nu reflectă decât aproximativ comportarea cablului întreg.

Pe lângă acest dezavantaj ruperea unei epruvete de cablu furnizează numai forța de rupere a cablului, fără alte date asupra calităților cablului. necesare pentru o bună comportare în exploatare.

Încercările mecanice ale sârmelor, ca :încercarea de tracțiune, îndoire allternantă, răsucire; încercarea de reziliență, de presiune de contact și alungirea după metoda Haigh – Robertson etc.,furnizează date mai complete asupra proprietăților mecanice ale sârmelor.Asemeni încercări curente se consideră ca neconcludente pentru comportarea sârmelor din cablu datorită faptului că acțiunea simultană, combinată în anumite proporții a diferiților factori, nu poate fi apreciată pe baza principiului suprapunerii efectelor [ M.1 ]

În faza actuală se consideră drept concludentă numai încercarea cablului la rezistența de durată [ S.1 ] prin încercare unei epruvete suficient de lungi pentru a elimina efectul marginal la îndoire oscilantă și tracțiune constantă. Dată fiind complexitatea acestei încercări, a rămas în vigoare în toate standardele încercările mecanice ale sîrmelor mai sus menționate, încercări care furnizează date asupra rezistenței de rupere a cablului, tenecității și omogenității materialului.

Încercarea cablurilor din oțel la oboseală are o importanță incontestabilă în stabilirea parametrilor de rezistență a cablurilor noi ce urmează a se introduce în exploatare. Această încercare nu poate fi utilizată însă în urmărirea caracteristicilor de rezistență a cablului la controalele periodice prescrise, datorită timpului îndelungat necesar pentru asemenea încercări.Din această cauză, se impune și pe mai departe folosirea încercării țir cu țir a cablurilor din oțel.

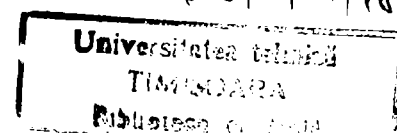
Se poate formula însă un alt punct de vedere asupra concludenței încercărilor țir cu țir, dacă numărul mare de date ce se obțin la aceste încercări periodice sunt prelucrate statistic, urmărindu-se la același cablu variația diferiților parametri statistici în funcție de regimul de lucru și condițiile de întreținere a cablului. Corelația între valorile obținute la

încercările periodice și ansamblu cauzelor care conduc la degradarea cablului prin pierderea calităților mecanice, impuse de standarde pentru o anumită securitate în serviciu a cablului, constituie un element de o importanță fundamentală în aprecierea cauzelor care conduc la ruperi premature de cablu.

O asemenea cercetare nu s-a făcut, după cunoștința autorilor, până acum. Se cunosc o serie de aprecieri calitative asupra factorilor care accelerează ruperea sârmelor din cablu [S.1], [M.2], [W.1] și care pot proveni din calitatea materialului, tehnologia de fabricație, montare cablului, condiții de întreținere și exploatare a cablurilor. Se mai cunosc [A.1] unele încercări de a defini un etalon de apreciere a calității cablurilor miniere pe baza productivității exprimate în tone de material transportat ori kilometri de deplasare a materialului, respectiv în tone-kilometri pe kilogram de cablu ( $t \cdot km/kg$ ), iar mai nou parametrul  $t \cdot km/kg/zi$ . Toți acești parametri nu au devenit hotărâtori în menținerea sau scoaterea cablului din serviciu. Din studiile întreprinse asupra rezistenței cablurilor se constată în mod cert un număr foarte mare de factori care intervin în definirea rezistenței cablurilor din oțel, după unii autori ajungându-se la 14 factori care influențează această mărime. Singura metodă eficace în asemenea cazuri este studiul statistic al mărimilor determinate, care trebuie să stabilească în final, tendințele generale de variație a parametrilor statistici aferenți mărimilor mecanice studiate sub acțiunea unor factori multipli a căror interacțiune nu poate fi separată pentru a fi studiate individual în laborator.

În sprijinul acestui punct de vedere se prezintă în lucrare 10952 date prelucrate în urmărirea în timp a mărimilor determinate la încercarea tîr cu tîr, pentru un număr de opt cabluri cercetate la intervall de trei luni.

17



analizându-se evoluția parametrilor statistici și distribuția teoretică corespunzătoare distribuțiilor empirice, în corelație cu parametri de exploatare la care au fost utilizate cablurile.

În tabelul 1.0.1 sunt date caracteristicile constructive și de exploatare ale celor opt cabluri, care lucrează la aceeași exploatare minieră, puse sub observație, pentru urmărirea variației parametrilor statistici, obținuți la încercările peripodice ale cablurilor.

Cablurile notate cu Aa, Bb, Cc sunt cabluri compuse ( compound ) având sârmele de doi diametri diferiți. Cablurile I, II, III, IV și V sunt cabluri simple. Cablurile care lucrează la aceeași mașină de extracție sunt cuprinse în aceeași linie a tabelului 1.0 și lucrează același număr de ore, fiind fiind montate pe o tobă dublă cu înfășurare diferențială, dar încărcarea putând fi alta, atât din punct de vedere al sarcinilor statistice, cât și din punct de vedere al sarcinilor dinamice.

Încercarea fir cu fir a unui cablu se concretizează printr-un număr mare de date asupra forței de rupere a sârmelor componente (  $F$  ), diametrul sârmei (  $\delta$  ), numărul de îndoiri alterne (  $n$  ) și răsucirea până la rupere, după procedeul descris în standarde. Acest număr de date se referă la colectivitatea de sârme componente ale aceluiaș cablu.

Pentru a putea aprecia calitățile globale ale colectivității de sârme și deci ale cablului întreg, se impune o prelucrare statistică a datelor ce reflectă calitățile individuale ale fiecărei sârme în parte și care au caracterul unor mărimi aleatorii.

Tabelul I.

Nr. en	Ienunțarea cablului	Tipul cablului	Implicatura	Greutatea (m)	Ø mm	d mm	l <sup>1</sup> mm	Parametrii mașinii de extracție										
								Diametrul molici mm	Diametrul tamburului mm	Adâncimea n	Viteza de extracție m/s	Greutatea coliviei KN	Greutatea vagonului + incălzirea KN	Greutatea cablului KN	Greutatea totală KN	Nr. schimbător de lucru	Perioada lubrit probator lun	
1.	AA BB	6x31	S/2	3,98	1600	2,1/1,4	32	660	2500	3000	280	5,8	25	32	11,22	68,20	3	3
2	CC	6x31	S/2	3,98	1600	2,1/1,4	32	660	2500	3000	280	8	25	32	11,22	68,20	3	3
3.	I II III	6x19	S/2	1,98	1600	1,5	32	322	1200	1200	190	3,5	15	17,50	3,80	36,30	3	3
4	IV	6x19	S/2	1,98	1600	1,5	32	322	1200	1200	200	4	15	17,50	4,00	36,50	3	3
5	V	6x19	S/2	1,98	1600	1,5	32	322	1200	1200	185	3,5	15	17,50	3,70	36,20	3	3

## 1.0.1 - PRELUCRĂRI STATISTICE

Indicatorii statistici care caracterizează poziția centrului de grupare a caracteristicii urmărite pot fi media aritmetică, mediană sau modul caracteristicii calității. Indicatorii statistici ai împrăștierii mărimilor urmărite sunt : dispersia, abaterea medie pătratică și amplitudinea variației.

Mărimea care face o legătură între cele două grupări de parametri statistici este coeficientul de covarianță, definit ca raportul dintre abaterea medie pătratică și media aritmetică a șirului statistic. Se știe că problema de bază a determinărilor cantitative este de a stabili direct sau indirect valoarea adevărată a mărimii studiate. Se arată [ R.1 ] că în cazul legii normale de distribuție a frecvențelor, media aritmetică a ansamblului de măsurători este cea mai bună aproximație pentru valoarea adevărată, iar suma pătratelor abaterilor este minimă, dacă sunt luate față de media lor aritmetică. Dintre toți indicatorii care caracterizează împrăștieria , abaterea medie pătratică permite să se tragă concluziile cele mai apropiate de realitate. [ W.2 ].

În această lucrare s-a acceptat media aritmetică pentru caracterizarea centrului de grup, iar ca indicator statistic abaterea medie pătratică.

În cele ce urmează , se arată modul de prelucrare statistică și rezultatele obținute la încercările periodice ale celor opt cabluri miniere, puse sub observație.

Distribuția empirică și teoretică. Pentru a aplica o serie de calcule, necesare interpretării statistice a unor rezultate experimentale, obținute cu ocazia studiului unei colectivități este necesară cunoașterea distribuției teoretice a mărimilor respective.

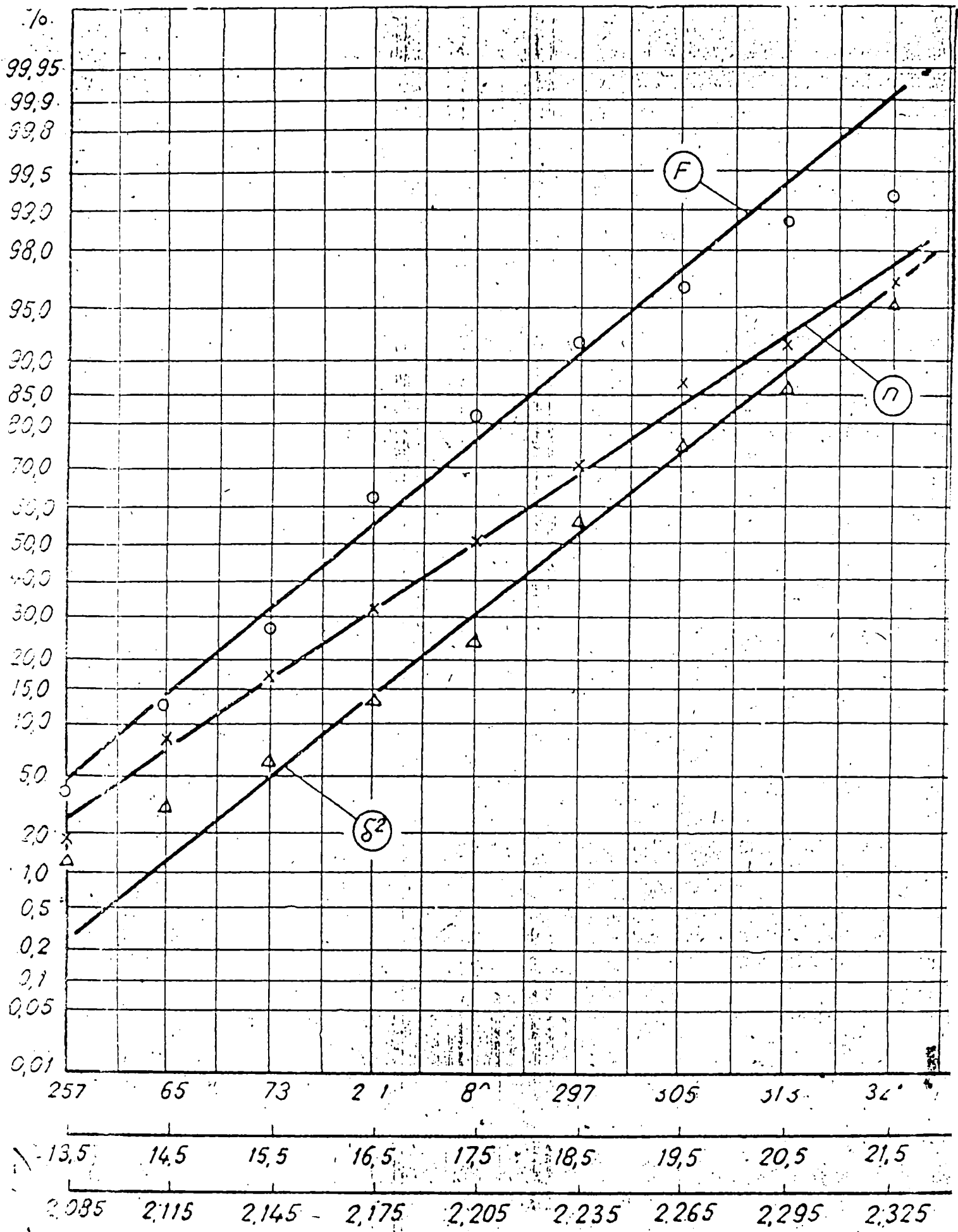


Fig.1.01. Verificarea distribuției normale pentru mărimile caracteristice ale cablului:

F [daN] forța de rupere a sârmei; n [îndoiri] nr. de îndoiri alternante la rupere

$\delta^2$  [mm<sup>2</sup>] pătratul diametrului sârmei



Analizând mai multe distribuții empirice, s-a ajuns la concluzia că distribuția teoretică cea mai apropiată este distribuția normală pentru caracteristicile determinate la încercarea fir cu fir.

În figura 1.0.1 s-a aplicat un criteriu de verificare a distribuției, reprezentând pe o hârtie de probabilitate distribuția frecvențelor.

Se constată că pentru toate caracteristicile urmărite  $(F, n, \delta^2)$  se obține o dreaptă în cazul cablului I. Alegerea variabilei aleatorii  $\delta^2$  este justificată prin corelația care se va urmări între  $F$  și  $\delta^2$ .

Asemenea reprezentare s-a făcut pentru toate cablurile și se poate conchide că distribuția teoretică normală este reprezentată pentru cele trei caracteristici urmărite.

Distribuția bidimensională a câte două dintre caracteristicile colectivității trebuie de asemenea demonstrată în vederea calculului coeficientului de corelație și a folosirii acestora în interpretarea rezultatelor. Un criteriu pentru verificarea bidimensionale se stabilește în lucrarea .

Comparând graficul valorilor  $x_1^2, x_2^2, \dots, x_i^2, \dots, x_n^2$  ordonate crescător, cu valorile aproximative ale mărimii  $1 - F(x^2)$  date de șirul:

$$\frac{n - \frac{1}{2}}{n}, \frac{n - \frac{3}{2}}{n}, \dots, \frac{1}{n}$$

se deduce dacă există o normalitate sau nu.

În cele de mai sus  $x_i^2$  este mărimea:

$$x_i^2 = t_x^2 + t_y^2 - 2r_x t_x t_y$$

unde.

$$t_x = \frac{(x_i - \bar{x})^2}{s_x^2};$$

$$t_y = \frac{(y_i - \bar{y})^2}{s_y^2};$$

$r$  - coeficientul de corelație a celor două mărimi,

$S_x, S_y$  - abaterea medie patratice corespunzătoare măririi  $x$ , respectiv  $y$ .

Fig. 1.0.1

În. figurile 1.02 și 1.03 sânt reprezentați în ordonanță logaritmică estimărilor  $\frac{n-1 \pm 1.2}{n} 100\%$ , iar în abscisă  $x_i$ , rezultatele pentru una

din observațiile periodice efectuate asupra cablului l. Aceste valori se grupează mulțumitor în jurul curbei  $\lg(l-P) = -0,217x^2$

Fig. 1.02

Fig. 1.03

care în sistemul ales este o dreaptă. Asemenea reprezentare s-a făcut pentru perechile

$(F, \delta)$  și  $(F, n)$ .

**Compararea mediilor.** Analiza oomparativa a datelor obținute cu ocazia încercărilor periodice, trebuie bazată pe stabilirea unor conditii idenitice de lucru.

Utilizarea aceluși aparate de măsură și mașini. de tracțiune, precum și a echipei care efectuează toate încercările contribuie la omogenizarea condițiilor de elaborare a valorilor, care stau la baza determinării parametrilor statistici de calitate a cablului. Cu toate acestea, se

impune să se analizeze și din punct de vedere statistic în ce măsură sunt comparabile, în mod concludent, valorile obținute în două sau mai multe ocazii de control a calității sîrmelor dintr-un cablu. Din acest punct de vedere se impune stabilirea limitelor în care media aritmetică a unei caracteristici este diferită la o încercare față de încercarea precedentă.

Dacă  $s_1$  respectiv  $s_2$  sunt abaterile medii pătratice ale unei caracteristici corespunzătoare la două încercări, se poate arata ca

$d = \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 0$  este justă dacă  $d$  satisface inegalitatea:

$$1 - P = 1 - P \left[ -z_{\alpha} \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} < (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) < z_{\alpha} \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} = 1 - 2P \right]$$

(1.0)

unde :  $P$  este probabilitatea,

$q_1$  . gradul de semnificație,

$n_1 = n_2 = n$  -numărul de elemente ale colectivității (nr. de sârme în cablu),

$\bar{x}_1, \bar{x}_2$  media aritmetică a mărimii pentru încercarea 1 și 2.

$z_{\alpha}$  - valoarea abaterii normate, corespunzătoare nivelului de semnificație

$q_1$  (se citește din tabele [ R. 1 ] tab.VI)

$\Phi(z)$  - funcția Laplace.

Se recomandă ca limitele intervalului de încredere pentru diferența să se calculeze astfel încât nivelul de semnificație să fie 0,02 sau 2%.

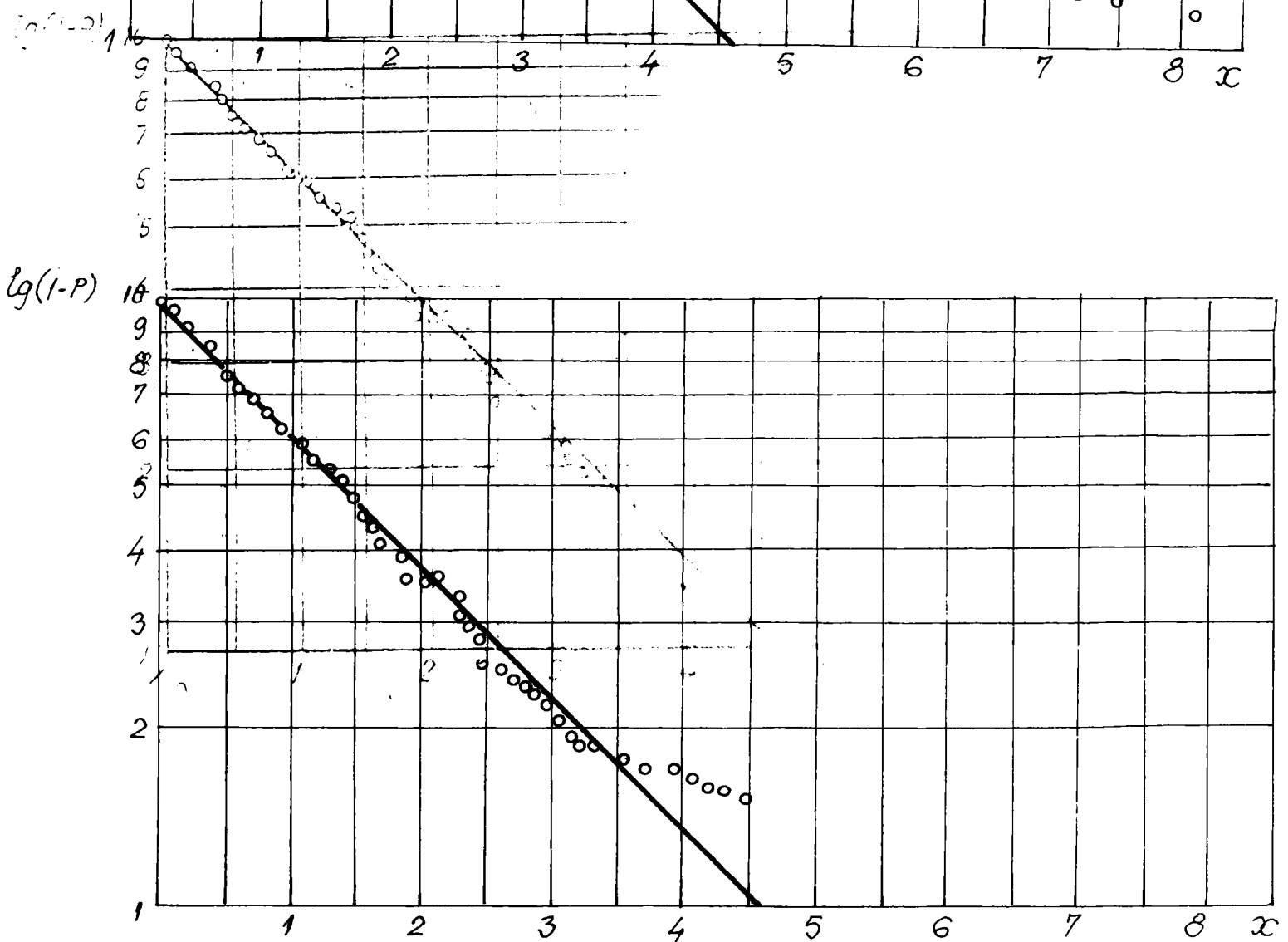
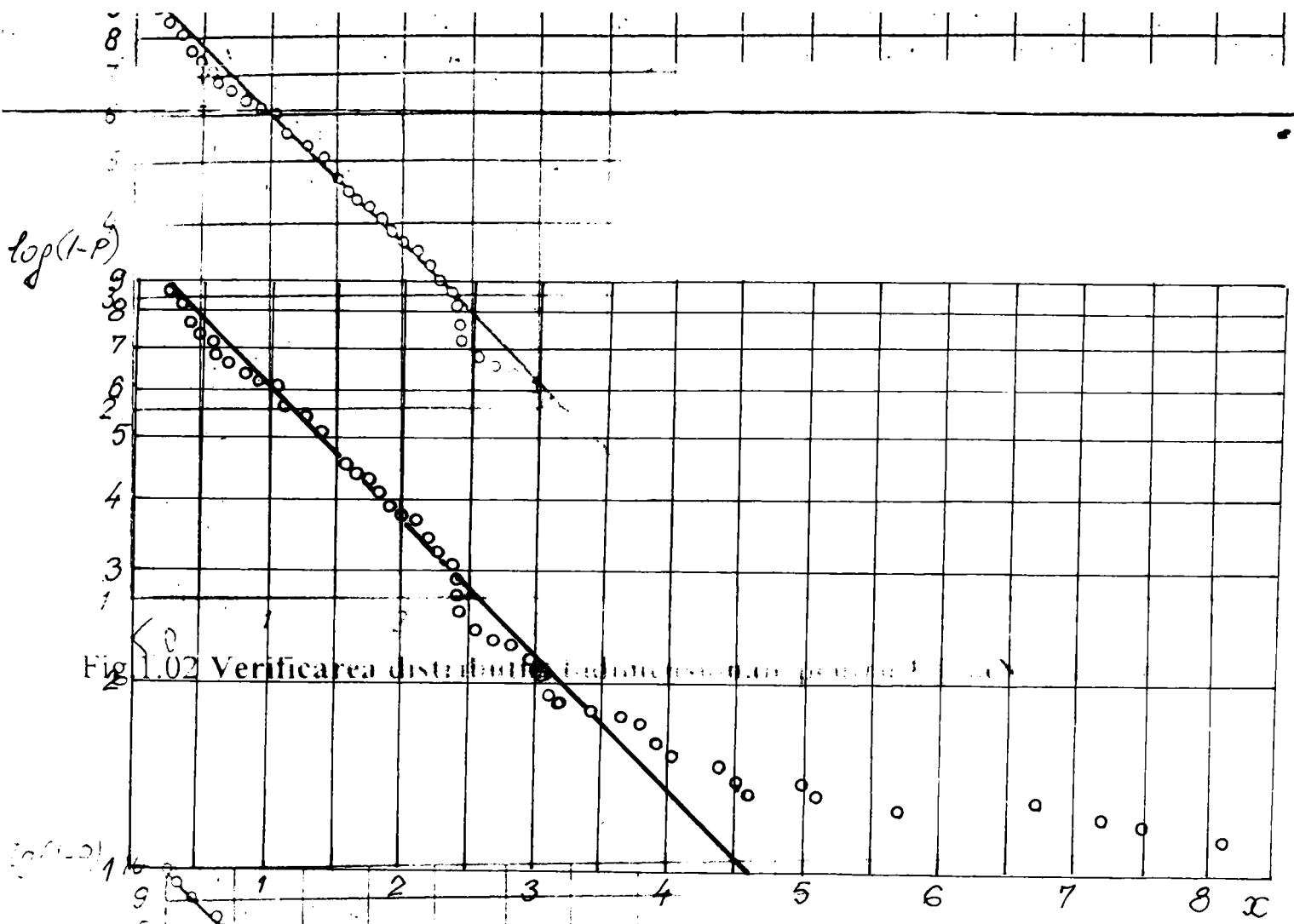
Din relația  $q_1 = 1 - 2 \phi(z)$ , cu  $q_1 = 0,02$  se găsește din tabela amintită  $\phi(z) = 0,499$ , la care corespunde  $z_q = 3,09$ . Cu această valoare, dacă diferența între două medii  $\bar{x}_1, \bar{x}_2$  se găsește în intervalul  $\pm 3,09 \sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{n}}$ , se consideră ca cele două medii nu sunt distincte și deci caracteristica respectivă a colectivității de sârme din cablu nu s-a modificat între cele două verificări periodice.

În figura 1.04 sînt reprezentate mediile aritmetice ale forței de rupere, iar în figura 1.05 mediile aritmetice ale numărului de îndoiri la cele trei încercări de control. La cablurile compuse s-a notat cu A, B, C sârma subțire iar cu a, b, c sârma groasă.

Se remarcă o variație mare a forței medii de rupere pe sârmei. Cu excepția cablului III ce are o forță mare de rupere, la a 3-a încercare egală cu forța de rupere de la prima încercare, celelalte variații arata în mod consecvent o scădere. Cablul III a fost înlocuit între încercarea 2-a și 3-a și deci la încercarea treia s-a prezentat un cablu nou.

Aplicând criteriul de selectare a mediilor, care sînt diferite între ele, la două observații consecutive se constată că numai în unele cazuri diferențele dintre medii sunt diferite de zero. Calculele s-au făcut pentru toate cazurile, reținându-se cele mai reprezentative, care se analizează în cele ce urmează.

În privința descreșterii forței medii de rupere a cârmei se constată o variație.



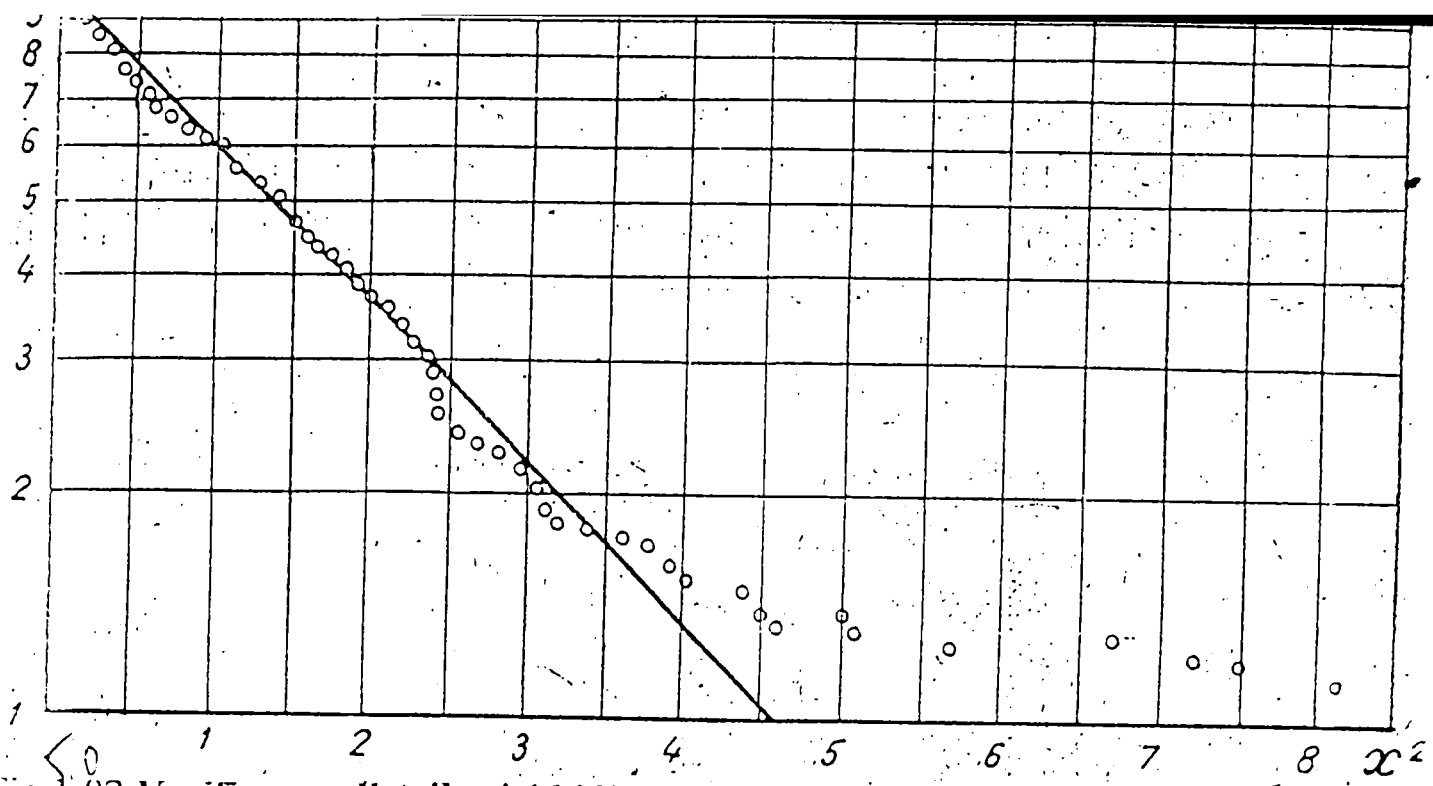


Fig.1.02 Verificarea distribuției bidimensionale pentru  $F$  [ daN] și  $\delta$  [mm<sup>2</sup>]

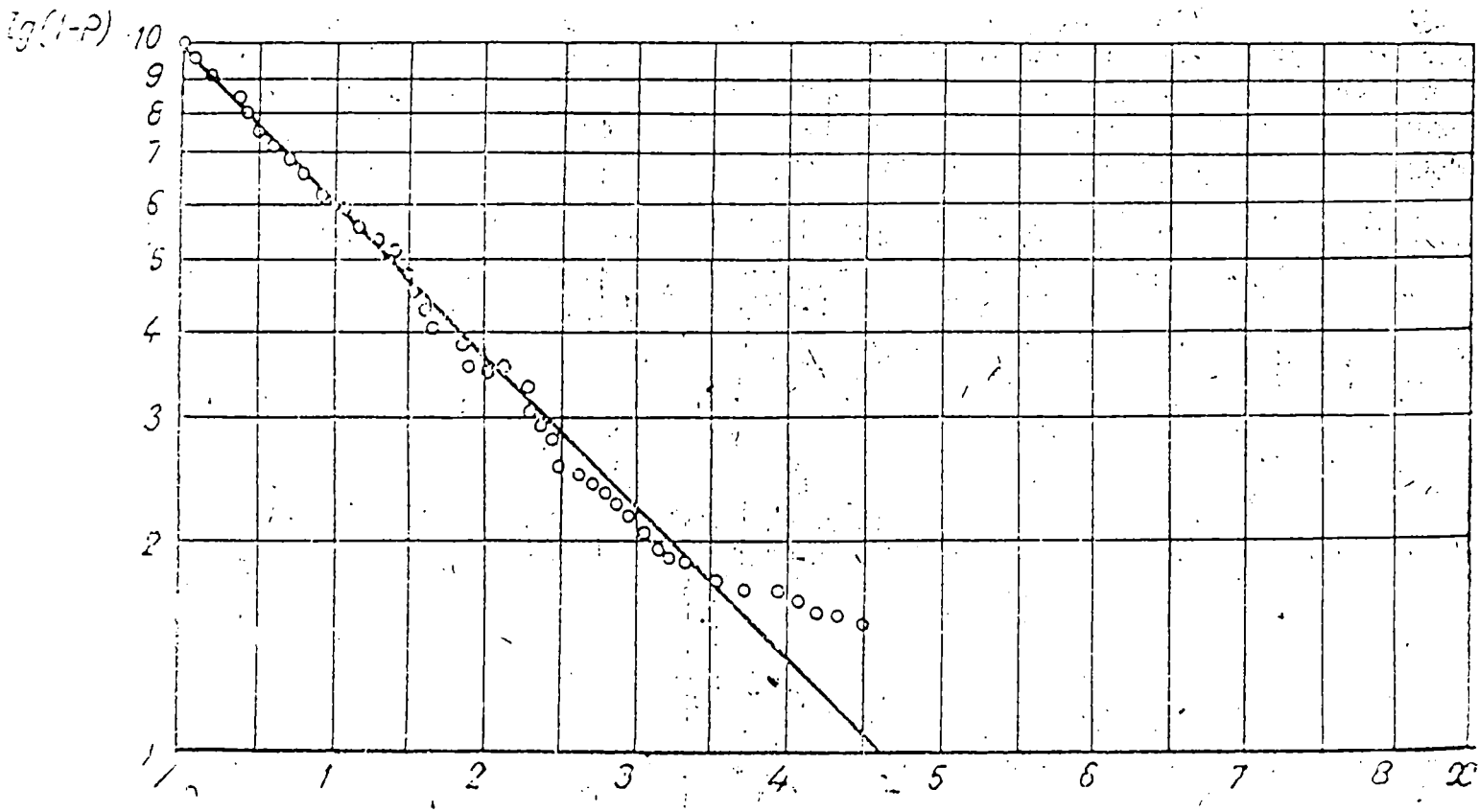


Fig.1.03. Verificarea distribuției bidimensionale pentru  $F$  [daN] și  $n$  [șndoiri]

Cablul I prezintă în ambele intervale aceeași scădere a lui  $F$ , în timp ce cablul IV prezintă în perioada a doua

Fig. 1.04

de funcționare o scădere foarte importantă, ajungând ca la a treia încercare să prezinte o rezistență cu 8% mai mică decât la încercarea întâia.

Ținând seama de faptul că scăderea forței medii de rupere nu se produce din cauza variației diametrului sârmei prin uzură, întrucât modificarea diametrului practic nu s-a constatat; singura cauză a scăderii trebuie căutată în modificările structurale din materialul sârmelor sub acțiunea unor cauze complexe de natură mecanică sau termică.

Analizând rezultatele din figurile 4 se constată o concordanță între regimul de lucru al cablului redat în tabela 1 și scăderea forței medii de rupere.

Cablul III și IV lucrează la o mașină de extracție cu viteza de  $4\text{m/s}$  și la o adâncime mai mare decât celelalte cabluri obișnuite. Se remarcă o scădere a lui  $F_{\text{med}}$ , pentru cablul IV. În cazul cablului III, care lucrează în aceleași condiții cu cablul IV același lucru s-a produs, dar ruperea unui număr prea mare de sârme a condus la

Fig. 1.05

scimbarea cablului III.

De asemenea se constată dintr-o comparație similară, că este justificată pierderea de rezistență și de tenacitate caracterizată prin numărul de îndoiri a cablului Bb și Cc, care lucrează în condiții dezavantajoase față de cablul Aa.

Există deci o corelație între parametri de exploatare a cablurilor și evoluția forței medii de rupere a sârmelor, respectiv a forței totale de rupere

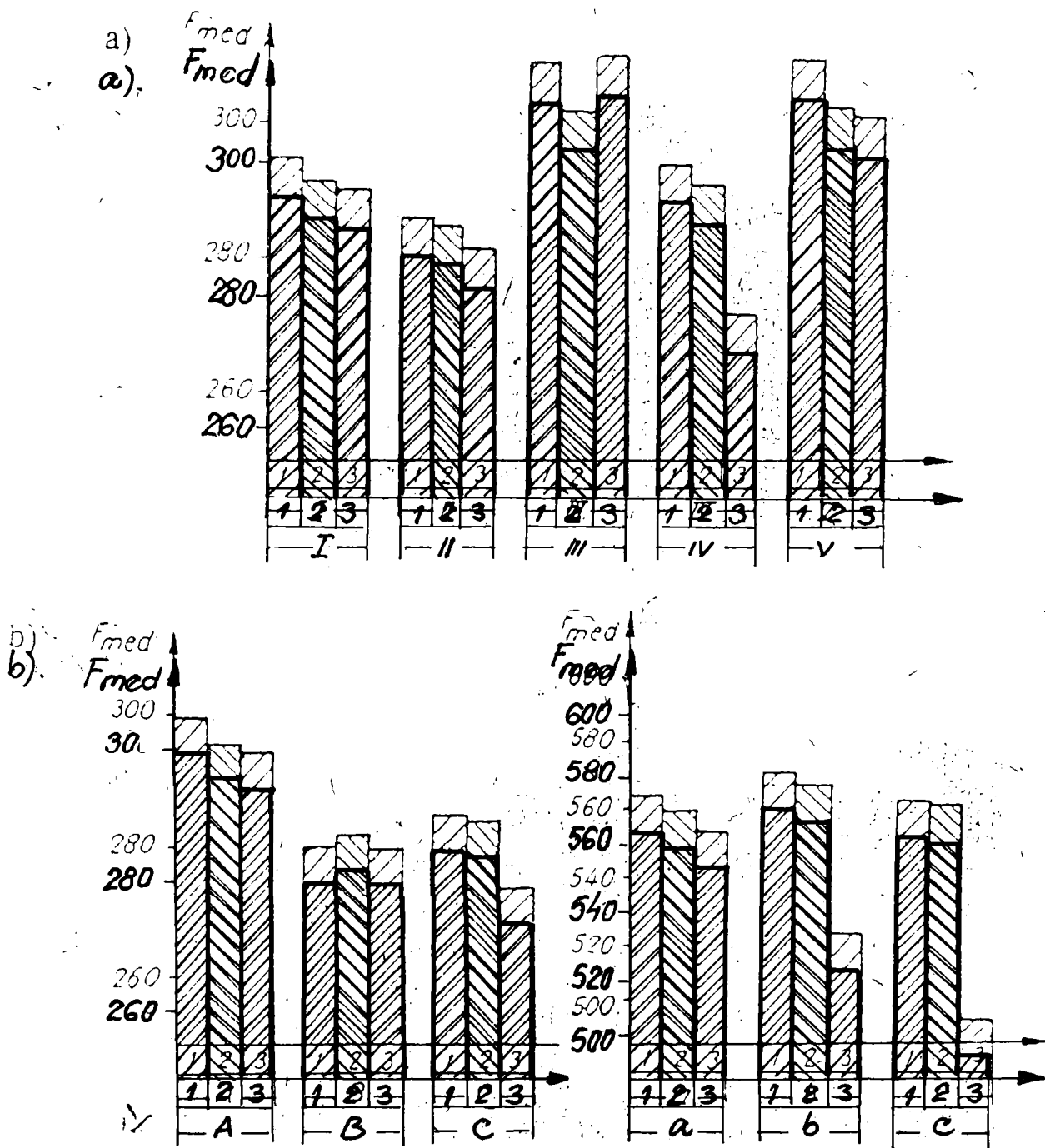


Fig 1.04 Valorile medii aritmetice ale forței de rupere a sârmelor  $F_{med}$  [daN]

1,2,3 -numărul încercării; a -cablurile I,II,III,IV,V ; b cablurile  $A_a$  , B ,  $C_c$



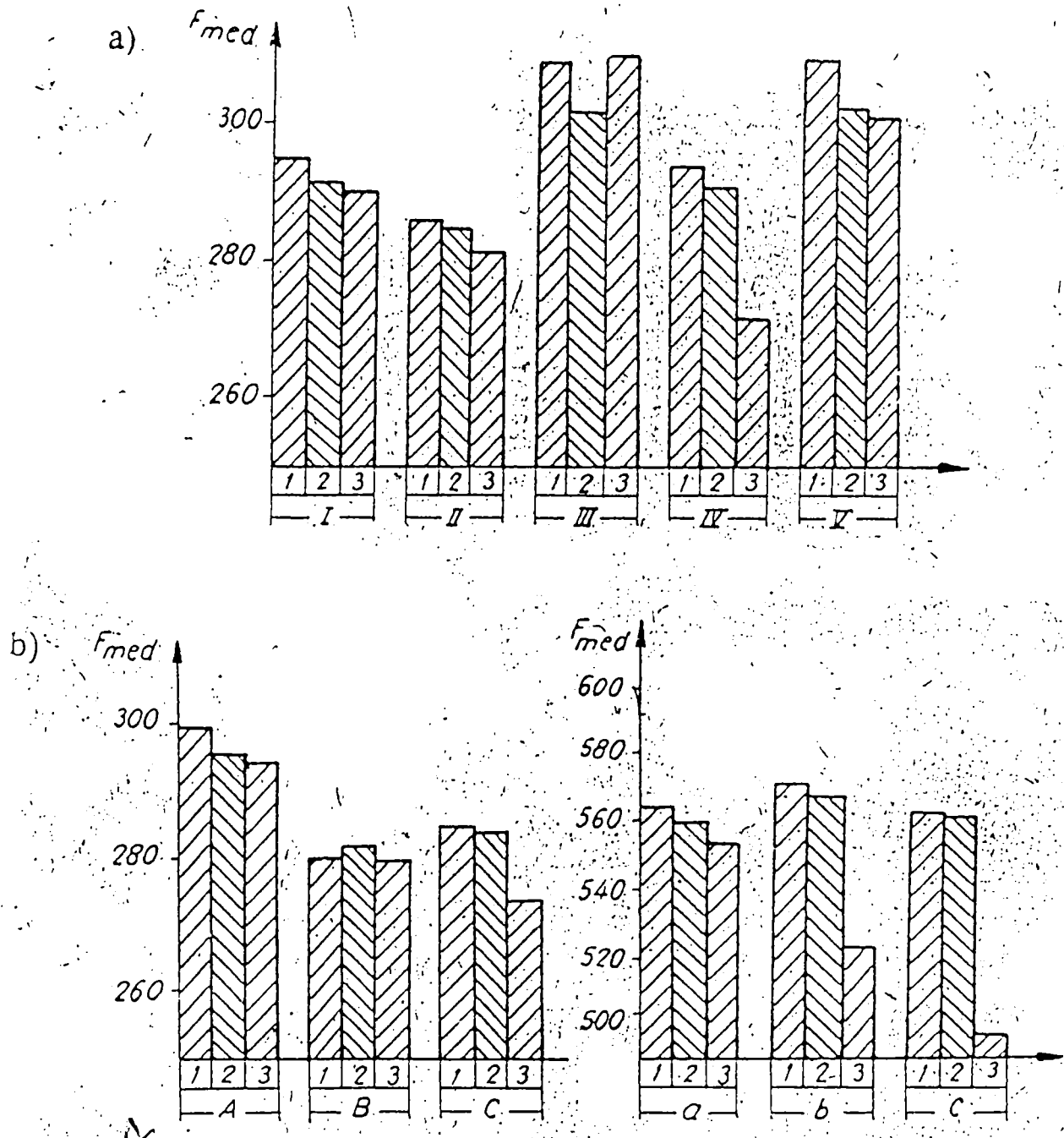


Fig 1.04 Valorile medii aritmetice ale forței de rupere a sârmelor  $F_{med}$  [daN]  
 1,2,3 -numărul încercării; a -cablurile I,II,III,IV,V ; b cablurile  $A_a$  , B ,  $C_c$

28

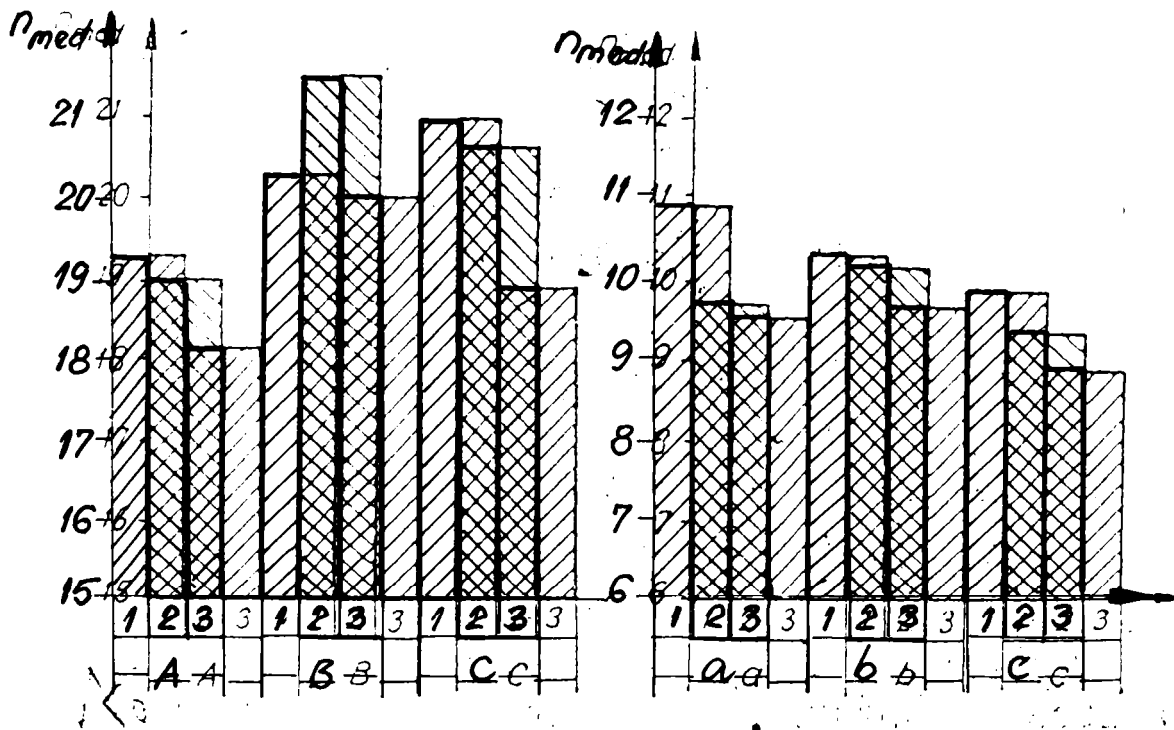
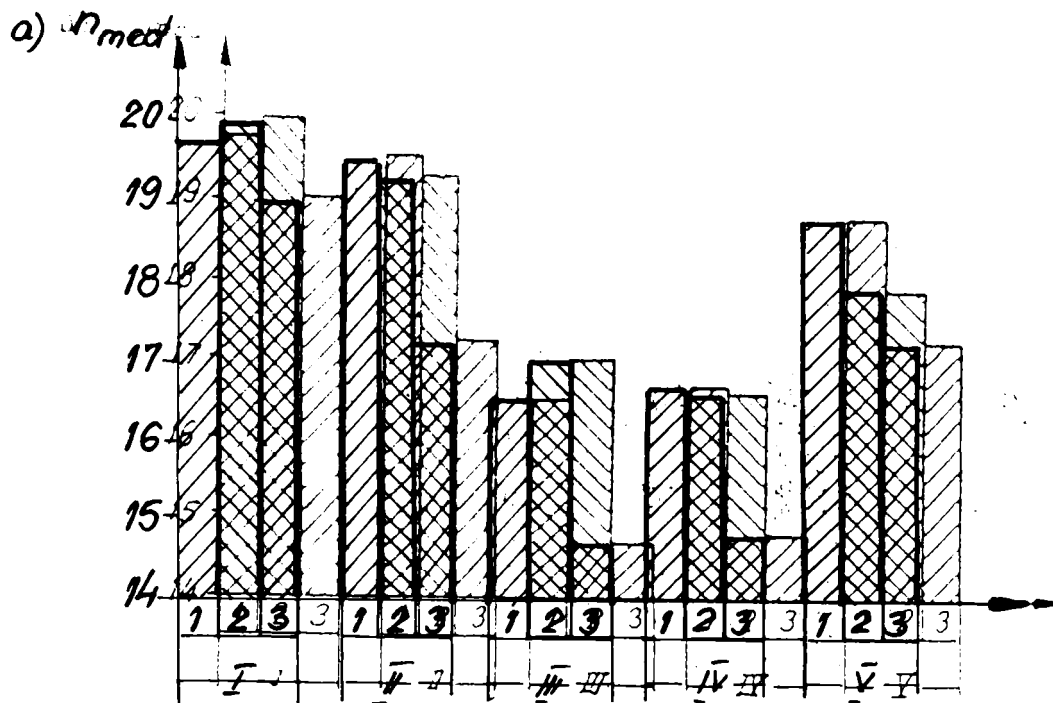


Fig. 1.05. Valorile medii aritmetice ale nr. de  $n_{med}$  [îndoiri]  
 1,2,3 numărul încercării; a – cablurile I,II,III,IV,V; b – cablurile Aa ,Bb ,Cc

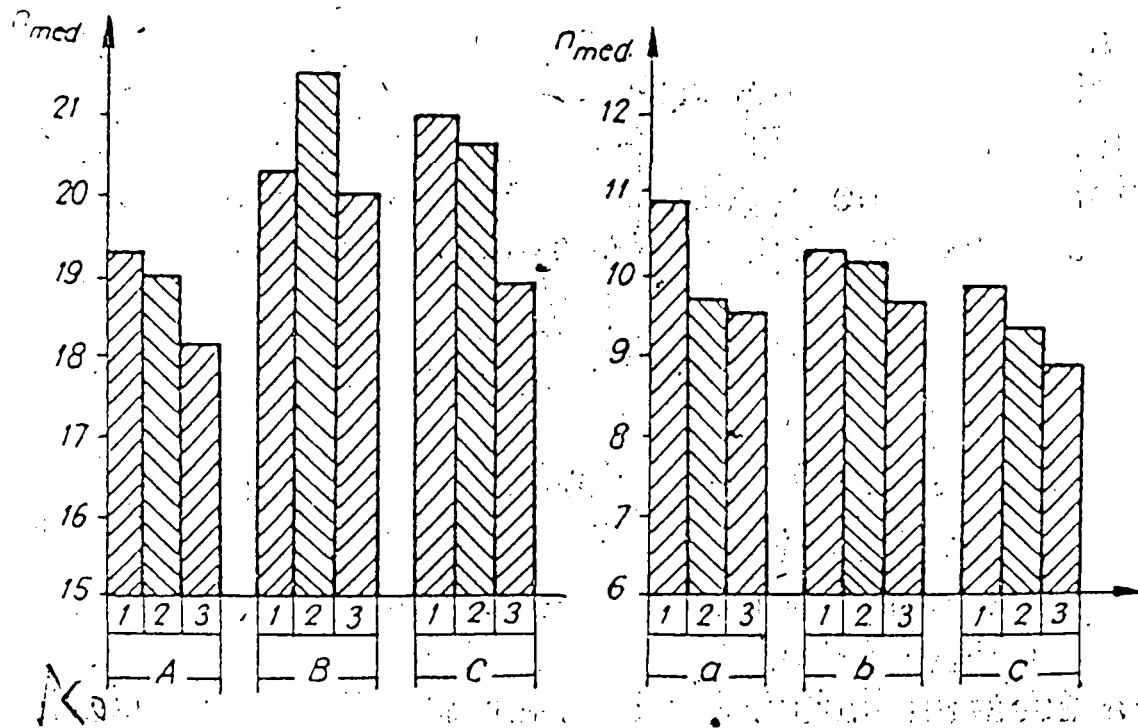
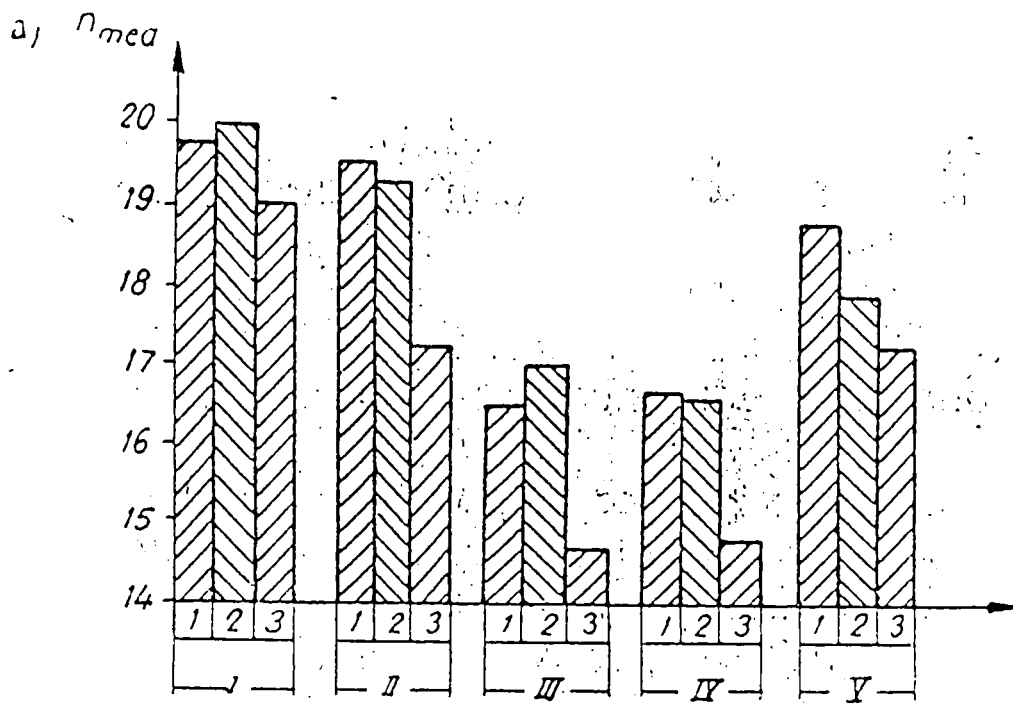


Fig. 1.05. Valorile medii aritmetice ale nr. de îndoiri  $n_{med}$  [îndoiri]  
 1,2,3 numărul încercării; a – cablurile I,II,III,IV,V; b –cablurile Aa ,Bb ,Cc

a cablului. Aceasta corelație s-ar putea concretiza printr-o curbă de interdependență dintre scăderea lui  $F_{med}$  în funcție de tone și kilometri dacă exploatarea ar putea furniza date.

Scăderea forței medii de rupere reflectă global efectul sarcinii efective de lucru a cablului, șocurile adiționale accidentale, starea mediului în care lucrează cablul, lubrifierea corectă sau incorectă, regimul de lucru al mecanismului de ridicare etc.

Influența factorilor de exploatare asupra rezistenței de durată a cablului nu este suficient de studiată, dar totuși sunt cunoscute unele rezultate care permit o interpretare mai aprofundată a constatărilor de mai sus. Examinând modificările structurale ale metalului, s-a constatat [ S.1 ] că aceasta produce în straturile superficiale ale sârmei, sub acțiunea căldurii intense ce se degajă, datorită frecării. Concluziile unor asemenea cercetări au arătat că amorsele de rupere se produc într-o mare proporție în zonele decarburate, scoase în evidență prin cercetări metalografice. Acest strat are o duritate mare și o fragilitate pronunțată, care favorizează apariția fisurilor și în final ruperea sârmelor.

Procesul de apariție a zonelor decarburate se găsește în diferite stadii, cumulându-se între două controale periodice ale cablului. Se poate presupune că fazele de decarburare ce se produc înaintea stadiului de rupere a sârmei se traduc prin obținerea unor caracteristici mecanice scăzute.

Dispersia. Pe lângă cunoașterea centrului de grupare a mărimilor întâmplător variabile, urmărite în încercarea caburilor, este important să se determine un parametru care reflectă gradul de împrăștiere sau concentrație a acestora, față de media aritmetică ce se acoperă ca centru al grupului. Față de acest centru, expresia dispersiei se obține din:

$$s^2 = \frac{\sum (x_i' - \bar{x})^2 n_i}{n-1}$$

unde:  $x_i'$  - valoarea centrală a clasei,  
 $\bar{x}$  - media aritmetică  
 $n_i$  - frecvența absolută a clasei,  
 $n$  - numărul total.

Pentru a avea un parametru al împrăștierii cu aceeași dimensiune cu variabila întâmplătoare, se folosește abaterea mediei pătratice :

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 n_i}{n-1}}$$

Se remarcă o variație întâmplătoare a lui  $s$  (motiv pentru care nu s-a mai prezentat) produsă de două categorii de factori. O categorie de factori provin din efectuarea măsurătorilor, care în general se pot considera variabili de la un control periodic la celălalt, din motive subiective sau obiective.

A doua categorie de factori, care contribuie la modificarea abaterii medii pătratice provin din neomogenitatea sârmelor de-a lungul cablului și din modificările structurale suferite de oțelul sârmei în exploatare, între două controale, sub acțiunea factorilor semnalati anterior.

Coefficientul de covarianță este mărimea care face o legătură între parametri statistici din cele două categorii:

$$C_{v_f} = \frac{s}{\bar{x}} 100\%$$

În figura 1.0.6 sunt reprezentate valorile lui  $C_{v_f}$  pentru forța de

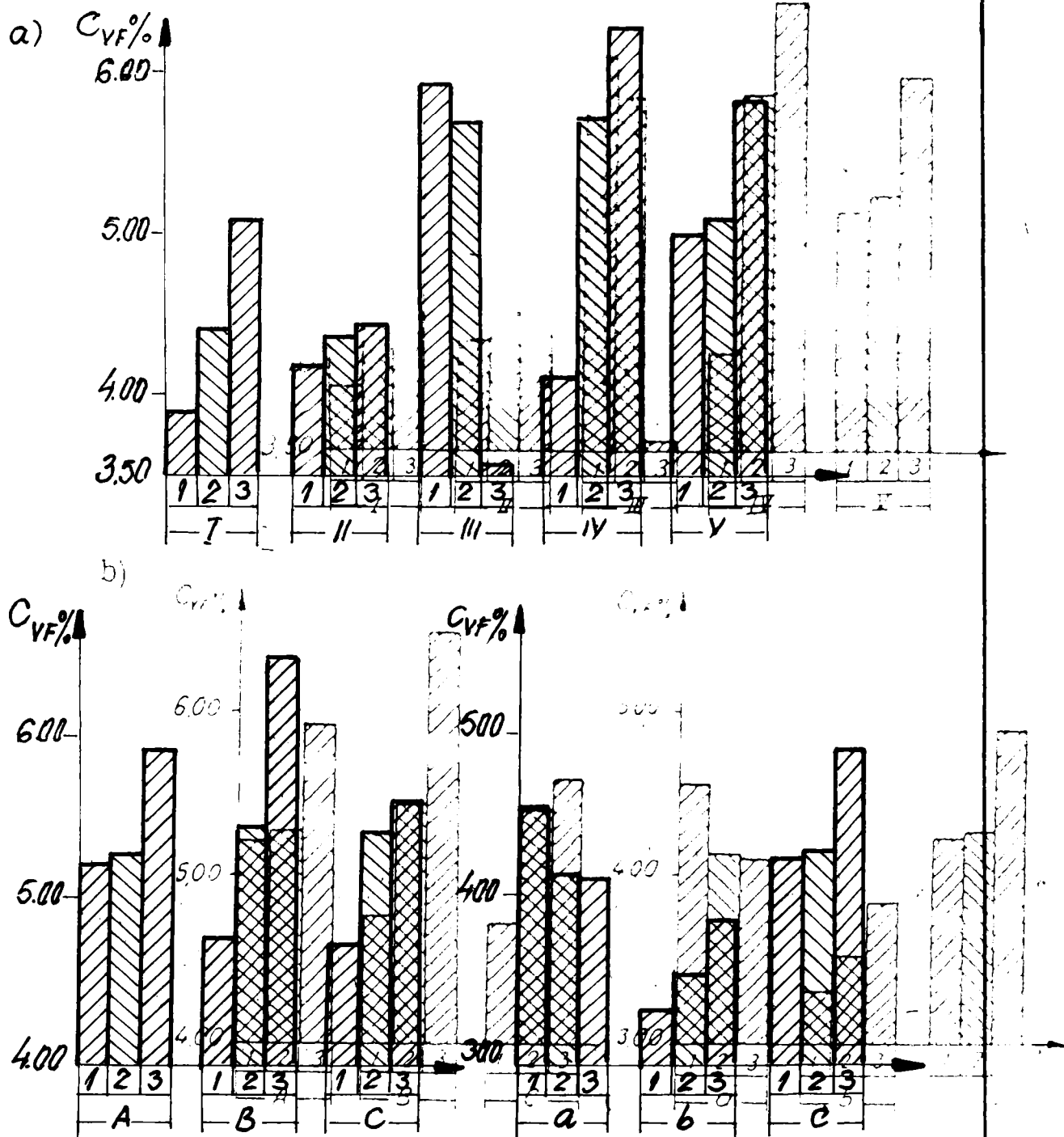


Fig.1.06 Valorile coeficienților de covarianță la forța de rupere a sârmelor  
 $C_{VF} [\%]$

1,2,3 nr. încercării; a cablurile I,II,III,IV,V; b cablurile Aa Bb Cc

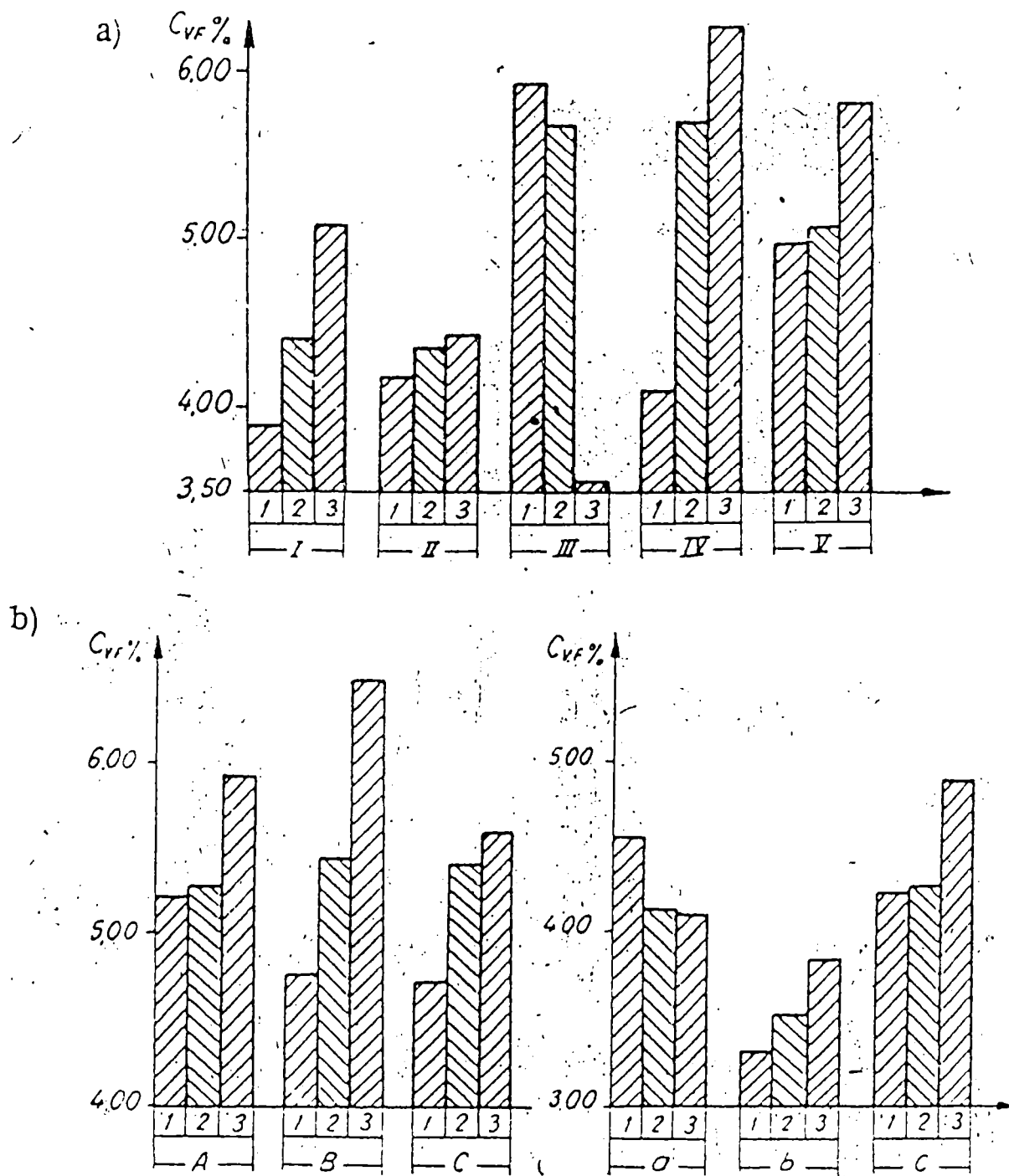


Fig.1.06 Valorile coeficienților de covarianță la forța de rupere a sârmelor  
 $C_{VF}$  [%]  
 1,2,3 nr. încercării; a cablurile I,II,III,IV,V; b cablurile Aa ,Bb , Cc

există o corelație între cele două mărimi și cu cât această valoare se apropie de zero, cele două mărimi sunt mai puțin în corelație..

Din analiza coeficienților de corelație s-au constatat două lucruri. Coeficientul de corelație la același cuplu de mărimi variaza întâmplător la controale periodice diferite, neputându-se stabili o tendință unică de variație. De asemenea valoarea coeficientului de corelație pentru  $F, \delta$  este aproape zero, variind între 0,28...0,08 și este mai mic decât în cazul valorilor  $F, n$  pentru care s-au găsit valori între: 0,098...0,865. O imagine a lipsei de corelație între  $F, n$  rezultă și din figura 8 unde s-au reprezentat valorile  $F, \delta^2$  respectiv  $F, n$  pentru cablul I obținându-se un nor de puncte fără o tendință de grupare.

Fig. 1.08

Reține atenția lipsa de corelație între  $F$  și  $\delta$  care de fapt sunt într-o relație de formă :

$$F = \sigma_r \frac{\pi \delta^2}{4} = K \delta^2 = Kx$$

care este liniară dacă se ia  $x = \delta^2$ , reprezentând o dreaptă  $F = Kx$  lucru care nu rezultă din graficul din figura 8. Explicația acestei neconcordanțe se poate găsi în lipsa de omogenitate a sârmelor prin variația rezistenței de rupere  $\sigma$  de la sârmă la sârmă în lungul aceleiași sârme, precum și din faptul că măsurarea diametrului sârmei se efectuează într-o secțiune oarecare, diferită în general de secțiunea de rupere a sârmei la proba de tracțiune.



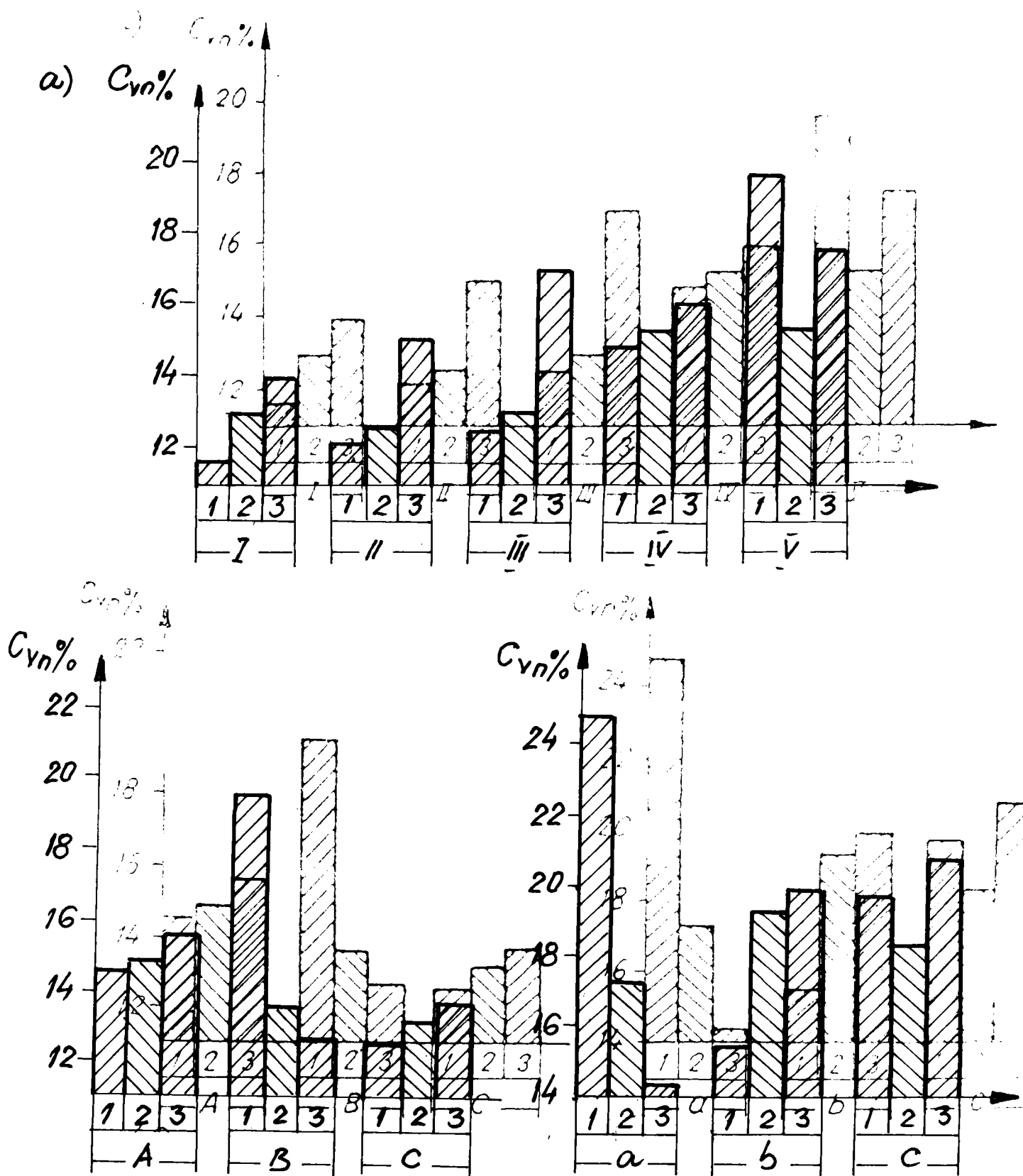


Fig. 1.07 valorile coeficienților de covarianță la nr. de îndoiri  $C_{vn}$  [%]  
 1,2,3 nr.de încercări; a - cablurile I,II,III,IV,V; b - cablurile A a , B b ,Cc

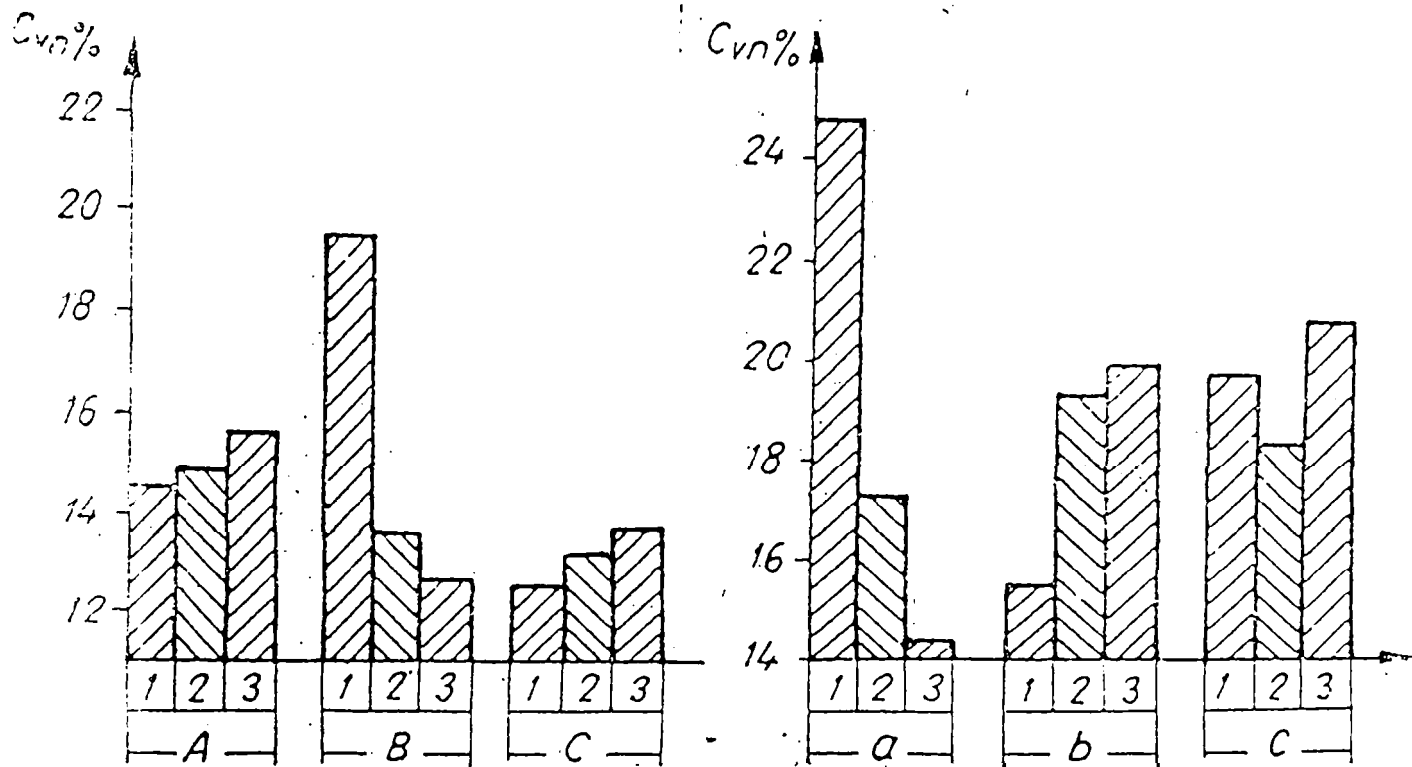
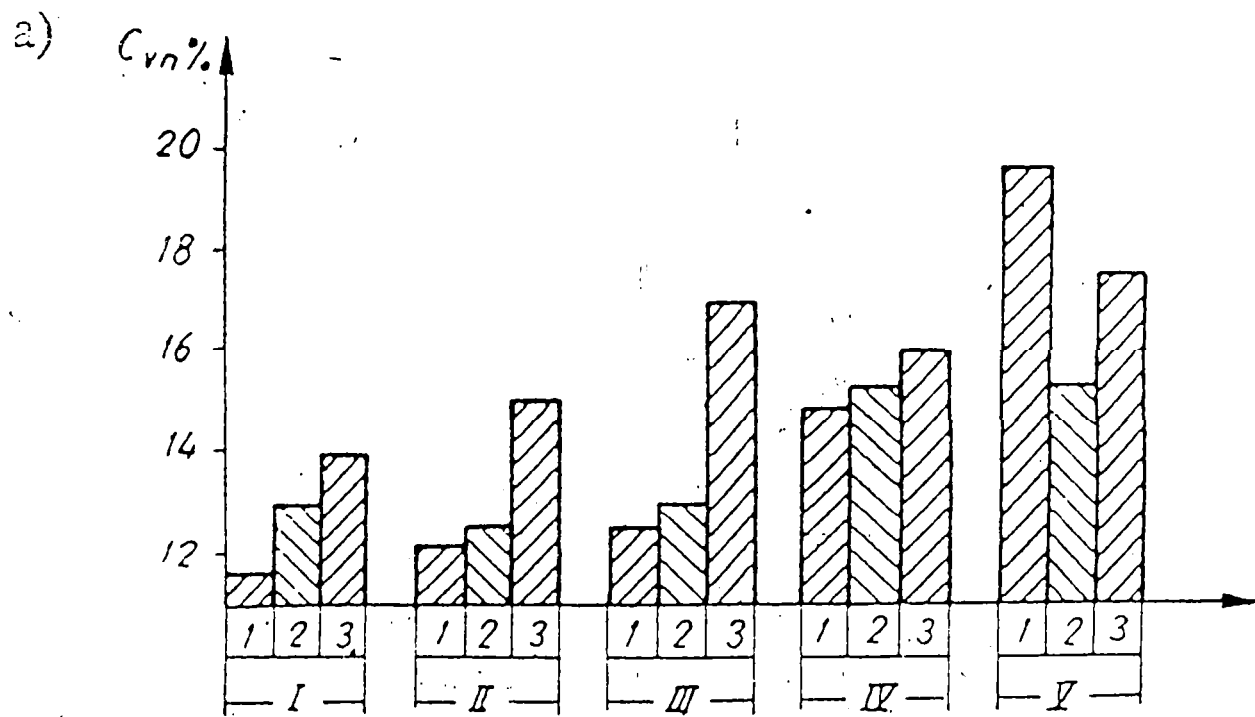
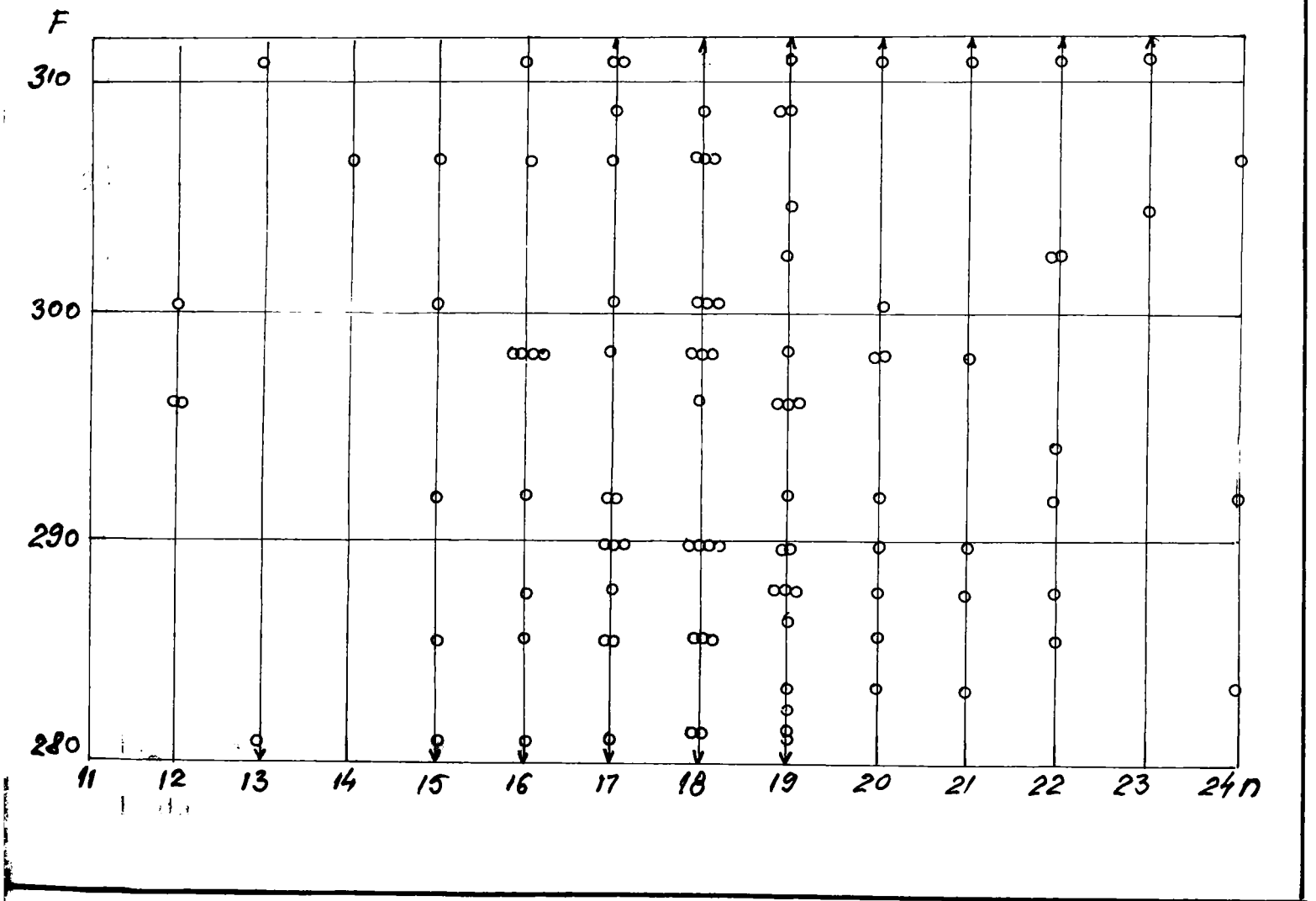
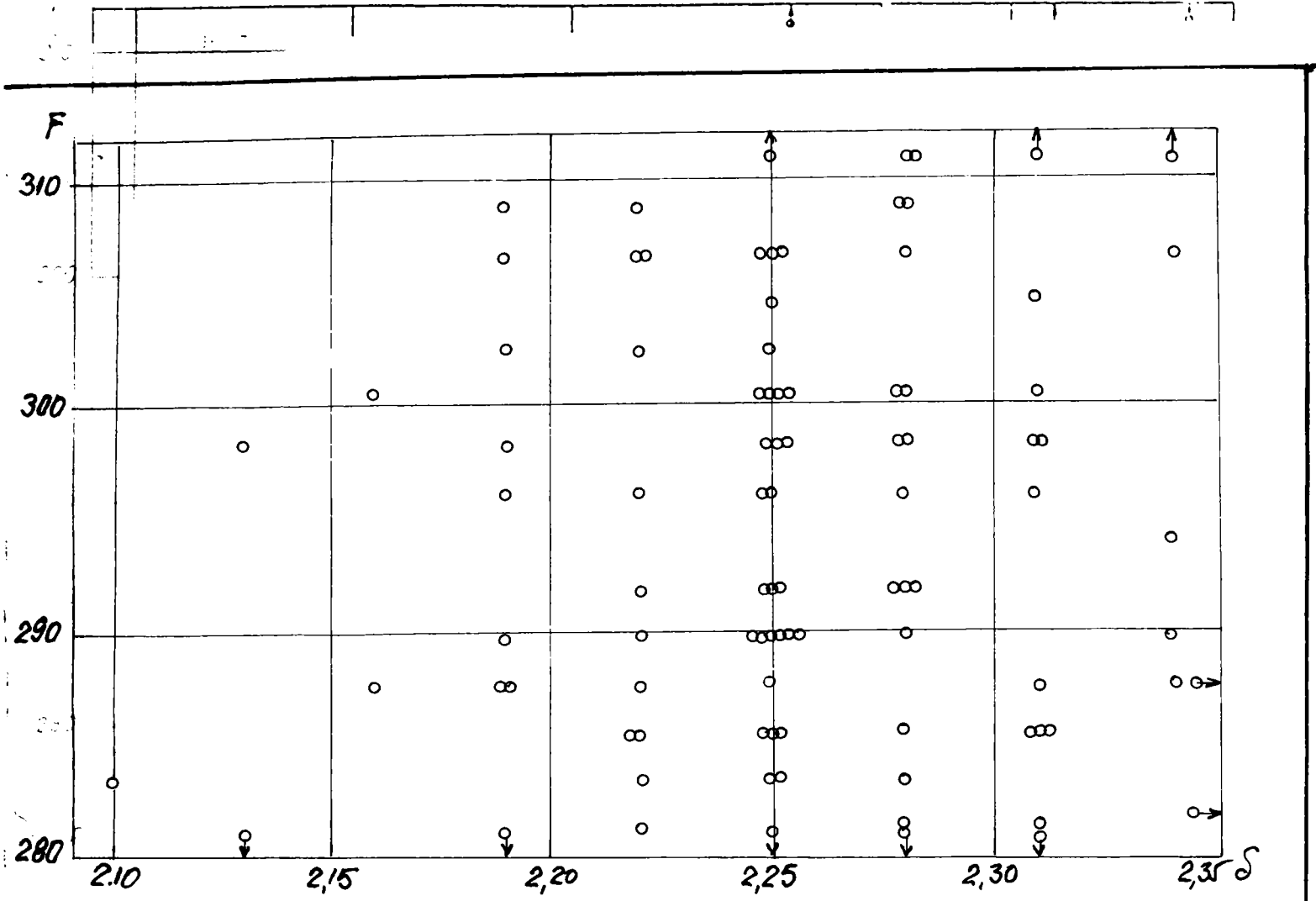


Fig. 1.07 valorile coeficienților de covarianță la nr. de îndoiri  $C_{vn}$  [%]

1,2,3 nr.de încercări; a - cablurile I,II,III,IV,V; b cablurile A a , B b ,Cc



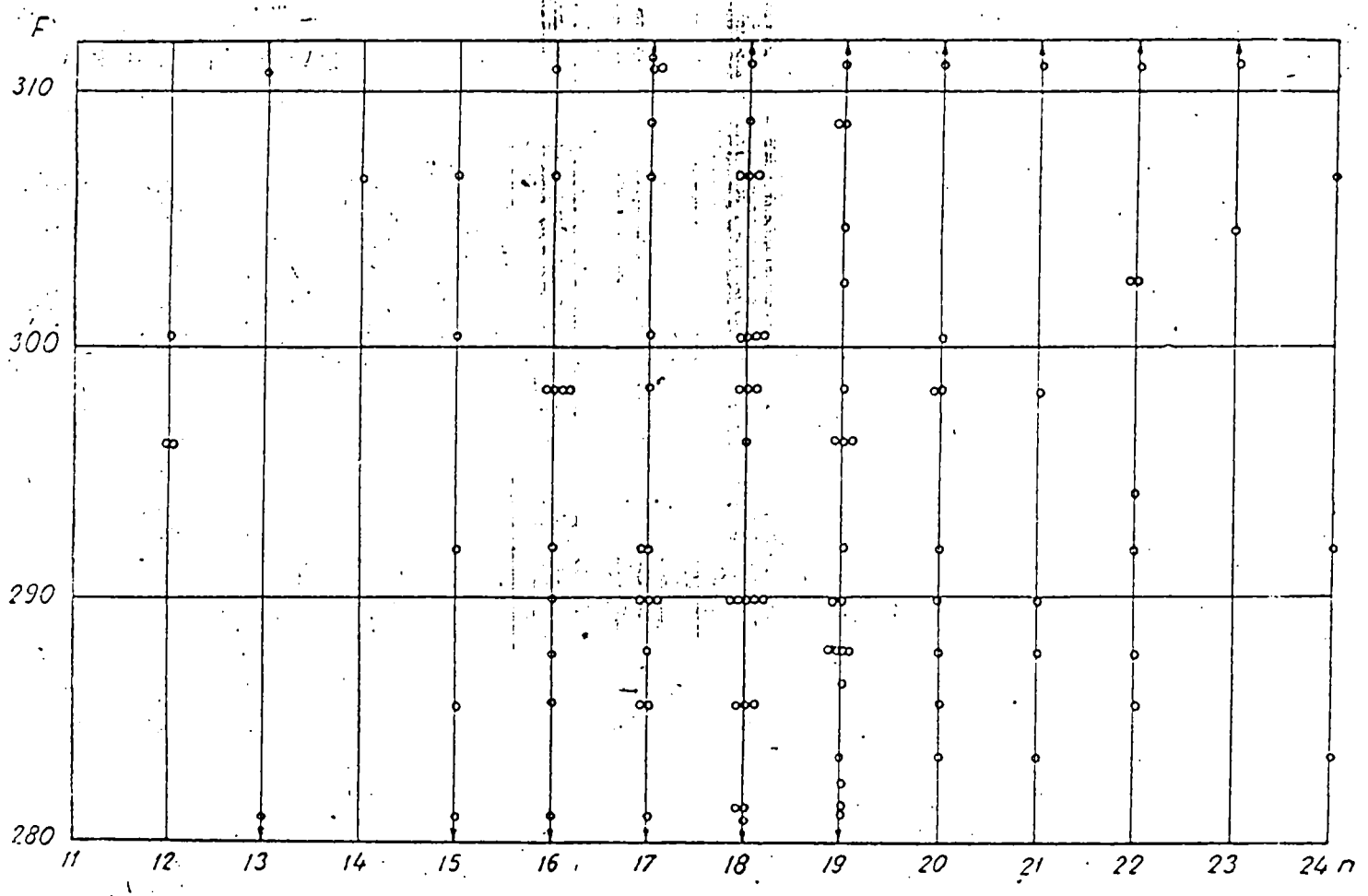
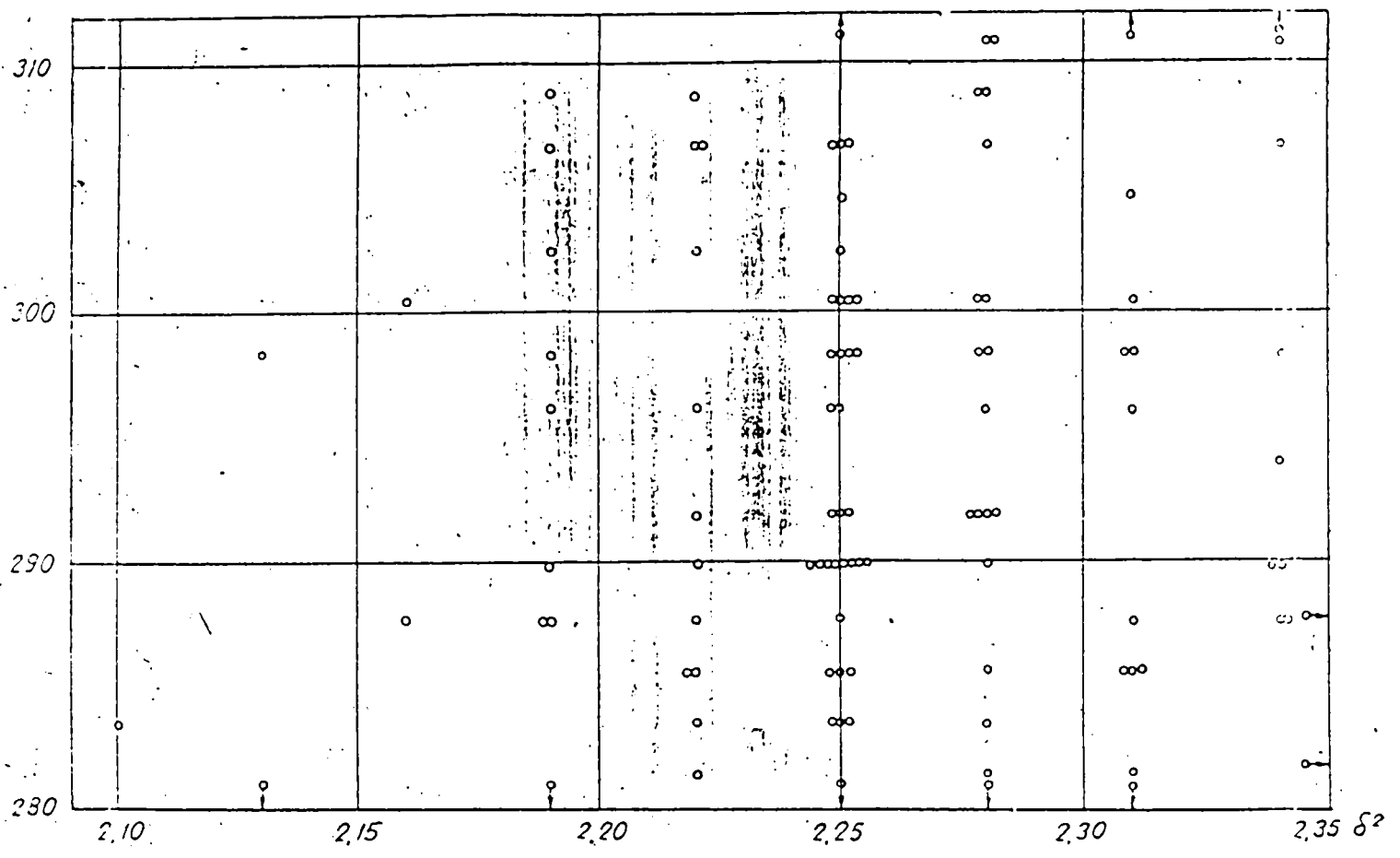


Fig. 1.08 a – reprezentarea valorilor  $F$  [da],  $\delta$  [mm] ; b reprezentarea valorilor  $F$  [da] ;  $n$  [îndoiri]

35

Lipsa de corelație între mărimile analizate mai sus fundamentează în mod științific necesitatea determinării tuturor mărimilor caracteristice sârmelor la încercările de control periodic al cablurilor.

## 1.02 CONCLUZII

Umărind variația în timp a unor parametri statistici de calitate la încercările de control periodice, privind rezistența la rupere, numărul de îndoiri alternante, până la rupere și diametrul sârmelor pentru un număr de 8 cabluri de oțel s-a constatat o tendință în variația acestor mărimi.

Scăderea forței medii de rupere și a numărului de îndoiri la cele trei probe, corelată cu regimul de lucru al cablului respectiv devine un parametru important în aprecierea pe de o parte a calității cablului, iar pe de altă parte, permite aprecieri asupra exploatării rationale sau neraționale a cablului. Se întrevide posibilitatea stabilirii unei viteze de scădere a calităților amintite, în funcție de regimul de exploatare și întreținere a cablului, dacă asemenea date se vor cumula printr-o evidență urmărită sistematic.

Se mai observă că ecrusarea oțelului din sârmele cablului datorită compresiunilor locale și suprasarcinilor care ar trebui să ducă în mod firesc la o creștere a rezistenței la rupere este depășită ca efect de transformările structurale, despre care s-a vorbit și care produc în final scăderea rezistenței la rupere și a proprietăților de tenacitate a materialului. Efectul ecrusării se resimte în schimb la numărul de îndoiri alternante a cărui scădere reflectă pierderea tenacității materialului.

Variația întâmplătoare a dispersiei, caracterizată prin abaterea medie pătratică, reflectă interacțiunea a două componente. Prima componentă cuprinde totalitatea erorilor specifice metodei de lucru în încercarea de control a cablurilor, iar a doua componentă reflectă modificarea neuniformă a

rupere a sârmelor din cablu. Se constată că în general există o tendință de creștere a coeficientului de covariață  $C_{VF}$  la forța de rupere a sârmelor, constatare care arată și mai bine modificarea câmpului de grupare a forțelor de rupere față de media aritmetică. Se poate deci trage concluzia că pe lângă o scădere a valorii medii a forței

Fig. 1.06

de rupere, sârmele din cablu devin mai neomogene, datorită pozițiilor diferite în straturile care formează secțiunea transversală cablului și deci supuse unor înecări, care în mod diferit vor conduce la transformările structurale amintite.

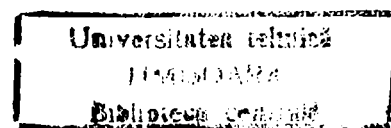
În figura 1.0.7 sunt reprezentate valorile  $C_{v_n}$  corespunzătoare numărului de îndoiri alternante până la rupere. Se poate constata și în acest caz că la cea. mai mare parte a cablurilor există o tendință de creștere a coeficientului de corelație, reflectând o micșorare a calităților de tenacitate a sârmelor și totodată o creștere a neomogenității sârmelor din acest punct de vedere.

Fig.10.7

Corelata. În cazul mărimilor cu distribuții normale monodimensionale și bidimensionale, mărimi găsite la aceeași colectivitate se formulează problema stabilirii unei corelații între cele două mărimi.

În cazul sârmelor dintr-un cablu de oțel interesează corelația între forța de rupere și numărul de îndoiri până la rupere. Calculul coeficientului de corelație se face după una din metodele cunoscute în literatura de specialitate [ R.1 ], [ W.2 ]. Se știe că dacă acest coeficient este  $r = 1$

37



caracteristicilor mecanice a sârmelor datorită dispoziției diferite în structura cablului, sârmele din straturile exterioare fiind expuse unor solicitări diferite față de sârmele din straturile interioare.

Asupra primei componente se poate interveni prin reglementarea strictă a valorii a vitezei de încercare, evitându-se acționarea manuală a mașinii de tracțiune și a dispozitivelor de îndoire sau răsucire. Complexul de măsuri care, ar urma să asigure o componentă cât mai constantă a dispersiei produsă de metoda încercării, ar asigura posibilitatea dispersiei provenind numai din a doua componentă a dispersiei influențată de modificările structurale ale sârmelor.

Încercarea tehnologică la îndoirea alternantă se consideră nesatisfăcătoare prin valorile mari ale coeficientului de covarianță găsite pentru această mărime (11,63 ...~24,87%). Introducerea unui sistem de numărare mecanică, cu posibilitatea aprecierii fracțiunilor de îndoire ar aduce probabil coeficientul de covarianță și la această încercare în domeniul valorilor (3,34%.....6,49%), găsite pentru forța de rupere a sârmelor.

Din acest studiu rezultă deci necesitatea reexaminării condițiilor de încercare a sârmelor pentru a se asigura valori mai apropiate de cele reale, eliminându-se influențele metodei asupra variației parametrilor statistici, pentru a permite evidențierea unei legături funcționale între acești parametri și caracteristicile de construcție și exploatare a cablului. Extinzând acest studiu se vor putea stabili valori medii ale scăderii forței de rupere și a numărului de îndoiri alternante până la rupere, în condiții normale de exploatare a cablurilor, pentru a avea la dispoziție un criteriu în compararea condițiilor de exploatare și de întreținere a cablului, între două controale periodice.

## 1.1 CONSIDERAȚII PRIVIND REZISTENȚA LA TEMPERATURI NEGATIVE A SĂRMELOR DIN CABLURILE DE TRACȚIUNE

1.1.1 Introducere: Caracterizarea unui cablu de tracțiune din punct de vedere al comportării sale se face pe baza încercărilor după STAS 2172—76 care permite fie încercarea la tracțiune a epruvetei de cablu până la rupere, fie încercarea fir cu fir din care se deduce, prin însumare, forța de rupere a cablului.

În ultimii ani, cu extinderea utilizării cablurilor de tracțiune la temperaturi negative s-au formulat întrebări cu privire la fiabilitatea lor în asemenea condiții de lucru. Încercarea cea mai concludentă asupra cablurilor pentru a răspunde la această problemă este încercarea la oboseală pe mașini speciale, adaptate însă medii ambiante cu temperatură scăzută, asigurată de instalații frigorifice, foarte costisitoare.

### 1.1.2 Orientări noi în studiile caracteristicilor mecanice la TEMPERATURI NEGATIVE

Literatura de specialitate este săracă în rezultate asupra comportării oțelurilor carbon, la temperatură negativă, cu excepția rezilienței, caracteristică cu care se definește temperatura de tranziție a oțelurilor. Totuși se fac unele reflecții (STROH, A.N., *Avances in Physics* 1957, COTTRELL, A.H., *Trans. Am. Inst. Min. Engrs* 1958, PETCH, N.I., *Phil. Mag.* 1958) asupra modificărilor de rezistență și de deformabilitate pe care le suferă oțelul carbon în cazul temperaturi negative

În lucrarea 14 se dau unele rezultate cu privire la această problemă care se reproduc mai jos.



## Relația lui PETCH

$$\sigma_0 = \sigma_m + k_0 d^{\frac{-1}{2}}$$

Unde :  $\sigma_0$  -este limita de elasticitate a monocristalului

$\sigma_m$  - limita de elasticitate la  $d=0$

$d$  - mărimea grăunțului

$k_0$  -o constantă funcție de proprietățile elastice ale metalului a fost examinată și din punct de vedere al variației temperaturii. S-a constatat că termenul  $\sigma_m$  este sensibil afectat de temperatura în special la temperaturi sub  $\pm 20^\circ\text{C}$ . Ca urmare rolul articulațiilor intergranulare trebuie caracterizată prin variația lui  $k_0$ , dar rezultatele încercărilor efectuate la temperatură joasă nu sunt concludente. Se constată în literatura de specialitate că la determinarea factorului  $k_0$  la temperatura de  $-196^\circ\text{C}$  s-au obținut, la aceeași calitate de oțel, următoarele valori: 9,2 după I.R.LAW (ASM 1954, p.163); 5,1 după J.FRIEDEL Fracture, 1959); 3,75 după N.F.MOTT (Engineer Lond. 1948,165) operând asupra aceluiași material, ORVEN, COHEN și AVERBACH au observat o descreștere a lui  $k_0$  între  $-196^\circ\text{C}$  și temperatura mediului ambiant, în timp ce KOPINSKI, BACKOFEN și KOPODIA au găsit că constanta  $k_0$  nu depinde de temperatură.

Concluzia lui B.Jaoul în lucrarea este că aceste divergențe între rezultatele obținute, se datoresc efectului impurităților încercărilor sus amintite fiind făcute pe oțel industrial și nu pe metale pure.

O concluzie similară poate fi trasă din figura 1 în care s-au reprezentat rezistența la rupere și alungirea pentru un oțel moale. Curbele centralizează datele înal multor cercetări, punctele experimentale fiind

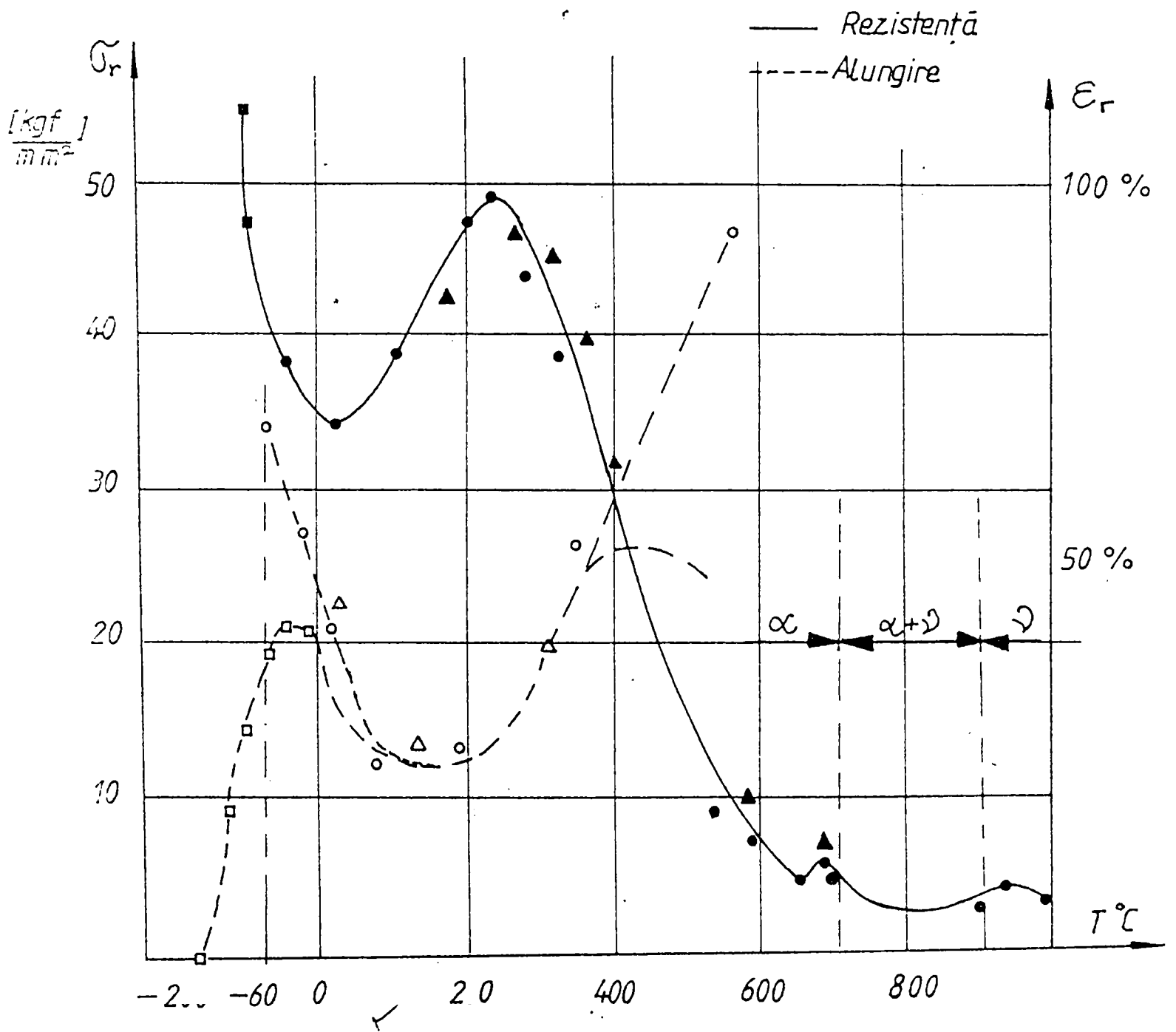


Fig.1.1.1

Variația rezistenței la rupere și a alungirii la rupere cu temperatura (oțel moale)

marcate cu semne diferite. Se constată că la temperaturi joase (negative) rezistența la rupere crește cu scăderea temperaturii în timp ce alungirea are o variație diferită de la autor la autor, curba întreruptă (alungirea) în zona temperaturilor negative reprezentând, după unii autori o scădere iar după alții o tendință de creștere a alungirii specifice  $\delta_r$  (la rupere). Curbele din fig.1 se referă la un oțel moale sărac în carbon și deci nu poate fi vorba de o transpunere a rezultatelor la cazul sârmelor înecae. Este însă o referință găsită cu privire la modificarea proprietăților mecanice ale oțelurilor carbon la temperaturi joase.

Cum  $\sigma_r$  reflectă proprietățile de deformare plastică se poate presupune că numărul de îndoiri alternante ( $N_0$ ) și numărul de rotiri (NT) până la rupere sunt proporționale cu  $\sigma_r$ . Ca urmare este de așteptat că atât rezistența la rupere a sârmelor ( $\sigma_r$ ) să crească la temperaturi negative cât și ( $N_r$  și  $N_t$ ) să varieze foarte puțin cu schimbarea temperaturii de încercare de la  $+20^\circ\text{C}$  la  $-60^\circ\text{C}$ , așa cum rezultă din fig.1 și pentru  $\sigma_r$ .

Figura 1.1

Figura 1.2

Figura 5.2 se prezintă comportarea fierului ARMCO la temperaturi joase pe baza unor încercări efectuate de GRUSCHKA. Rezultă variația unor caracteristici de rezistență (rezistența la rupere, alungirea la rupere) în funcție de temperatura de încercare, care variază de la  $+20^\circ\text{C}$  la aproape de  $-200^\circ\text{C}$ .

Se poate constata o creștere continuă a rezistenței la rupere și a celor două limite de curgere (cea superioară și cea inferioară) cu scăderea temperaturii.

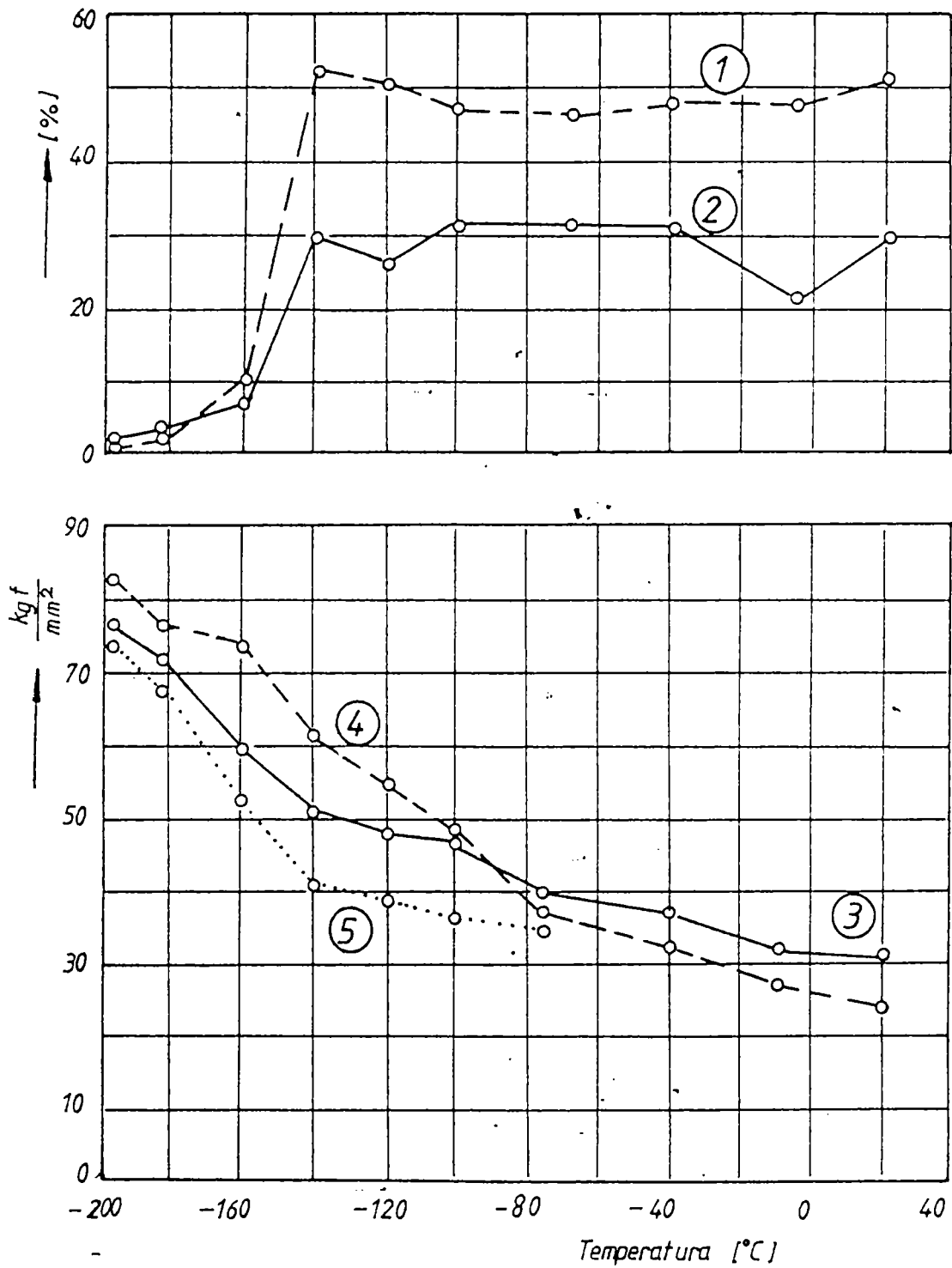


Fig. 1.1.2

Pentru fier Armco

1 gâtuirea la rupere

2 alungirea la rupere

3 rezistența la rupere

4 limita de curgere superioară

5 limita de curgere inferioară

43

În ceea ce privește caracteristicile de deformație se constată că valoarea lor rămâne aproximativ constantă cu scăderea temperaturii până la  $-140^{\circ}\text{C}$ . Micșorându-se temperatura în continuare se observă o micșorare pronunțată a acestor caracteristici, care în vecinătatea temperaturii  $-200^{\circ}$  ajung aproape de 0%.

Și aceste rezultate trebuie privite cu rezerva întrucât materialul sârmelor din oțel nu are aceeași compoziție ca și fierul Armco.

1.1.3. Metodica încercărilor efectuate: Într-o primă etapă la rezolvarea problemei comportării cablurilor la temperaturi negative ( $-60^{\circ}\text{C}$ ) s-a considerat necesară studierea comportării sârmelor din oțel la această temperatură.

În felul acesta se câștigă o experiență pentru încercarea cablurilor după metoda "fir cu fir" care poate înlocui, conform STAS 2172-74

încercarea cablului întreg.

Pentru a trage concluzii finale asupra fiabilității cablurilor de tracțiune la temperatura negativă este absolut indispensabilă oboseală într-o atmosferă având temperatura negativă, de aceeași mărime cu temperatura din exploatare, modelându-se în acest fel regimul de lucru al cablului din exploatare..

Sârmele folosite în fabricarea cablurilor de tracțiune sunt în general trefilate dintr-un oțel cu conținut de carbon până la 1,4 %. Utilizarea lor se bazează pe proprietatea de creștere a rezistenței mecanice și a păstrării unui grad mare de plasticitate prin patentare și trefilare. Marca oțelurilor folosite în acest scop este: OL50; OL60 ;sau OLC 35 ; OLC 45 .

În cazul utilizării cablurilor din sârmă de oțel la temperaturi normale reglementarea rezistenței se face conform standardelor de produs.

Sârmele din cablu de tracțiune sunt solicitate la tracțiune, încovoiere, torsiune la care se mai adaugă importante nivele de solicitare prin compresiune de contact liniar sau punctiform, după cum cablarea este în paralel sau în cruce. Deci pentru a caracteriza comportarea sârmelor componente ale cablurilor din punct de vedere al rezistenței și a proprietăților plastice este necesară ridicarea unei caracteristici convenționale. O asemenea operație este foarte dificilă dacă se ține seama că, în cazul lucrării, toată operațiunea ar trebui făcută la  $-60^{\circ}$ .

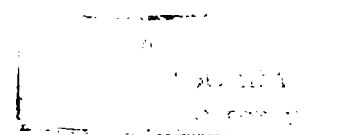
Dealtfel încercările de recepție prevăd probe de tracțiune pînă la rupere, îndoire alternantă și torsiune pînă la rupere pentru sârmele folosite în construcția cablurilor.

Nu există o reglementare prin standarde cu privire la încercarea la tracțiune a sârmelor la temperaturi joase. Ca urmare, determinările făcute în această lucrare au respectat STAS 6951-69 (Încercarea la tracțiune a sârmelor) și STAS 200—75 (Încercarea la tracțiune), privind condițiile generale ale încercării. De remarcat că STAS 6951-69 se referă la sârme cu diametrul nominal pînă 5 mm.

Cu privire la tehnica de încercare la temperaturi negative s-au luat în considerare indicațiile din STAS 6834-66 (Încercarea la tracțiune la temperaturi scăzute) în special cele privind amestecul frigorific, măsurarea temperaturii și timpul menținere.

Aceeași remarcă cu privire la încercarea la îndoire alternantă a sârmelor din oțel. Din lipsa unui normativ cu privire la această încercare la temperaturi negative s-au utilizat indicațiile STAS 1177—74 (Încercarea la îndoire alternantă a sârmelor din oțel) și STAS 6834-66. La fel s-a procedat și pentru încercarea la răsucire a sârmelor, luându-se în considerare STAS 1750-72 (Încercarea la răsucire a sârmelor br) și STAS 6834—66.

45



#### 1.1.4. Rezultata obținută. Comentarii și observații.

Sârmele folosite în examinarea comportării bor la temperaturi negative au fost extrase din semifabricate, utilizate în mod curent la fabricarea cablurilor, fără o examinare macroscopică, microscopică sau alte criterii de selecție, urmărindu-se o caracterizare a producției curente de sârme, destinată fabricării cablurilor de tracțiune. Singurul criteriu de acceptare al sârmelor a fost rezistența minimă de  $1600 \text{ N/mm}^2$  ( $\sigma_r = 180 \text{ daN/mm}^2$ ). Încercările s-au efectuat la temperaturile  $\pm 20^\circ\text{C}$ ,  $-20^\circ$  și  $-60^\circ\text{C}$ .

Din urmărirea rezultatelor obținute, cuprinse în diagrame se desprind următoarele:

a) Din încercarea la tracțiune (fig. 1.1) rezultă o creștere a rezistenței la tracțiune odată cu scăderea temperaturii până la  $-60^\circ\text{C}$ . Raportând această creștere la rezistența la rupere determinată la  $+20^\circ\text{C}$  (temperatura mediului ambiant) se constată cea mai mare creștere la sârmele de 1,1 mm (10,9%) iar cele mai mici creșteri la sârmele de 2 mm și 2,3 mm (3,7%).

Figura 1.1.3

Se constată deci că pentru cele nouă sortimente de sârme încercate s-au înregistrat creșterii ale rezistenței la rupere între 3,7...10,9% dacă se compară rezultatul încercărilor efectuate la  $+20^\circ\text{C}$  respectiv  $-60^\circ\text{C}$ .

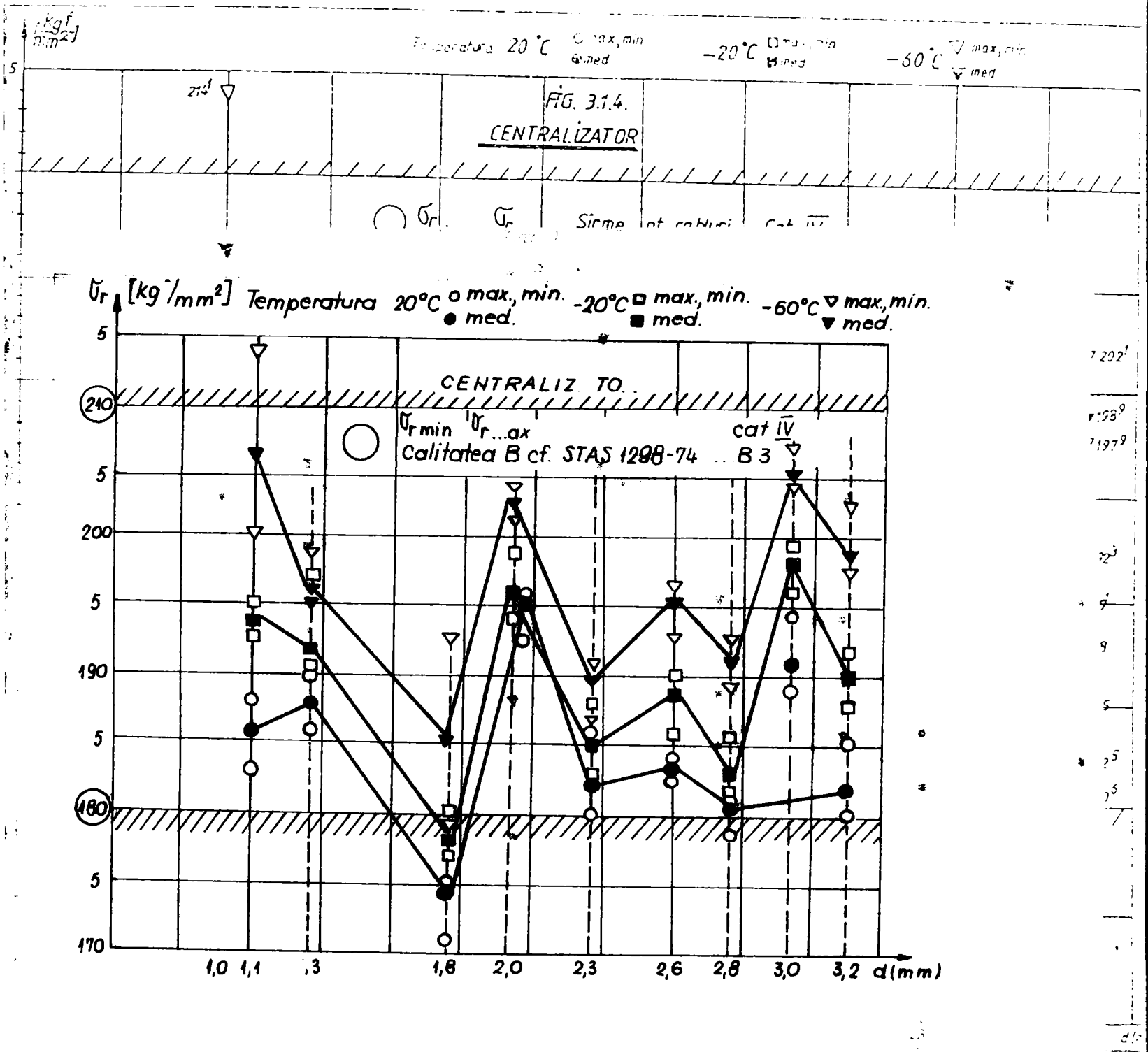


Fig.1.1.3

47



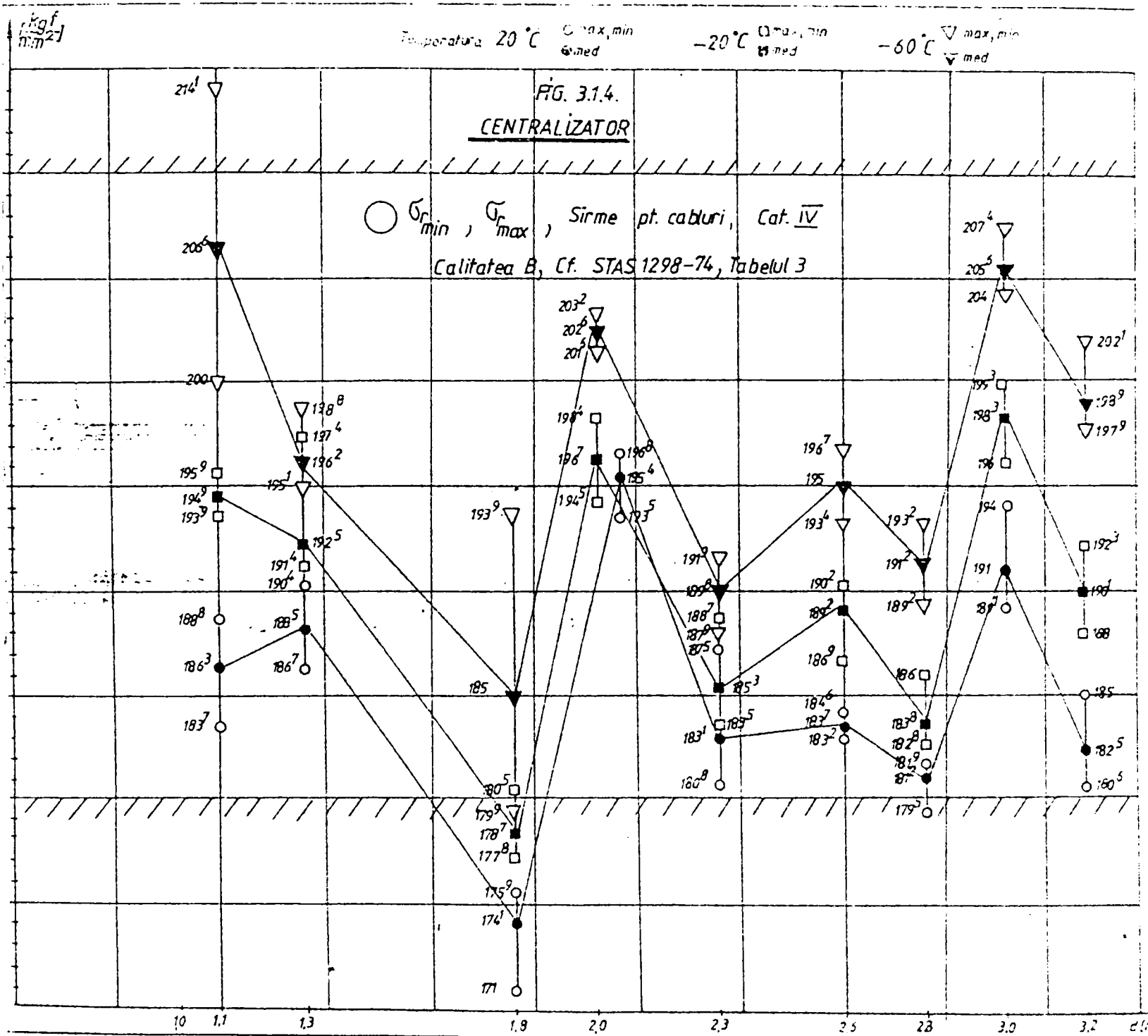


Fig.1.1.3

47

Se marcă o neomogenitate a sârmelor din punct de vedere, al rezistenței la rupere, valoarea medie a lui  $\sigma_r$ , fiind cuprinsă între 174.1 daN/mm<sup>2</sup> la sârma de diametru 1.8mm și 195.4 daN/mm<sup>2</sup> la sârma de 2 mm. Se consideră că dispersia rezultatelor încercării la tracțiune, pentru toate diametrele și temperaturile au fost satisfăcătoare, diferența dintre valoarea maximă și valoarea medie fiind de 4,6 %, înregistrată la sârmele 1,8mm și, temperatura de -60°C.

Sârma de 1,8 mm nu corespunde condițiilor STAS 1298-74.

b) Din încercarea la îndoire alternantă (fig. 1.1) rezultă că toate valorile obținute la temperatura 20<sup>0</sup> C, -20<sup>0</sup>C și -60<sup>0</sup>C corespund calitativ conform prevederilor standard, fiind mai mari decât numărul de îndoiri minim prescris (STAS 1298 -74) tabelul 1.1. Se pot menționa pentru temperatura -20<sup>0</sup> C, scăderi ale valorilor medii (Nb față de încercarea la 20<sup>0</sup>C, la diametrele 1,1 mm; 1,3 mm; 2,0 mm; 2,6 mm; 3,2 mm între 1,4 % (2,6 mm) și 17,9 % (3,2 mm), respectiv creșterile la celelalte diametre (1,8mm; 2,4 mm; 2,8mm și 3,0 mm) între 3,2% (1,8 mm) și 17,5 % (3,0 mm).

La temperatura de -60°C, de asemenea s-au înregistrat scăderi între 3,7 % (2,0 mm) și 13,2 % (3,2 mm) și 19,2% (3,2 mm) respectiv creșteri între 1,7% (3,0 mm) și 22,8 % (2,8 mm) a valorilor medii (Nb) față de încercările la temperatură de 20°C.

c) Din încercarea la răsucire (fig. 1.5) a sârmelor rezultă că s-au încadrat în prevederile standard privind numărul de răsuciri minim prescris (STAS 1298-74, tabelul 3) sârmele cu diametrele : 1,1 mm; 1,3 mm; 1,8mm; 2,0 mm; 2,3mm; 2,6mm și 3,2 mm..

Figura 1.1.4

Figura 1.1.5

FIG. 3.2.4.

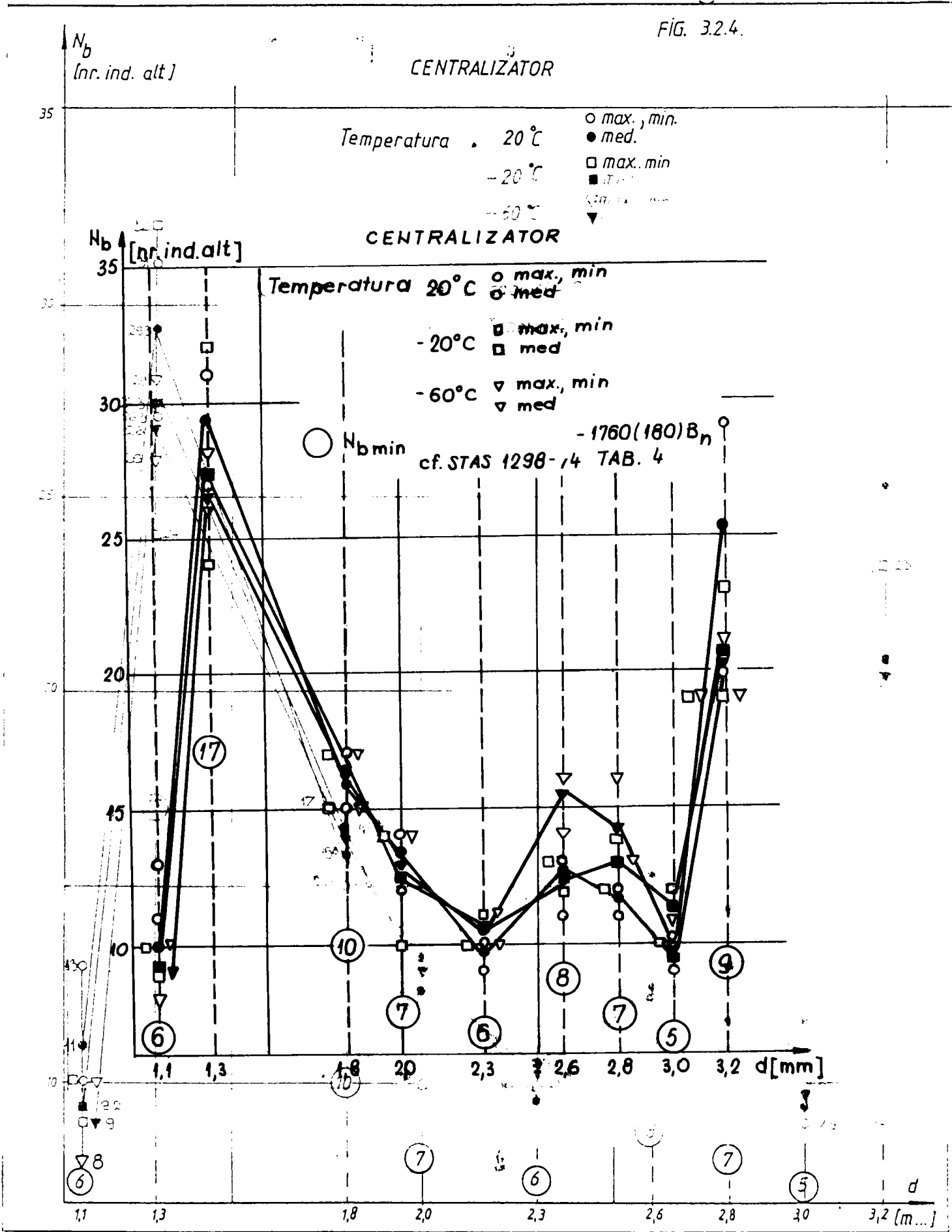


Fig. 1.14

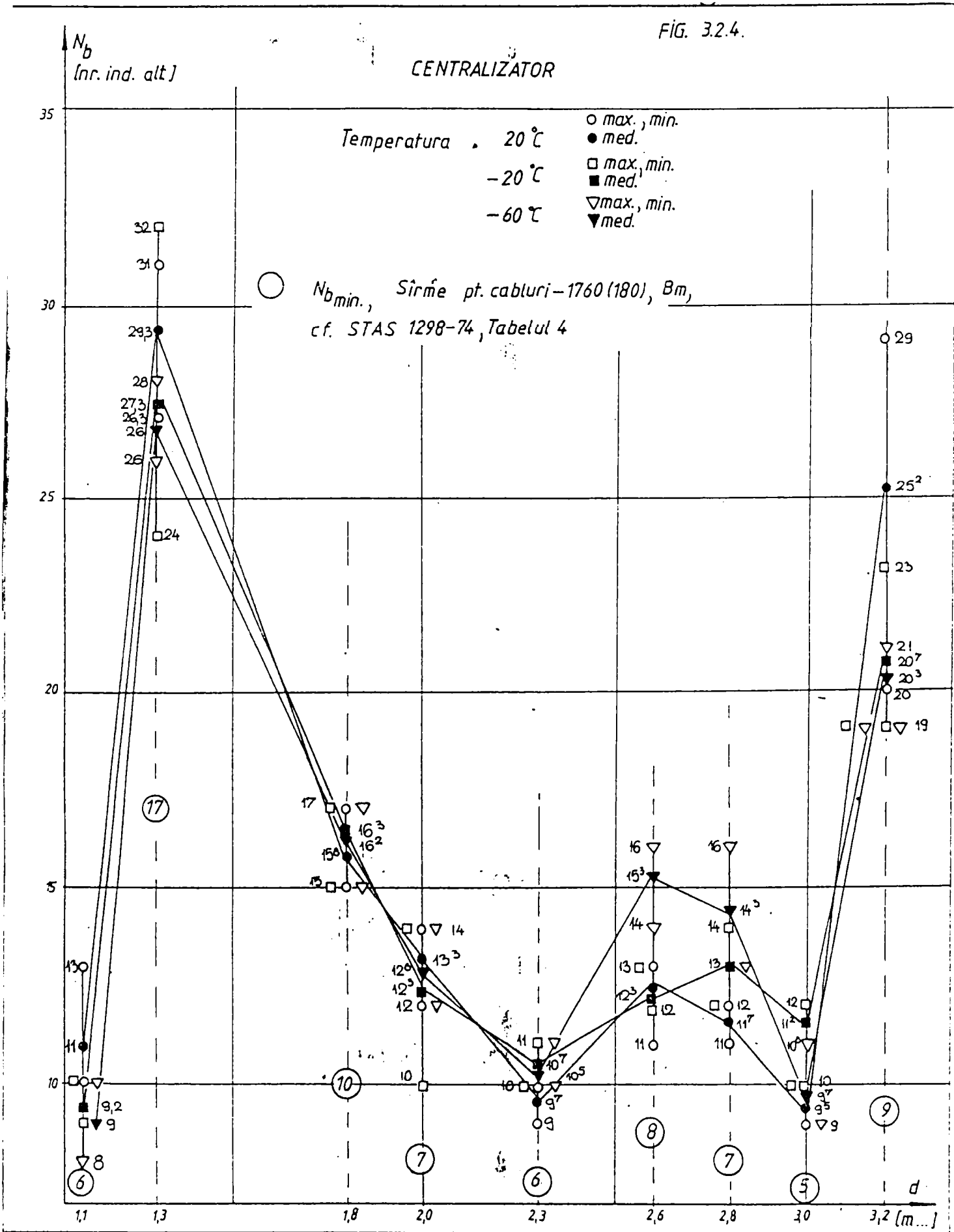


Fig. 1.14

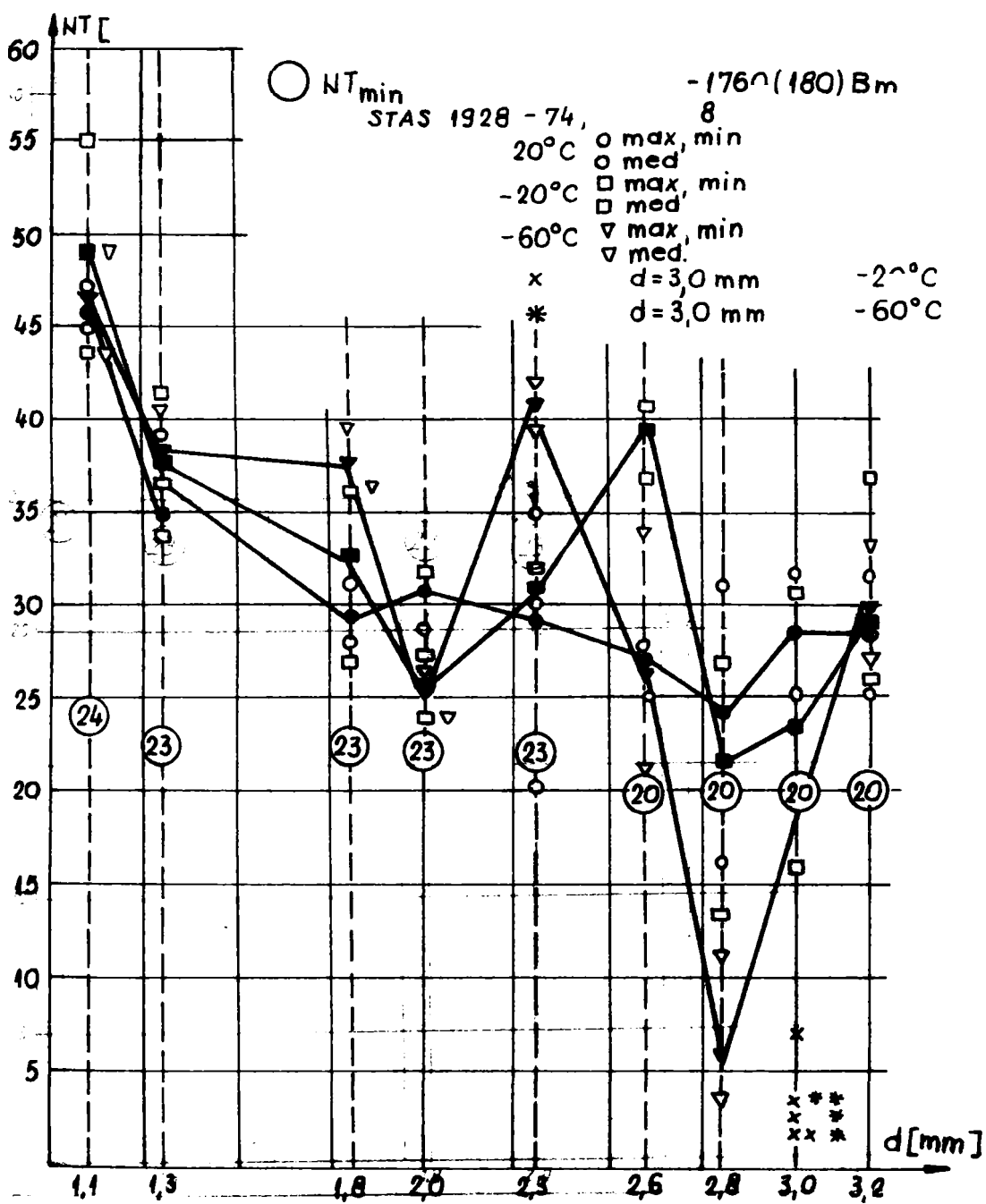


Fig. 1.1.5

30

FIG. 3.3.4.

CENTRALIZATOR

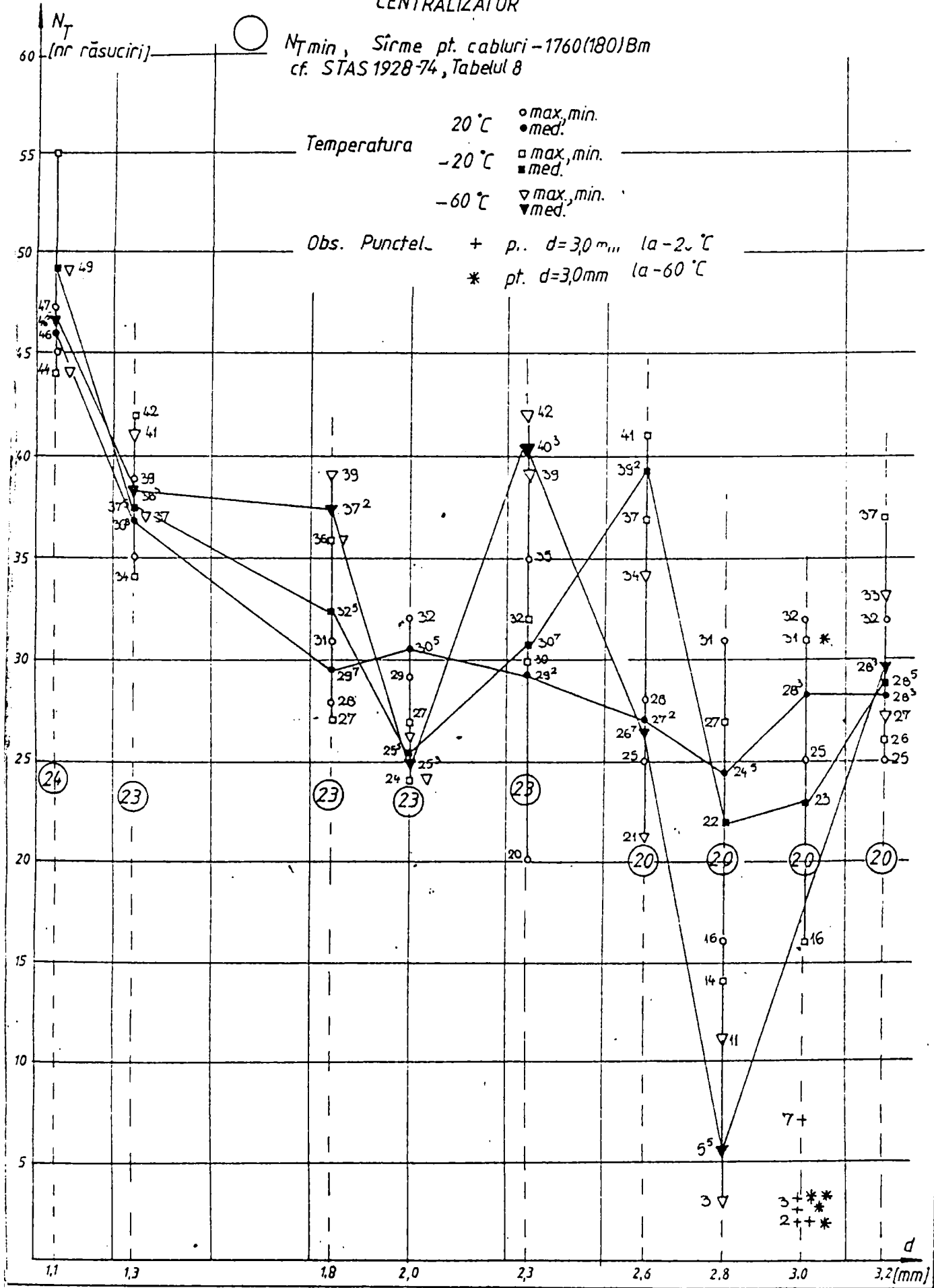


Fig .1.1.5

50

### 1.1.5 CONCLUZII

Având în vedere rezultatele obținute se apreciază că numai rezistența la rupere ( $\sigma_r$ ) a manifestat o tendință consecventă de creștere odată cu scăderea temperaturii. Numărul de răsuciri și îndoiri alternante prezintă neregularități în variație de scăderea temperaturii ( $-20. \dots 60^{\circ}\text{C}$ ).

Rezultatele încercărilor la temperaturi scăzute efectuate pe sârme, conform metodologiei expuse, permit să se presupună că cablurile de tracțiune realizate din sârme de aceeași calitate ca cele utilizate în încercările făcute au șansa de a putea fi utilizate la temperaturi negative, până la  $-60^{\circ}\text{C}$ . Încercarea la durabilitate în condițiile temperaturilor negative, pe o mașină specială este însă singurul criteriu pentru a stabili fiabilitatea cablurilor în exploatare la temperaturi negative.

## 1.2 CONSIDERATII PRIVIND INTERPRETAREA PARAMETRILOR STATISTICI LA ÎNCERCAREA CABLURILOR DIN OTEL FIR CU FIR

### 1.2.1 Introducere.

Cu toate că forța efectivă de rupere totală a unui cablu prezintă o serie de avantaje, pentru diametre mari ( $d \geq 30 \text{ mm}$ ), la forțe de rupere peste 1 N, încercările se efectuează prin ruperea fir cu fir. Pe lângă încercarea la rupere la tracțiune, pentru determinarea forței de rupere prin însumarea forțelor obținute la fiecare sârmă, s-au efectuat și încercările tehnologice la indoire alternantă și răsucire la rupere, pentru a obține informații utile în aprecierea comportării în ansamblu a cablului [5.1] [5.2] Rezultatele

obținute s-au interpretat statistic prin compararea cu caracteristicile de rezistență tehnologică standard, cu o probabilitate de  $P = 0.95$ , respectiv mai mare.

## 1.2 Incercări efectuate. Rezultate obținute.

Cablul studiat este un cablu mat, construcție combinată 3o—6x3, (6+12+12)-z/z, respectiv s/s, încercat fir cu fir, pentru care s-au determinat caracteristicile, dimensionale, de rezistență și tehnologică pe sârme ( $d$ —diametrul;  $F_r$  forța de rupere; rezistența la rupere,  $N_b$  numărul de îndoiri alternante la rupere,  $N_r$  -numărul de răsuciri la rupere) 5.3 .

Parametri statistici calculați pentru 36 respectiv 72 și 72 sârme au fost: valoarea medie aritmetică, abaterea medie pătratică  $w$  - amplitudinea,  $c_v$  -coeficientul de variație (Fig.1.2.1; Tabele 1.2.1).

Figura 1.2.

Tabelele 1.2.1

În vederea depistării influențelor negative, din procesul tehnologic de fabricație, s-au construit diagramele de control, pentru valorile, medii și amplitudinea caracteristicilor determinate [1.4] [1.5]. Diagramele de control  $\bar{x}$  respectiv (Fig.1.2.2; Fig.1.2.3) sunt trasate în raport cu liniile centrale și limitele de control superioare și inferioare, rezultatele obținute ale caracteristicilor analizate rezultând centrarea și precizia valorilor, care evidențiază omogenitatea sârmelor componente în toron și în cablu.

Figura 1.2.2

Figura 1.2.3



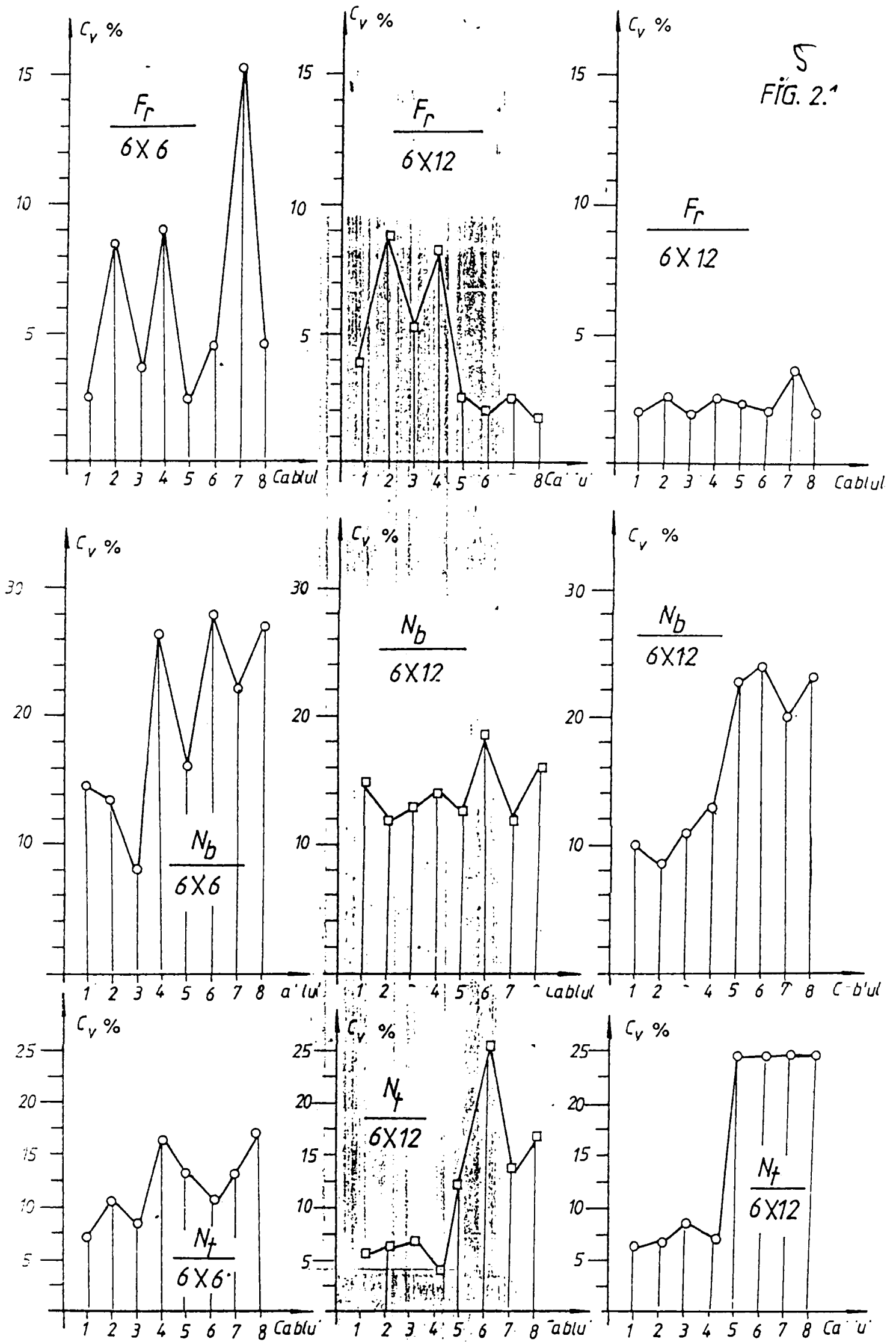


Fig.1.2.1

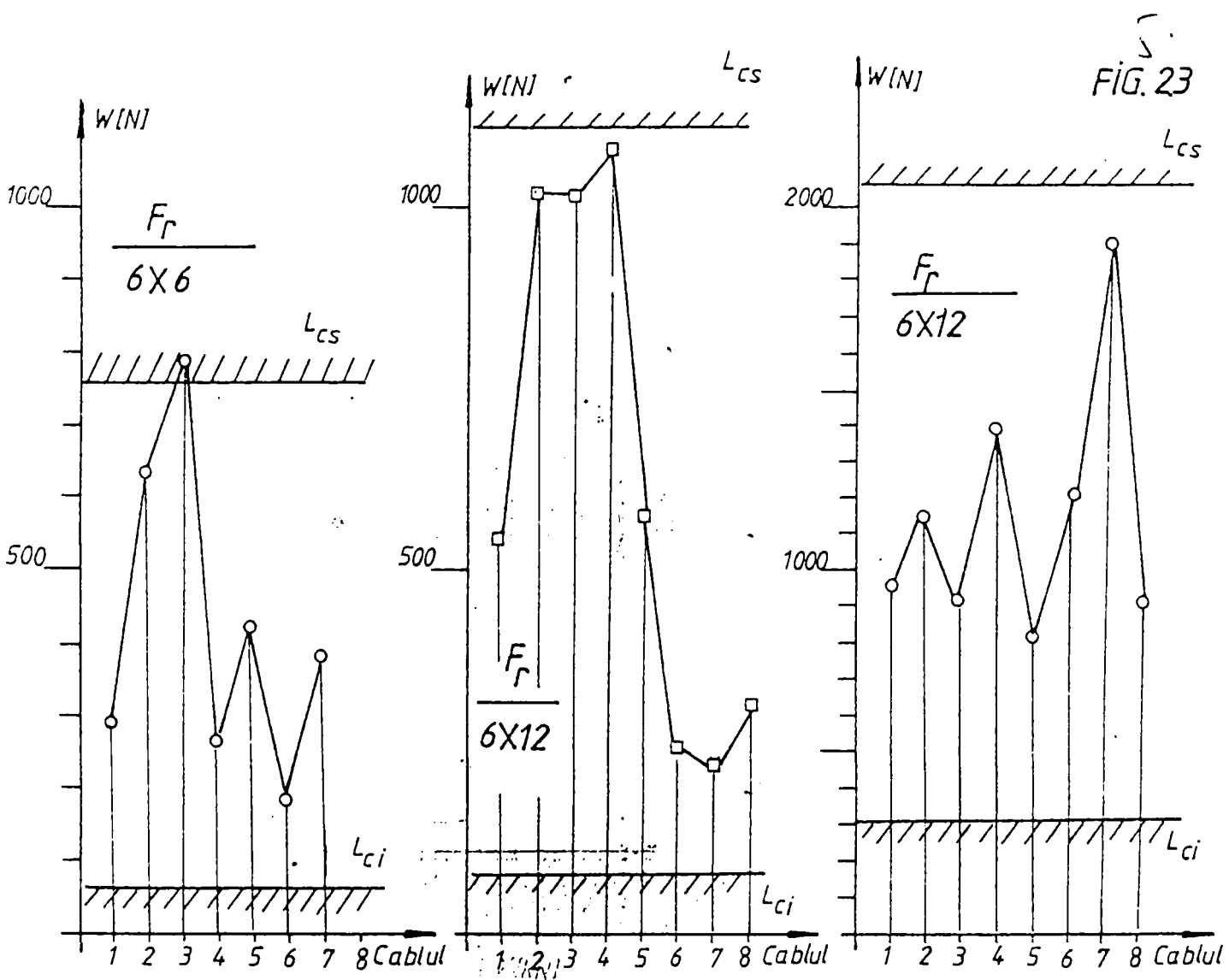
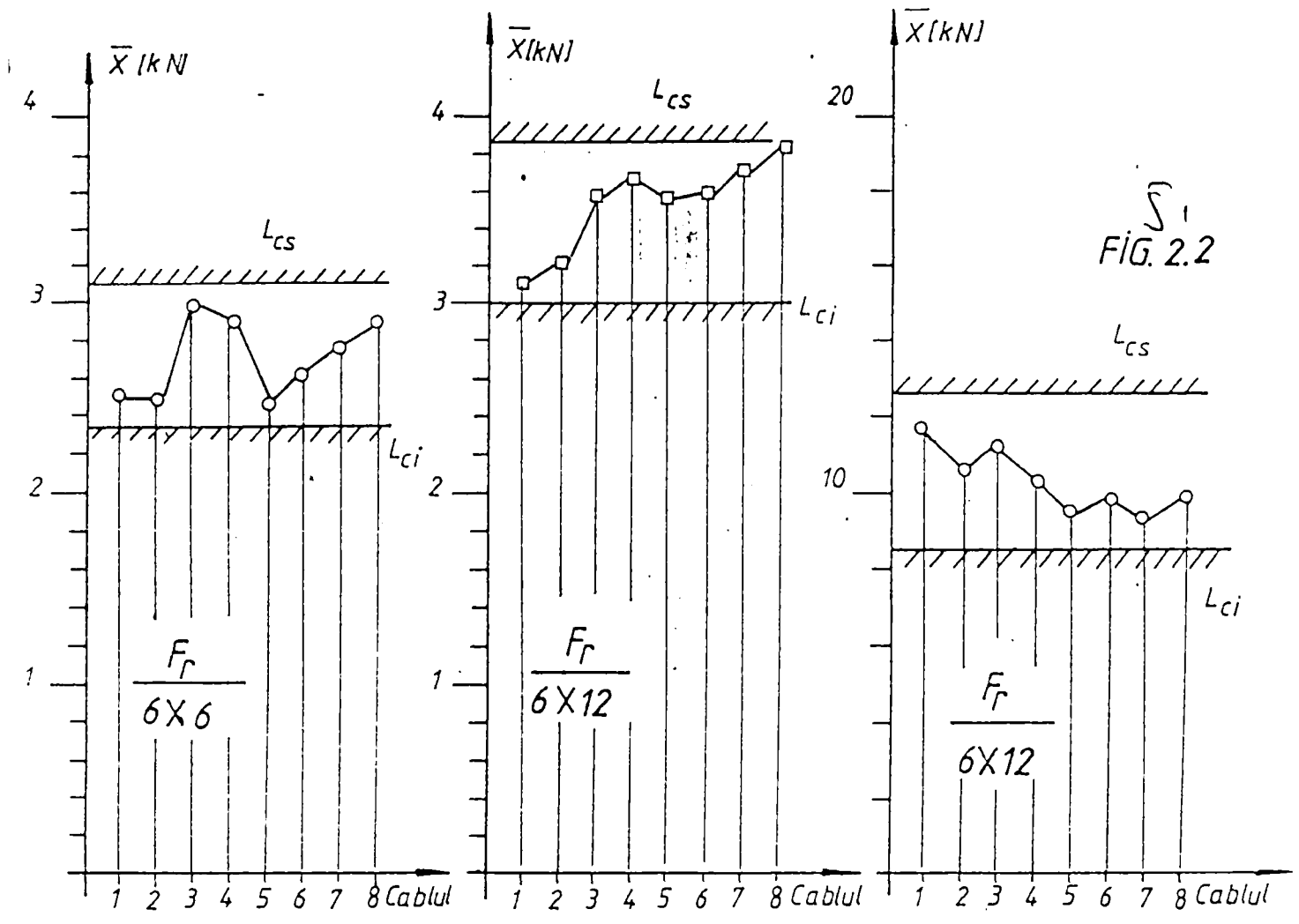


Fig.1.2.2

54

Pentru caracteristicile menționate s-au determinat valorile standard (cu o probabilitate  $P=0,95$ ) și deasemenea pentru probabilități de 97%, respectiv 99%. În figura 1.2.4 este reprezentată caracteristica  $F_r$ , forța de rupere.

Fig.1.2.4

### 1.2.3. Coeficientul de siguranță

Pentru a defini statistic mărimea coeficientului de siguranță pentru cablurile de tracțiune [5.7][5.8], prin valorile medii ale coeficienților de siguranță ale sârmelor s-a utilizat relația

$$c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad 1.1$$

în care:  $n$  - numărul de sârme

$c_i$  - coeficienții de siguranță pentru sârme care rezultă din coeficienții de siguranță cu probabilități de 95 %, 97 %, și 99 % (Fig.1.5)

Fig.1.5

Coeficientul de siguranță cu probabilitatea  $P$  se determină cu relația

$$c_{(P)} = \bar{c} - Z(P) \cdot s \quad 1.2$$

în care  $\bar{c}$  - coeficientul de siguranță mediu

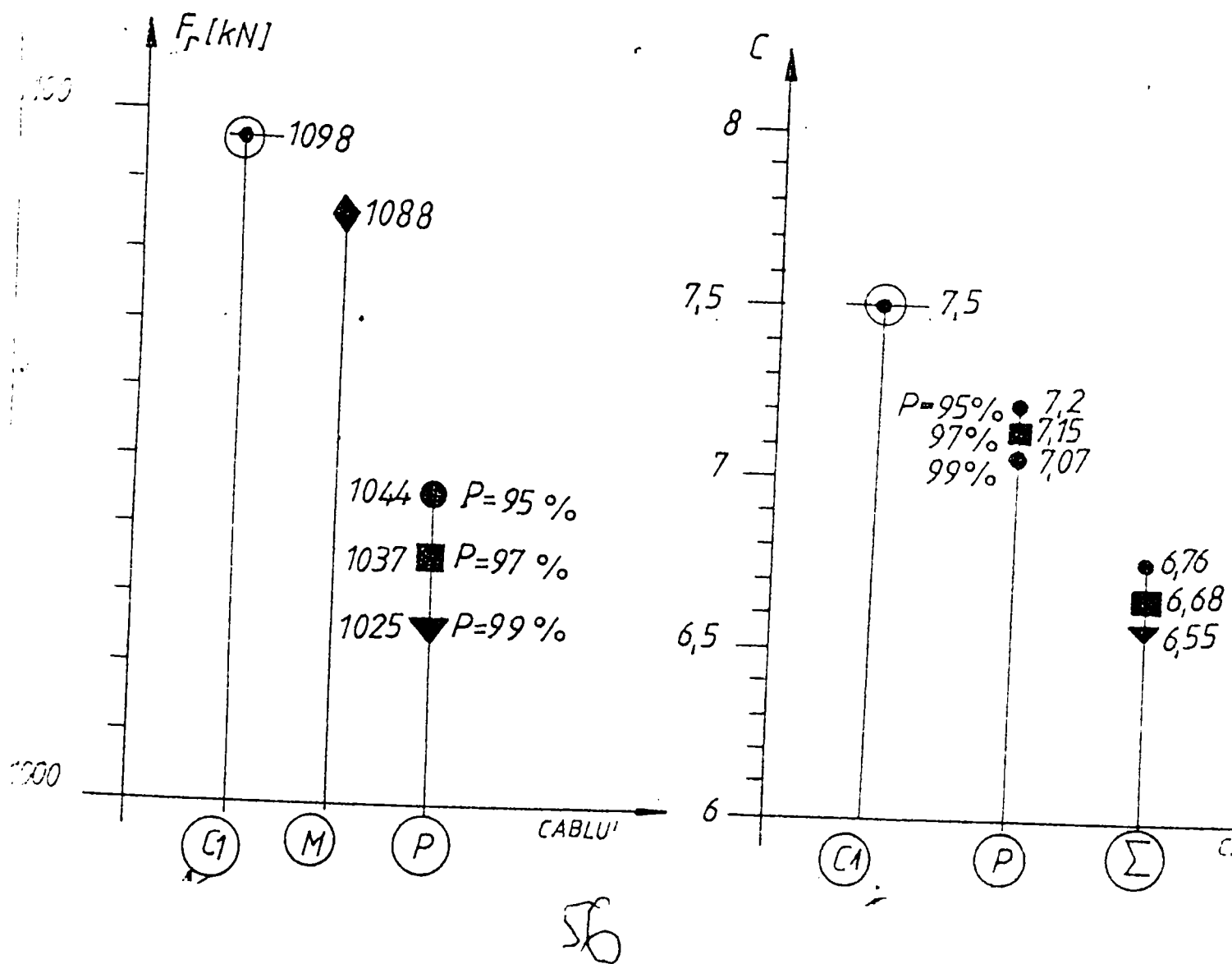
$Z(P)$  - valoarea funcției pentru un nivel de certitudine

$s$  - abaterea medie pătratică a încercării

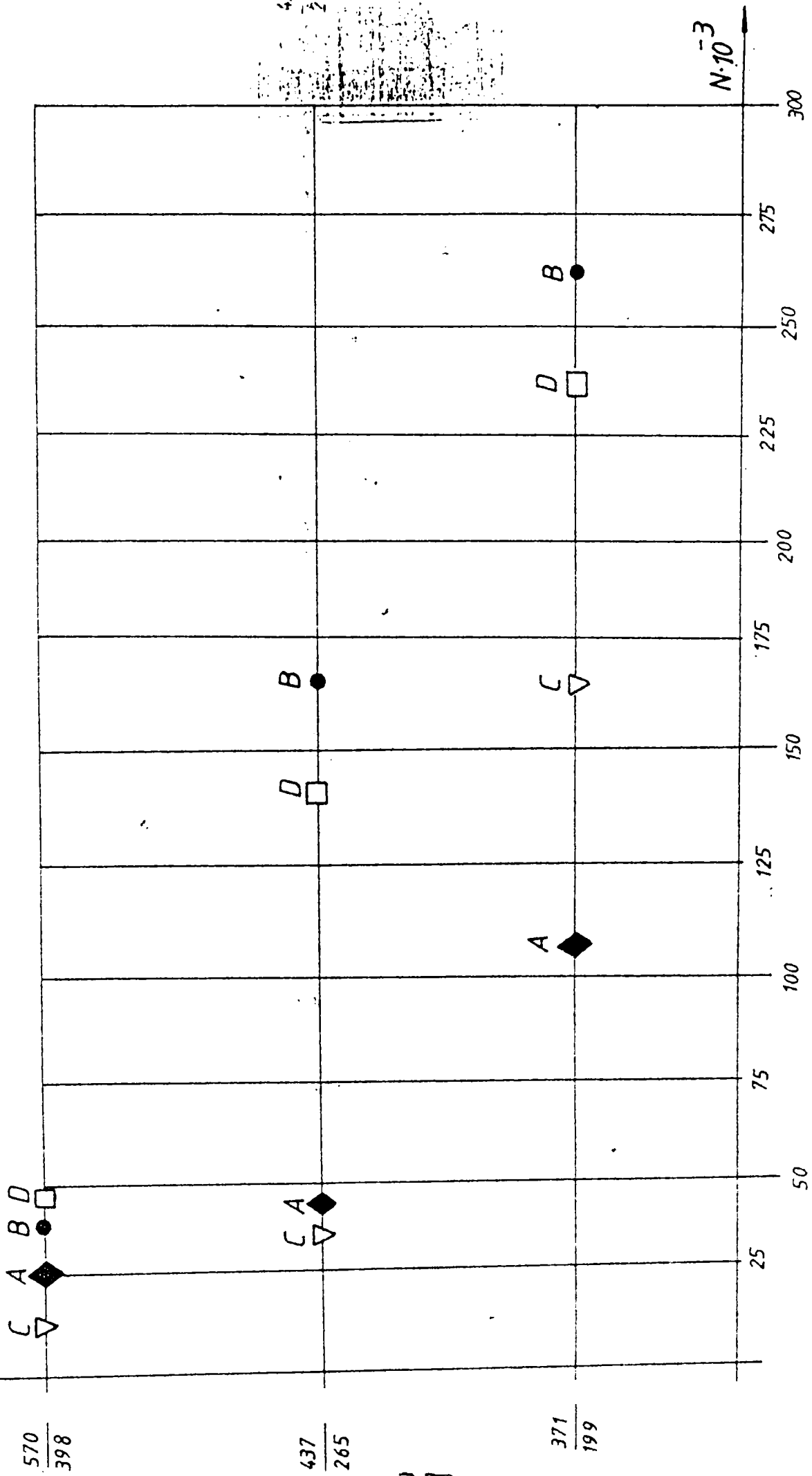
## 1.2.4 Observații finale și concluzii

Din rezultatele statistice obținute prin încercările efectuate se pot prezenta următoarele:

- în ceea ce privește valorile mari ale coeficienților de variație acestea apar la încercările de îndoire alternantă la rupere, valorile standard
- sunt sub valorile admise în proporție de 75 %;
- coeficienții de siguranță determinați prin probabilitate impusă asigură siguranța în exploatare a cablului;
- diagramele de control indică omogenitatea caracteristicilor pentru sârmele componente ale cablurilor

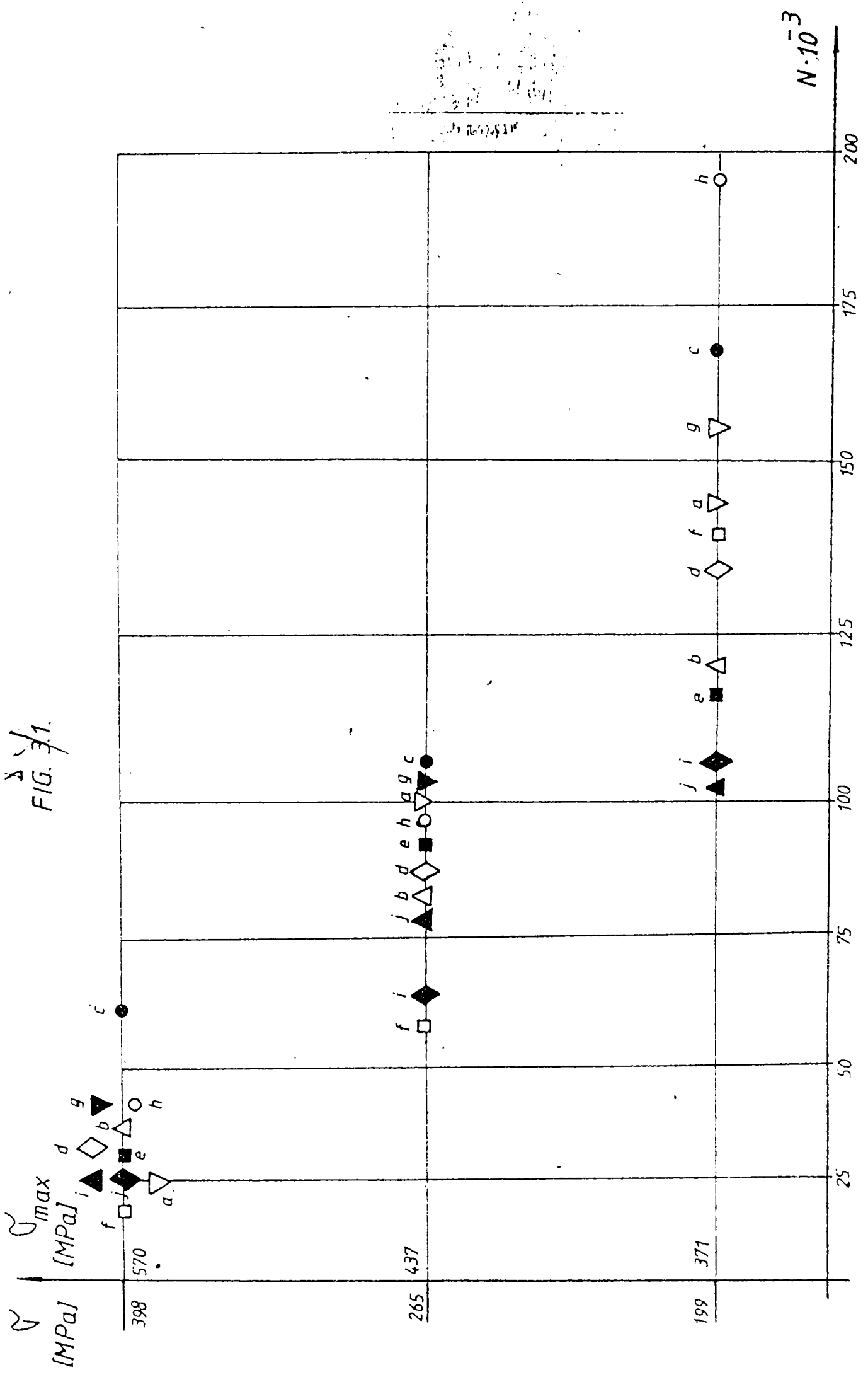


$\sqrt{\frac{U_{max}}{U}}$  (MPa)  
 FIG. 3.3



57

FIG. 3/1.



52

## Capitolul 2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL DURABILITĂȚII CABLURILOR ȘI A REZISTENȚEI ÎN EXPLOATARE

### 2.1 GENERALITĂȚI

Stadiul actual , mereu cercetat, pentru a putea desfășura o activitate utilă, pentru a putea continua, pentru a aduce contribuții prin studiile întreprinse revine în

primul rând realizării și cunoașterii literaturii de specialitate în domeniu ( OIPEEC – Bibliographie Revien of O.I.P.E.E.C. Technical Publications 1963 – 1995 ).

Rezultă că în principal s-au preluat cercetările cu realizări și perspectiv după Newark [ [ N. 1 ] ( 1952 ) , Basnnaire ( 1956 ) , De Solla Price ( 1971 ) apoi în cadrul OIPEEC după Arnold [ A. 1 ] , Chaplin [ C. 4 ] , Clement [ C. 13 ] , De Sefano [ D. 1 ] , Fararoggiana [ F. 1 ] , Feyer [ F. 2 ] , Godono [ G. 2 ] , Haukus [ H. 3 ] , Kopanakis [ K. 3 ] , Marader [ M. 5 ] , Natale [ N. 4 ] , Oplatka [ O. 3 ] , Ridge [ R. 1 ] , Rossetti [ R. 3 ] , Rotti [ R. 5 ] , Verret [ V. 1 ] , Wiek [ W. 1 ] , Zimmermann [ Z. 1 ] .

### 2.2 DIRECȚII DE CERCETARE

Astfel sunt cercetate în prezent și clasificate la zi 28 de domenii și anume:

1. Încercarea la durabilitate prin încovoiere, unde se remarcă schema de unificare

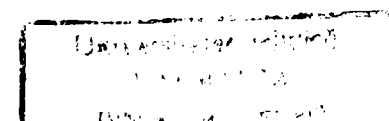
a încercărilor și programe de încercare la oboseală cu chestionare difuzate obținând răspunsuri și păreri la diverse aspecte puse în discuție.

2. Încercarea la durabilitate prin tracțiune, unde se pun probleme de determinarea deformațiilor, module de elasticitate, predicții, criterii de degradare, încercări dinamice prin șoc, influența variației tensiunilor, încercări prin încovoiere și tracțiune, durabilitatea cablurilor utilizate în instalații marine.

3. Mecanisme de solicitări compuse, în care se cercetează oboseală la încovoiere cu tracțiune, influența oscilațiilor de tensiune, variația periodică a încărcării cablurilor.

4. Cumularea degradării, blocuri de încărcare, criteriul miner, prin care s-au inițiat programe de încercare, spectre de încărcare, metode de

61





calcul, noi metode bazate pe cumularea degradărilor, chestionare cu răspunsuri, replici, păreri, propuneri și studii experimentale.

5. Caracteristicile la torsiune ale cablurilor, unde se estimează relații relațiile între momentul de torsiune și forțe de tracțiune în cabluri, studii experimentale, modelări, rigiditatea la torsiune și durabilitatea .

6.

7. 6. Rigiditatea cablurilor, deosebit de utilă pentru diferite soluții constructive de cabluri, relația între rigiditatea sârmei și cablului, analiza tensiunilor și deformațiilor la încovoiere, tensiunea la încovoiere, curbura cablului și rigiditatea la încovoiere

7. Efectul ruperii sârmelor, criterii de apreciere , influența ruperilor siguranței, numărul de sârme rupte pe secțiune și unitatea delungime, distribuția sârmelor rupte în cablu, încercări la oboseală , mecanisme de rupere a sârmelor, criterii suplimentare pentru cabluri miniere.

8. Analiza experimentală a tensiunilor care studiază în diferite condiții starea de tensiune deosebit de complicată ( complexă ) pornind de la eforturi . dependența lor de construcția cablului, influența asupra ruperii sârmelor, distribuția tensiunilor de contact, posibilități de exprimare prin tensometrie electrică și aspecte de influență asupra durabilității .

9. Capete de cabluri, fixare a cablurilor și efecte ale fixării, care pune în evidență ochiurile, ochetii, dispozitive de prindere prin pene și alte soluții cu influența lor asupra ruperii cablului și durabilității.

10. Interpretarea rezultatelor experimentale, care începând cu compararea rezultatelor, comentarea lor, stabilirea influenței raportului  $D/d$ , analiza statistică a programului OIPEEC numit COMMA 2 și compararea cu COMMA 1, observații, propuneri, formule, analize și noi metode de calcul.

11. Metode de predicția durabilității, începând cu propuneri, metode noi de interceptare, metode nedistructive, chestionare, răspunsuri, păreri, cumularea degradărilor, criterii de siguranță, corelații, efectul rigidității, formule echivalente.

12. Mecanisme de degradare care conține studii de oboseală și durată de viață, ruperi și deteriorări, fisurillor și propagarea lor. probleme specifice cablurilor.

13. Tehnici de încercări nedistructive care prezintă studii, cercetări, metode electromagnetice, control, defectoscopie vibroacustică, efect , principii, posibilități, limite, emisii acustice

14. Criterii de siguranță care dezvoltă criterii de securitate, durată de viață, calcule bazate pe cumulara degradărilor, influența ruperilor de sârme componente, interpretări pe baza testelor nedistructive.

15. Analiza teoretică a tensiunilor prin metode de calcul, presiuni de contact, metode matematice, metode de determinarea alungirilor, metode cinematice, influența geometriei și a eforturilor din sârme.

16. Cercetări asupra sârmelor, încercări fir cu fir, încercare cu nod, programe de încercare, durabilitatea sârmelor, influența temperaturii negative, influența frecvenței și vibrațiilor, efectul zincării sârmelor.

17. Probleme metalurgice, elaborări de oțeluri pentru sârme, controlul variației caracteristicilor mecanice, investigații fotografice, studii experimentale de durabilitate pentru comparații.

18. Ungerea cablurilor, considerații asupra duratei de viață în funcție de ungere, diferite condiții de ungere, verificări experimentale.

19. Cabluri aeriene și cabluri de funiculare, prin durata de viață, necesitatea asupra cablurilor purtătoare, stecre de solicitare, ruperi, inspecții

cu concluzii și propuneri, interpretarea examinărilor cu raze gamma, corelații între predicția durabilității și rezistența în exploatare.

20. Cabluri pentru macarale și elevatoare, criterii de optimizare, teste magnetice, criterii de degradare, spectre de solicitare, predicția durabilității .

21. Cabluri mioniere prin siguranța cablurilor examinări electromagnetice, controale periodice, metode de calcul, utilizarea cablurilor de secțiune triunghiulară, metode noi pentru determinarea alungirii și modulului de elasticitate, criterii suplimentare de siguranță minieră.

22. Aplicații în utilizarea subacvatică, cabluri cu probleme specifice , degradarea în apele marine, programe de durabilitate prin tracțiune, criterii de siguranță, predicția durabilității.

23. Proiectarea cablurilor, proiectarea asistată pe calculator, cabluri de performență cu inimă metalică, posibilități tehnologice de execuție. studii teoretice și experimentale, geometria secțiunii transversale, concept de siguranță în ingineria construcțiilor civile.

65

24. Standarde, prevederi pentru siguranța utilizării, documente naționale și internaționale ISO / TC, durata de viață, măsuri de corelarea normelor, terminologie, recomandări, extinderea documentului ISO / TC 105 Nr. 75 prin prelucrarea prevederilor în standardele naționale, tendințe noi, precizarea principiilor factori de influență, utilizarea testelor electromagnetice, recomandări făcute de OIPEEC.

25. Echipamente, instalații de încercare prin raportul general al OIPEEC, studii asupra dinamicii încercărilor, scrisori, răspunsuri, chestionare, propuneri de unificare, mașini de referință REFMA, aplicarea normelor și condițiilor de încercare, adaptări, modernizări ale mașinilor existente.

26. Reviste de specialitate care prezintă studii și cercetări asupra cablurilor, menționarea lor în Buletinul OIPEEC prin rezumate, semnalarea conferințelor, simpozioanelor, seminariilor, colocviilor naționale și internaționale privind cablurile.

27. Colaborări și activități cu alte organizații, nominalizarea lor ( OIPEEC – OITAF ), participări la programe comune EN. COM. I, cu precizări, coordonări, rezultate, programe comune.

66

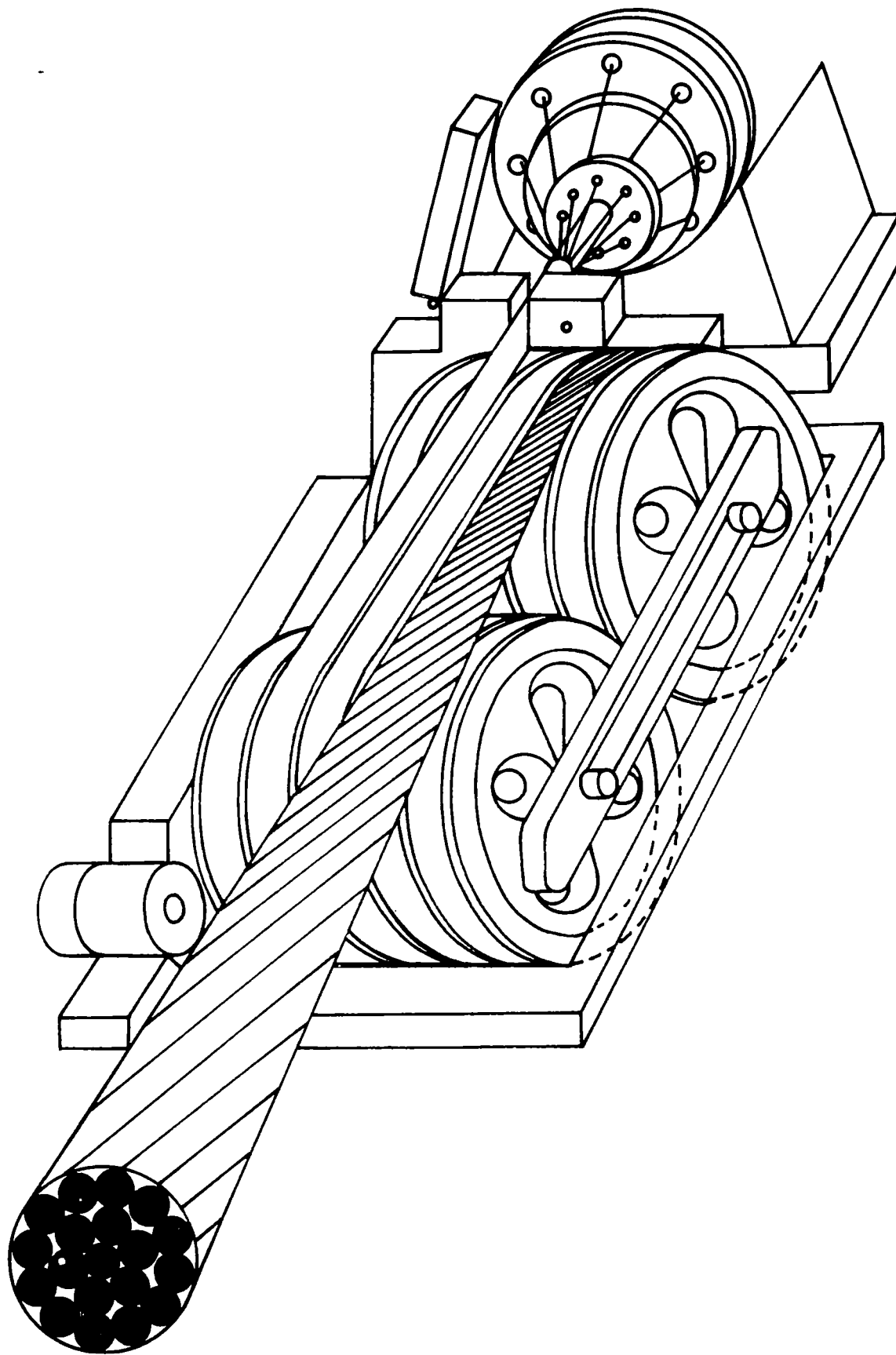
28. Miscellaneous, prezentări de documentații, adeziuni, reuniuni, rapoarte, activități viitoare, propuneri, laboratoare, experiențe acumulate, comentarii, schimburi de idei.

### 2.3. Concluzii

Iată deci o gamă largă de preocupări pe care în mod sistematic OIPEEC le-a înregistrat, le prelucrează și contribuie la aprofundarea studiilor, la găsirea răspunsurilor la numeroase întrebări, la analize și exerciții și asta prin patru teme în atenție și anume :

- Studii experimentale de durabilitate ;
- Metode de încercări la durabilitate ;
- Mecanisme de degradare ;
- Cabluri utilizate în ingineria civilă ( construcții )

Toate acestea cu toată complexitatea lor duc zi de zi , an de an la aplicarea practică industrială a rezultatelor obținute.



**Cap. 3 Studii teoretice privind relațiile analitice pentru calculul durabilității, criterii de degradare, durată de viață, simulări pe calculator.**

## Capitolul 3. STUDII TEORETICE PRIVIND RELAȚIILE ANALITICE PENTRU CALCULUL DURABILITĂȚII, CRITERII DE DEGRADARE ȘI DURATĂ DE VIAȚĂ

### 3.1 GENERALITĂȚI

De-a lungul studiilor privind durabilitatea cablurilor pe baza comportării mecanice în dimensiunea timp în paralel și succesiv au apărut o serie de relații analitice ( formule ) acceptate între anumite limite cu care se determină  $N$  ( numărul de cicluri până la rupere) și acestea sunt date în tabelul 3.1.



### Formula MACBOLD

$$N = a \left( \frac{D/d}{\sigma} \right) \quad (1)$$

$a$  - coeficient funcție de tipul  
cablului

$(D/d)$  - diam. rolă / cablu

$\sigma$  - tensiunea de întindere

### Formula CALDERALE

$$N = \frac{C}{\left(100 \frac{P}{R}\right)^n \cdot \left(100 \frac{d}{D}\right)^m} \quad (2)$$

$m, n, C$  - constante determ. experimen-  
tal

$P$  - forța de tracțiune în cablu

$R$  - forța teoretică de rupere

### Formula GIOVANNOZZI

$$N = \frac{C}{\sigma_t^n \left(100 \frac{d}{d+D}\right)^m} \quad (3)$$

$C, m, n$  - constante determ. experi-  
mental

$\sigma_t$  - tensiunea de tracțiune

$(d/d+D)$  - diametrul ~~cablu~~ / ~~cablu+rolă~~

### Formula ROSSETTI

$$N = \frac{C}{(\sigma_t + \sigma_f)^m} \quad (4)$$

$C, m$  - constante determ. experi-  
mental

$\sigma_t$  - tensiunea de tracțiune

$\sigma_f = E(\delta/D) \cos^2(\phi_1 \pm \phi_2)$

tensiunea de încovoiere

Formula DRUCKER & TACHAU

$$N = \frac{C}{\left(\frac{2TA}{RdD}\right)^m} \quad (5)$$

$C, m$  - constante determ. experimental

$T$  - forta axială

$R/A$  - rezistența la rupere

$d \cdot D$  - diametru cablu · rolă

Formula CASEY & WATERS

$$N = \left[\frac{L}{C}\right]^{-m} \quad (6)$$

$$L = L^{(m_2 - m_1)}$$

$$C^m = \frac{C_1^{m_1}}{C_2^{m_2}} \cdot \frac{1}{100}$$

$m_1, m_2, C_1, C_2$  - constante

$L$  - forta axială

Formula BOLEANTU & BABEU

$$X_{(P)} = \log K_{(P)} - m_{(P)} \cdot Y \quad (7)$$

$P$  - probabilitatea

$X_{(P)} = \log N_{(P)}$

$$\log K_{(D)} = X_{I(P)} + \frac{X_{II(P)} - X_{I(P)}}{Y_I - Y_{II}} Y_I$$

$$m_{(P)} = \frac{X_{II(P)} - X_{I(P)}}{Y_I - Y_{II}}$$

$$Y = \log \sigma_{\max}$$

Formula KOGAN

$$N = \beta \left(\frac{D}{d}\right)^2 \left(\frac{\sigma_r}{\sigma} - 2\right) \quad (8)$$

$\beta$  - coeficient

$\left(\frac{D}{d}\right)$  - diametru rolă / cablu

$\sigma_r$  - rezistența la rupere

$\sigma$  - tensiunea axială

## Formula MASLENNIKOV

$$N_{zo} = \frac{N_{zex}}{m_d \cdot m_k \cdot m_t \cdot m_{gr}} \quad (9)$$

$$N_{zex} = \frac{T_{an} \cdot t_h \cdot 2K_n \cdot i_p}{1000}$$

$m_d, m_k, m_t, m_{gr}$  - coeficienti dimensional, constructiv, de tipul mecanism, rezistența de rupere a cablului.

## Metoda diagramei de durabilitate

$$N = \frac{N_r}{N_{an}} \quad (10)$$

$N_r$  - numărul de cicluri pînă la rupere, în funcție de:  
 $c$  - coeficient de siguranță  
 $(\frac{D}{d})$  - diametru rolă/sîmă

$$N_{an} = N_{\frac{ind}{ciclu}} \times N_r \frac{cicl}{h} \times N_r \frac{h}{an}$$

## Formula TGL

$$T_s = n = \frac{H}{\bar{y}^c} \quad (11)$$

$$-\bar{y}^c = \sum_{j=1}^n y_j^c \cdot h_j$$

$$-y_1 = \frac{1}{\sigma_B} (\sigma_2 + \sigma_b + \sigma_d)$$

$$-y_j = \frac{1}{\sigma_B} \left( \gamma_2 \frac{F_j}{F_1} + \gamma_b + \sigma_d \cdot \frac{F_j}{F_1} \right)$$

$$-\sigma_t = 1,04 \frac{F_1}{A} ; \quad -\sigma_b = \frac{12 \cdot 10^4}{K^2 \frac{D}{d}}$$

$$-\sigma_s = \frac{KLB}{d} \sqrt{\frac{F_1}{D/d}}$$

## Formula JITKOV.

$$N = \frac{C_0}{\frac{8,5 C_1 C_2}{\frac{D}{d} - 8} \sigma_t - 1} \quad (12)$$

$C_0, C_1, C_2$  - coeficienți de calitate, sîrmei, construcție, diametru

$D$  - diametrul rolei

$d$  - diametrul cablului

$\sigma_t$  - tensiunea în cablu

3.2 Curba lui Wohler . Se utilizează metoda celor mai mici pătrate pentru:

$$\sigma^m N = K \quad (3.13)$$

$$\log \sigma = Y ; \log N = X ; \log K = C$$

$$m \log \sigma + \log N = \log K \quad (3.14)$$

$$m Y + X = C \quad (3.15)$$

$$\text{unde } m = -r \frac{S_x}{S_y}$$

$$C = \bar{X} - r \frac{S_x}{S_y} \bar{Y}$$

În cazul determinării ecuației prin interpolarea curbelor izoprobabile liniarizate vom obține, pentru probabilitatea P:

$$m_{(P)} Y + X_{(P)} = \log K_{(P)} \quad (3.16)$$

$$\text{unde } m_{(P)} = \frac{X_{II(P)} - X_{I(P)}}{Y_I - Y_{II}}$$

$$C = X_{I(P)} + \frac{X_{II(P)} - X_{I(P)}}{Y_I - Y_{II}} Y_I$$

Cumularea degradărilor. Acceptând criteriul MINER vom obține:

$$N_M = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{\sum_{i=1}^{k-1} \left( \frac{\sigma_i}{\sigma_1} \right)} N_1 \quad (3.17)$$

ILF Dresden, p132

care ne dă :

$$\bar{M} = \frac{\bar{N}}{N_A} = \left( \frac{\sigma_i}{\sigma_{\max}} \right)^m \left\{ \frac{\sum h_i}{\sum h_i x_i^k} \right\}$$

(3.18) (Fig. 3.1)

73

respectiv:

$$X = \log N = \log N_0 + \log M = Y_0 + Y_M \quad (3.19)$$

sau :

$$M = \frac{N}{N_0} = \left( \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} \right)^m \frac{\sum h_i}{\sum h_i x_i^m} \quad (3.20)$$

de unde:

$$X = Y^m \frac{\sum h_i}{\sum h_i x_i^m} \quad (3.8)$$

având

$h_i$	2	16	280	2720	20000	92000	280000	605000
$x_i$	1	0,95	0,85	0,725	0,575	0,425	0,275	0,125

### Notății

$\sigma$  -tensiune, în MPa ;  $N$  - număr de cicluri;  $m$  – panta diagramei;

75

$K$  - constantă;  $r$  - coeficient de corelație;  $S_X$   $S_Y$  - abaterile medii pătratice;

$\bar{X}, \bar{Y}$  - valorile medii;

$P$  - probabilitatea; I, II -cele două trepte pentru interpolare liniară a curbelor izoprobabile;  $N_M$  -numărul de cicluri, criteriu MINER

$n_i$  - numărul de cicluri, treapta  $i$ ;  $K = m$  - panta diagramei;

$\sigma_i$  - tensiune, treapta  $i$ ;

$\sigma_1 = \sigma_{\max}$  - tensiunea maximă;

$\bar{M}$  - multiplicata;

$h_i$  - frecvența ciclurilor, treapta  $i$ .

3.4 Considerații finale. Din cele prezentate prin acceptarea unui criteriu liniar de degradare cumulativă (MINER) după o serie de investigații experimentale prin încercări la oboseală, solicitări de tracțiune pulsante asupra cablului se poate aproxima stadiul degradării și restul rămas din durata de viață al ansamblului.

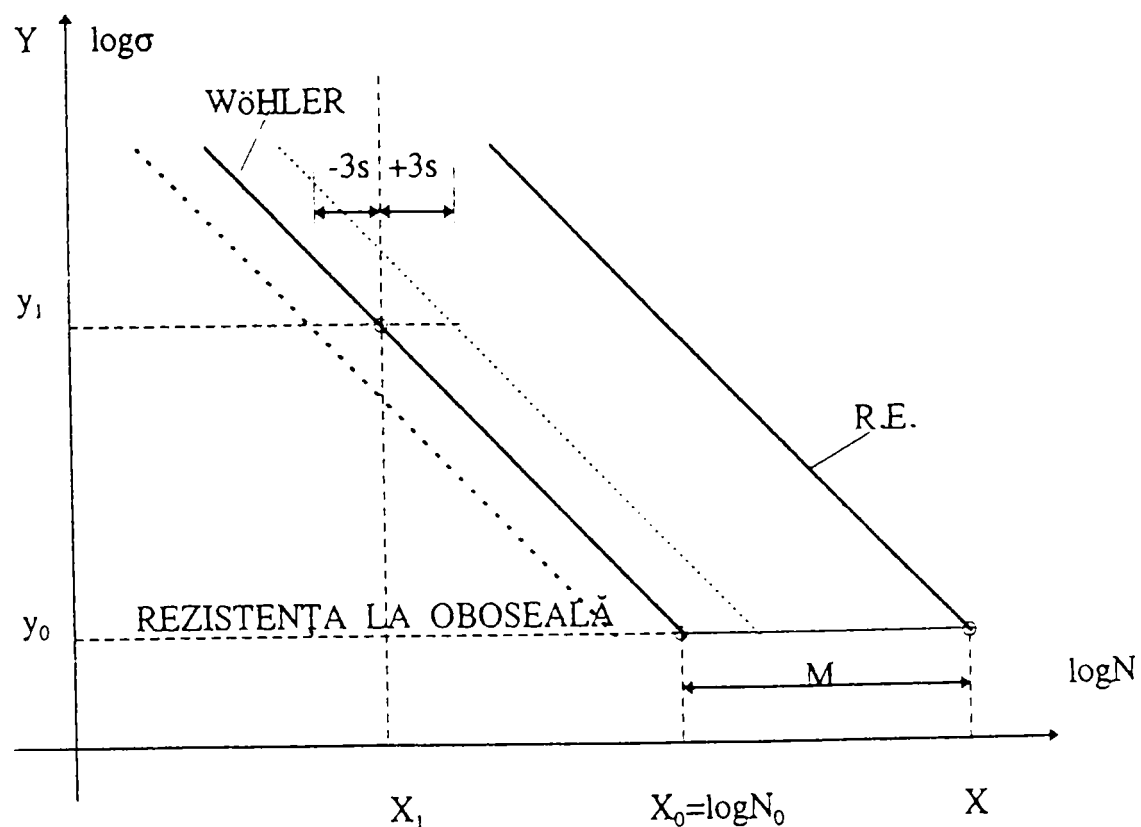


Fig 3.1

74

Pentru determinarea curbei Wohler, a unui cablu  $d= 13$  mm, s-au făcut încercări de tracțiune pulsante, Tabelul 3.2 obținând :

Tabelul 3.2

INCERCARE A Nr	INCERCAREA, IN % DIN			NR. DE CICLURI LA RUPERE
	FORȚA/ TENSIUNEA DE RUPERE			
	Max	Min	amp.	
1	55	5	50	26508
2				27200
3				25600
4				29300
5				30600
6				31400
7				32100
8(1)	50	10	40	66700
9(2)				65400
10(1)	45	15	30	152300
11(2)				148100
12(1)	40	20	20	585000
13(2)				562000
14(3)				531200
15(4)				595000
16(5)				601000
17(6)				566000
18(7)				583200

$$P = 90\%; \quad P_s = 10\%$$

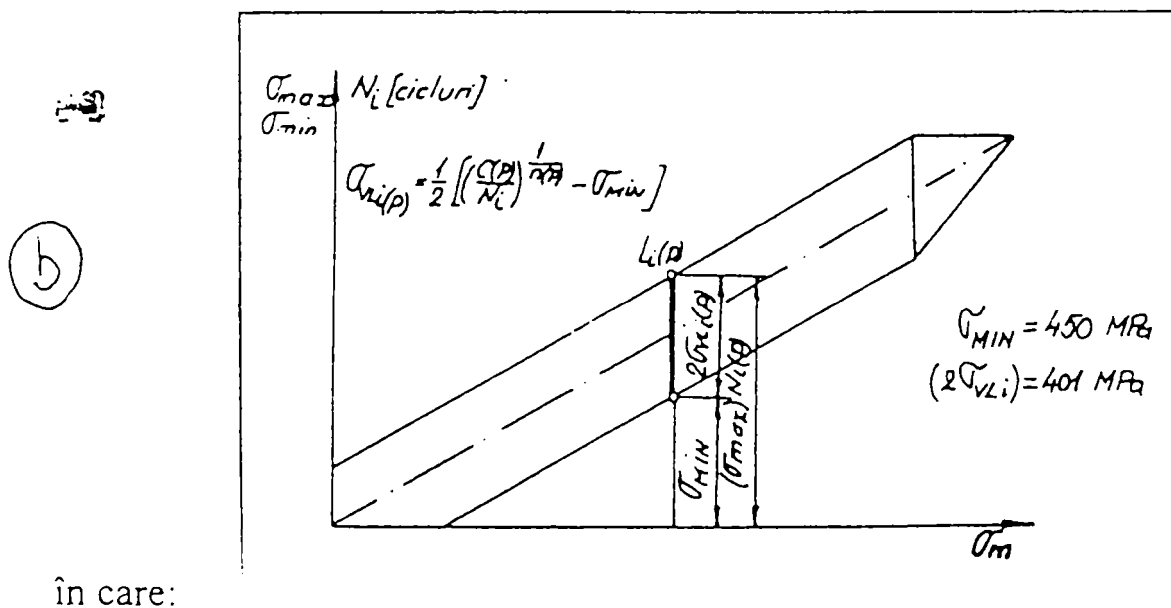
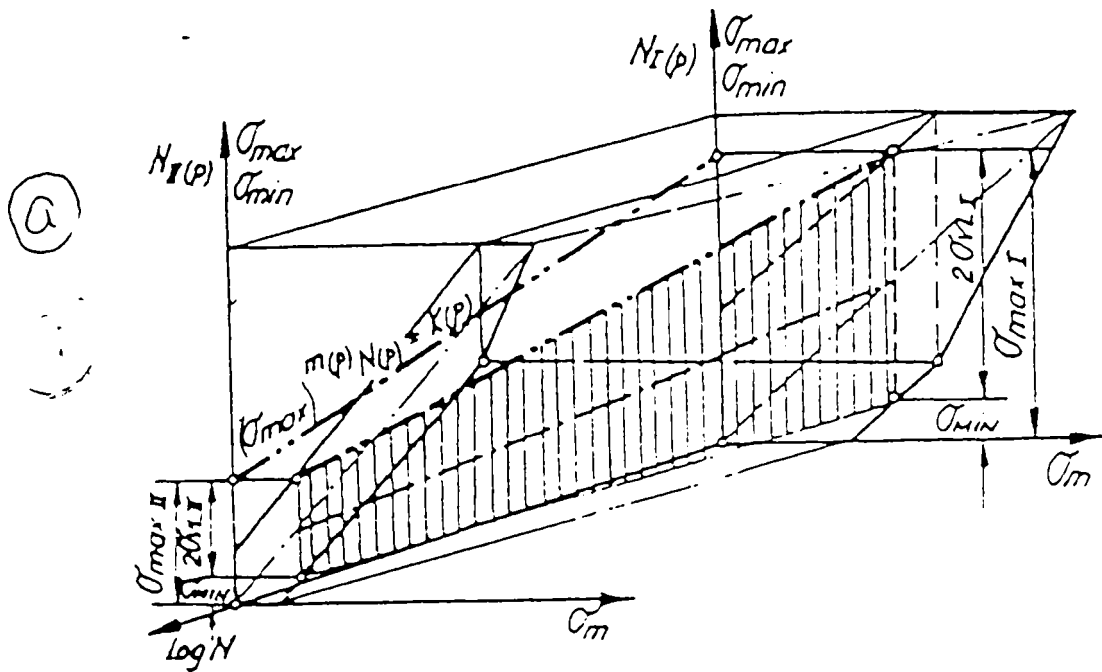
$$\sigma_v^{3.287} N = 1.05184 \cdot 10^{10}$$

și

$$P = P_s = 50\%$$

$$\sigma_v^{3.264} N = 1.02948 \cdot 10^{10}$$

76



în care:

$P$  - probabilitatea de rupere, în %

$P_S$  - probabilitatea de supraviețuire, în %

$\sigma_v$  - amplitudinea ciclului, în Mpa

$N$  - număr de cicluri la rupere

De asemenea, pentru acest tip de cablu, s-a studiat influența ordinii de aplicare a două trepte de tensiune  $\hat{I} - J$  (întă - joasă) obținând față de criteriul MINER ( $D=1$ ) o degradare cumulată  $d = 1.236 > 1$  raport  $J - \hat{I}$  (joasă - întă) obținând o degradare cumulată  $D = .0.892 < 1$ , evident mai dezavantajoasă. (tabelul 3.3)



Luând în considerare cumularea degradărilor în trepte acestea pot fi :  
 $\hat{I} - J$  (treaptă înaltă  $\hat{I}$  cu  $n_{11}$  cicluri, urmată de treapta joasă  $J - n_{22}$  cicluri)  
 Secvențele celor două trepte pot fi liniare sau neliniare ( după două curbe convexe sau concave ) Rămânând la cele liniare acestea pot fi echivalente în general cu ajutorul unor drepte paralele la curba Wohler (W) dar pot fi față de aceste paralele drepte cu pante mai mari sau mai mici față de curba Wohler.

Pentru modelarea încercărilor în trepte pe lângă curba Wohler (W) – orizontală , pot fi cu o distribuție Gauss (G) sau logaritmică (L).

În tabel se prezintă pentru frecvențe de 2 trepte și 3 trepte care este echivalența și restul (de viață ) al cablului.

Cumulare degradării în 2 trepte ( C D )

Tabelul 3.3

RDINEA TREPTELOR	NIVELUL	TREAPTA/ml	CICLURI	DEGRADAREA	C D	
$\hat{I} - J$	50 <del>mm</del> $m_{11}$	1 / 1	10000	0.341	-	
		1 / 2	10000	0.341	-	
		1 / 3	10000	0.341	-	
	D = 1.236	20 <del>mm</del> $m_{22}$	2 / 1	521300	0.892	1.233
			2 / 2	518900	0.889	1.23
			2 / 3	526600	0.903	1.244
$J - \hat{I}$	20 <del>mm</del> $m_{22}$	1 / 1	200000	0.343	-	
		1 / 2	200000	0.343	-	
		1 / 3	200000	0.343	-	
	D = 0.892	50 <del>mm</del> $m_{11}$	2 / 1	16500	0.563	0.906
			2 / 2	16000	0.546	0.889
			2 / 3	15800	0.539	0.882

Aceste rezultate confirmă că în cumularea degradării ( C D ) criteriul MINER  $D = 1$  la două trepte de tensiune, de fapt este  $> 1$  respectiv  $< 1$ .

78

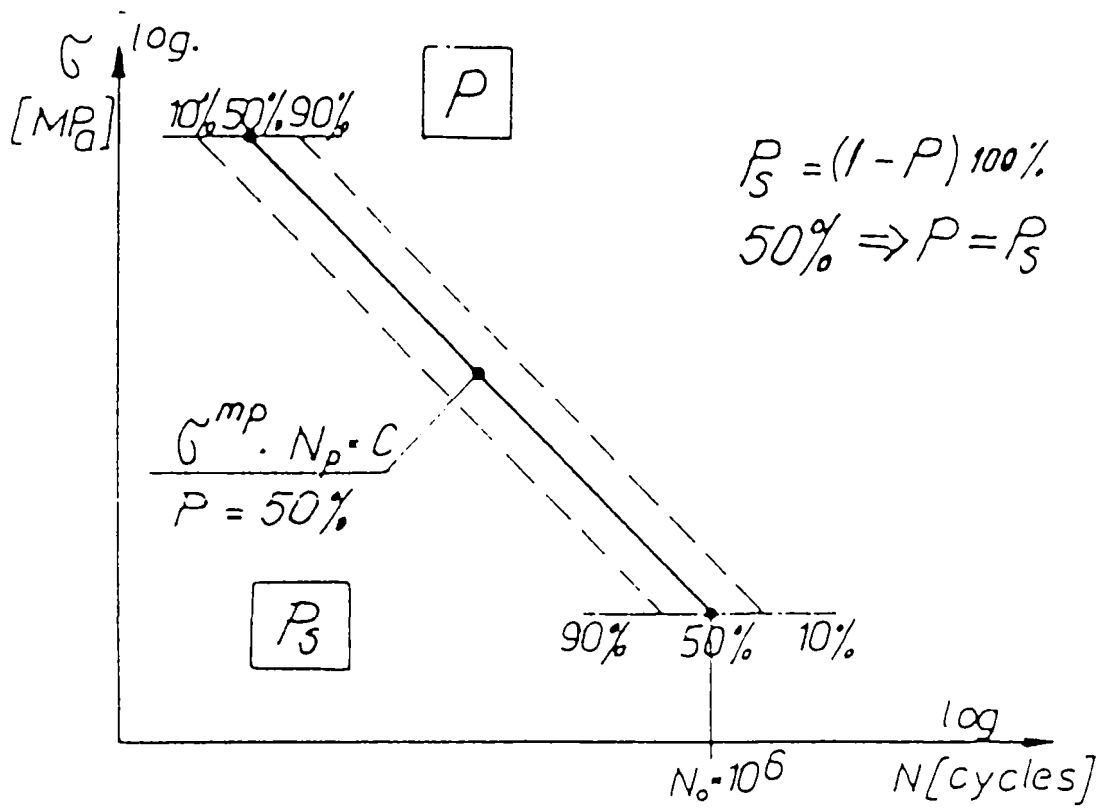


Figure 1 : WOHLERS' s curve

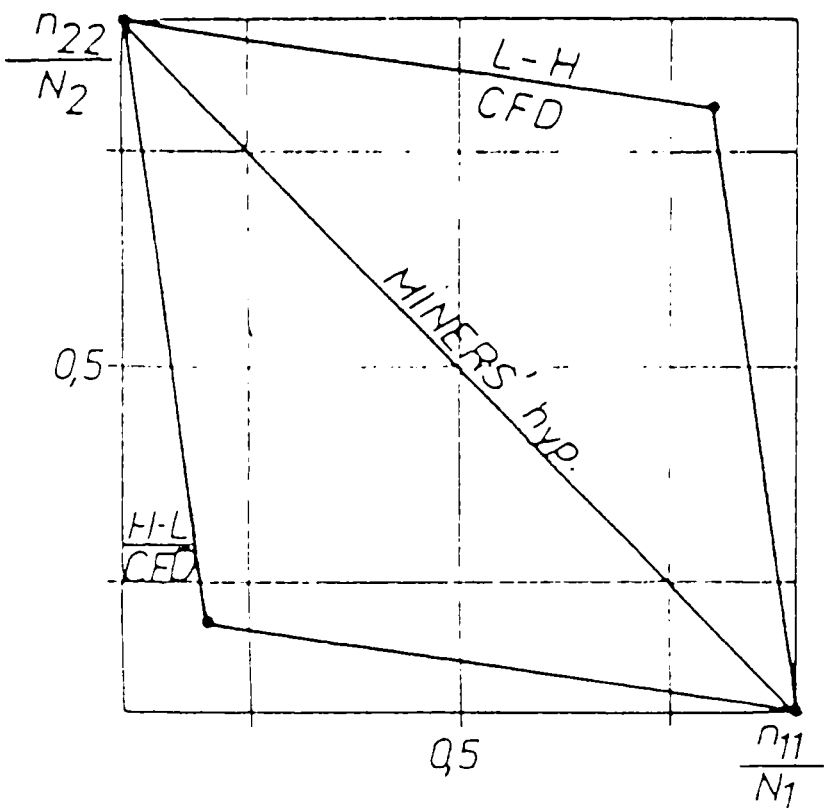


Figure 2 MINER'S hypothesis  
and L-H/H-L for  $\frac{n_{11}}{N_1}, \frac{n_{22}}{N_2}$  CFD

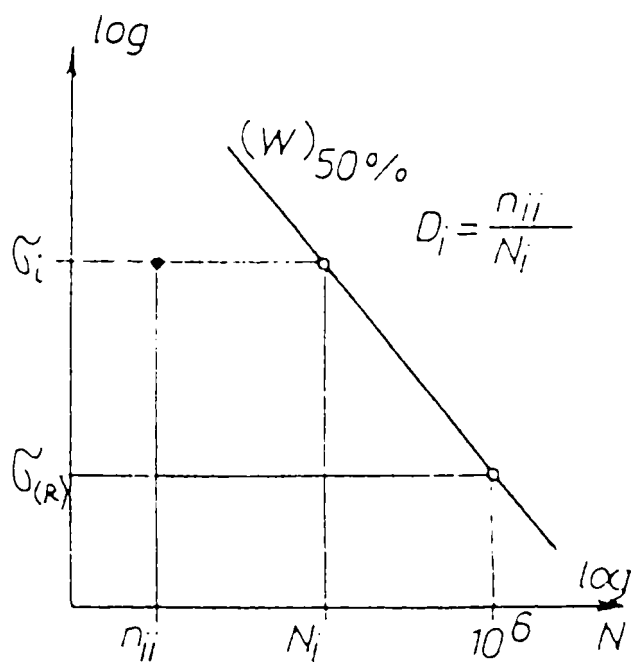


Figure 3 Damage  $D_i$

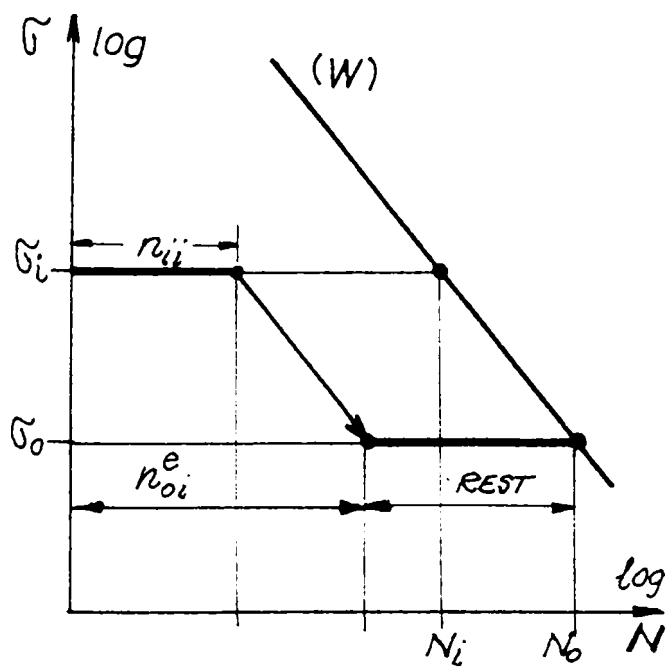


Figure 7: Number of cycles,  
e = equivalent, r = rest

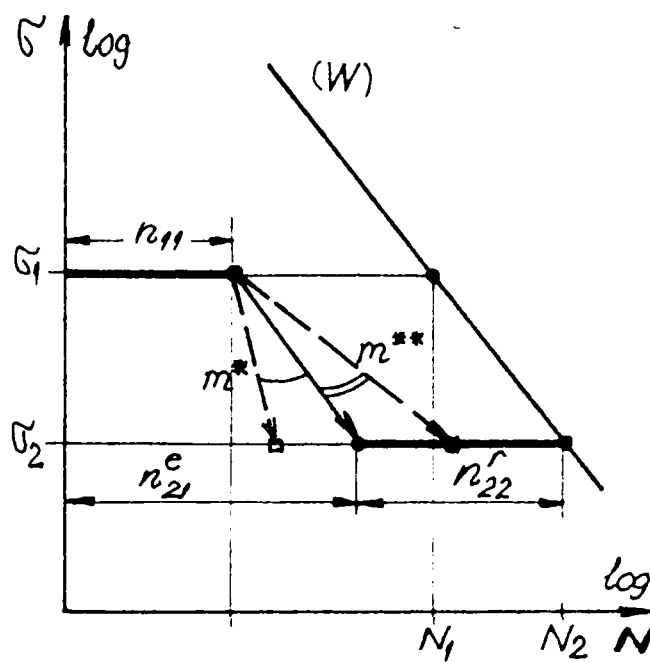


Figure 8: CFD, H-L,

$$\frac{r_{11}}{N_1} + \frac{r_{22}^r}{N_2} = 1$$

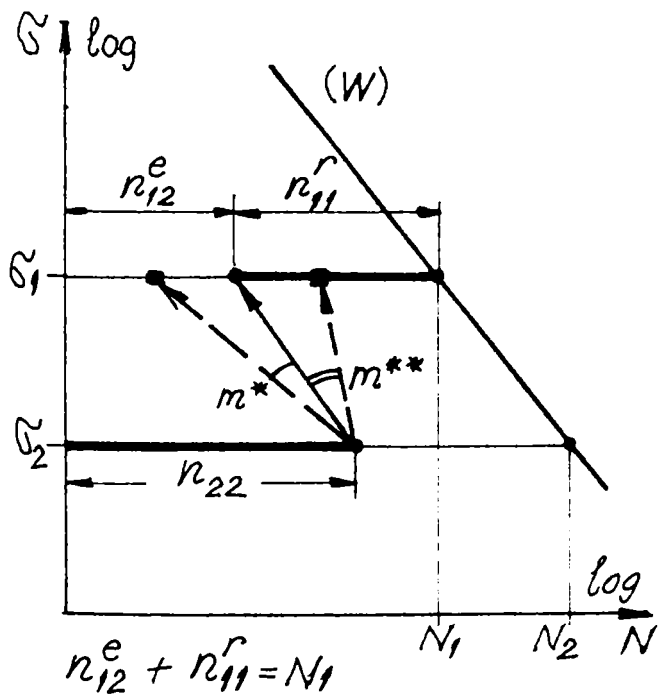


Figure 9: CFD, L-H

$$\frac{r_{11}^r}{N_1} + \frac{r_{22}^r}{N_2} = 1$$

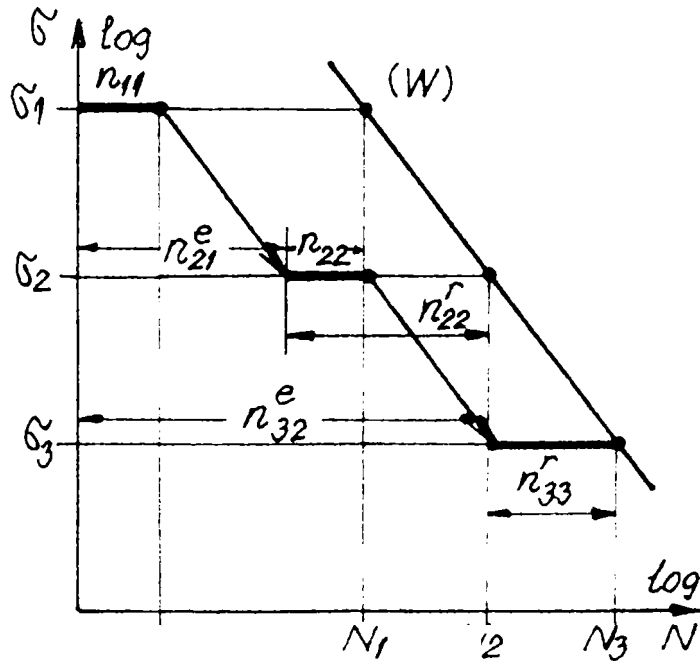
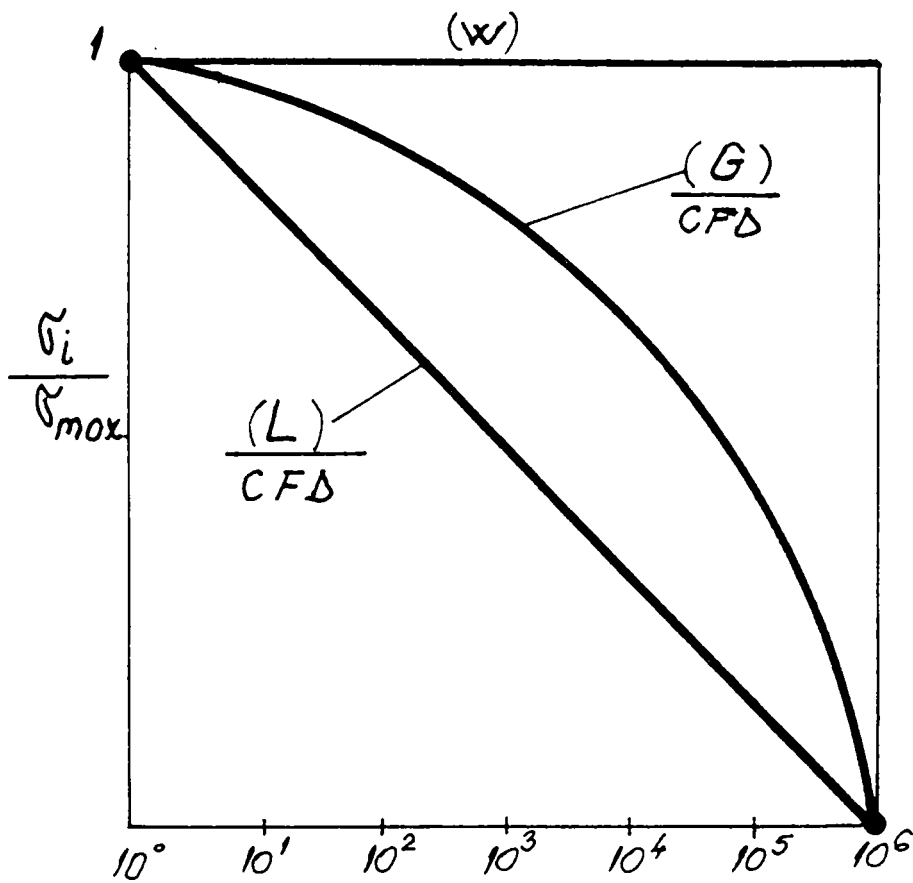


Figure 10: CFD, thoe steps

$$\begin{cases} r_{21}^e + r_{22}^r = N_2 \\ r_{32}^e + r_{33}^r = N_3 \dots \end{cases}$$

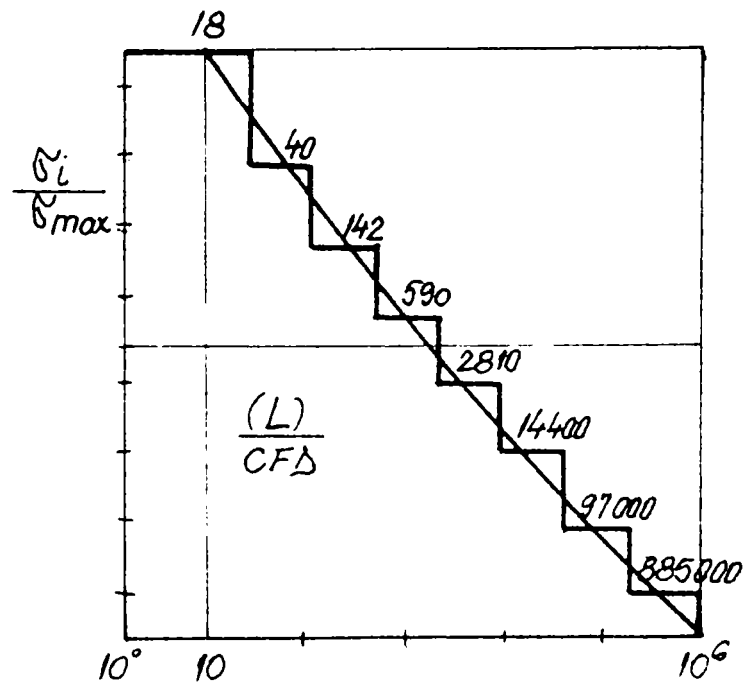
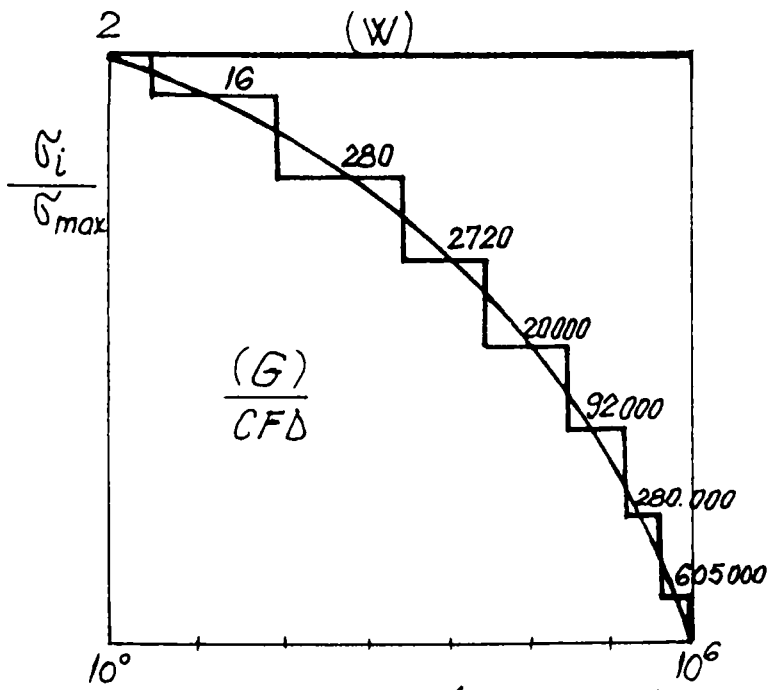


(W) - WOHLER'S sinusoidal loading

(G) - GAUSS'S normal distribution

(L) - LOGARITHMIC normal distribution

Figure 11 : Stress spectra



(W) - WOHLER'S sinusoidal loading

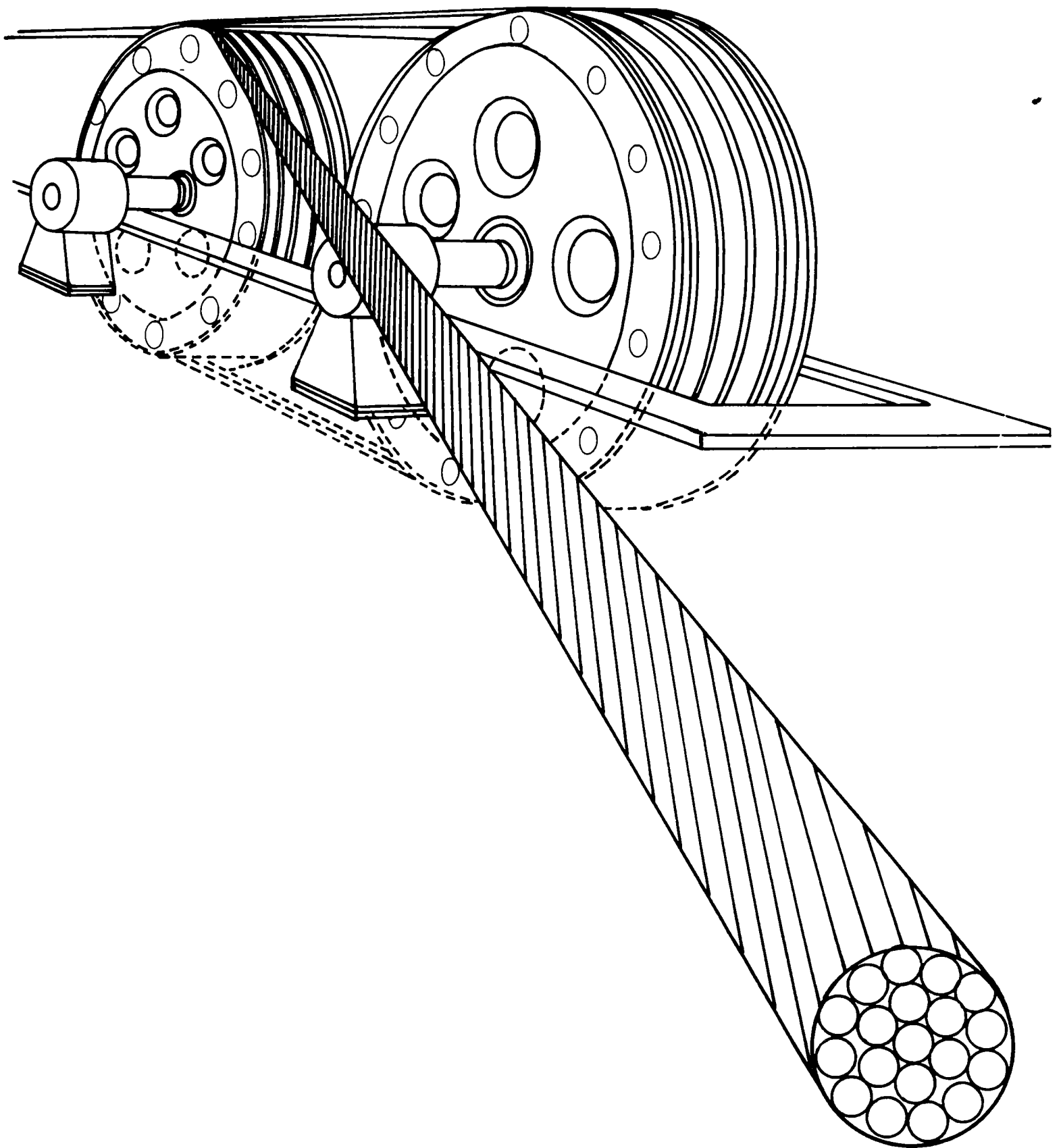
(G) - GAUSS'S normal distribution

(L) - LOGARITHMIC normal distribution

Figure 12 : Corresponding steppen spectra for CFD

<i>Cumularea degradării (CD) în 2 trepte</i>	REST
$\hat{I} - I: I \rightarrow \frac{S_{11}}{(\sigma_1, n_{11})} \approx \frac{S^e_{21}}{(\sigma_2, n^e_{21})}$ (1 - 2)	$\frac{S^r_{22}}{(\sigma_2, n^r_{22})}$
$I - \hat{I}: I \rightarrow \frac{S_{22}}{(\sigma_2, n_{22})} \approx \frac{S^e_{12}}{(\sigma_1, n^e_{12})}$ (2 - 1)	$\frac{S^r_{11}}{(\sigma_1, n^r_{11})}$
<i>Cumularea degradării (CD) în 3 trepte</i>	REST
$\hat{I} - I - I: I \rightarrow \frac{S_{11}}{(\sigma_1, n_{11})} \approx \frac{S^e_{21}}{(\sigma_2, n^e_{21})} \rightarrow \frac{S_{22}}{(\sigma_2, n_{22})} \approx \frac{S^e_{12}}{(\sigma_1, n^e_{12})}$ (1 - 2 - 3)	$\frac{S^r_{33}}{(\sigma_3, n^r_{33})}$
$I - \hat{I} - \hat{I}: I \rightarrow \frac{S_{33}}{(\sigma_3, n_{33})} \approx \frac{S^e_{23}}{(\sigma_2, n^e_{23})} \rightarrow \frac{S_{22}}{(\sigma_2, n_{22})} \approx \frac{S^e_{12}}{(\sigma_1, n^e_{12})}$ (3 - 2 - 1)	$\frac{S^r_{11}}{(\sigma_1, n^r_{11})}$
$\hat{I} - I - \hat{I}: I \rightarrow \frac{S_{22}}{(\sigma_2, n_{22})} \approx \frac{S^e_{32}}{(\sigma_3, n^e_{32})} \rightarrow \frac{S_{33}}{(\sigma_3, n_{33})} \approx \frac{S^e_{13}}{(\sigma_1, n^e_{11})}$ (2 - 3 - 1)	$\frac{S^r_{11}}{(\sigma_1, n^r_{11})}$
$I - \hat{I} - I: I \rightarrow \frac{S_{33}}{(\sigma_3, n_{33})} \approx \frac{S^e_{13}}{(\sigma_1, n^e_{13})} \rightarrow \frac{S_{11}}{(\sigma_1, n_{11})} \approx \frac{S^e_{21}}{(\sigma_2, n^e_{22})}$ (3 - 1 - 2)	$\frac{S^r_{22}}{(\sigma_2, n^r_{22})}$

**Tabel** : Echivalențele și ordinea CD ( $S_{ii}$  - degradarea pe treaptă, e - echivalent, r - rest).



**Cap. 4 Mașini de încercat. Studii experimentale de laborator. Prelucrarea rezultatelor. Observații și recomandări în urma comportării cablurilor în funcție de factorii cercetați.**

## Capitolul 4. STUDII EXPERIMENTALE DE LABORATOR. PRELUCRAREA REZULTATELOR. OBSERVAȚII ȘI RECOMANDĂRI

### 4.1 GENERALITĂȚI.

În vederea îmbunătățirii calității cablurilor, ținând seama de comportarea în dimensiunea timp s-au analizat influențele:

- ungerii/ lubrefierii cablului
- callitatea sârmei
- modul de înfășurare în teron a sârmelor și în cablu a topanelor

### 4.2 IMPORTANȚA PROBLEMEI PE PLAN NAȚIONAL

Cablurile din oțel constituie un element important în funcționarea instalațiilor de ridicat și transtort, fiind utilizate în cele mai diferite domenii de activitate.

Creșterea continuă a nivelului tehnicii în țara noastră , ritmul intens de dezvoltare a industriei noastre socialiste, precum și ridicarea problemei securității muncii la rangul de problemă de stat, fac ca durabilitatea cablurilor în exploatare și calitatea lor să capete o însemnătate deosebită. Utilizarea celor mai potrivite tipuri de cabluri în diferite domenii industriale, găsirea căilor de îmbunătățire a calității cablurilor de oțel și a condițiilor de exploatare conduc la creșterea durabilității acestora și prin aceasta la importante economii pentru industria noastră națională.

84

Preocupările laboratorului de Rezistența materialelor și Încercări de materiale au fost orientate de mai mulți ani în direcția studierii influenței diferiților factori asupra durabilității cablurilor de oțel. Astfel s-a studiat influența lubrificării cablurilor asupra dimensiunilor rozelor de înfășurare (diametrul rolei, dimensiunile canalului rolei, etc.), influența tipului constructiv al cablului (construcție normală, construcție SIL), influența inimii ș.a.

Studiul problemelelor ridicate de acest contract reprezintă o continuare firească a preocupărilor colectivului de cabluri referindu-se la influența lubrificării, a calității sârmelor (sârma indigenă, sârma de import), a modului de înfășurare (S/Z și Z/Z) a pasului de toronare și apasului de cablare și în sfârșit a tipului inimii (vegetala resp. Metalica).

Având în vedere că Laboratorul de Rezistență și Încercări de materiale a avut și are o importantă participare în cercetarea internațională de cabluri, rezultatele obținute în cadrul acestui contract vor fi confruntate și cu rezultatele obținute în urma efectuării unor încercări de durabilitate pe cabluri străine, ceea ce va putea conduce la unele concluzii de importanță majoră în ceea ce privește exportul de cabluri din țara noastră.

#### 4.3. Stadiul actual al problemei

##### 4.3.1. Importanța lubrificării cablurilor

Procese de pe suprafața sârmelor componente dintr-un cablu de tracțiune care pot accelera distrugerea cablului sunt: coroziunea de fretaj și uzura. Aceste fenomene pot fi diminuate printr-o lubrificare corespunzătoare a sârmelor, respectiv a cablurilor, conducând în final la creșterea durabilității și fiabilității cablurilor de tracțiune.

Disputa efectului lubrifiantului asupra durabilității cablului a trecut prin mai multe faze. Dr. Scoble prezintă un referat la o conferință ținută la Manchester în anul 1936 prin care prezintă argumente împotriva lubrificării cablurilor în timpul exploatării, susținând că pulberea metalică de oxid roșu de fier ( $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) împreună cu lubrifiantul, formează o pastă abrazivă care accelerează procesul de uzură. Lucrările lui Rankins au dovedit însă că pe suprafața unui cablu neuns sau slab uns, se formează straturi superficiale de martensită, produsă de căldura degajată în urma frecării, fenomen care favorizează amorsarea ruperilor prin oboseală.

Studii întreprinse de R. Woerle conduc la concluzia bine fundamentată, că folosirea lubrifiantilor mărește durabilitatea cablurilor.

Astfel Woerle a făcut încercări în acest sens cu cabluri înfășurate în paralel și cabluri înfășurate în cruce, având diametrul de



16mm și-o tensiune axială în cablu de  $300MR_a$ . Pentru încercări s-au folosit cabluri cu o lubrificare normală, cabluri cu inima uscată și fără ungerea sârmelor, degresate complet într-o baie de benzină.

Asa cum se poate constata din fig.4.1., curbele de durabilitate trasate de Woerole în urma încercărilor de mai sus, indică importanța unei lubrificări corespunzătoare a cablurilor de tracțiune.

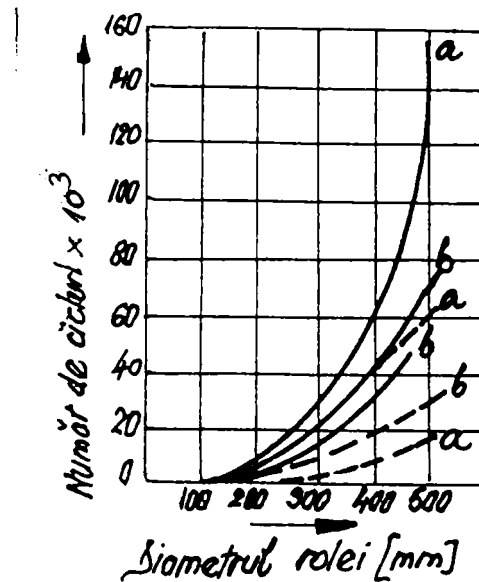


Fig.4.1.

#### Legenda

- cablu înfasurat în paralel
- cablu înfasurat în cruce
- a cablu lubrificat normal (inima impregnata și sârmele unse)
- b cablu cu inima neimpregnata și sârmele neunse
- c cablu degresat în baie de benzină (14 zile)

Pentru a se pune în evidență importanța lubrificării cablurilor, la I.C.E.M. București au fost încercate câte trei epruvete din același cablu tip N.P. 6\*19,  $d=28\text{mm}$ , în stare lubrificată (atât inima cât și cablul) cu vaselina tehnică tip C și în stare complet nelubrificată (cu inima neimpregnată). Rezultatele acestor încercări sunt arătate în fig.1.2. Se constată că durabilitatea cablului lubrificat este de cca 6 ori mai mare decât cea a cablului complet nelubrificat.

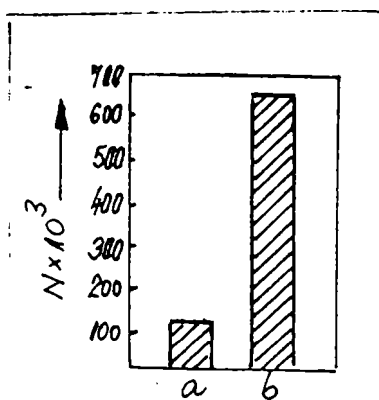


Fig.4.2.

Fig.4.2.

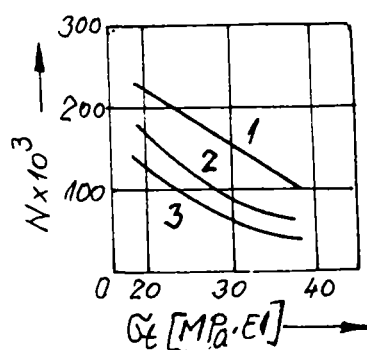
Influența lubrificării asupra durabilității cablurilor tip NP , 6x19, d=28mm.

a=cablu complet nelubrificat

b=cablu lubrificat și cu inima impregnata

Lubrifiere cablurilor nu are însa doar un rol de ungere , pentru a micșora uzura prin frecare , ci și un rol de protecție anticorosiva a sârmei. De aceea , unsoarea folosită la lubrifiere a cablurilor și la impregnarea inimilor trebuie să fie neutră, pentru a nu coroda ea însăși sârmele .

Un mijloc foarte eficace de protecție anticorosiva a cablurilor este utilizarea sârmei zincate la fabricarea lor .Zincul de la suprafata sârmelor , pe langă rolul de protecție anticorosiva , fiind un metal relativ moale , are si un rol de antifricțiune . In figura 4.3. se vede ca un cablu tip NP , 6x19 , d=25mm , zincat având inima cu unsoare neutră , are o durabilitate cu 60% mai mare decat cea a cablului mat , cu inima impregnată la fel și cu 150% mai mare decat cea a cablului mat , avand inima impregnată cu ulei de pin neneutralizat 8 .



87

Universitatea Tehnică  
București

Fig.4.3.

Influența protecției anticorozive asupra durabilității cablurilor tip NP,6x19 ,d=25mm

1-cablu zincat cu inima impregnată cu unsoare neutră

2-cablu mat cu inima impregnată cu unsoare neutră

3-cablu mat cu nima impregnata cu ulei de pin neneutralizat

În cadrul Laboratorului de Rezistență și Încercări de materiale al Institutului politehnic "Traian Vuia" din Timisoara , s-au efectuat în anul 1970 cercetări de durabilitate asupra cablurilor de diferite condiții de lubrifiere .

Epruvetele de cablu erau pregătite în următoarele moduri : neunse , cu inima unsa normal și cu inima unsă normal si ungere exterioară .Încercările s-au efectuat pe un cablu SIL 16-16x19-160 obținându-se rezultatele indicate în fig.4.4.

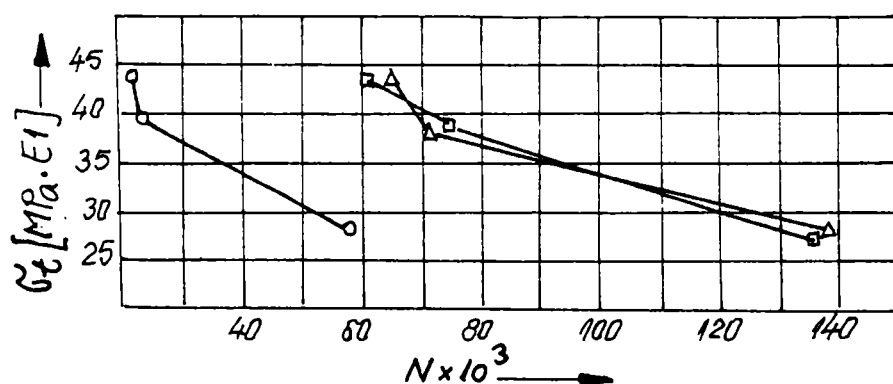


Fig.4.4.

Diagramele comparative de durabilitate –cablu SIL 16-16x19-160

1-proba neunsă

2-proba cu inima unsă normal

3-proba cu inima unsă normal si cu ungere exterioară

Dupa cum s-a putut constata din figura 4.4. , ungera cablurilor în procesul de fabricație , respectiv în exploatare , mărește substanțial durabilitatea cablurilor .Eficacitatea maximă a ungerii apare la treapta

mijlocie de încărcare ( $\sigma_t = 382,7\text{MPa}$ ), unde durabilitatea crește de peste trei ori față de epruveta neunsă

Necesitatea ungerii cablurilor de tracțiune este subliniată și de Bukstein care arată că în acest sens trebuie urmărite două scopuri:

1. Aplicarea unei pelicule subțiri de ulei de antifricțiune între suprafața de frecare ale elementelor cablului, pentru ușurarea deplasării lor relative în timpul exploatarei.

2. Protecția cablului împotriva pătrunderii în interiorul lui a unor elemente străine care ar putea conduce la deteriorarea cablului.

Pentru soluționarea acestor probleme trebuie unse 4 părți ale cablului:

- a) inima vegetală sau metalică
- b) spațiul dintre inima și toroanele cablului
- c) spațiul dintre sârmele toronului
- d) suprafața exterioară a cablului.

Materialele de ungere folosite la fabricația și la exploatarea cablurilor din oțel trebuie să aibă următoarele calități:

- să adere bine la suprafața cablului și să nu se desprindă în timpul exploatarei;
- să se poată aplica în peliculă subțire și netedă;
- să nu se scurgă după aplicare, la fabricația cablului, la depozitarea și transportul acestuia și în timpul exploatarei;
- să nu se volatilizeze sau să se producă depuneri;
- să nu se întărească și să devină fragile la variații mari ale temperaturii și umidității mediului înconjurător;
- să nu se descompună în prezența vaporilor, acizilor și a altor medii puternic corosive;
- să nu se dizolve în apă și să posede însușiri hidrofuge;

- saă fie libere de acizi, baze și alte ingrediente corosive;
- conținutul de sulf liber trebuie să fie 0;
- conținutul de cenușă sau de substanțe anorganice trebuie să fie sub 0,1% ;
- conținutul de umiditate nu va depași 1% ;
- conținutul de acizi organici va fi sub 2%;
- conținutul de acizi anorganici va fi astfel încat PH-ul în soluție apoasă să depasească 4.

Alegerea materialelor de ungere după consistența lor și după temperatura de picurare trebuie să fie coordonată cu construcția cablului respectiv și temperatura mediului în care lucrează cablul.

Pentru cabluri confecționate din sârme subțiri se va folosi o unsoare mai fluidă , iar temperatura de picurare a unsoării trebuie să fie puțin mai mare ca temperatura maximă posibilă a mediului înconjurător.

Variația mare a condițiilor de lucru ale cablurilor nu permite să se dea recomandări unice în ce privește ordinea și periodicitatea ungerii cablurilor. Pentru aceleași instalații de ridicat și transportat la care se folosesc cabluri ce lucrează în condiții diferite , se vor stabili cicluri diferite de ungere și se vor alege materiale de ungere corespunzătoare. Numai în urma unei observații riguroase asupra stării cablurilor și a gradului de conservare a unsoării , se pot stabili , în fiecare caz concret , cele mai raționale condiții de ungere , ale cablurilor .

#### 4.3.2 Influența zincării asupra durabilității cablurilor

Influența zincării sarmelor asupra durabilității cablurilor de oțel a fost studiată de Woerole pe un cablu împletit în cruce , având

diametrul- de 16mm , la care incarcările de durabilitate au fost efectuate pentru diferite tensiuni in cablu ( $\sigma_z$ ) si pentru diferite role .

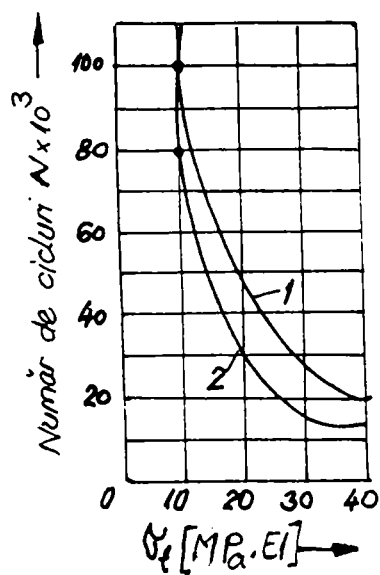


Fig.4.5.  
Influenta zincarii sarmelor asupra durabilitatii cablurilor  
Cablu  $\phi$  16mm  
Rola  $\phi$  300mm

- 1-cablu cu sarme zincate
- 2-cablu cu sarme mate

Din aceste incercari rezulta ca un cablu zincat prezinta intotdeauna o durabilitate mai mare decat un cablu mat in aceleasi conditii de solicitare , fapt care s-a evidentiat si la incercari ulterioare .

#### 4.3.3. Influenta modului de impletire

Din incercarile efectuate de Woerole rezulta in mod evidente ca durabilitatea cablurilor compuse impletite in paralel este mai mare decat cea a cablurilor compuse impletite in cruce .

Astfel tabelul 4.1. prezinta rezultatele incercarilor efectuate pe diferite role pentru cabluri de acelasi tip si acelasi diametru (0 16) impletite in paralel , respectiv in cruce .

Tabel 1.1.

Diametrul rolei	Nr.de cicluri Împletire în paralel	X 103 Împletire în cruce
300 mm	25 -30	19
400mm	45 -55	30 - 35
500mm	70 - 110	50 - 70

Incarcarile au fost efectuate la o tensiune de intindere a cablului de  $\sigma_z = 300 \text{ MPa}$ .

Influenta modului de impletire a cablului asupra durabilitatii se studiaza si in lucrarea ( $\delta$ ) unde se arata ca intotdeauna, in aceleasi conditii de lucru, cablurile cu infasurare paralela au o durabilitate mai mare decat cablurile cu infasurare cruce (fig.4.6.).

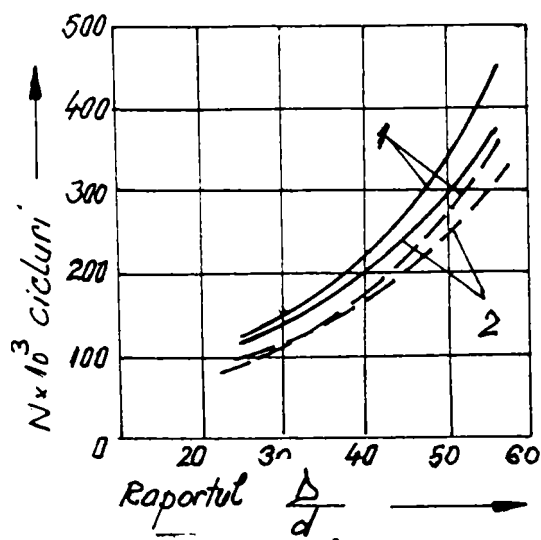


Fig.4.6.

Influenta felului de infasurare asupra durabilitatii cablurilor

---cablare paralela

---cablare cruce

1- tip NP 6x19  $\phi$  37mm

2- tip NP 6x37  $\phi$  37mm

D- diametrul rolei

d- diametrul cablului

#### 4.3.4. Influenta pasului de infasurare

Standardul de conditii tehnice pentru cabluri de otel STAS 1352 prevede pentru pasul de cablare ( $p$ ) valoarea de 6..8 ori diametrul cablului ( $d$ ), iar pentru pasul de toronare ( $p_t$ ) de (7..12) ori diametrul toronului ( $d_t$ ).

In literatura de specialitate se prevad intervale similare

$$p = (7..9)d$$

$$p_t^E = (9..12)d_t$$

Cercetările facute de diferiti autori au aratat ca atat marimea pasului de toronare cat si marimea pasului de cablare au influente asupra durabilitatii cablurilor .

Pentru determinarea influentei pasului de toronare asupra durabilitatii s-au fabricat cabluri tip NP , 6x37 , d=30mm ,  $\sigma = 174 \text{ kgf/mm}^2$  cu pasul de cablare 7,5 d, dar cu pasii de toronare diferiti , in asa fel incat sa rezulte urmatoarele variante de unghi de toronare  $\alpha$

1.  $\alpha_2 = 12^{\circ} 1'$  ;  $\alpha_3 = 15^{\circ} 20'$  ;  $\alpha_4 = 15^{\circ} 45'$
2.  $\alpha_2 = 12^{\circ} 1'$  ;  $\alpha_3 = 12^{\circ} 44'$  ;  $\alpha_4 = 12^{\circ} 26'$
3.  $\alpha_2 = 10^{\circ} 29'$  ;  $\alpha_3 = 11^{\circ} 15'$  ;  $\alpha_4 = 11^{\circ} 5'$
4.  $\alpha_2 = 14^{\circ} 10'$  ;  $\alpha_3 = 14^{\circ} 50'$  ;  $\alpha_4 = 14^{\circ} 10'$

Rezultatele incercarilor de durabilitate a acestor cabluri sunt prezentate in figura 4.7.

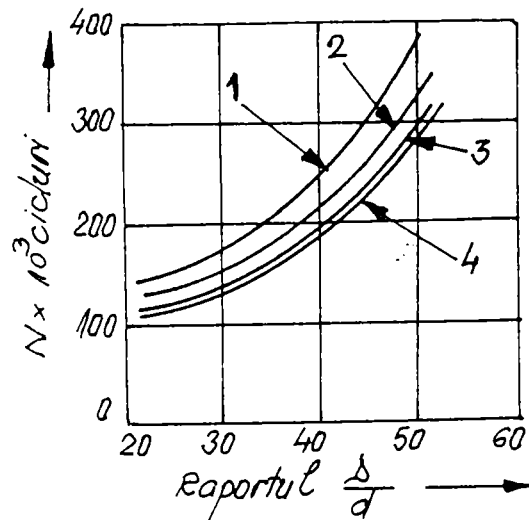


Fig.4.7.

Influenta unghiului de toronare asupra durabilitatii cablurilor

In fig.4.8. se arata influenta marimii pasului de toronare asupra durabilitatii cablurilor cu contact liniar tip S, 6x19, d=22mm . Durabilitatea maxima o are cablul cu pasul de toronare de 8 ori diametrul toronului si la care sarmele din cele doua straturi nu au aceeasi rezistenta la rupere , ci  $\sigma_{r2} = 1400 \text{ MPa}$  si  $\sigma_{r3} = 1850 \text{ MPa}$  astfel incat in sarmele din toate straturile sa se dezvolte aceeasi tensiune datorita toronarii si cablarii .

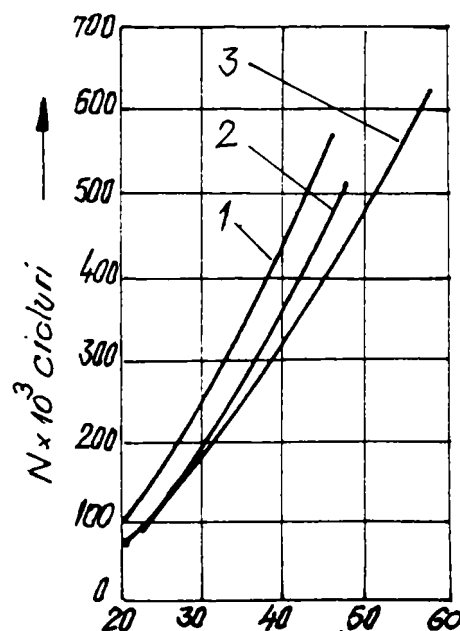


Fig.4.8.



## Influenta pasului de toronare asupra durabilitatii cablurilor tip S , 6x19

1.  $p_t = 8 d_t$ ;  $\sigma_r = 1400$  și  $1850$  MPa
2.  $p_t = 8 d_t$ ;  $\sigma_r = 1740$  MPa
3.  $p_t = 7 d_t$ ;  $\sigma_r = 1740$  MPa

Din figura rezulta de asemenea , ca pasul de toronare de  $8 d_t$  confera cablului o durabilitate mai mare decat cel de  $7 d_t$ .

La ICEM s-au facut de asemenea experimentari cu cabluri tip S, 6x19 ,  $d=28\text{mm}$  ,  $\sigma_r = 1600$  MPa pentru un raport  $D/d=36$  , cu doua variante ale pasului de cablare si trei variante ale pasului de toronare . Din fig.4.9. rezulta ca la un pas de cablare  $p_t = (7-8)d_t$  , pasul de toronare optim este de  $p_t=9 d_t$  . De aceea se recomanda adoptarea acestui pas de toronare la fabricarea cablurilor tip S , 6x19 .

Determinarea durabilitatii cablurilor tip NP , 6x37 ,  $d=30\text{mm}$  ,  $\sigma_r = 1740$  MPa cu aceiasi pasi de toronare dar cu pasi de cablare diferiti (6,4 ;8 si 9,5 ori diametrul cablului ) s-a constatat ca durabilitatea este cu 12-15% mai mare cand pasul de cablare este de  $8d$  , decat atunci cand pasul este de  $6,4d$  , iar la un pas de cablare de  $9,5d$  a aparut o deformare a toroanelor si o despletire a cablului

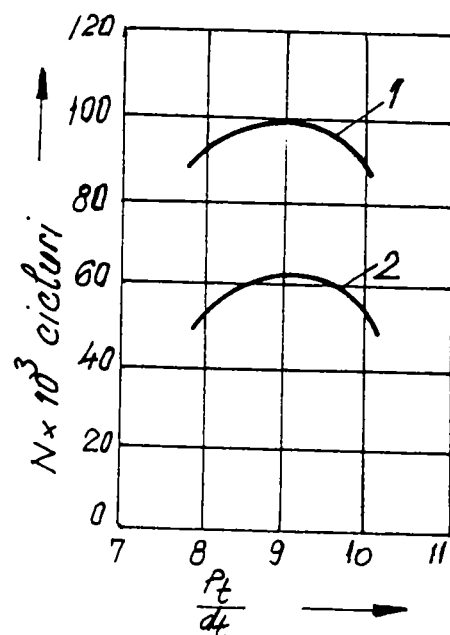


Fig.4.9

Influența pasului de toronare asupra durabilității cablurilor tip S, 6x19,  $d=28\text{mm}$

$D/d = 36$

- 1- pasul de cablare 8
- 2- pasul de cablare 7d

Influența pasului de cablare asupra durabilității a fost studiată în cadrul ICEM. Experimentările s-au făcut cu cabluri tip S,6x19,  $d = 28\text{mm}$ ,  $\sigma = 1600\text{ MPa}$  pentru un raport  $D/d = 36$ ,  $p_t = 9 d_t$ , cu pasul de cablare 6,7 și 8d. Pe baza acestor experimentări s-a construit diagrama din fig. 1.10

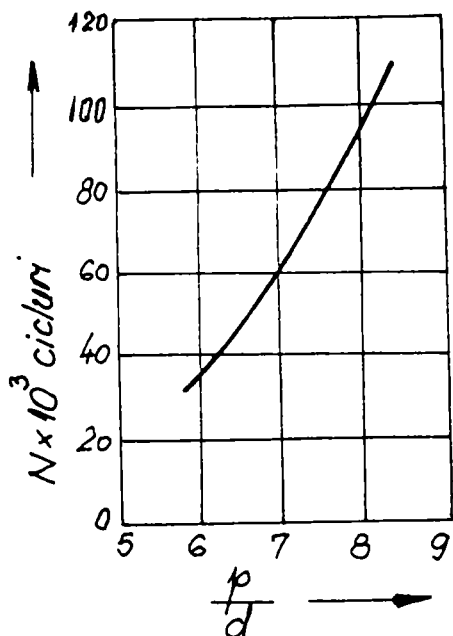


Fig.4.10

Influența mărimii pasului de cablare asupra durabilității cablurilor tip S, 6x19,  $d=28\text{mm}$

Se observă că la pași de cablare (6...8)d, durabilitatea cablului crește mult odată cu pasul de cablare. Cablul cu pasul de cablare 8d are o durabilitate cu 150% mai mare decât cel cu pasul de cablare 6. În cadrul acestor experimentări nu s-a reușit să se găsească o valoare optimă pentru pasul de cablare, așa cum s-a găsit pentru pasul de toronare

Cercetările privind modul de împletire și pasul la cabluri de oțel cu inimă metalică se încheie unde se tratează în mod special executarea corespunzătoare a inimii metalice din punctul de vedere al pasului și al modului de împletire a acesteia.

Se urmărește obținerea unui contact liniar între toroanele cablului și inima metalică. Astfel se ajunge la concluzia că un cablu împletit în paralel trebuie echipat cu o inimă metalică împletită în cruce și un cablu împletit în cruce trebuie să aibă o inimă metalică împletită în paralel.

În lucrare se indică pasul de cablare și de toronare pentru patru tipuri de cablu  $\phi 22$  și cu inimă metalică (6x37, 6x36 Warrington-Seale, 6x19 Seale și 6x19 Filler) inimă metalică  $\phi 81$  a fost de construcție 1+6x7x0,9mm.

Pentru un unghi de înfășurare de  $17^\circ$  coeficienții de cablare se situează între 7 și 7,06 și coeficienții de toronare între 7,7 și 8,85. Inima

metalica ā avut un pas mai mic si anume un coeficient de cablare de 6,65 si un coeficient de toronare de 6,85.

Anumite cabluri trebuie executate cu un unghi mai mare de impletire( 18<sup>0</sup>). In acest caz , coeficientul de cablare va fi de 6,6 iar coeficientii de toronare de 7,2 .. 8,35.

Inima metalica corespunzatoare va avea coeficient de cablare de 6,4 si cel de toronare 6,45 .

(Coeficientul de cablare al inimii s-a calculat din raportul pasului de impletire a toroanelor inimii si diametrul inimii iar coeficientul de toronare din raportul pasului de impletire a sarmelor in toron si diametrul toronului inimii.) .

Se subliniaza ca valorile pasului de cablare si de toronare s-au calculat in vederea obtinerii unei asezari paralele dintre sarmele inimii metalice si sarmele exterioare ale toroanelor cablului , obtinandu-se astfel un contact liniar .

#### 4.3.5.Influenta modului de impletire si a inimii asupra durabilitatii cablurilor

In cadrul organizatiei internationale pentru studiul durabilitatii cablurilor (OIPEEC) s-au efectuat incercari de durabilitate pe cabluri cu Seale zincate , de diametru 0 12mm , parametrii de incercare fiind (D+d)/d=25 si tensiunile cablu  $\sigma_z = 250,350$  si 450 MPa .

Scopul incercarilor era elucidarea influentei constructiei cablului (cablare paralela si cablare cruce respectiv inima metalica si inima din fire sintetice) asupra durabilitatii cablului .

Valorile medii ale rezultatelor incercarilor efectuate in patru laboratoare , rapartate la cablul impletit in paralel cu inima din fire sintetice si cu un  $\sigma_z = 350$  MPa au condus la urmatarii coeficienti (care se aplica unui numar de 125000 cicluri de sollicitare) .

Tabelul 4.2

Cablul $\sigma_z$	Inima din fire sintetice		inima metalica	
	impletirea paralela	impletirea cruce	impletirea paralela	impletirea cruce
25daN/mm <sup>2</sup>	1,55	1,08	0,5	0,41
35 daN/mm <sup>2</sup>	1	0,49	0,3	0,2
45 daN/mm <sup>2</sup>	0,57	0,23	0,23	0,13

In urma analizarii rezultatelor obtinute se pot trage urmatoarele concluzii :

1. Durabilitatea cablurilor impletite in paralel , cu inima din fire sintetice este in medie de doua ori , iar pentru cele cu inima metalica de 1,5 ori mai mare decat ce a cablurilor corespunzatoare , impletite in cruce .Durabilitatea mai mare a cablurilor impletite in paralel s-ar putea explica prin faptul ca frezarile interioare in aceste cabluri sunt mai mici. Intrucat sarmele si toroanele se pot deplasa mai usor , rigiditatea la incovoiere a cablului scade si tensiunile de incovoiere scad .

2. Cablurile impletite in paralel , avand o inima din fire sintetice au la otensiune de 350 MPa in medie o durabilitate de 3,3 ori mai mare decat cablurile cu inima metalica . In cazul cablurilor impletite in cruce, raportul acesta al durabilitatilor este de 2,4 .Si in acest caz valoarea mai mare a durabilitatii cablurilor cu inima din fire sintetice se poate explica prin rigiditatea mai redusa a acestora fata de cablurile cu inima metalica , ceea ce conduce la o micorare a tensiunilor de incovoiere care apar in timpul incecarilor la durabilitate a cablului trecut peste o rola .

#### 4.3.6. Influenta rezistentei sarmelor asupra durabilitatii cablului

Durabilitatea cablurilor de otel depinde in mare masura si de rezistenta la rupere a sarmelor componente .

In acest sens au fost facute incecari de catre Woerole 11 care a examinat din acest punct de vedere cabluri compuse impletite in paralel si impletite in cruce avand diametrul de 16mm diametrul sarmei fiind de 1mm .

Rezistenta la rupere a sarmelor a variat intre 800-2000 MPa .

Rezultatele incercarilor se prezinta in figura 4.11.

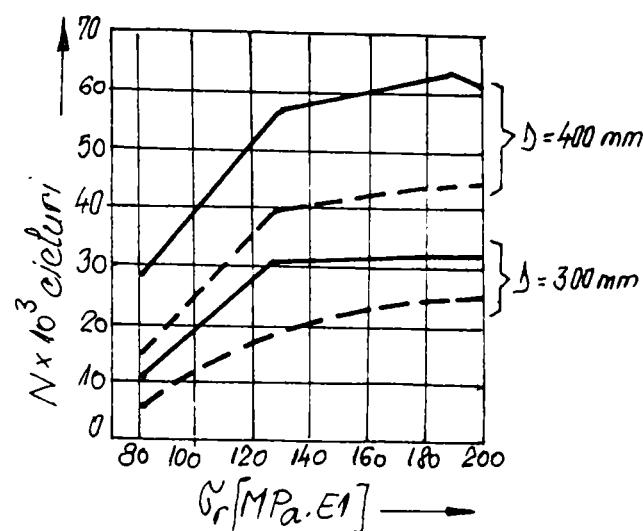


Fig.4.11

Influenta rezistentei sarmelor asupra durabilitatii cablurilor  
D-diametrul rolei  
Cablare paralela  
---cablare cruce

Din rezultatele incercarilor rezulta ca marirea rezistentei sarmelor conduce la o marire a durabilitatii cablului . Se pare ca aceasta influenta favorabila este mai redusa in efect la o rezistenta mai mare de 1300 MPa si ca se produce un maxim in jurul valorii de 1800 MPa.De asemenea se poate observa avantajul evident a cablarii paralele fata de cablarea in cruce .

#### 4.4.Materialul experimental

Tipul cablului trimis era :  
Cablu otel  $\phi$  13 - 6x37x0,6 – 160/B  
STAS 1353

Tabelul 4.3

	Nr. Cr t.	otare	Tipul cablului
MODUL DE UNGERE	1.	A	Cablu S/Z, mat, neuns, inimă vegetală neimpregnată
	2.	B	Cablu S/Z, mat, uns, inimă vegetală impregnată
	3.	C	Cablu S/Z, mat, neuns, inimă metalică
	4.	D	Cablu S/Z, mat, uns, inimă metalică
CALITATEA SĂRMEI ȘI MODUL DE ÎNFĂȘURARE	5.	'a'	Cablu S/Z ,mat, sârmă indigenă
	6.	'b'	Cablu S/Z ,mat,sârmă import
	7.	'c'	Cablu S/Z ,mat
	8.	'd'	Cablu S/Z, sârmă zincată
	9.	'e'	Cablu S/Z ,mat,pas de cablare 86, 40 [mm]
	10.	'f'	Cablu S/Z ,mat pas de cablare 96, 24 [mm]
	11.	'g'	Cablu S/Z, mat, pas de cablare 103, 60 [mm]
	12.	'h'	Cablu S/Z, mat,pași de toronare: $P_7 = 17,28$ ; $P_{12}=28,20$ $P_{18} = 40$ [mm]
	13.	'i'	Cablu S/Z, mat,pași de toronare : $P_7 = 14,35$ ; $P_{12} =20,20$ $P_{18} = 44,25$ [mm]
	14.	'j'	Cablu S/Z ,mat,pași de toronare: $P_7 = 18.09$ ; $P_{12} =33.84$ $P_{18} = 53.06$ [mm]

## 4.5 Incercari efectuate

### 4.5.1. Incercari de rupere fir cu fir

Pentru a efectua o investigatie asupra materialului sarmelor componente ale cablurilor, s-au executat incercari de rupere "fir cu fir" pentru trei sortimente de cablu si anume (conf. tab. 2.1)

- cablul a – cablul S/Z, mat, sarma indigena
- cablul b – cablul S/Z, mat, sarma import
- cablul d – cablul S/Z, sarma zincata

Incercarea de rupere fir cu fir s-a executat conform STAS 2172 si anume din cele trei tipuri de incercari:

- incercarea la tractiune a sarmelor (STAS 6951)
- incercarea la indoire alternanta a sarmelor (STAS 1177)
- incercarea la rasucire a sarmelor (STAS 1750)

Ruperea sarmelor s-a executat pe o masina de tractiune de 500kgf de tipul AVK Budapest - Tipul RM 101 Nr. 62 -0833 buletin de verificare 703-042/7.V. 1976 cls. I-a de precizie pe scara de 100 kgf.

Masurarea diametrului sarmei s-a facut cu un comparator ( precizia 0.01 mm).

### 4.5.2. Incercarea cablului la durabilitate

Cele 14 sortimente de cablu au fost incercate in numar de 9 epruvete fiecare, utilizandu-se 3 trepte de incarcare. Forta de tractiune in cablu s-a stabilit pe baza acceptarii unor coeficienti de siguranta ( c = 4, 6 si 8) fata de forta teoretica de rupere a cablului:

$$F_t = \sigma_{rs} \cdot A_{net} = 160 \cdot 62,8 = 10000 \text{ daN}$$
$$\sigma_{rs} = 160 \text{ daN} / \text{mm}^2 \text{ -rezistența la rupere a sarmelor}$$
$$A_{net} = 62,8 \text{ mm}^2 \text{ - aria metalică a cablului}$$

Astfel au rezultat urmatoarele forte de tractiune in cablu:

$$F_4 = 2500 \text{ daN}; \quad F_6 = 1670 \text{ daN} \quad F_8 = 1250 \text{ daN}.$$

Incercările la durabilitate s-au efectuat cu masina de incercat cabluri, brevet de inventie autor ing. Lazăr Boleanțu.

Mașina asigură, prin producerea unei mișcări alternante, o solicitare compusă de încovoiere și tractiune. Principiul de funcționare al acestei

instalații este următorul : cablul ce urmează a fi încercat este înfășurat pe cele două role care execută o mișcare oscilantă. Capetele se fixează cu ajutorul unor clame de rola inferioară, care produce mișcarea oscilatorie și obligă cablul să se încovoie peste rola superioară care are un diametru mai mic decât cea inferioară .

Roal superioară fiind demontabilă , poate fi schimbată în vederea modificării parametrilor încercării .Acesti parametrii sunt:

- diametrul rolei D
- forma și dimensiunea canalului
- duritatea materialului rolei

Tracțiunea în cadru este produsă de un grup motor-reductor care acționează asupra rolei superioare .Tot de rola superioară este montat și sistemul dinamometric .

Caracteristici de încercare :

- forța de tracțiune maximă 100KN
- diametrul rolei superioare 274mm
- lungimea epruvetei de cablu 3200mm
- frecvența de îndoire 1Hz

#### 4.6. REZULTATELE ÎNCERĂRILOR

##### 4.6.1 Încercarea la rupere “ fir cu fir “

Rezultatele încercărilor la rupere “ fir cu fir” a celor 3 sortimente de cablu , indicate la capitolul 3.1 s-au trecut în tabelele 4.1 – 4.18, care cuprind următoarele date : diametrul sârmei  $d$  [ mm ], aria secțiunii transversale  $A$  [mm<sup>2</sup>], forța de rupere la tracțiune  $F_r$  [ daN], rezistența la rupere  $\sigma_r$  ( daN / mm<sup>2</sup>), numărul de îndoiri  $N_i$  și numărul de răsuciri  $N_r$  până la rupere.

În partea de jos a tabelelor s-au trecut semnele și mediile valorilor de mai sus.

La ultimul toron al fiecărui cablu apare în subsolul tabelelor și suma și media mărimilor pentru întregul cablu.

#### Intervalul de încredere

În continuare s-a făcut un calcul statistic privind omogenitatea toroanelor din cele trei cabluri în privința lui  $\sigma_r$ ,  $N_i$  și  $N_r$ .

Pentru aceasta s-au calculat intervalele de încredere pentru cele trei mărimi indicate mai sus.

Pentru încrederea  $\alpha$  s-a ales o valoare obișnuită în tehnică de  $\alpha = 0,9$  .

100

S-au calculat limitele superioare și cele inferioare ale intervalelor de confidență U și L luând ca parametru media pe toron. Soluția problemei se va enunța astfel : “ media lui  $\sigma_r, N_i$  sau  $N_r$  pe toron se va afla între valorile U și L cu o încredere = 0,9 (sau 90%)

Limitele intervalului de confidență s-au calculat:

$$U = \bar{X} + tS_{\bar{x}}$$

$$L = \bar{X} - tS_{\bar{x}}$$

unde :

- $\bar{X}$  media pentru  $\{ \sigma_r, N_i \text{ sau } N_r \}$
- $t=2,015$  - valoarea scoasă din tabelele statistice în funcție de încrederea aleasă și de numărul de parametrii [9]

$$t\left(\frac{1+\chi}{2}; n-1\right)$$

$n=6$  -numarul de toroane

$\chi = 0,9$  -increderea aleasa

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2}{n}}$$

unde :  $S^2$ =dispersia (varianta)

#### 4.6.2.Incercarea la durabilitate

Rezultatele incercarilor la durabilitate , executate conform cap.3.2., se prezinta in doua variante :

-prima varianta are la baza tensiunea de intindere in cablu

$$\sigma_t = \frac{F}{A_{met}}$$

in care F este forta de tractiune in cablu ( $F_4; F_6; F_8$ ) si  $A_{met}$ -aria metalica .

-a doua varianta are la baza tensiunea maxima din cablu :

$$\sigma_{max} = \sigma_t + \sigma_i$$

in care  $\sigma_i$  este tensiunea din cablu datorita incovoierii sale peste o rola.

101



S-au calculat limitele superioare și cele inferioare ale intervalelor de confidență  $U$  și  $L$  luând ca parametru media pe toron. Soluția problemei se va enunța astfel : “ media lui  $\sigma_r, N_i$  sau  $N_r$  pe toron se va afla între valorile  $U$  și  $L$  cu o încredere  $= 0,9$  (sau 90% )

Limitele intervalului de confidență s-au calculat:

$$U = \bar{X} + tS_{\bar{x}}$$

$$L = \bar{X} - tS_{\bar{x}}$$

unde :

- $\bar{X}$  media pentru  $\{ \sigma_r, N_i \text{ sau } N_r \}$
- $t=2,015$  - valoarea scoasa din tabelele statistice in functie de increderea aleasa si de numarul de parametrii [9]

$$t\left(\frac{1+\chi}{2}; n-1\right)$$

$n=6$  -numarul de toroane

$\chi = 0,9$  -increderea aleasa

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2}{n}}$$

unde :  $S^2$ =dispersia (varianta)

#### 4.6.2.Incercarea la durabilitate

Rezultatele incercarilor la durabilitate , executate conform cap.3.2.. se prezinta in doua variante :

-prima varianta are la baza tensiunea de intindere in cablu

$$\sigma_c = \frac{F}{A_{met}}$$

in care  $F$  este forta de tractiune in cablu ( $F_1; F_6; F_8$ ) si  $A_{met}$ -aria metalica .

-a doua varianta are la baza tensiunea maxima din cablu :

$$\sigma_{max} = \sigma_c + \sigma_i$$

in care  $\sigma_i$  este tensiunea din cablu datorita incovoierii sale peste o rola.

102

Tensiunea datorita incovoierii cablului s-a calculat cu formula lui Releaux :-

$$\sigma_i = E \frac{\delta}{D}$$

In care  $E = 2,1 \cdot 10^4$  MPa –modulul de elasticitate al materialului sarmelor (otel).

$\delta$  -diametrul sarmei [mm]

$D$  -diametrul rolei [mm]

La baza prelucrarii rezultatelor obtinute din incercarea la durabilitate a cablului a stat obtinerea curbei de durabilitate .

$$\sigma^m \cdot N = K$$

in care  $\sigma$  reprezinta tensiunea din cablu

$N$  -numarul de cicluri de indoire pana la rupere

$m, K$  -parametrii

Pentru a obtine valoare parametrilor  $m, K$  s-a folosit metoda celor mai mici patrate , care s-a aplicat in felul urmator :

-s-au introdus variabilele

$$X = \log \sigma$$

$$Y = \log B$$

-s-au facut mediile

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n}$$

$n=9$  numarul de epruvete pe sortiment de cablu

-s-au calculat coeficientii de corelatie

103

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum x_i^2 - \bar{x}^2}$$

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum y_i^2 - \bar{y}^2}$$

-s-au determinat coeficientii de corelatie reciproca :

$$r = \frac{1}{S_x S_y} \left[ \frac{1}{n} \sum X_i Y_i - \bar{X} \bar{Y} \right]$$

-s-au calculat parametrii m,K :

$$m = -r \frac{S_y}{S_x}$$

$$\log K = m \bar{X} + \bar{Y}$$

Pentru verificarea calculelor de mai sus si pentru a obtine mai multe puncte necesare pentru trasarea curbelor  $\sigma^m N = K$  (Tabelul 4.4).

Curbele de durabilitate  $\sigma^m N = K$  au fost trasate dupa rezultatele obtinute la calculator , punandu-se pe diagrame si punctele date de valorile lui  $\sigma$  si N obtinute experimental.

Tabelul 4.4.

Cablul	( daN/mm )	N (cicluri)	$\sigma^n \cdot N = K$		$\sigma_{max}^{n1} \cdot N = K$	
			N	K. 10 <sup>-6</sup>	n	K. 10 <sup>-6</sup>
a	37,1 43,7 57	145673 93047 25568	2,53	308,4	4,09	410200
b	37,1 43,7 57	122738 82523 30776	2,02	54,1	3,25	16360
c	37,1 43,7 57	166746 112636 54544	1,62	22	2,61	2111
d	37,1 43,7 57	130062 83020 28983	2,17	88,9	3,5	41150
e	37,1 43,7 57	116693 89929 26420	2,24	107,2	3,62	63770
f	37,1 43,7 57	142852 58085 23477	2,59	310,5	4,15	414400
g	37,1 43,7 57	155728 107090 31960	2,33	183,5	3,77	138200
h	37,1 43,7 57	189780 90954 31752	2,59	433,8	4,15	602400
i	37,1 43,7 57	103656 58320 25743	2,01	43,3	3,24	12491
j	37,1 43,7 57	103530 77820 25992	2,04	51,7	3,3	17376

#### 4.7. Concluzii

##### 4.7.1. Influența lubrificării cablurilor

Pentru a studia influența lubrificării cablurilor asupra durabilității acestora s-au trasat curbele de durabilitate  $\sigma^m \cdot N = K$  pentru cablurile A și B ( neuns cu inima vegetală neimpregnat și uns cu inima vegetală

impregnată), respectiv C și D ( neuns cu inimă metalică și uns cu inimă metalică) putându-se constata următoarele :

a) Ungerea cablului produce un efect pozitiv în ceea ce privește durabilitatea acestuia atât la cablu cu inima vegetală, cât și la cablu cu inima metalică.

b) Efectul pozitiv al ungerii variază cu valoarea tensiunii  $\sigma_t$  din cablu fiind în general mai accentuat la valori mai mari ale lui  $\sigma_t$

Durabilitățile se compară prin numărul mediu de cicluri până la rupere, notându-se numărul de cicluri pentru cablul uns cu inima vegetală impregnată (B) la tensiunea mijlocie  $\sigma_t = 26.5 \text{ daN}$  cu (1)

Rezultatele se prezintă în tabelul 4.5

Tabelul 4.5

$\sigma_t$ [daN/mm <sup>2</sup> ] cablu	19,9	26,5	39,8
A	0.64	0.29	0.146
B	1.55	1	0.243
C	0.454	0.246	0.069
D	1.38	0.85	0.284

Din tabelul 4.5 , rezultă că creșterea cea mai importantă a durabilității apare la cablul D la tensiunea de 39.8 daN față de cablul C (4.1ori)

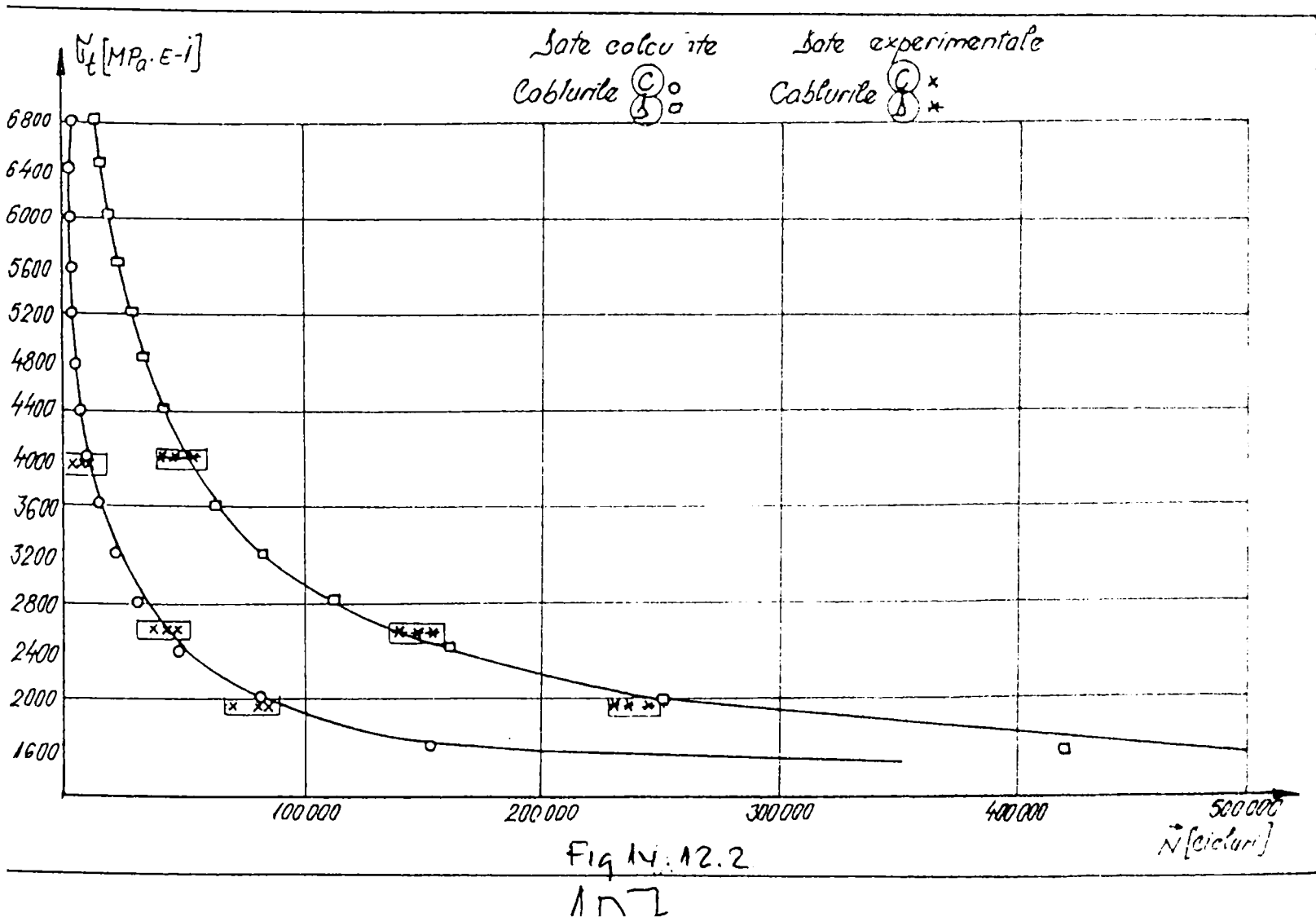
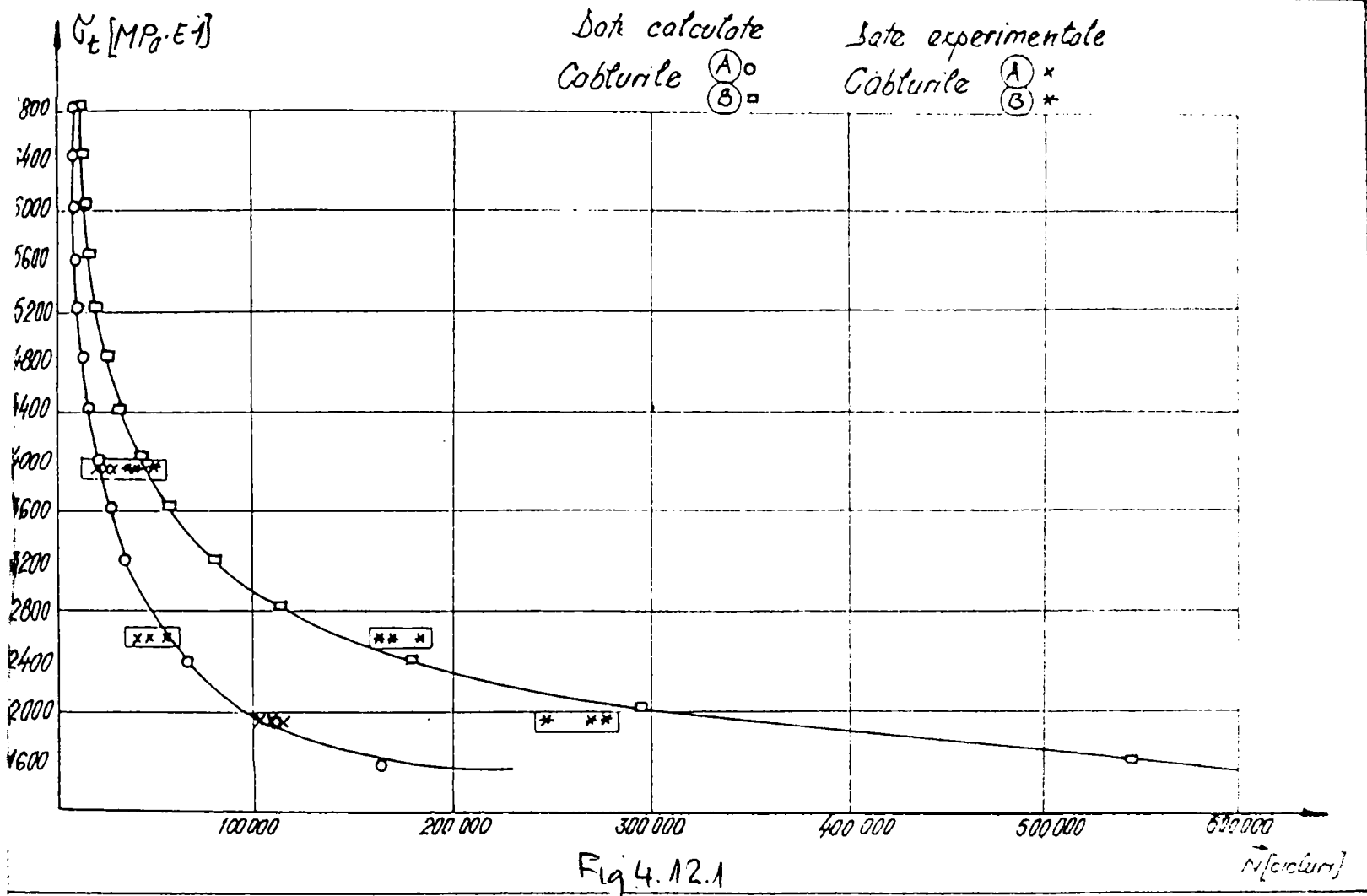
Creșterea cea mai mică a durabilității apare la cablul B ( $\sigma = 39.8 \text{ daN}$ ) față de cablul A (1.67ori).

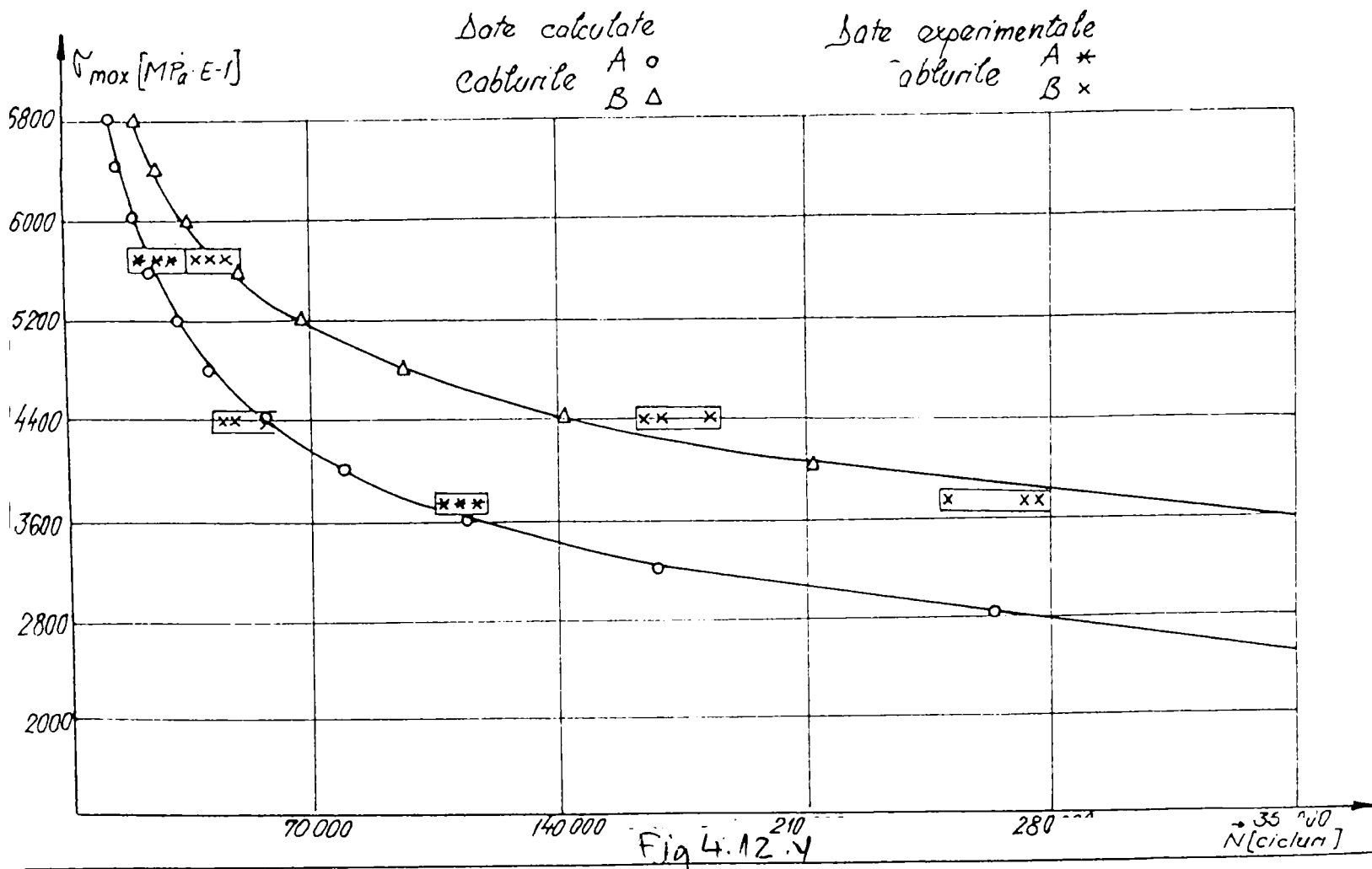
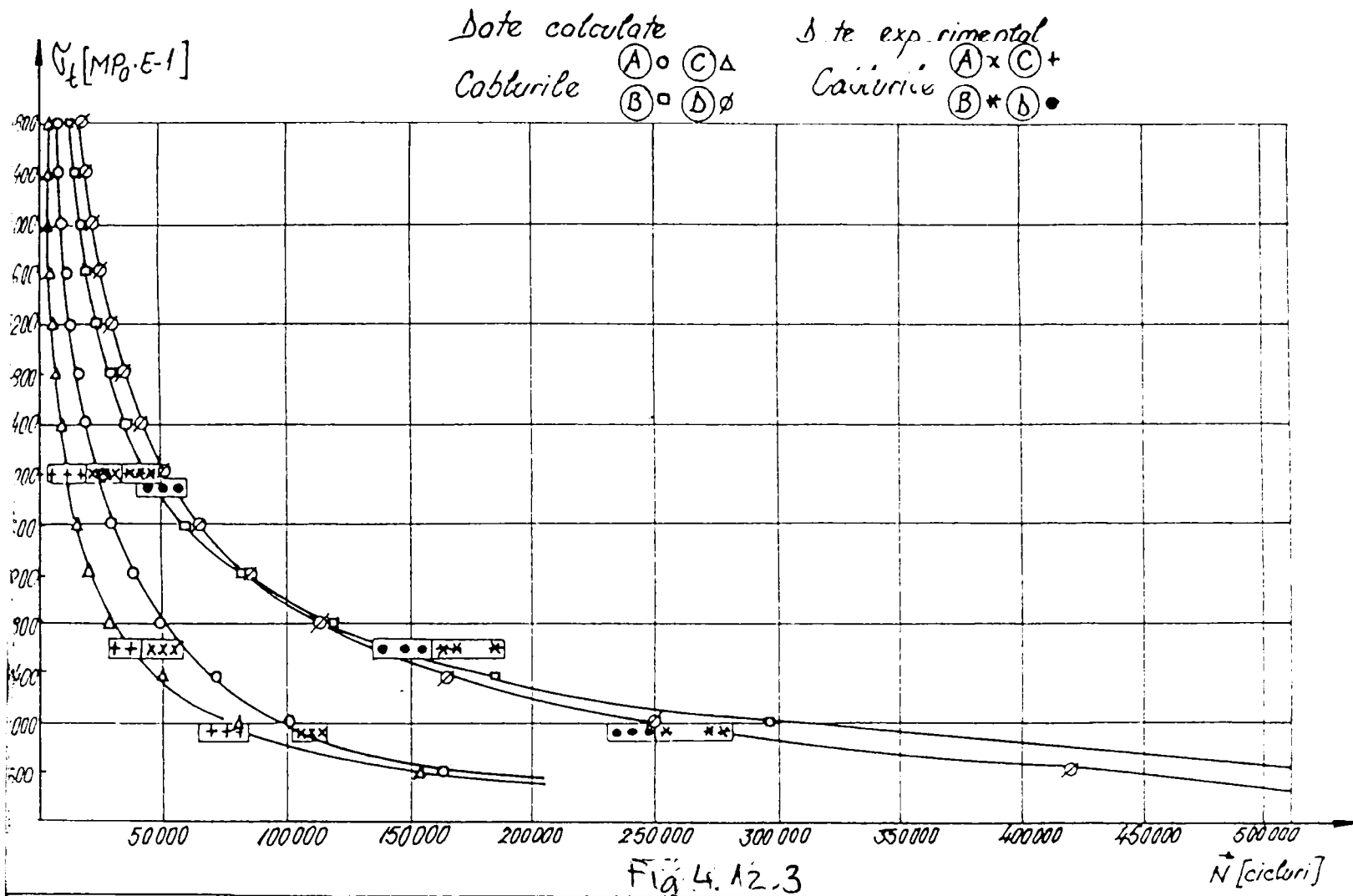
c) Din tabelul 5.1 rezultă și faptul că lubrificarea cablurilor are un efect mai accentuat la cablurile cu inimă metalică la care creșterea durabilității este de peste 3 ori la toate nivelele de tensiune (cablul D față de cablul C).

d) Durabilitatea cablurilor cu inima vegetală este în general mai mare decât cea cu inimă metalică  $\sigma_t = 39.8 \text{ daN} / \text{mm}^2$ .

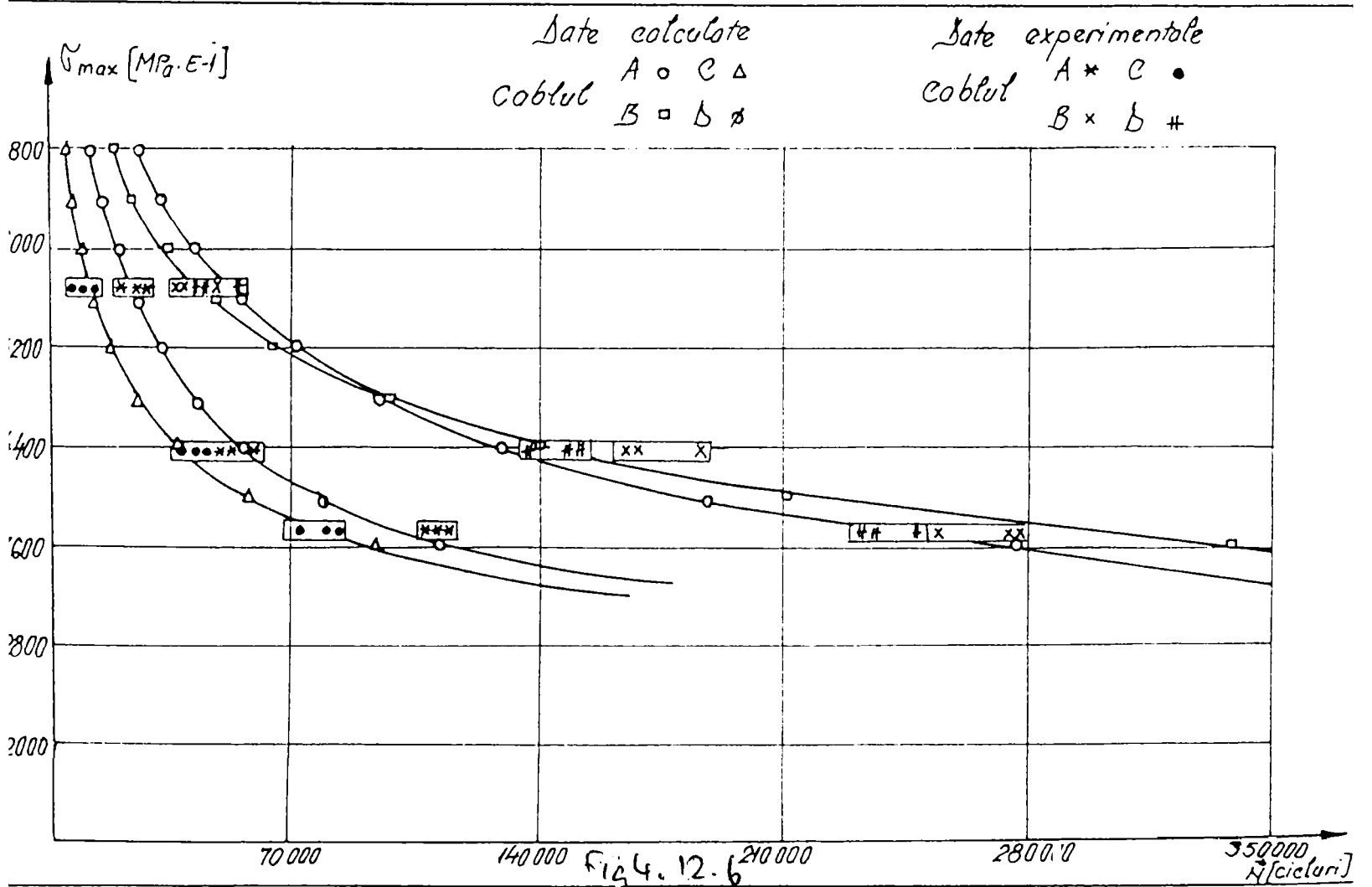
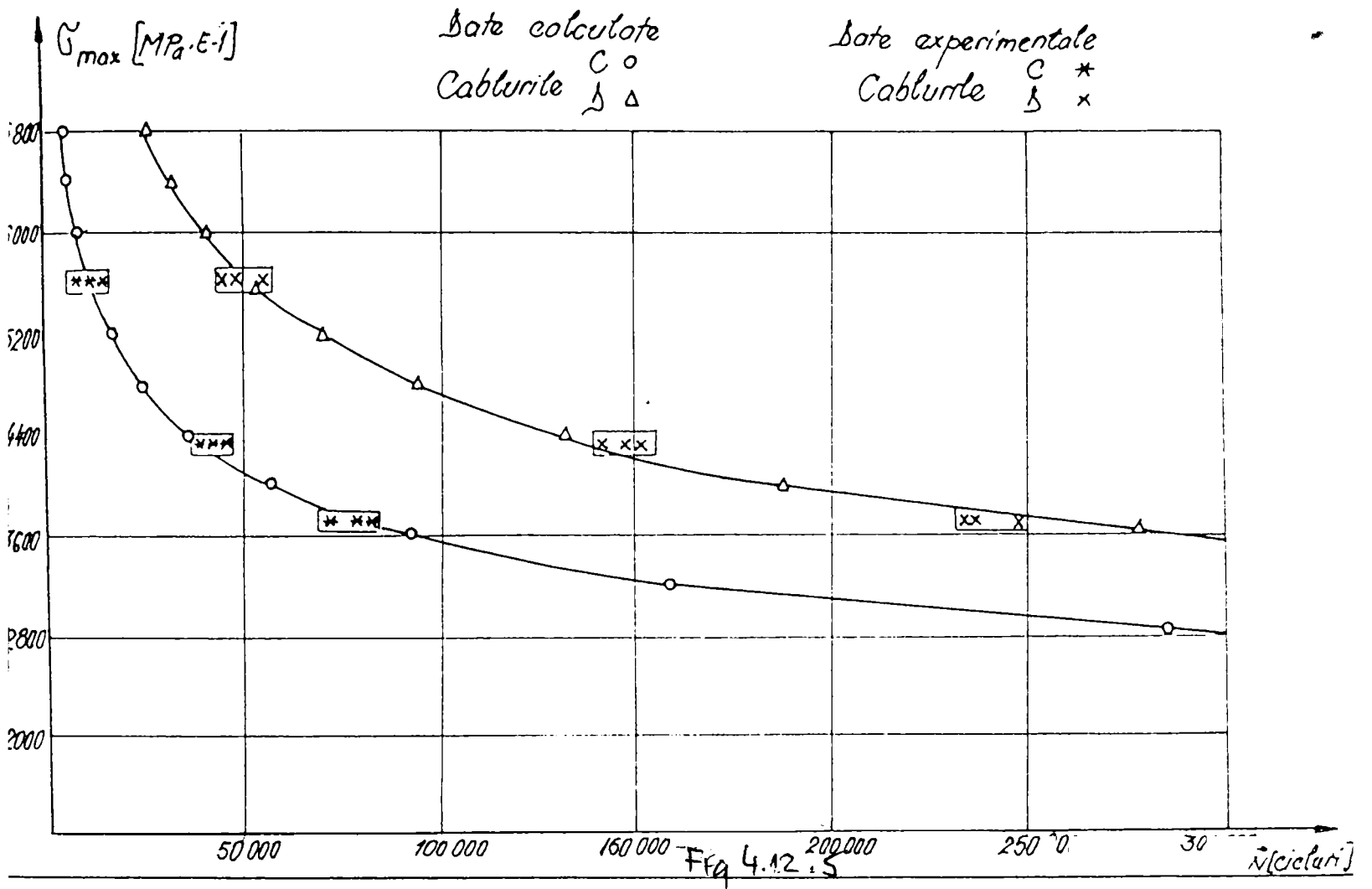
Totuși la tensiuni mari durabilitatea cablului D (uns cu inimă metalică) este cu 14.5% mai mare decât cea a cablului B(unsa cu inima vegetala)

Acest lucru se poate explica prin faptul ca la tensiuni mari , cauza principala in ceea ce priveste distrucgerea cablului este efectul de tractiune a cablului si nu efectul de incovoiere peste rola de cablu.

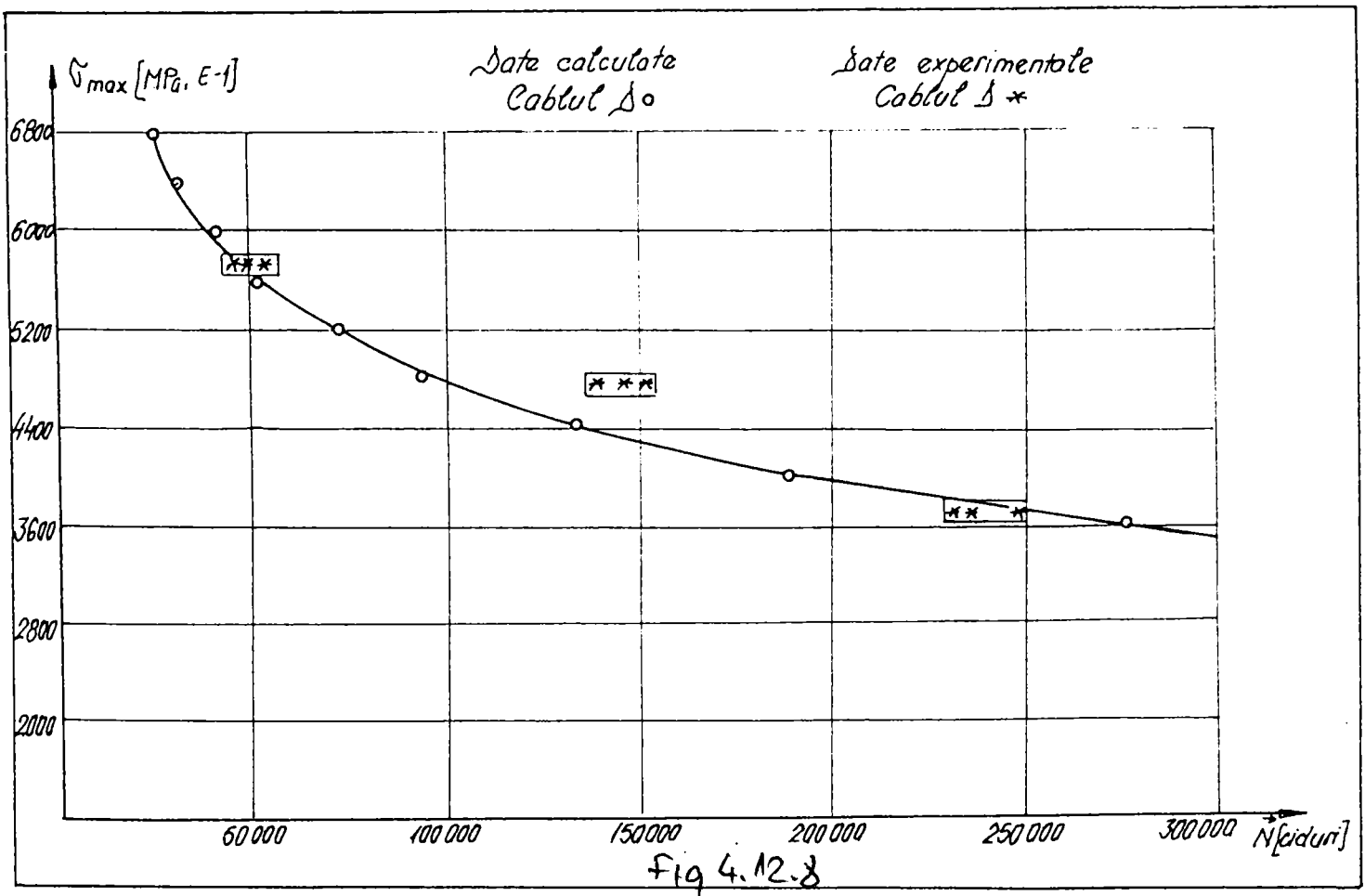
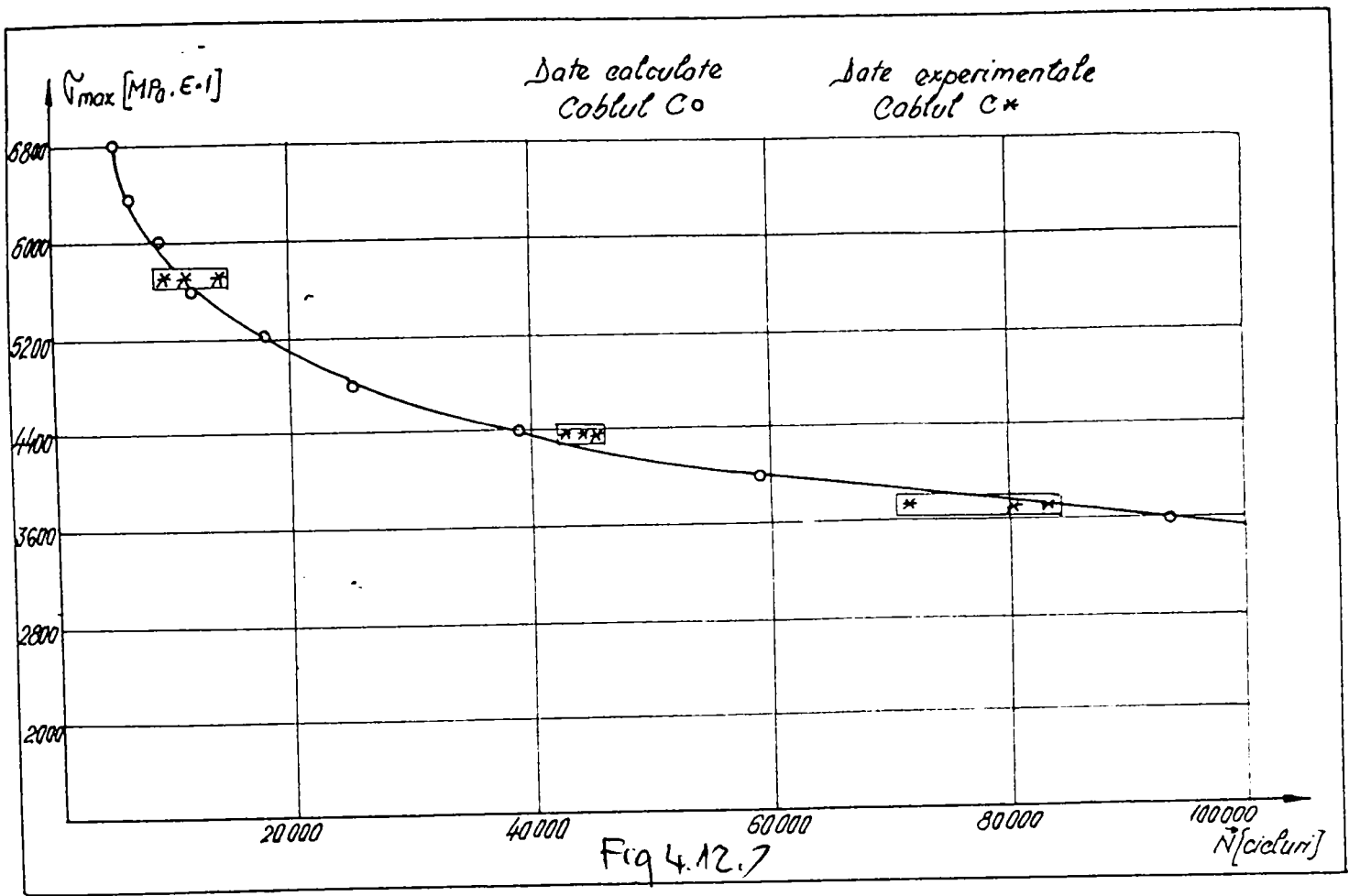




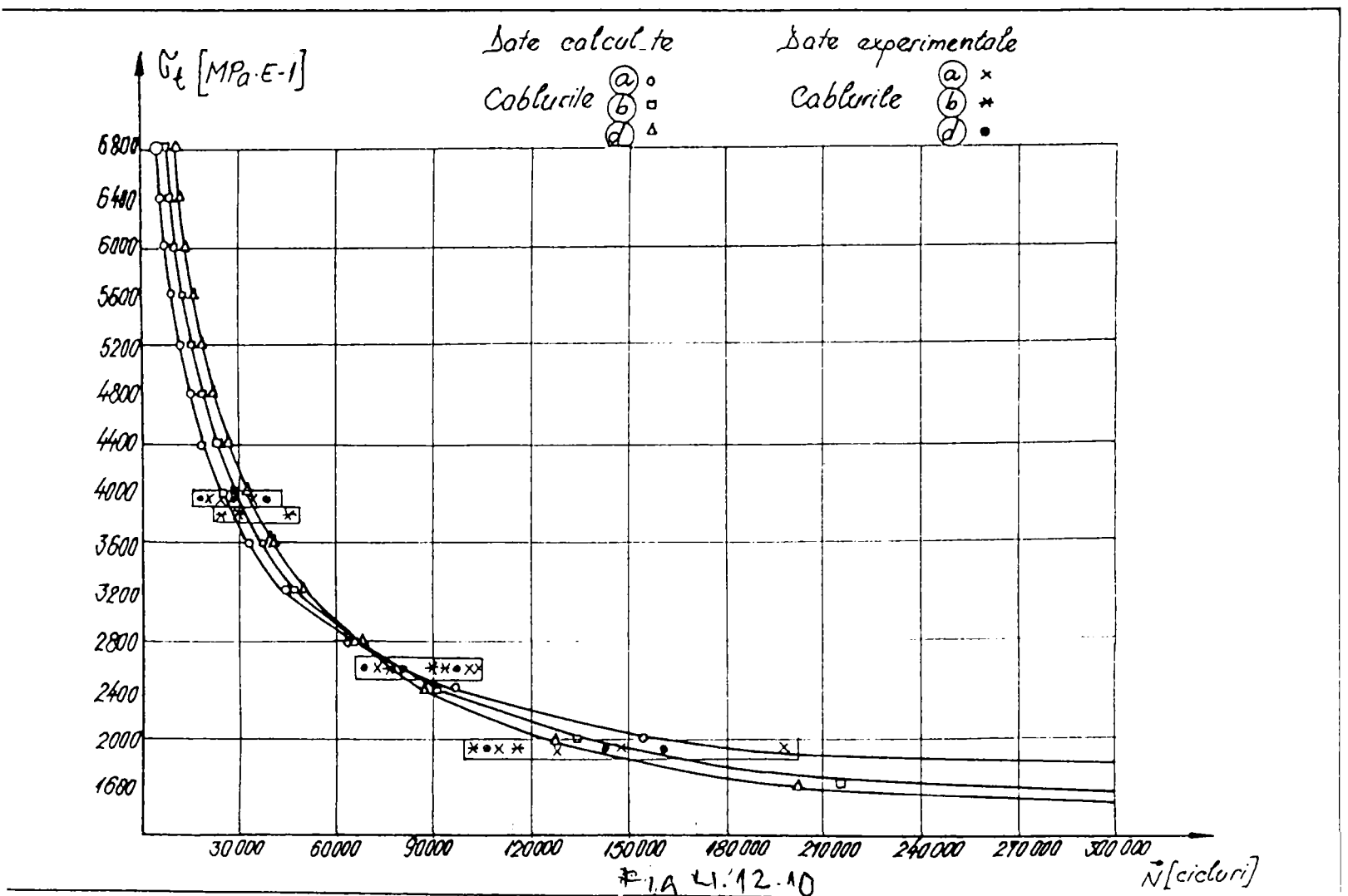
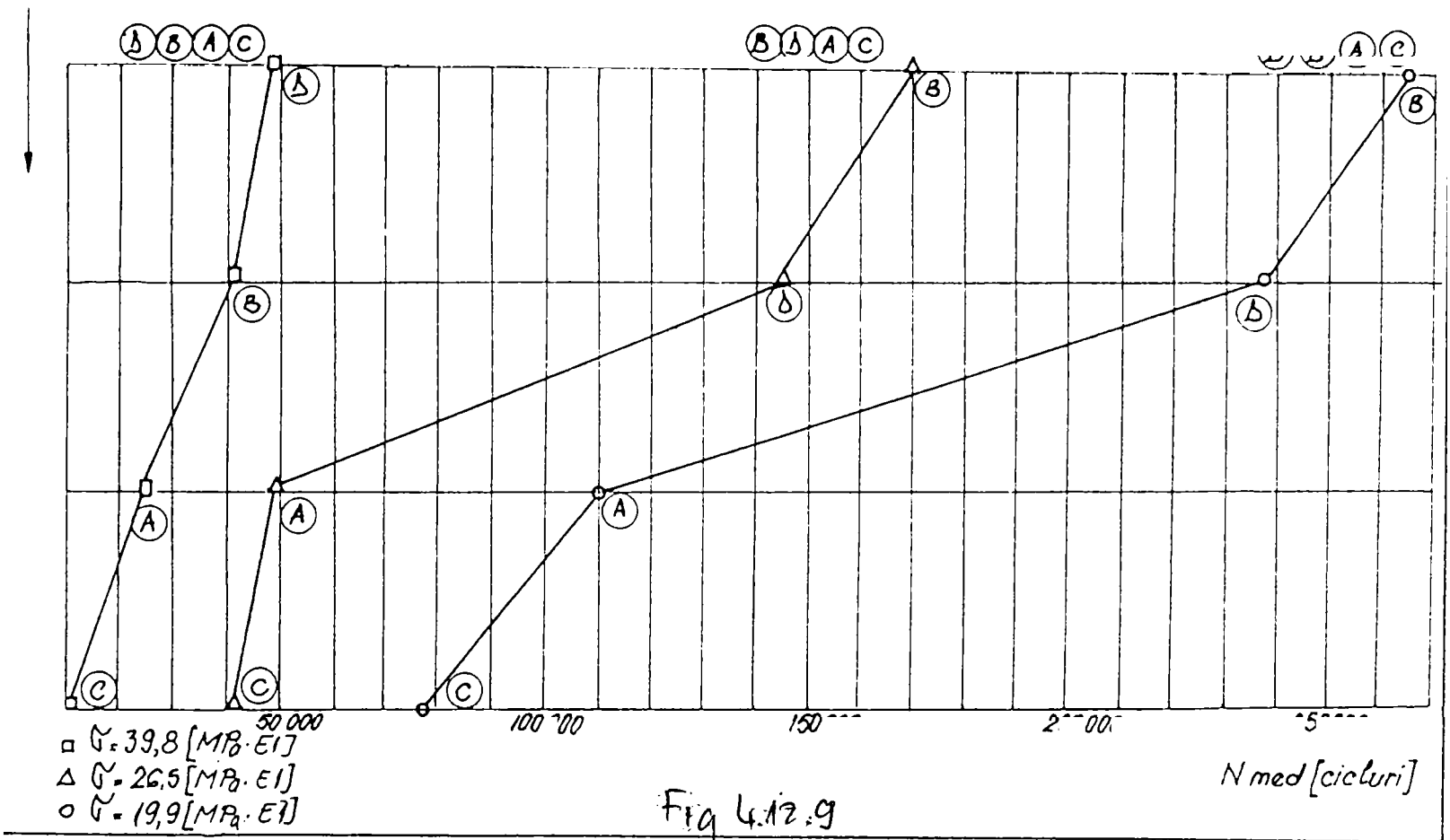
AMX







Cablurile (A) (B) (C) (d)



AAA

Avand in vedere cele aratate mai sus se poate spune ca atunci cand cablul de otel se foloseste la tensiuni mici de tractiune este indicata folosirea cablului uns cu inima vegetala impregnata , iar in cazul unor tensiuni mari de intindere folosirea cablului cu inima metalica este mai optuna .

#### 4.7.2 Influența calității sârmelor

In urma comportarii cablurilor de tip a,b si d , respectiv cablul mat cu sarma indigena , cablul mat cu sarma import si cablul zincat , se pot constata urmatoarele :

La tensiunea maxima ( $\sigma_t = 39,8 \text{ daN/mm}^2$ ) cea mai buna comporatare la durabilitate o are cablul b (sarma import) fiind urmat de cablul d (zincat) si de cablul a (sarma indigena).

La tensiunea mijlocie ( $\sigma_t = 25,5 \text{ daN/mm}^2$ ) cel mai bine se comporta cablul a urmat de cablul d si de cablul b , iar la tensiunea minima ( $\sigma_t = 19,9 \text{ daN/mm}^2$ ) ordinea este tot a,d,b .

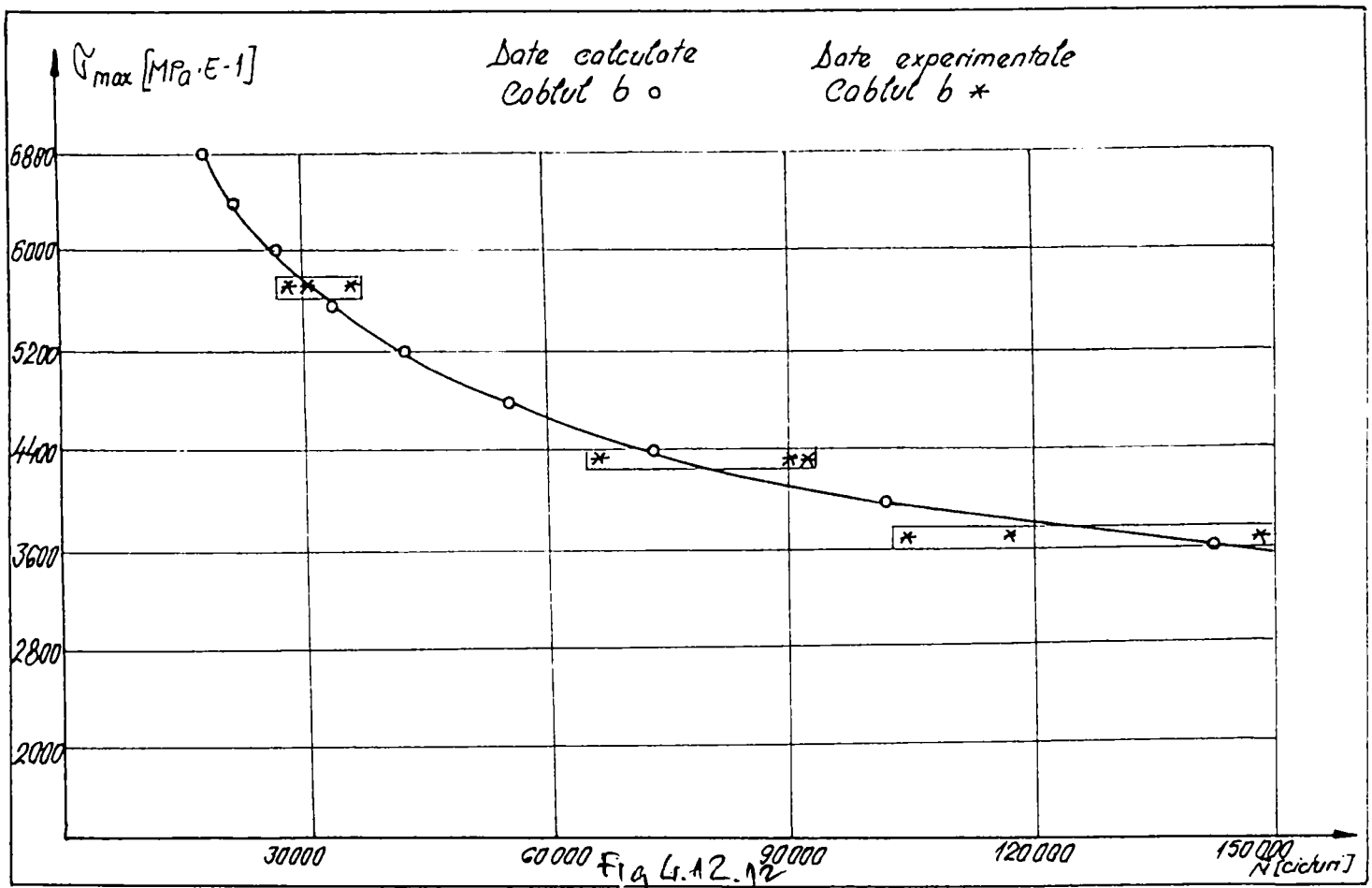
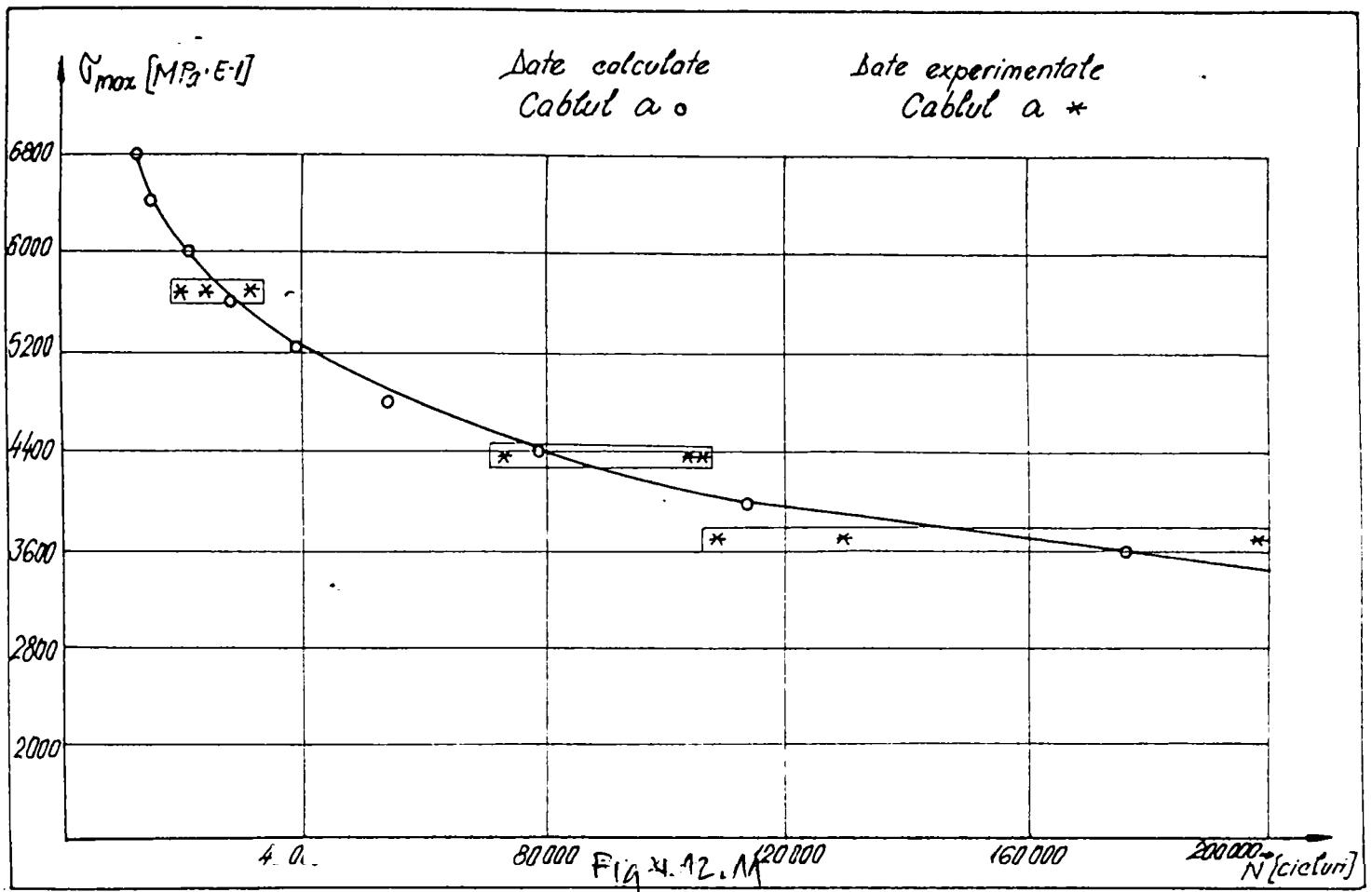
In tabelul 4.6.se prezinta valorile durabilitatii raportate la numarull mediu de cicluri pentru cablul a la tensiunea mijlocie  $\sigma_t = 26,5 \text{ daN/mm}^2$ .  
Tabelul 4.6.

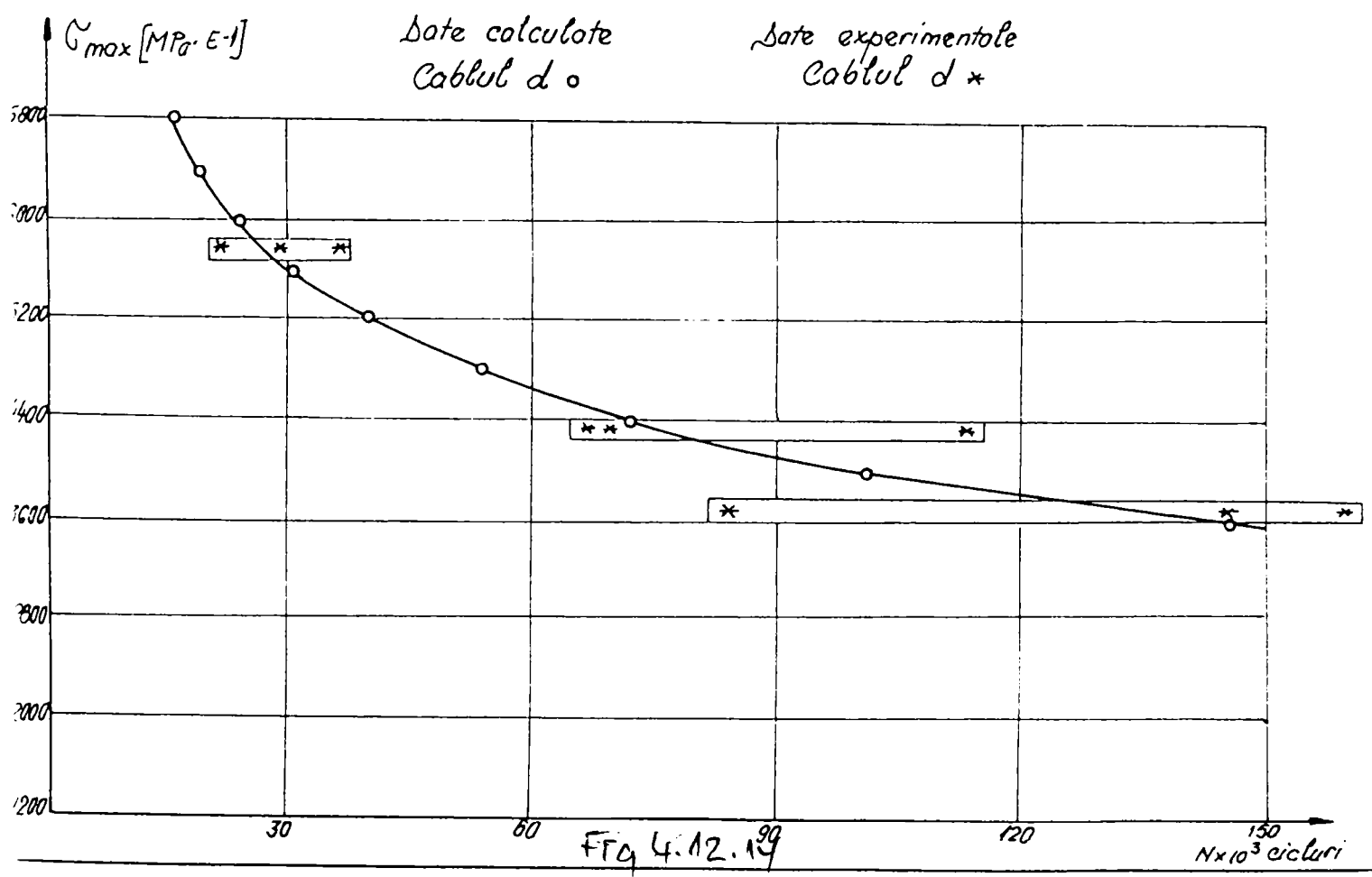
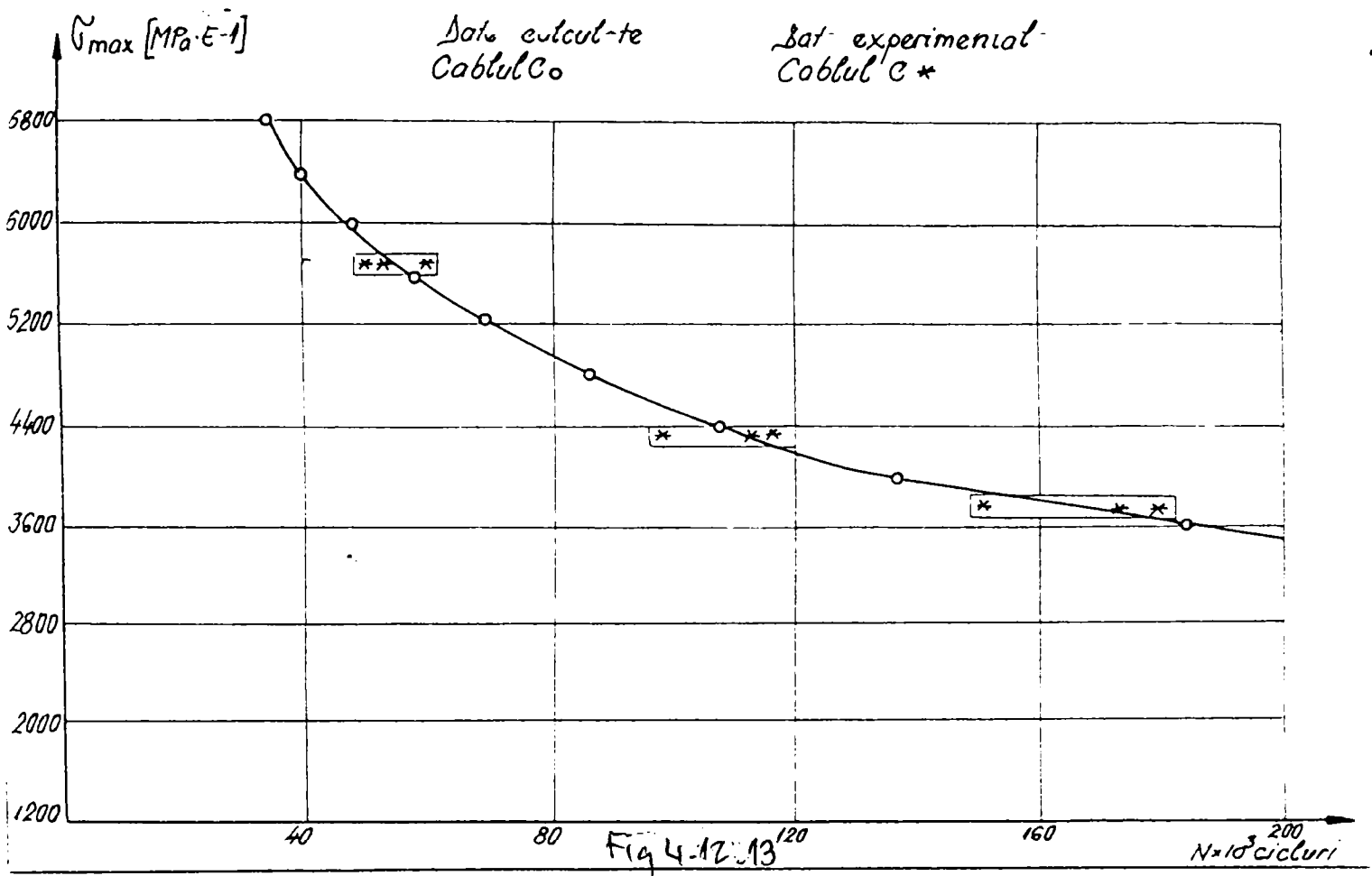
Tabelul 4.6

$\sigma_t$ [daN/mm <sup>2</sup> ] cablu	19.9	26.5	39.8
'a'	1.56	1	0.274
'b'	1.32	0.888	0.33
'c'	1.40	0.892	0.31
'd'			

Dupa cum se vede cablul a rezista cel mai bine la tensiuni mici . Acest lucru se poate explica prin faptul ca acest cablu a prezentat la incercarea "fir cu fir" valoarea cea mai mica pentru rezistenta la rupere a sarmelor si nr. Maxim de indoiri pana la rupere . Numarul de rasuciri pana la rupere este mai mare decat la cablul b insa mai mica decat la cablul d .

Cablul confectionat din sarma import b are durabilitatea cea mai mare la tensiunea maxima ( $\sigma_t = 39,8 \text{ daN/mm}^2$ ) fapt care se poate explica cu ajutorul valorii medii a rezistentei la rupere a sarmelor din





114

incecarea "fir cu fir" care este mai mare decat acelasi parametru la celelalte doua cabluri .

Toate aceste concluzii rezulta din tabelul 4.7. care cuprinde valorile medii pe cablu a rezistentei la rupere a sarmelor ( $\sigma_r$ ) a numarului de indoiri ( $N_i$ ) . si a numarului de rasuciri ( $N_r$ ) pana la rupere, care contin rezultatele incercarii "fir cu fir" .

Tabel 4.7.

Tabel 4.7

Medii pe cablu Cablu	$\sigma_r$ daN/mm <sup>2</sup>	$N_i$	$N_r$
' a '	163,264	29,216	88,387
' b '	174,387	27,333	84,757
' d '	170,581	26,216	93,023

Din cele aratate mai sus se poate constata ca factorul hotarator din punct de vedere al incecarii "fir cu fir" , in ceea ce priveste durabilitatea cablului solicitat la o tensiune de tractiune mica este numarul mediu de indoiri , respectiv de rasuciri , iar la o tensiune de tractiune mare , valoarea medie a rezistentei la rupere a sarmelor .

Cablul zincat d are o comportare intermediara in ceea ce priveste durabilitatea , fapt care se datoreste probabil timpului relativ scurt de incercarea in cadrul laboratorului (1-3 zile) a epruvetelor de cablu . excluzandu-se astfel fenomenul de coroziune , care in exploatare are un aport substantial in privinta distrugerii cablurilor .

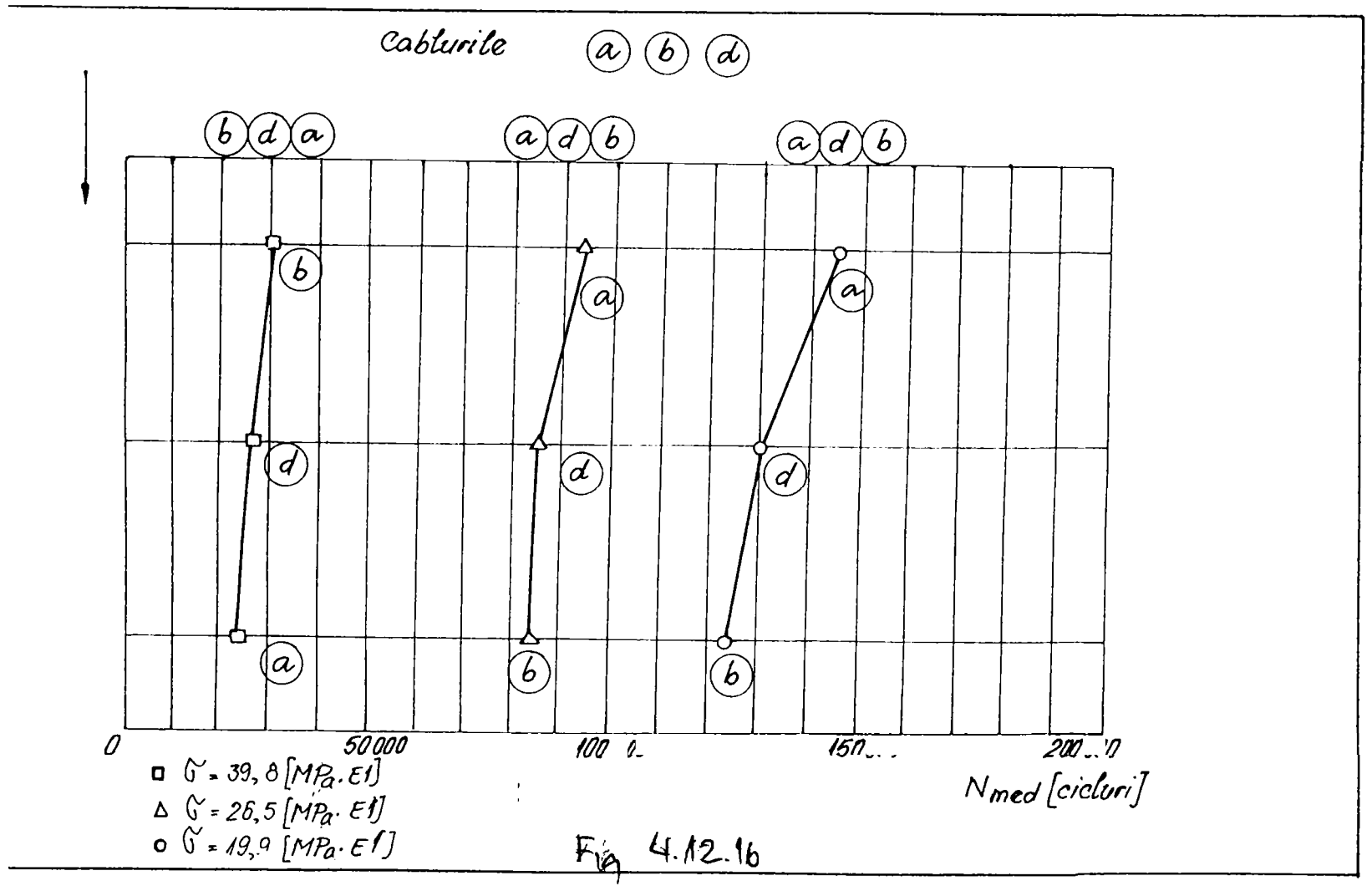
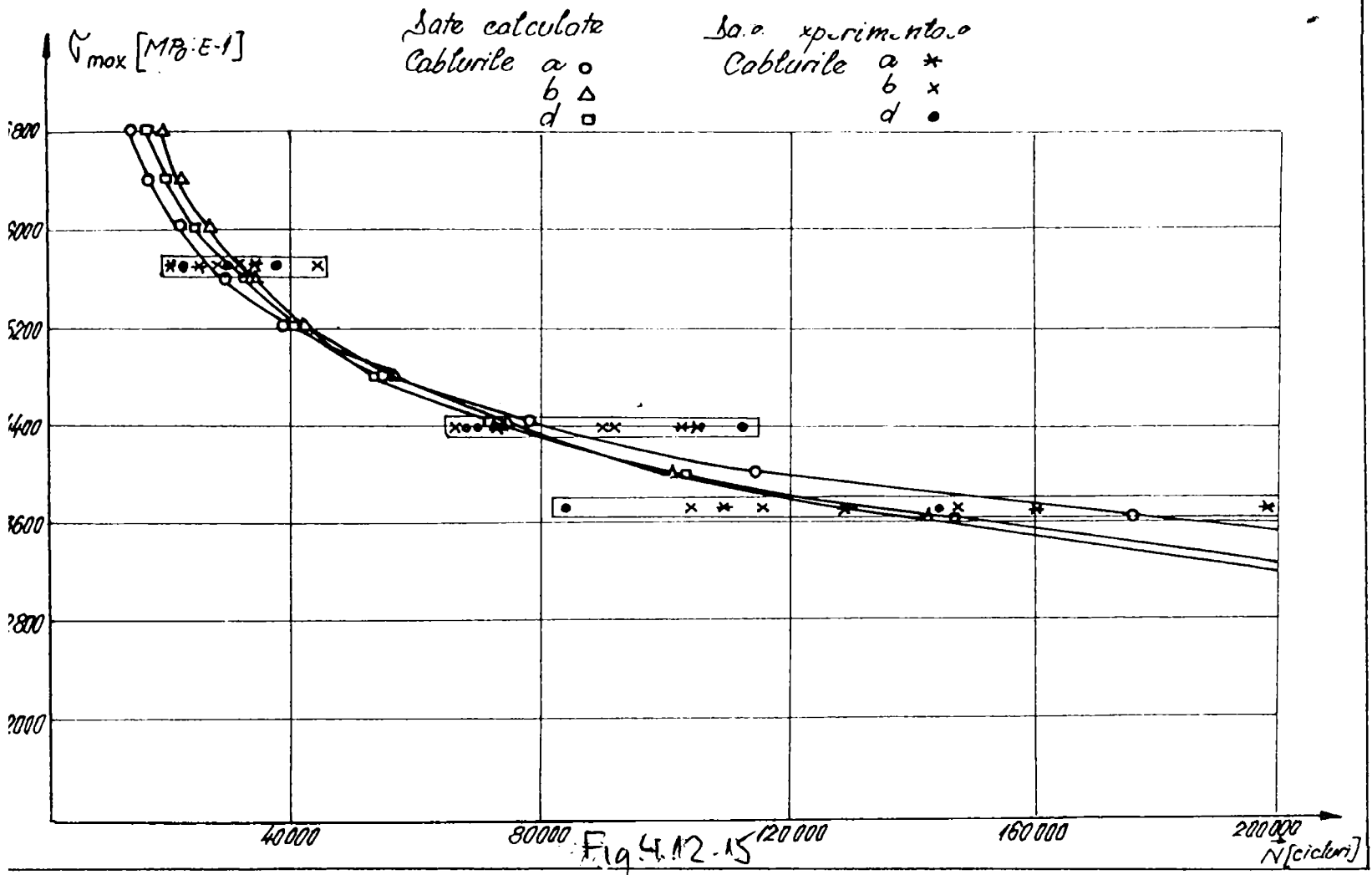
Daca extragem numarul de parametrii  $X_i$  care nu se incadreaza in intervalul de confidenta , dat de limitele L si U , obtinem valorile prezentate in tabelul 4.8.

Tabelul 4.8.

Tabelul 4.8

CABLUL	a	b	c
--------	---	---	---

115



Param. $X_i$			
	2	3	2
$N_i$	2	3	2
$N_r$	3	3	3

Se observa ca la cablul b apare numarul total cel mai mare de parametrii neincadrati ; ceea ce denota o neomogenitate mai accentuata a toroanelor cablului confectionat din sarma import fata de celelalte doua tipuri de cablu .

#### 4.7.3. Influenta modului de impletire a cablului

##### 4.7.3.1. Infasurarea paralela si in cruce

Compararea celor doua moduri de infasurare a cablului se face prin interpretarea rezultatelor obtinute la cablul a (infasurare S/Z) si la cablul c (infasurare Z/Z) .

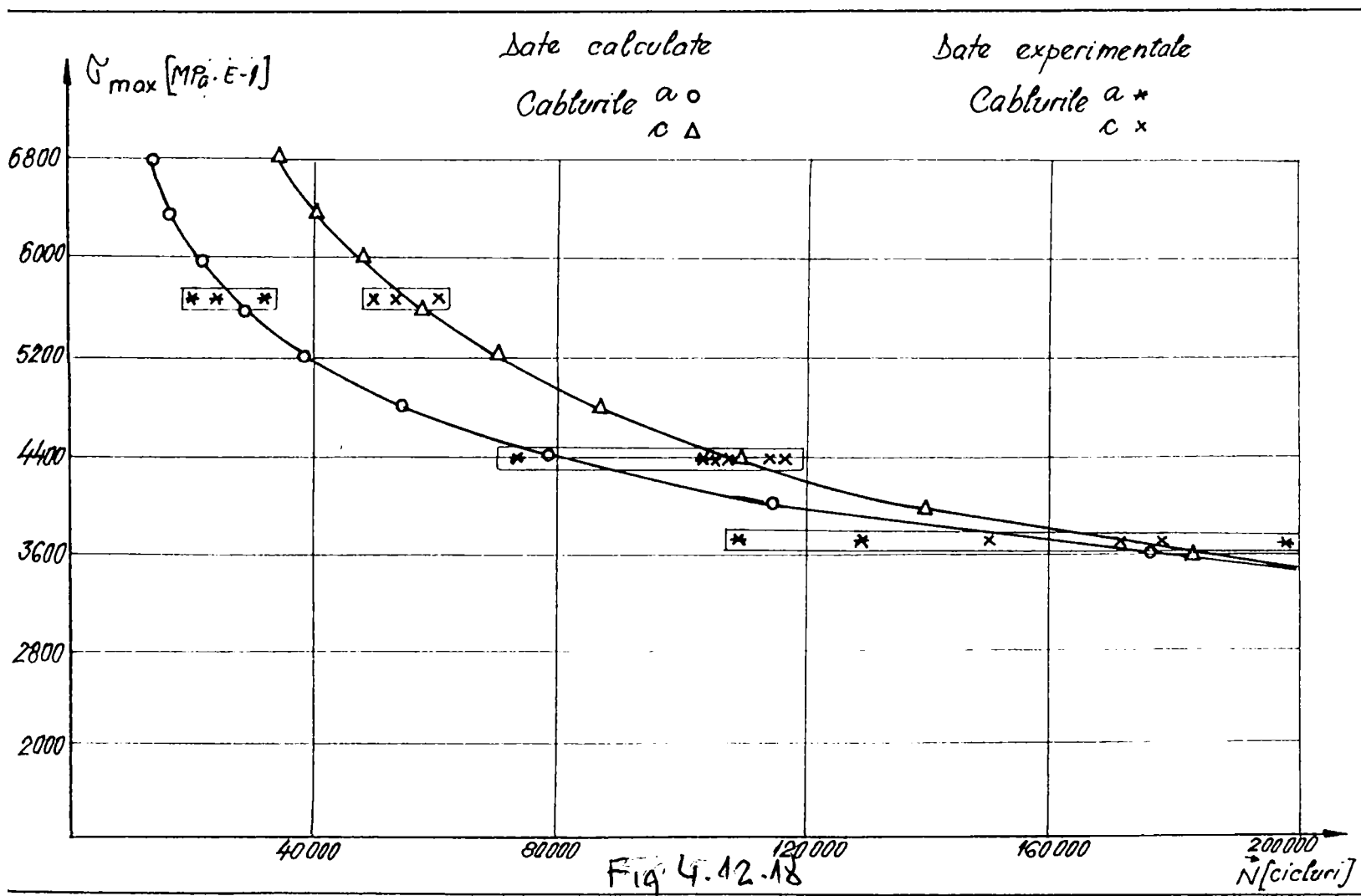
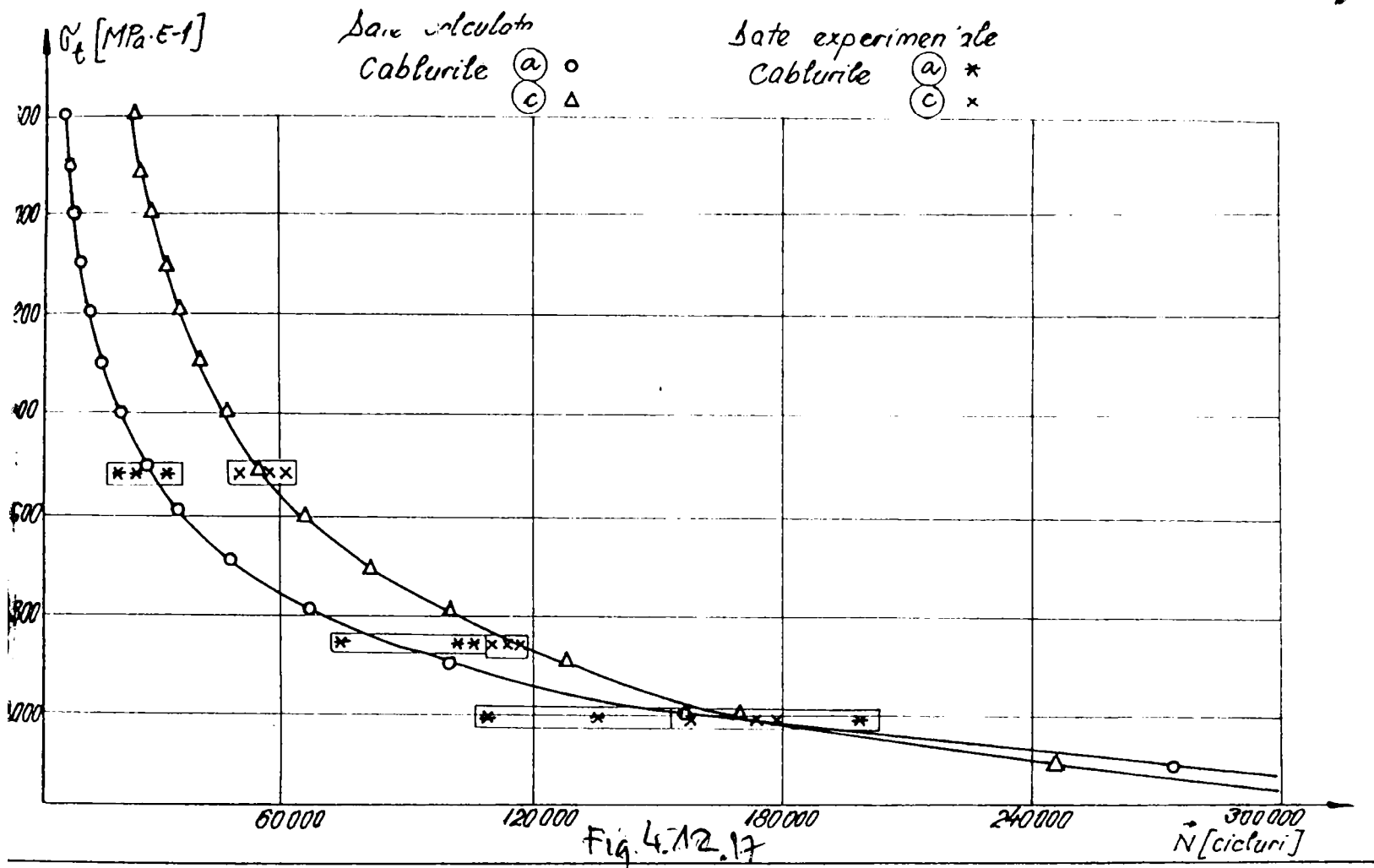
In tabelul 4.9. se prezinta comparativ durabilitatea celor doua tipuri de cablu , raportandu-se numarul mediu de cicluri pana la rupere la cel al cablului a pentru  $\sigma_t = 26,5 \text{ daN/mm}^2$

Tabelul 4.9

$\sigma_t$ [daN /mm <sup>2</sup> ]	19.9	26.5	39.8
cablul			
' a'	1.56	1	0.274
' c'	1.8	1.21	0.586

1 1 7





118

Cablurite (a) (c)

- $\sigma = 39,8 [MPa \cdot E^{-1}]$
- △  $\sigma = 26,5 [MPa \cdot E^{-1}]$
- $\sigma = 19,9 [MPa \cdot E^{-1}]$

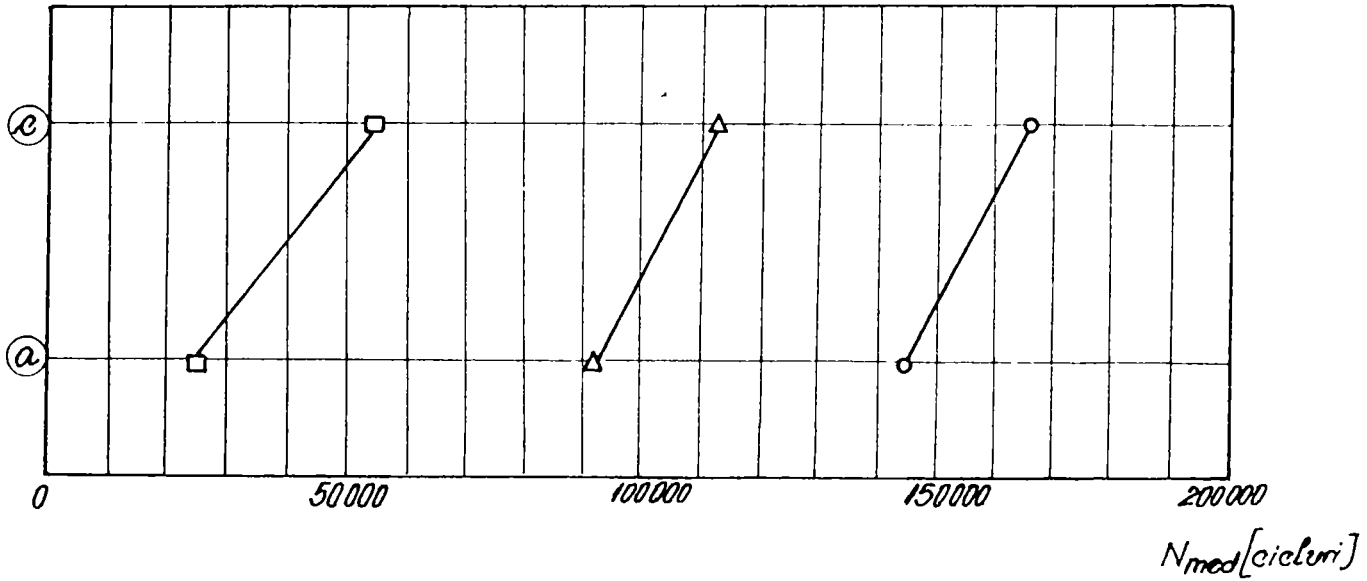


Fig 4.12-19

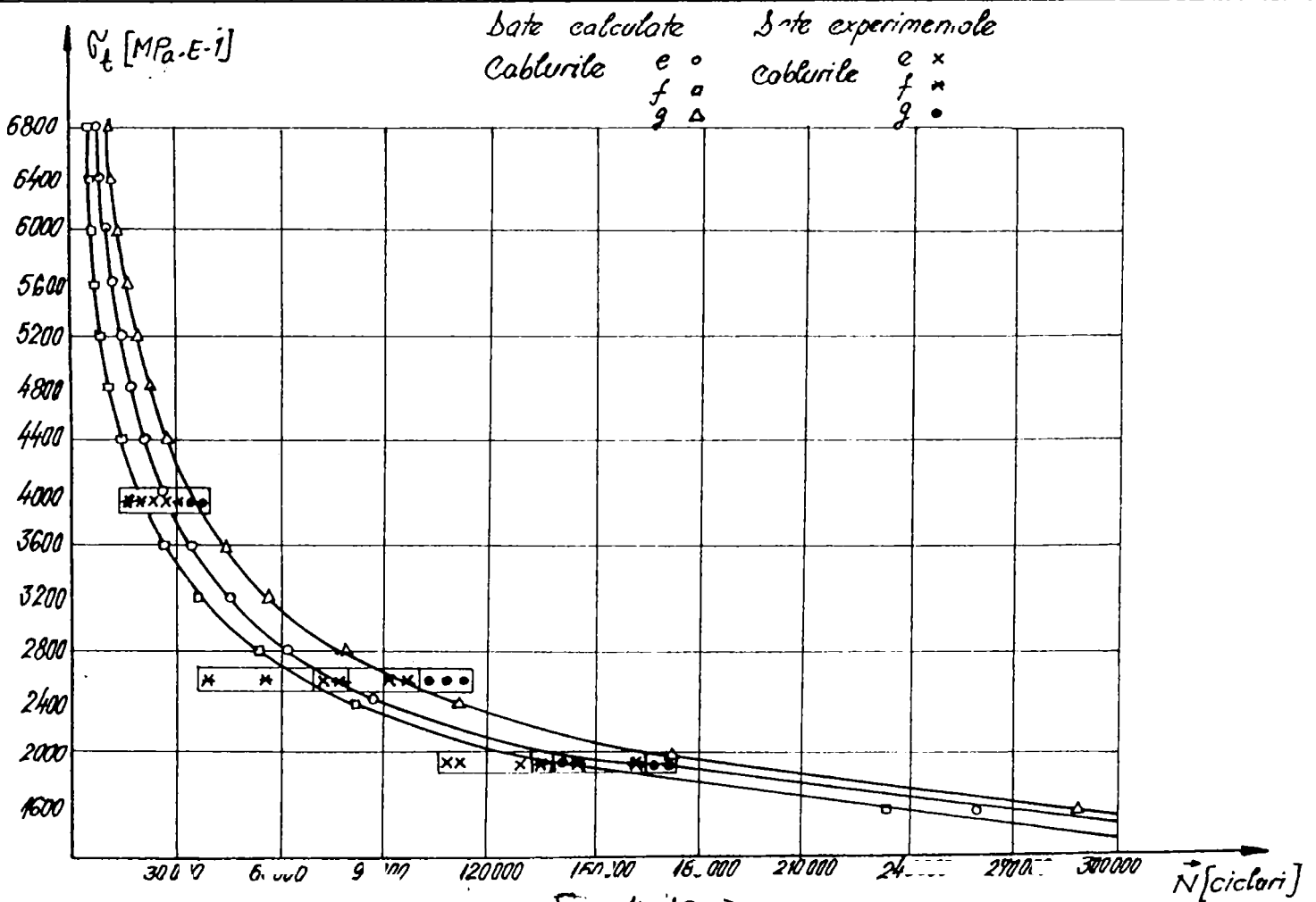


Fig 4.12-20

1 1 9

Se poate constata o superioritate netă a cablului înfășurat în paralel, lucru care se explică prin condițiile de contact mai favorabile la acest tip de înfășurare față de înfășurarea în cruce.

Efectul pozitiv al înfășurării paralele crește cu creșterea tensiunii de tracțiune în cablu.

Astfel vom avea o îmbunătățire a durabilității cablului înfășurat în paralel față de cel înfășurat în cruce, în ordinea crescândă a tensiunilor  $\sigma_t$  de 15,4% ; 21% respectiv 114%.

Se recomandă deci folosirea cablurilor înfășurate în paralel mai ales acolo unde apar tensiuni mari de tracțiune în cablu.

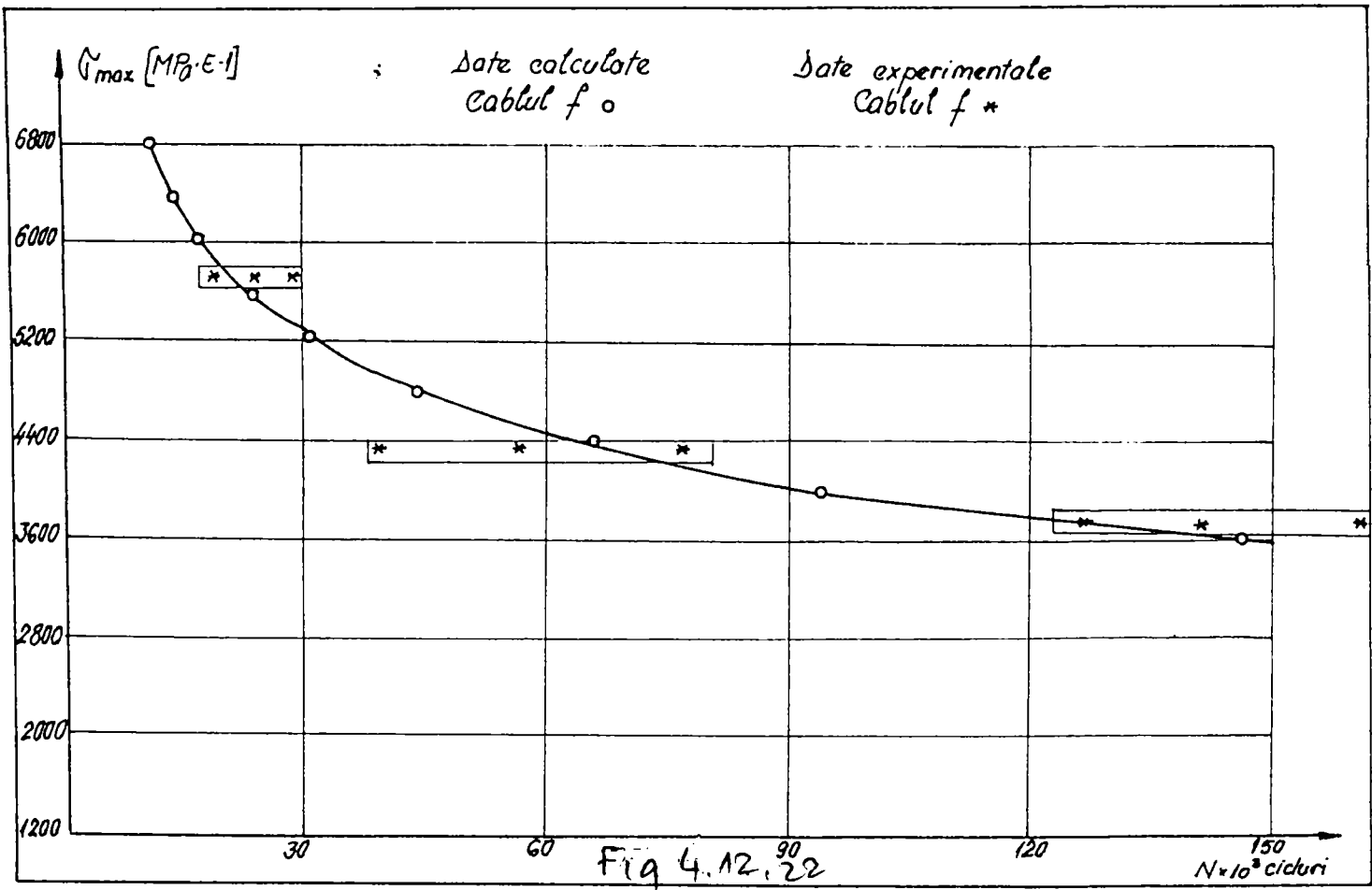
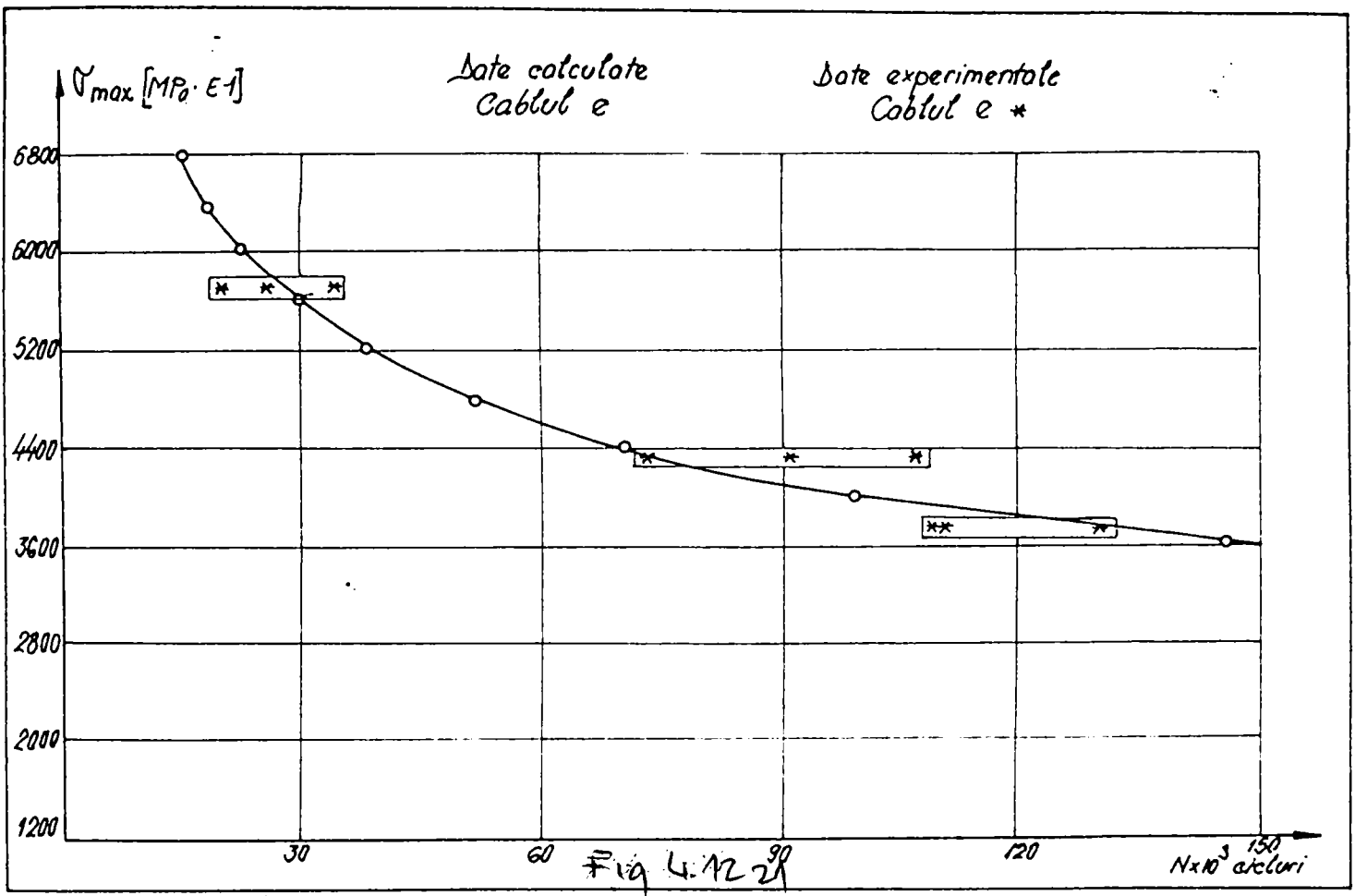
#### 4.7.3.2. Influența pasului de cablare

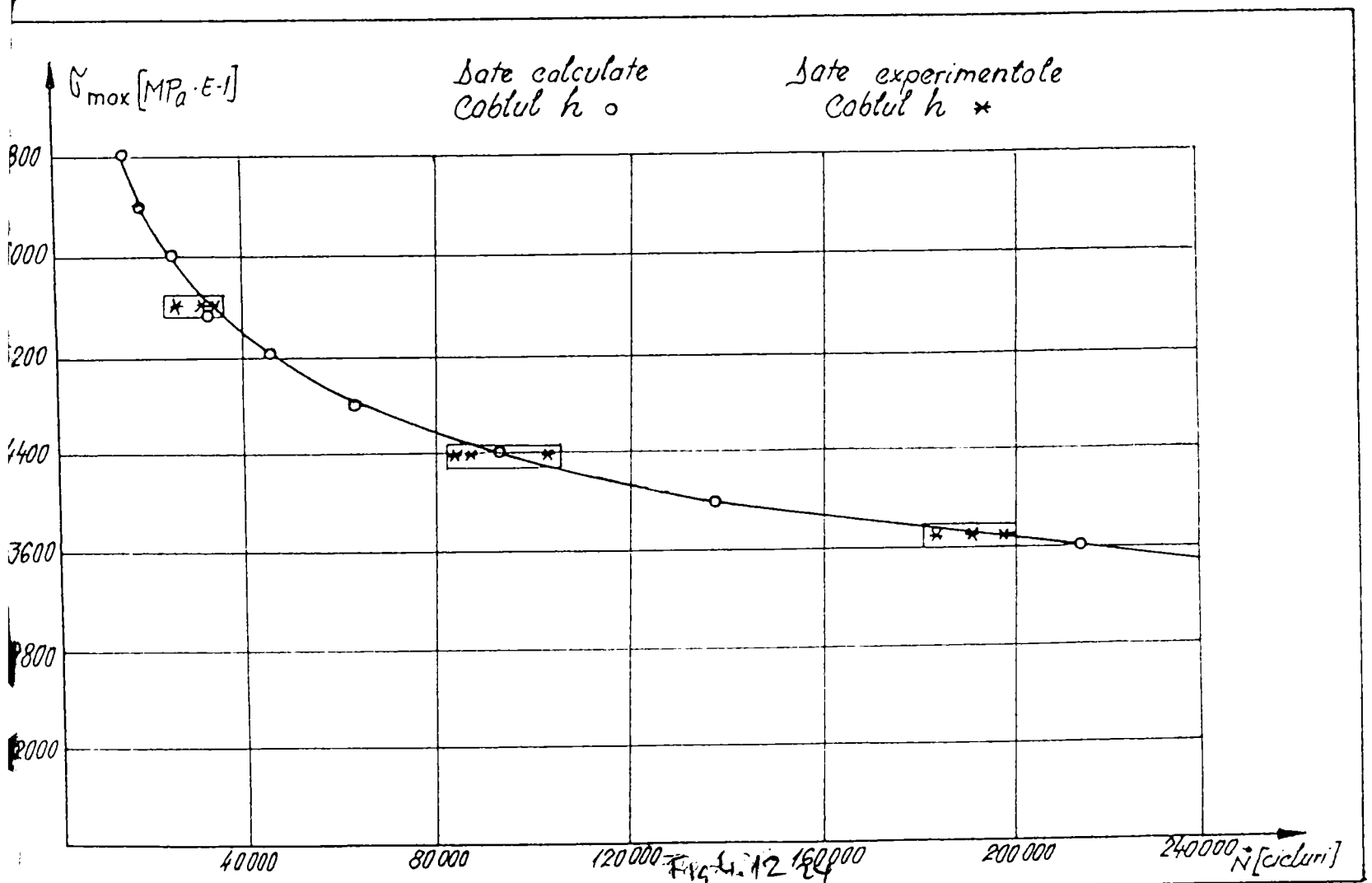
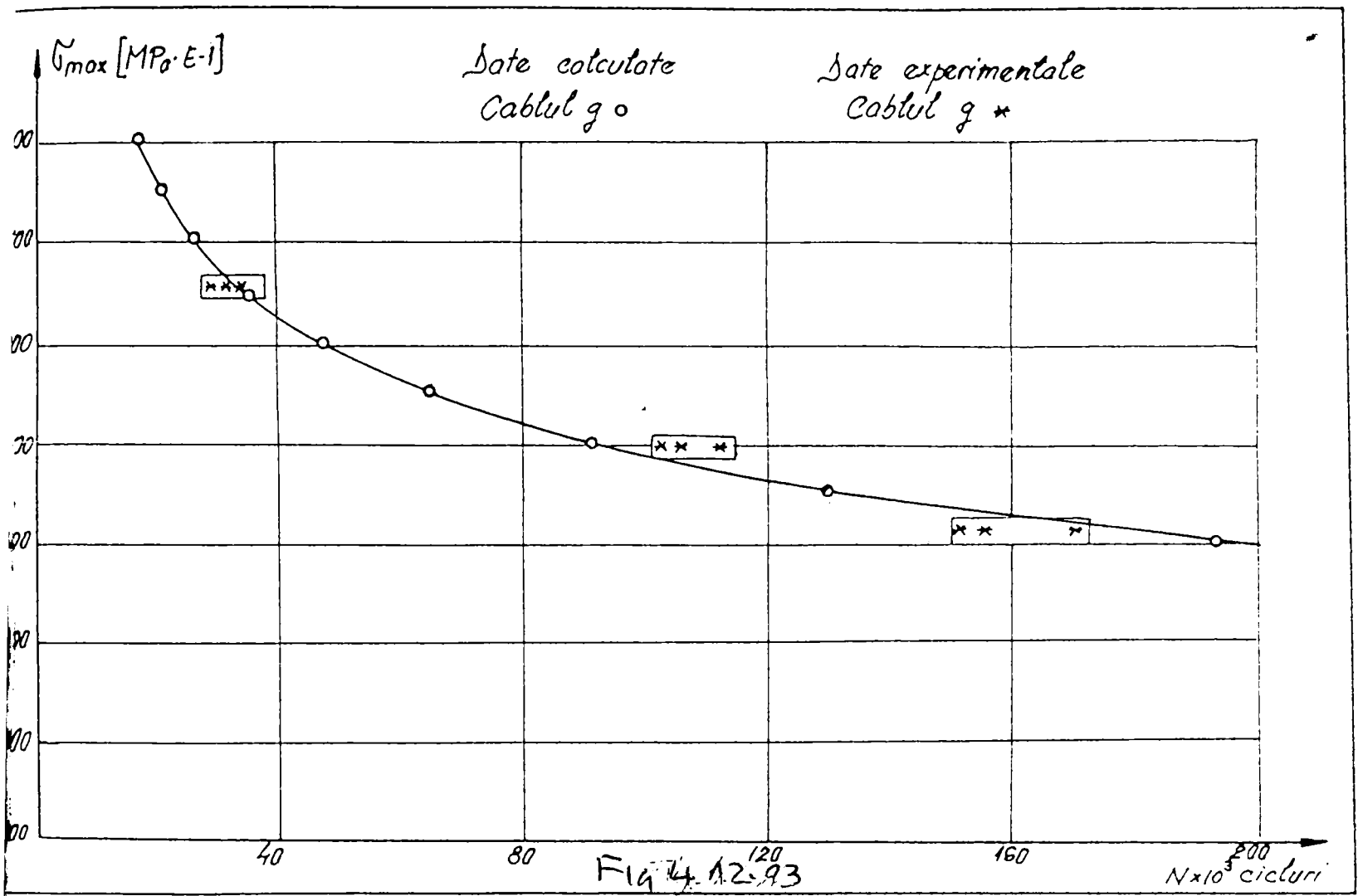
Pentru studiul influenței pasului de cablare asupra durabilității cablurilor s-au construit diagramele unde se prezintă curbele de durabilitate și diagrama comparativă ale cablurilor e, f și g având pași de cablare de 86,6mm, 96,24mm respectiv 103,6mm. Durabilitatea relativă, raportată la proba e și tensiunea  $\sigma_t = 26,5 \text{ daN/mm}^2$  se prezintă în tabelul 4.10. Tabelul 4.10

$\sigma_t$ [ daN/mm <sup>2</sup> ] cablul	19.9	26.5	39.8
e	1,3	1	0,293
f	1,59	0,644	0,261
g	1,73	1,19	0,355

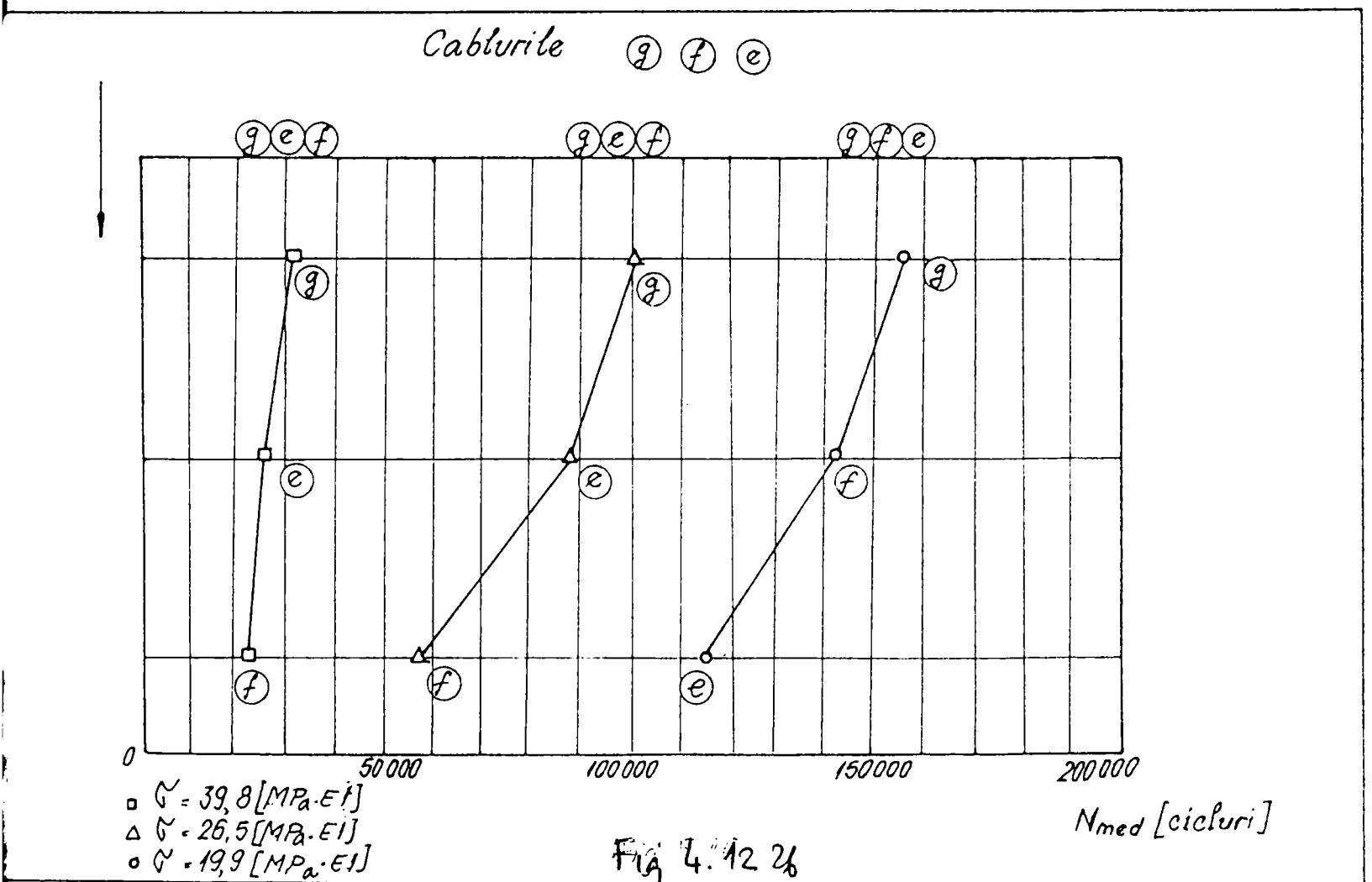
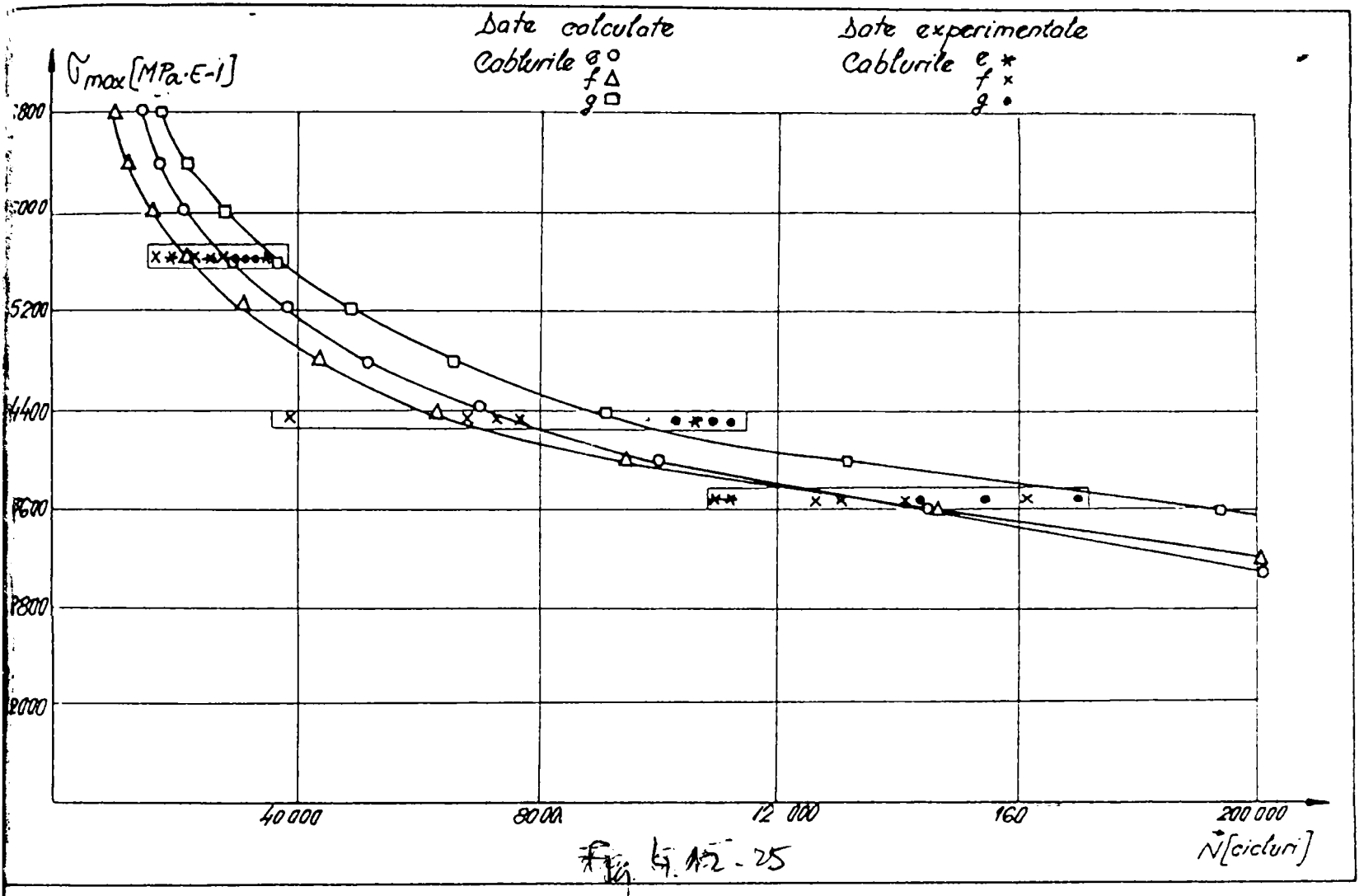
La tensiuni mici ( $\sigma_t = 19,9 \text{ daN/mm}^2$ ) se observă o creștere continuă a durabilității cablului cu mărirea pasului de cablare, fapt menționat și în literatura de specialitate.

La celelalte două nivele de tensiuni, cablul f prezintă o durabilitate minimă, observându-se totuși o creștere substanțială a durabilității cablului g (cu pasul cel mai mare) față de celelalte două cabluri.





177



123

Reducerea durabilitatii obtinute la cablul f pentru  $\sigma_t = 26,5 \text{ daN/mm}^2$  cu 35% fata de cablul e la acelasi nivel de tensiune se poate explica prin faptul ca rezultatele obtinute la incercarea la durabilitate a cablului f prezinta cea mai mare dispersie dintre toate rezultatele incercarilor la durabilitate si anume :

$$+\Delta N \% = +31.595$$

$$-\Delta N \% = - 31.22\%$$

Aceste dispersii mari ne dau dreptul să afirmăm că în acest caz, cauza durabilității mici a cablului f se poate datora unor alte influente cum ar fi : defecțiuni locale în cablu , neomogenități accentuate ale calitatii sarmelor etc. , ceea ce reduce considerabil concludenta acestui rezultat .

Având în vedere cele spuse mai sus se considera ca mărirea pasului de cablare se manifesta în mod pozitiv asupra durabilitatii cablului . Trebuie totuși limitat pasul de cablare pentru a nu se ajunge astfel la o despletire a cablului .

#### 4.7.3.3. Influenta pasului de toronare

Studiul influenței pasului de toronare s-a făcut pe epruvetele h,i,j având pașii de toronare indicați în tabelul 4.11.

Tabelul 4.11.

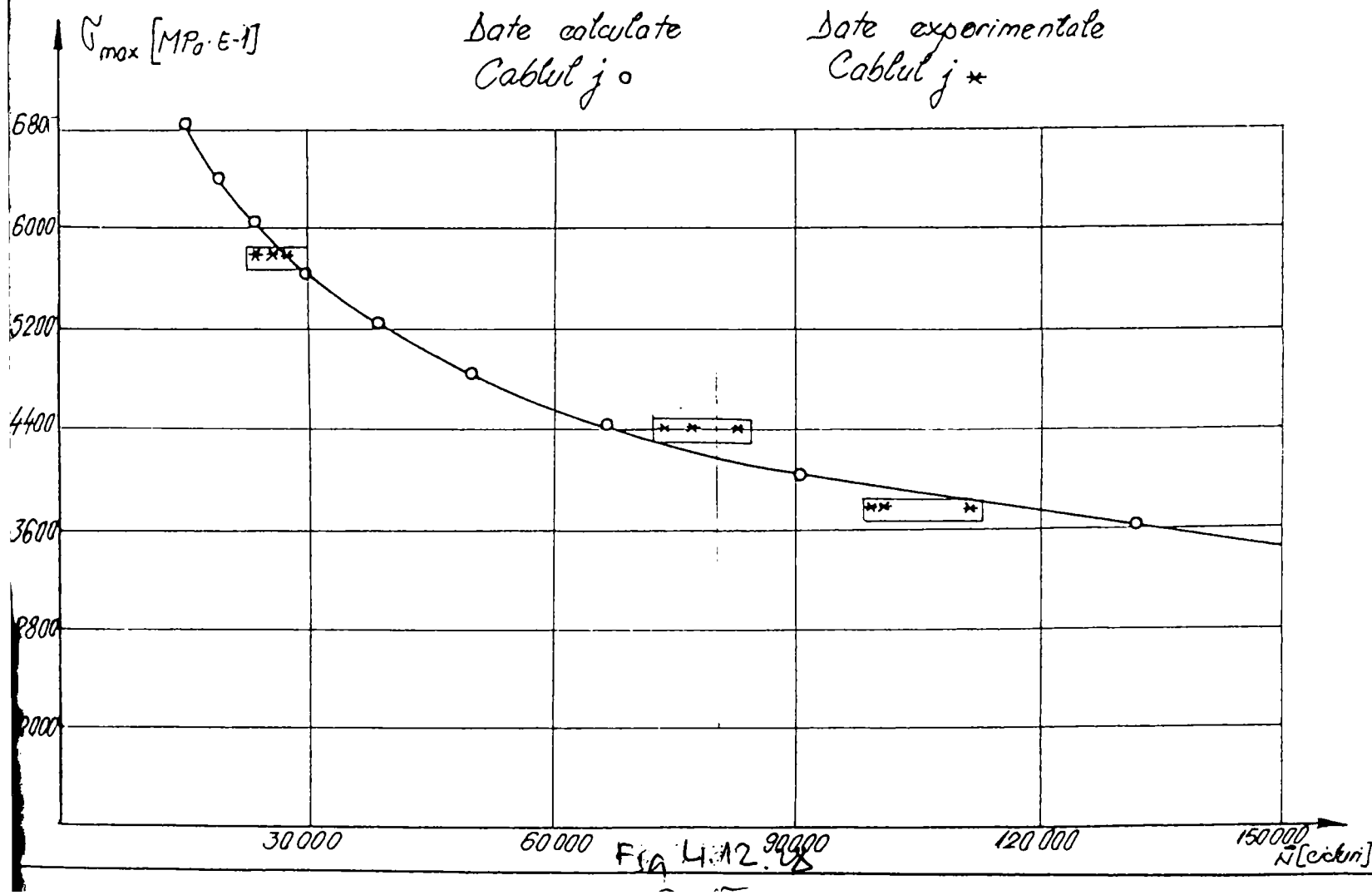
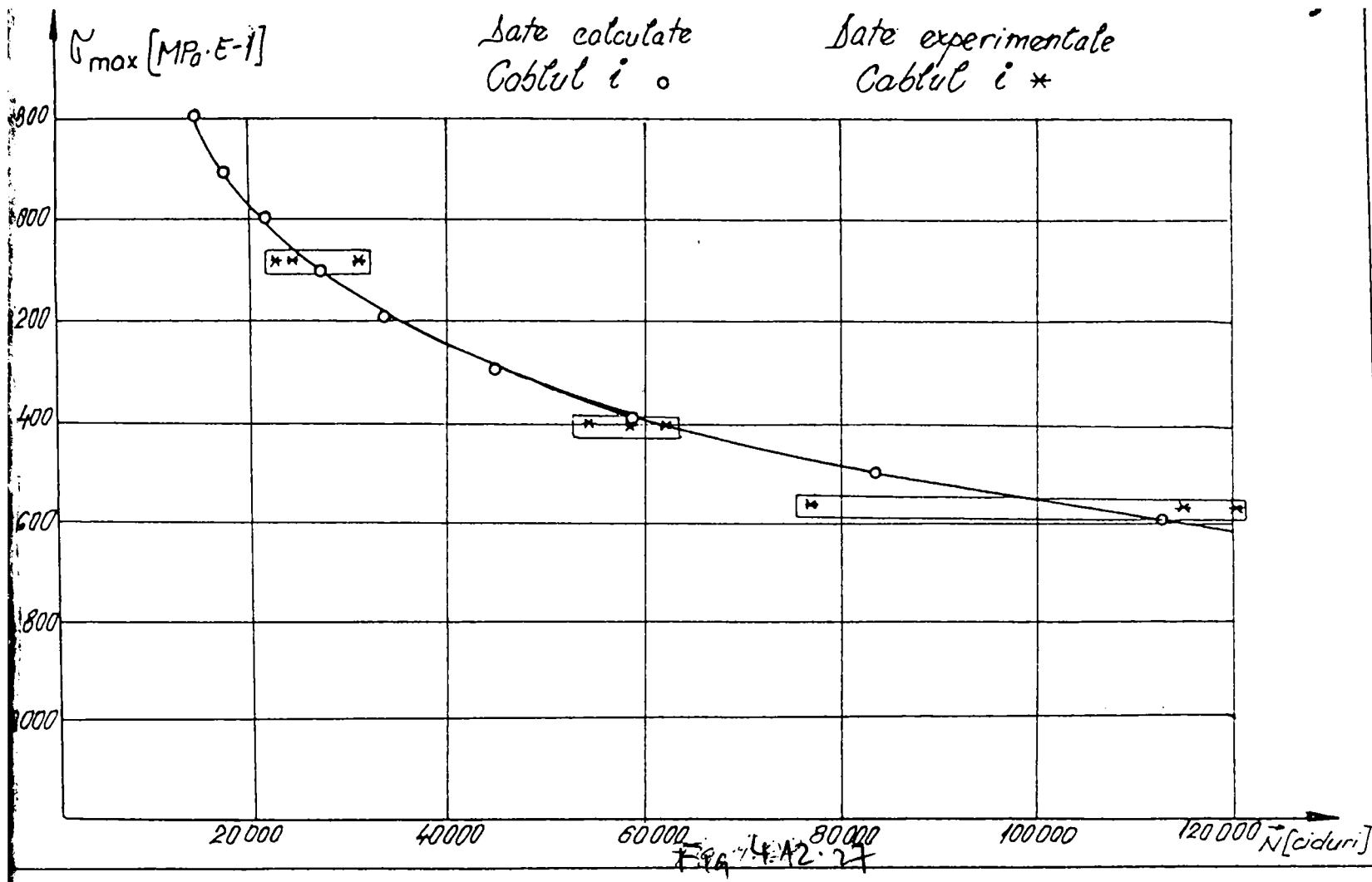
Tabelul 4.11

$P_t$ [mm]	$P_7$	$P_{12}$	$P_{18}$
Cablul			
'h'	17,28	28,20	40
'i'	14,34	20,20	44,25
'j'	18,09	33,84	53,06

Curbele de durabilitate și diagrama comparativă a celor trei tipuri de cablu se prezintă în figura .

Durabilitate a relativă , raportată la proba h pentru nivelul de încărcare mediu  $\sigma_t = 26,5 \text{ daN/mm}^2$  se prezintă în tabelul 4.12.

Tabelul 4.12.





Tabelul 4.12

$\sigma_t$ [daN/mm <sup>2</sup> ]	19.9	26.5	39.8
cablul			
‘ h ‘	2,08	1	0,35
‘ i ‘	1,14	0,64	0,283
‘ j ‘	1,14	0,86	0,288

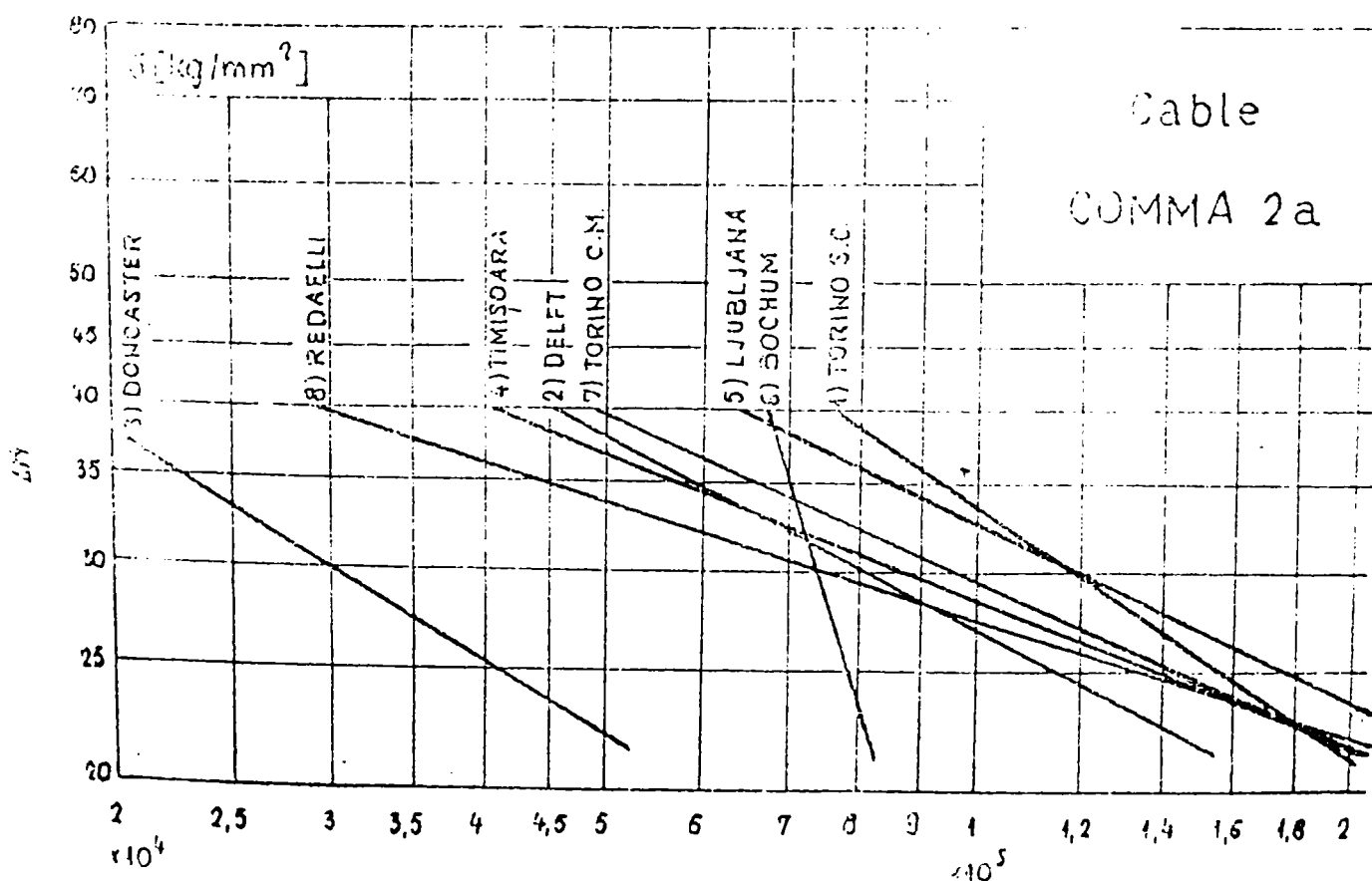
Din rezultatele prezentate in tabelul 4.12. se observa ca cea mai buna comportare o are cablul h , indeosebi la tensiunea de 19,9 daN/mm<sup>2</sup> , unde numarul mediu de cicluri pana la rupere este aproape dublu fata de acelasi parametru al cablurilor i si j.

Se poate constata si o usoara superioritate a cablului j fata de cablul i , mai ales la tensiunea  $\sigma_t = 26,5$  daN/mm<sup>2</sup> .

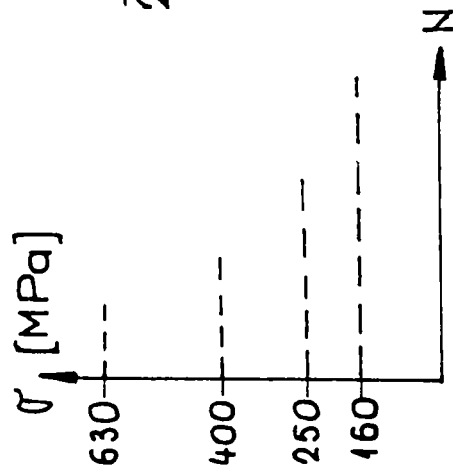
Se recomanda deci folosirea in exploatare a unor cabluri , care au pasii de toronare conform cablului h.

În buletinul OIPEEC nr.17 se prezintă Încercări și rezultate obținute de Laboratorul din Timișoara în cadrul Programului COMMA 2 prin regretatul prof. Boleanțu Lazăr.

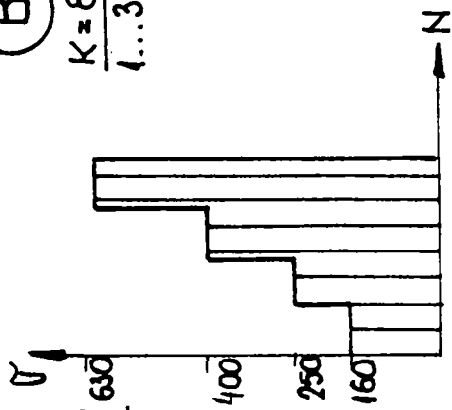
BULLETTIN 17/ OIPEEC



126

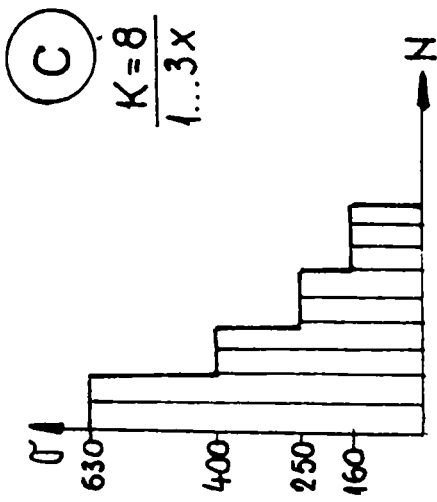


1  
2...7x

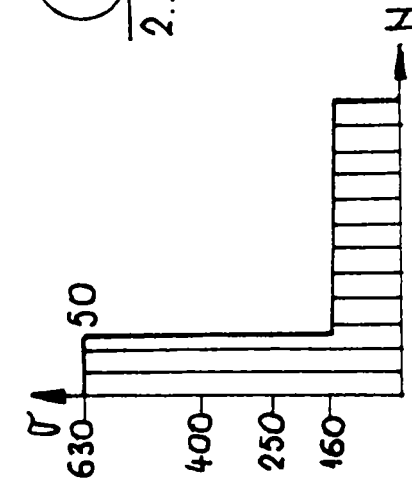


B  $\frac{K=8}{1...3x}$

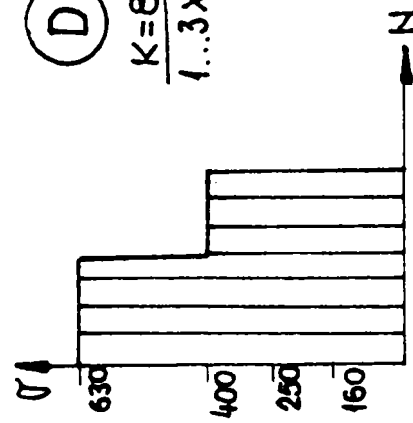
BLP2  
OIPEEC



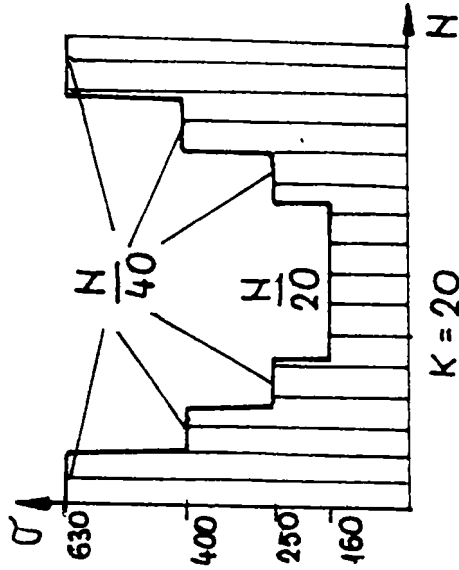
C  $\frac{K=8}{1...3x}$



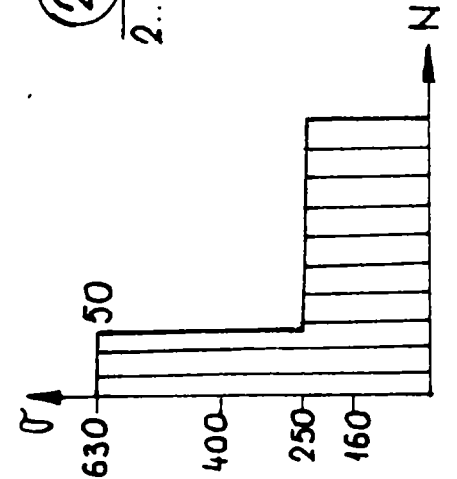
2.1  
2...4x



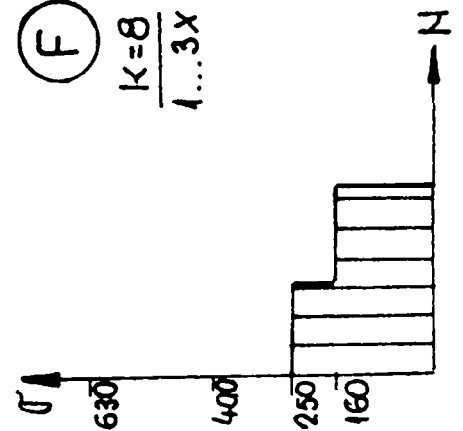
D  $\frac{K=8}{1...3x}$



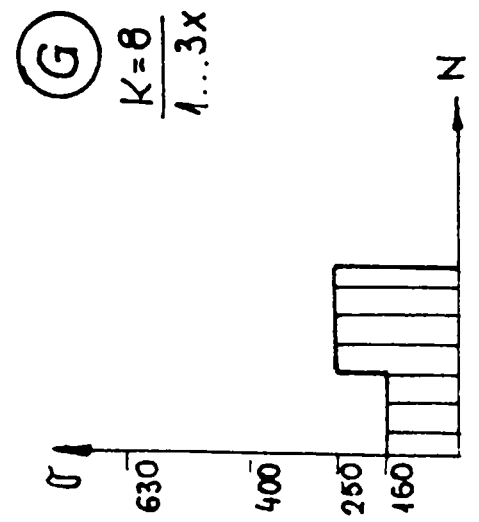
127



2.2  
2...4x

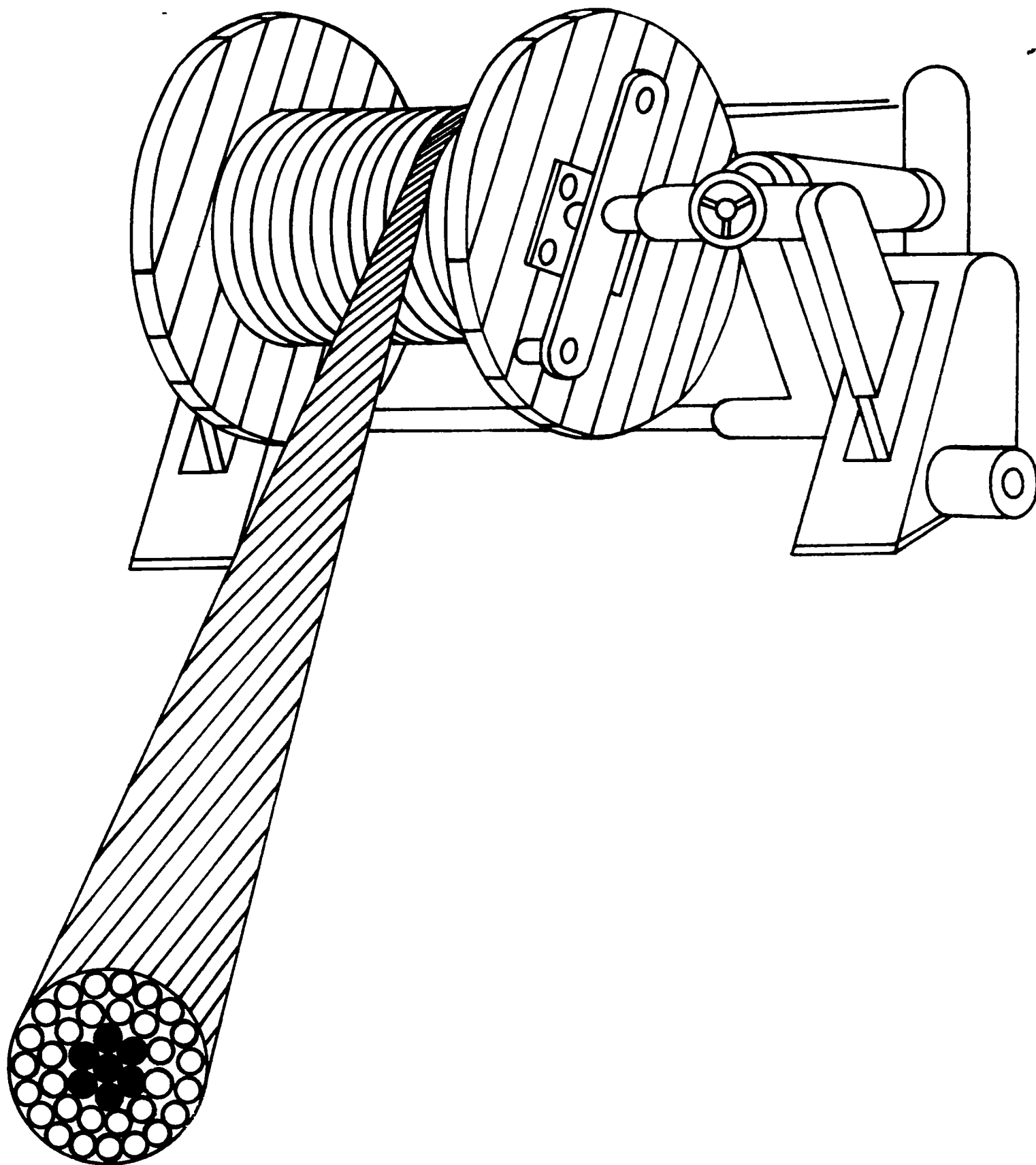


F  $\frac{K=8}{1...3x}$



G  $\frac{K=8}{1...3x}$

Nr. de cicluri la fiecare nivel  $\frac{1}{K}$  din numărul de cicluri pentru nivelul respectiv determinat prin încercarea ①



**Cap. 5 Studii comparative. Mașina de referință ( REFMA ) și cablu de referință (REFWIRO ).  
Recomandări.Concluzii.**

## Capitolul 5. Studii comparative

### 5.1. Cablu de referință (REFWIRO)

Tinând seama de faptul că în funcție de tipurile constructive au aceleași caracteristici de rezistență și durabilitate s-a cautat să se propună după o serie de încercări experimentale definirea unui cablu de referință REFWIRO care să dea indicații initiale asupra durabilității. Aceasta propunere a avut drept bază și acțiunea OIPEEC de a da caracteristicile unei mașini de referință pentru încercări la durabilitate (REFMA) .

Astfel s-au inițiat propunerile pe baza unei diagrame spațiale SMITH , relația (5.1) care pentru un anumit număr de cicluri  $N_i$  are amplitudinea limită dată după relația 5.2.

$$(5.1.) (\sigma_{\max})^{m(p)} \cdot N_{(p)} = K_{(p)}$$

$$(5.2.) \sigma_{\max(p)} = \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{K_p}{N_i} \right)^{1/m(p)} - \sigma_{\min} \right]$$

Probabilitatea P deosebit de importantă pentru limitarea intervalului 5% până la 95% se poate determina cu relațiile (5.3.) ..(5.5.)

$$(5.3.) P^{WG} = (i/n + 1) 100$$

$$(5.4.) \quad P_i^{B/J} = (i - 0.5/n) 100$$

$$(5.5.) \quad P_i^a = (i - 0.3/n + 0.4) 100$$

în care :

i-numarul de ordine

n-numarul probelor incercate

cate 5 probe (tabelul 5.1.)

cate 10 probe (tabelul 5.2.)

Tabel 5.1

N	N	P	P	P
1	26446	12,9	1,0	45,1
2	36286	31,5	7,6	65,9
3	37186	50,0	18,9	81,1
4	47780	68,5	34,3	92,4
5	54628	87,5	54,9	99,0

Tabel 5.2

130

N	N	P	P	P
1	26446	6,7	0,5	25,9
2	31854	16,3	3,7	39,4
3	32160	25,9	8,7	50,7
4	36286	35,6	15,0	60,8
5	36546	45,2	22,2	69,7
6	37186	54,8	30,3	77,8
7	40946	64,4	39,3	85,0
8	47780	74,1	49,2	91,3
9	48330	83,7	60,6	96,3
10	54628	93,3	74,1	99,5

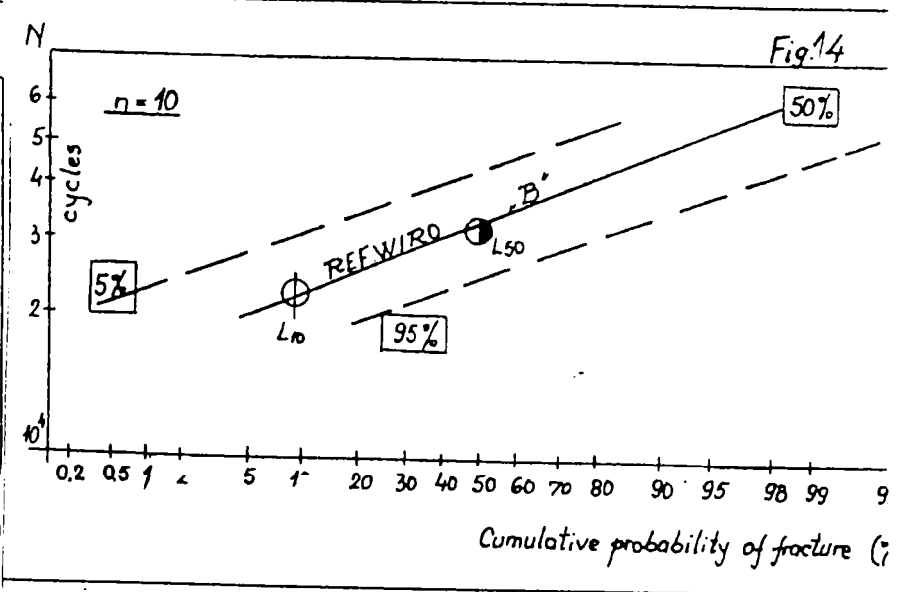
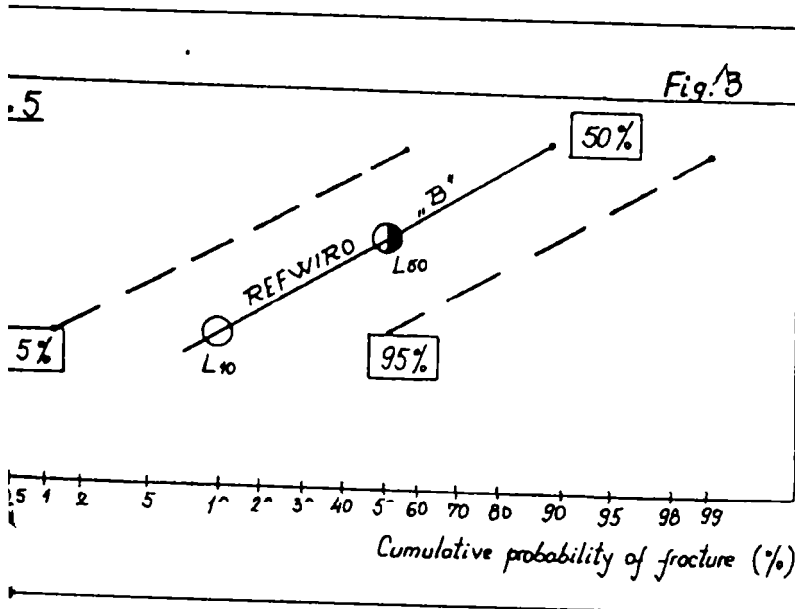
Rezultând în final ecuațiile curbelor de referință REFWIRO

n=5 N=10327 . P<sup>0.359</sup>

P= 4,266 . 10<sup>-11</sup> N<sup>2,5</sup>

n=10 N=

P=



131

## 5.2. Influența suprasolicitărilor asupra durabilității cablurilor

### 5.2.1. Generalități

O dată cu încercările de durabilitate a cablurilor, dintre care pentru cablurile de tracțiune sunt de tip tracțiune – tracțiune prin solicitări pulsante, diagramele rezultate, curbele WOHLER (W) reprezintă ruperi. Totodată a apărut ca o necesitate definirea nivelului de suprasolicitări dăunătoare respectiv nedăunătoare (așa numite suportabile sau admisibile) care nu influențează atingerea numărului de cicluri la rupere de baza care limitează durabilitatea nelimitată. În literatura de specialitate s-a definit de către FRENCH apoi preluată și validată prin preluarea și prezentarea de TIMOSHENCO și alții, curba suprasolicitațiilor dăunătoare sau curba FRENCH (F).

### 5.2.2. Curbele W și F pentru cabluri obținute prin încercări pulsante de tracțiune – tracțiune (fig.1.)

În coordonate dublu logaritmice din relația cunoscută și admisă în prelucrarea rezultatelor experimentale:

$$\sigma_m N = K \quad (1)$$

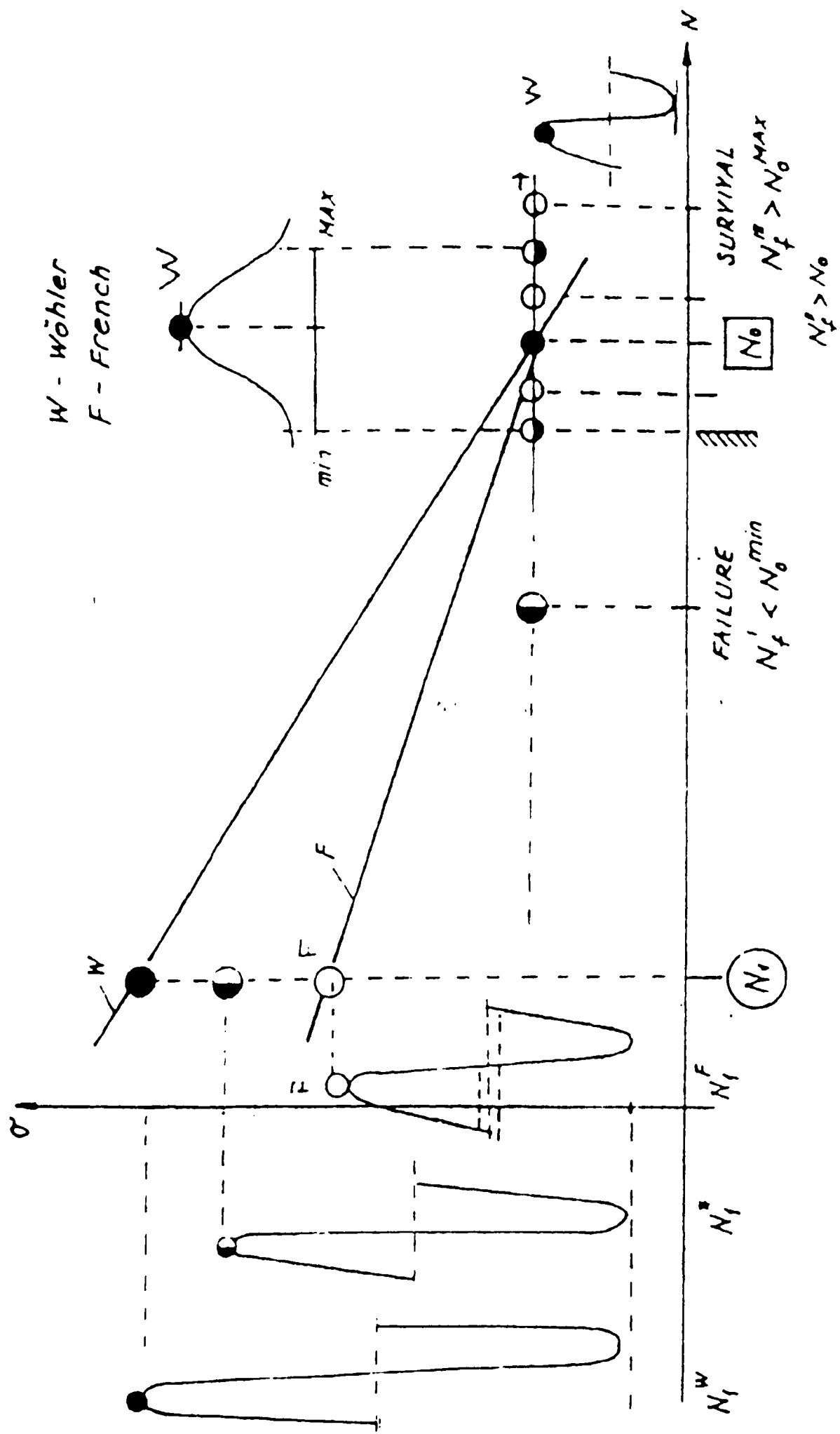
în care:

$\sigma$  - tensiunea maximă

m - panta curbei

N - numărul de cicluri la rupere

1 3 2



1 3 3



K – constanta

Avand pentru fiecare tip de cablu caracteristicile limita  $\sigma_0$  si  $N_0$  acestea sunt operante atât pentru curba W cât și pentru curba F . Astfel cu relațiile :

$$\sigma_{II}^m N = K_{II} \quad (2)$$

și

$$\sigma_p^{m'} N = K_I \quad (3)$$

respectiv

$$\sigma_{II..I}^m N = \sigma_n^m N_n \quad (4)$$

și

$$\sigma_I^{m'} N = \sigma_v^{m'} N_o \quad (5)$$

Se pot determina pantele curbelor W(m) si F(m) .Prin logaritmare rezulta :

$$m \log \sigma_{II} + \log N = \log K_{II} \quad (6)$$

$$m Y_{II} + X = C_{II} \quad (7)$$

134

$$m' \log \sigma + \log N = \log K \quad (8)$$

$$mY_1 + X = C_1 \quad (9)$$

Rezultă:

$$m = \frac{C_1 - X}{Y_1} \quad \text{și} \quad m' = \frac{C_1 - X}{Y} \quad (10)$$

Astfel cea mai importantă valoare experimentală rezultată este cea pentru curba F și anume panta ei m .

### 5.2.3.Considerații finale . Concluzii

Considerând ca foarte utila determinarea experimentală a curbei F, prin încercări pulsante tracțiune – tracțiune , rezultând panta curbei m se pot prevedea restricții privind limitarea suprasolicitarilor care să evite ruperile premature de cabluri de tracțiune .

### 5.3.Studiul durabilității sârmelor cablurilor pe baza conceptelor de mecanica ruperii

1 3 5

### 5.3.1 Introducere

Cablurile de oțel au o largă utilizare în industrie . Una dintre cele mai întâlnite aplicații o reprezintă cablurile de oțel ce intra în utilajele miniere . Cablurile reprezintă elemente de rezistență de mare importanță , care este imperios necesar să funcționeze în condiții de siguranță maximă . Un astfel de cablu , în construcție monoton , format din 19 sârme , este prezentat în fig.V5.1.

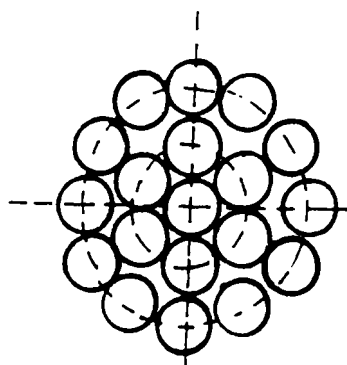


Fig. V5.1

Figura V 5.

Materialele din care sunt confecționate cablurile sunt oțeluri de mare rezistență pentru sârme .

Calculul cablurilor se face pe baza rezistenței la rupere  $\sigma_r = 1600$  MPa utilizând un coeficient de siguranță  $c = 10$  .Forța maximă dintr-o sârma fiind :

136

$$F_{\max} = \frac{\Pi d^2}{4} \frac{\sigma_r}{c} \quad \text{iar} \quad F_{\min} = 0.1 F_{\max}$$

De asemenea datorita înfășurării pe role a cablurilor apare o solicitare de încovoiere a cablului care de asemenea este luată în considerare în acest model .

Momentul de încovoiere maxim este :

$$M_{i,\max} = \sigma_i W_z = \sigma_i \frac{\Pi d^3}{32} \quad \text{iar} \quad M_{\min} = 0$$

Unde tensiunea de încovoiere se calculeaza cu relatia

$$\sigma_i = \frac{3}{8} E \frac{d}{D_{rola}}$$

Estimarea durabilității cablurilor pe baza principiilor Mecanicii Ruperii trebuie făcută pe baza schemei din fig.V5.2

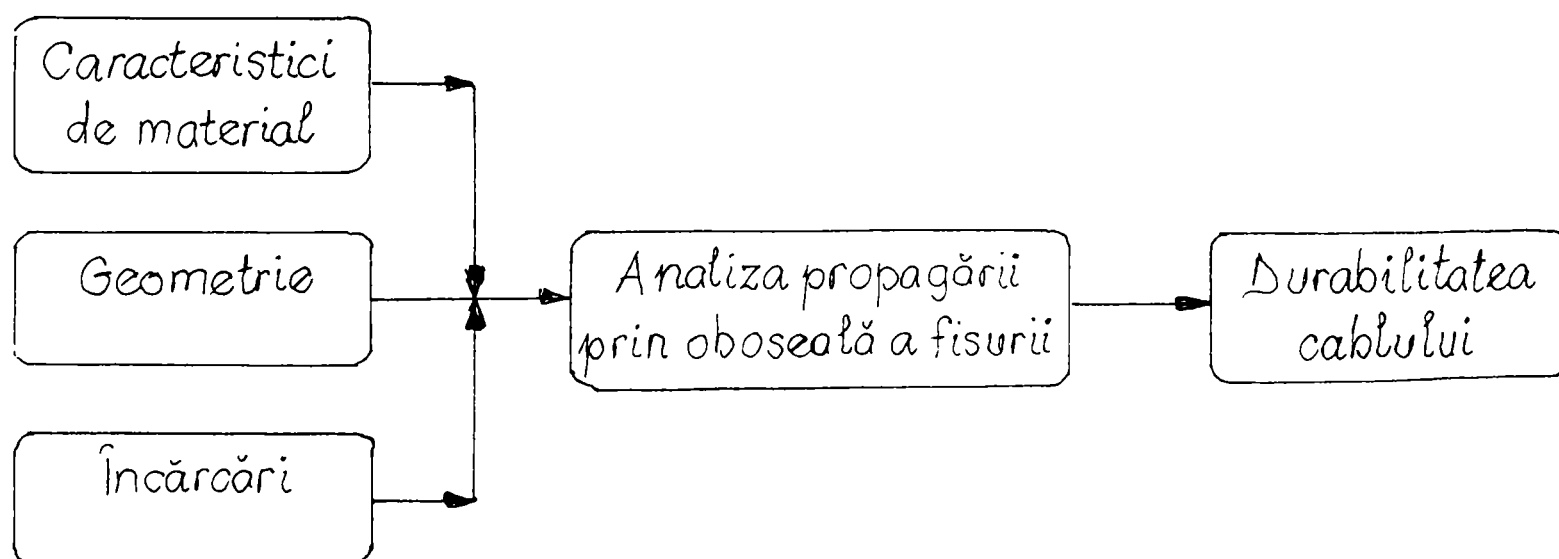


Fig.V5.2

137

Estimarea durabilității sârmei unui cablu , sub acțiunea sollicitarilor variabile se face în ipoteza apariției unui defect de forma eliptică Fig.V5.3. Relatia  $\Delta K_I$ , prezintă legatura dintre viteza de creștere a defectului în funcție de numărul de cicluri de solicitare  $da/dN$  și variația factorului de intensitate a tensiunii. Variația factorului de intensitate a tensiunii ,relatia (V.2) este data de diferența dintre valoarea maximă  $K_{I_{max}}$  , respectiv minimă a factorului de intensitate a tensiunii  $K_{I_{min}}$  , valori care pot fi calculate cu relațiile (V.5.3.1) și (V.5.3.2) în funcție de solicitare . În relația (V.5.3.1) tensiunea maximă  $\sigma_{max}$  respectiv  $\sigma_{min}$  , se calculează luând în considerare solicitarea de întindere a sârmei (V.4.1.) iar pentru solicitarea de încovoiere tensiunea se calculează cu relația (V5.4.1) .Factorul adimensional de intensitate a tensiunii  $f(a/b,a/d)$  reprezentând o funcție de geometria efectului , fig. V.5. și se calculează cu relația (V.5.5)

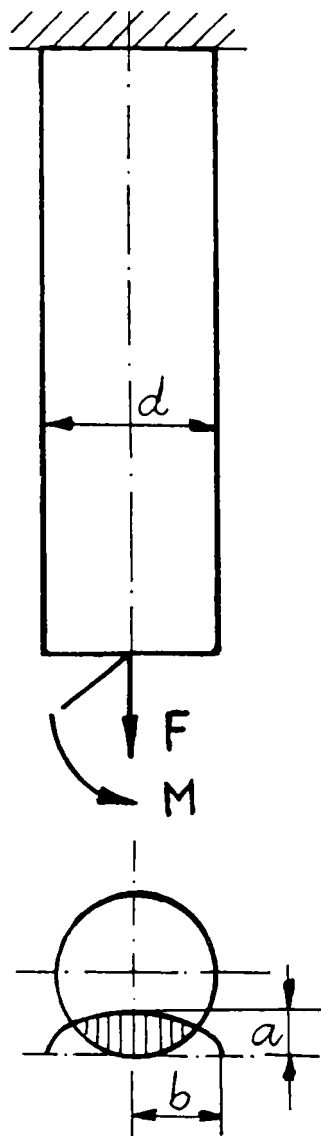


Fig. V.5.3

128

$$\frac{da}{dN} = C \frac{\Delta K_I}{\sqrt{1-Rs}}$$

$$\Delta K_{I,TOT} = K_{I,TOT,max} - K_{I,TOT,min}$$

$$K_{I,TOT,max,min} = (K_{I,max,min}) + (K_{I,max,min})_{in\ cov\ oiere}$$

$$[K_{I,max,min}]_{tractiune} = (\sigma_{max,min})_{tractiune} \sqrt{\Pi a} f_i \left( \frac{a}{b}, \frac{a}{d} \right)$$

$$(K_{I,max,min})_{in\ cov\ oiere} = (\sigma_{max,min})_{in\ cov\ oiere} \sqrt{\Pi a} f_i \left( \frac{a}{b}, \frac{a}{d} \right)$$

$$(\sigma_{max,min})_{tractiune} = \frac{4F_{max,min}}{\Pi d^2}$$

$$(\sigma_{max,min})_{in\ cov\ oiere} = \frac{32.Mi_{max,min}}{\Pi d^3}$$

$$f_{i,i} = A_{i,i,0} \left( \frac{a}{b} \right) + A_{i,i,i} \left( \frac{a}{b} \right) \frac{a}{d} + A_{i,i,2} \left( \frac{a}{b} \right) \left( \frac{a}{d} \right)^2$$

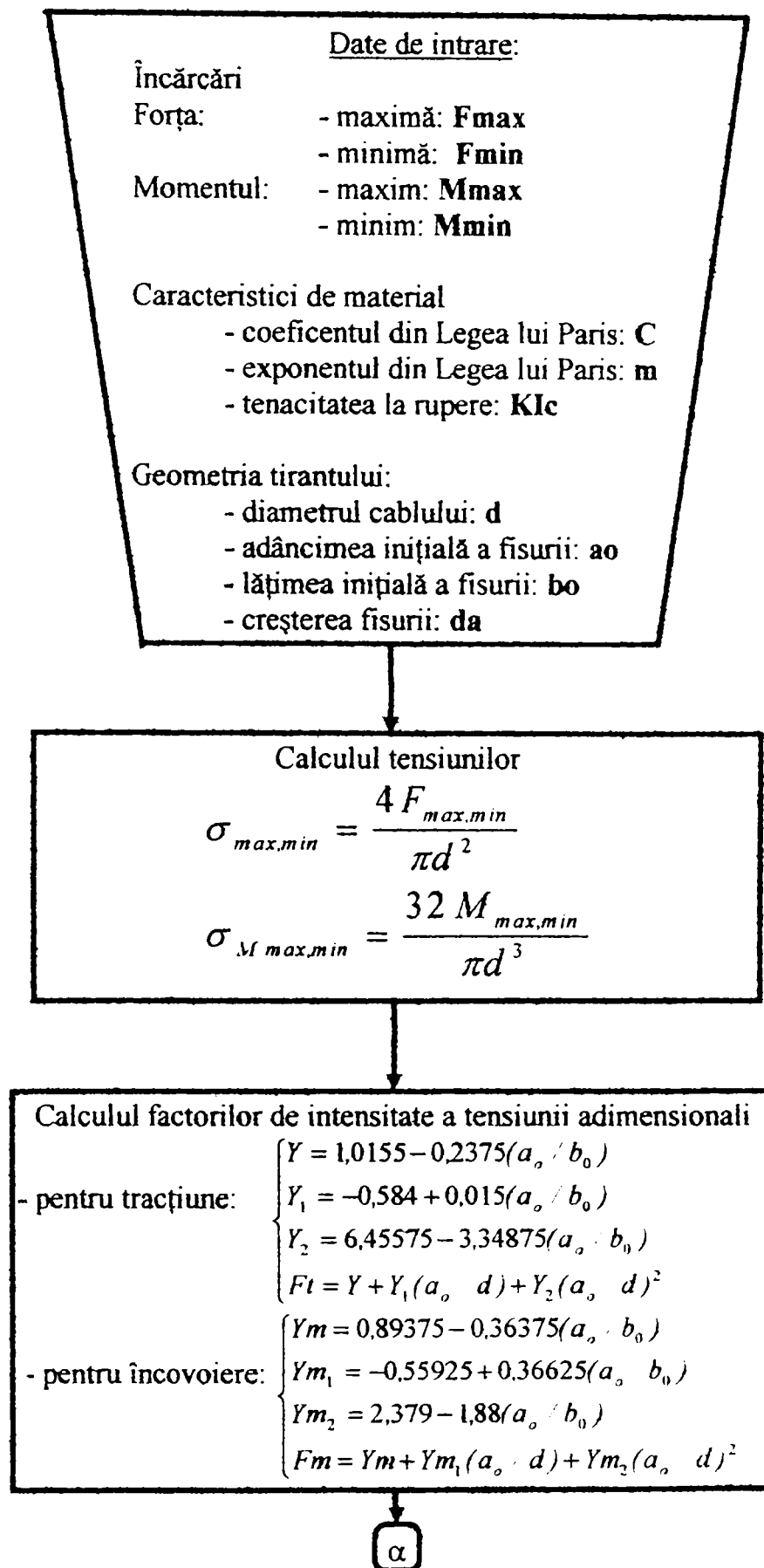
Integrarea relatiei (5.3.1) s-a realizat numeric , cu ajutorul unui program elaborat de autori in limbajul QBASIC pe baza schemei din figura . Datele de intrare în program sunt

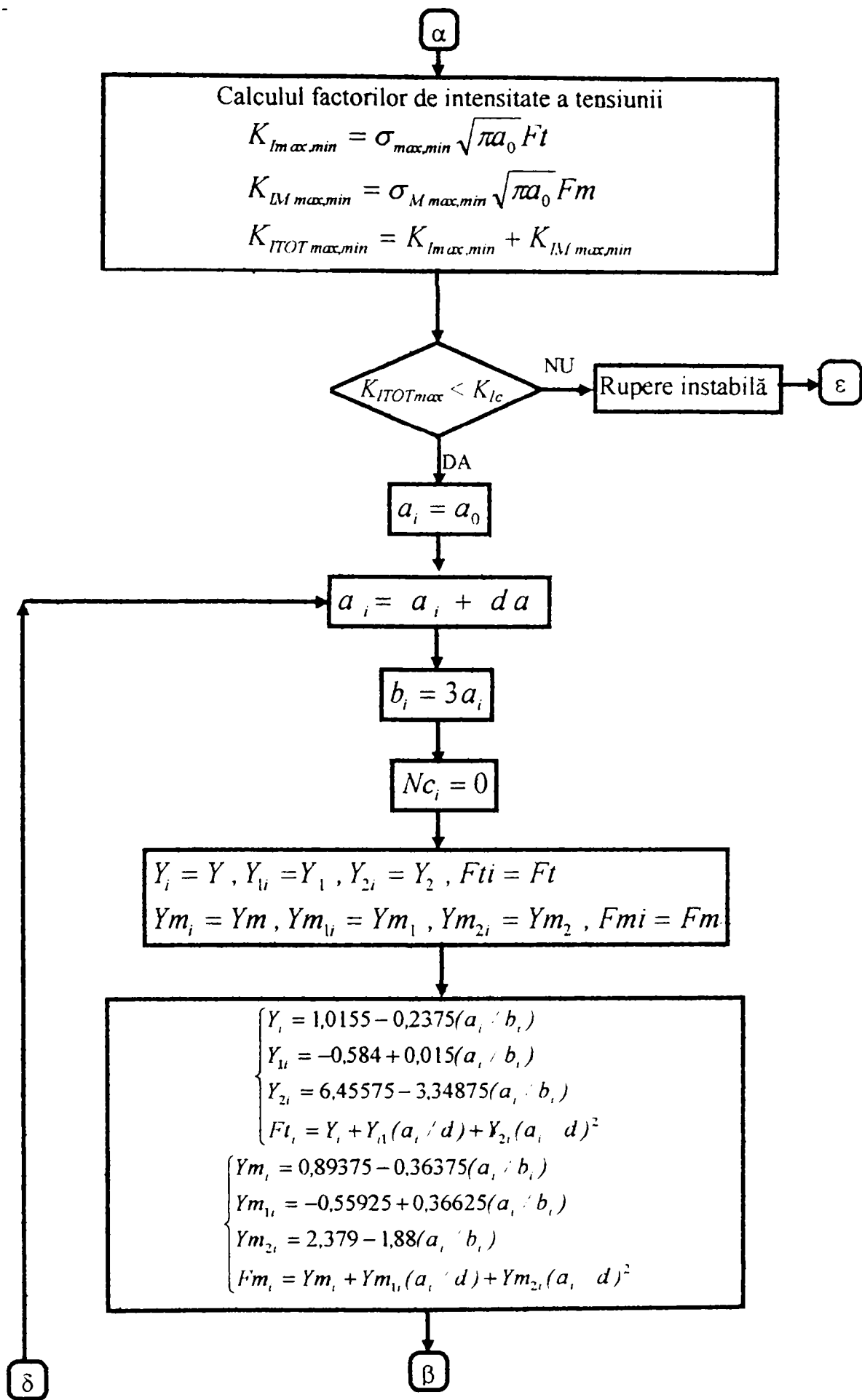
-caracteristicile de material : tenacitatea la rupere  $K_{IC}$ , coeficientul C si exponentul n din relația ( V.5.1)

-geometria sârmei : diametrul d ;

-geometria defectului : adancimea a si latimea b a defectului ;

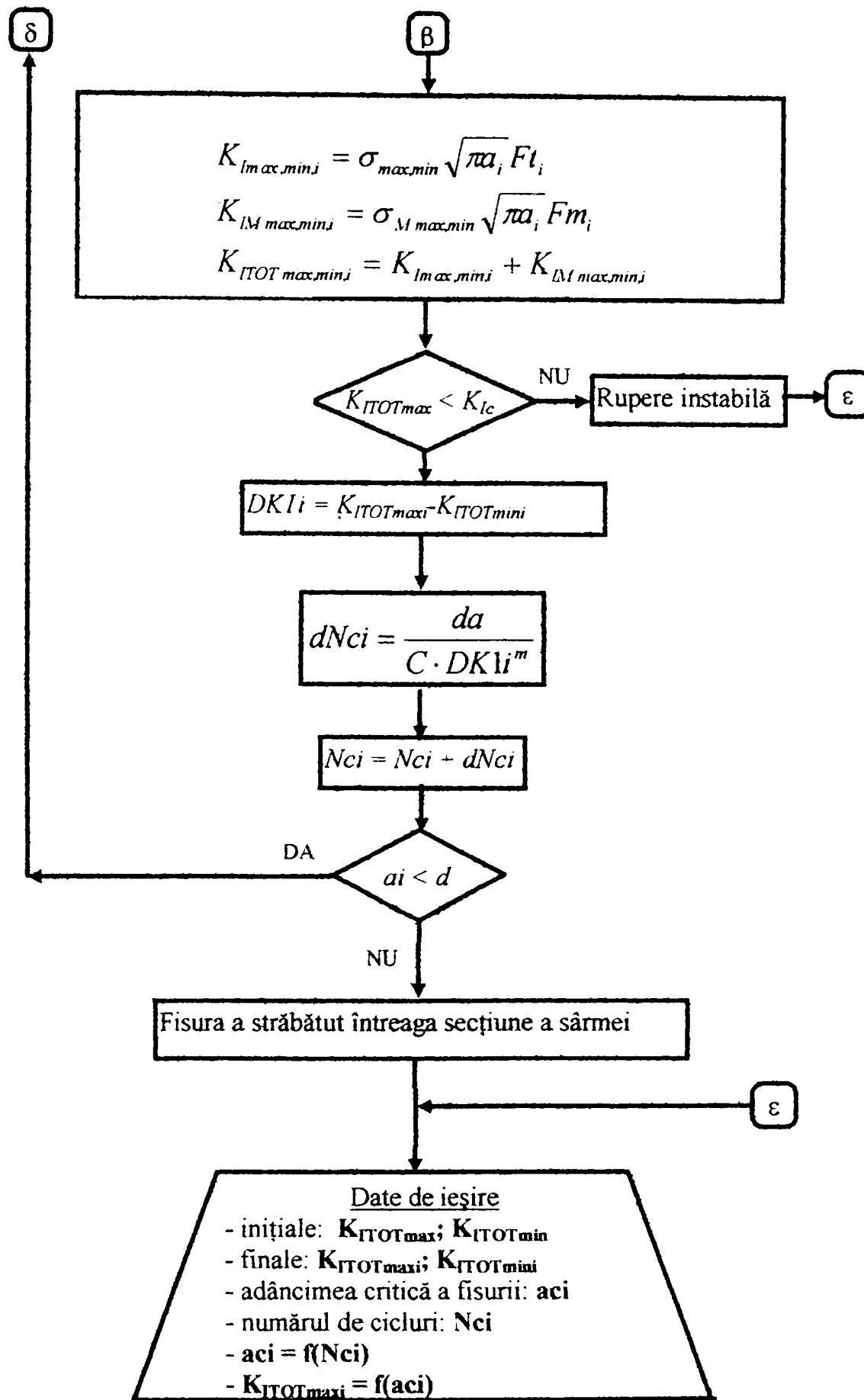
SCHEMA LOGICĂ A PROGRAMULUI **DURACAB** PENTRU  
DETERMINAREA NUMĂRULUI DE CICLURI PÂNĂ LA RUPERE,  
DATORATĂ PROPAGĂRII PRIN OBOSEALĂ A UNEI FISURI





141





142

-încarcarea sârmei : valoarea maxima  $F_{\max}$  respectiv minima  $F_{\min}$  a forței , respectiv ale momentului  $M_{\max}$  si  $M_{\min}$  .

Programul calculează initial factorul adimensional de intensitate a tensiunii  $f(a/b;a/d)$  ,  $K_{I_{\max,ini}}$  ,  $K_{I_{\min,ini}}$  factorii de intensitate ai tensiunii initiali  $\Delta K_{I,ini}$  variația initială factorului de intensitate al tensiunii iar apoi prin iteratii valorile functiei de forma  $f(a_i/b,a_i/d)$  ; factorilor de intensitate ai tensiunii  $K_{I_{\max,i}}$  ,  $K_{I_{\min,i}}$  ; variatia factorilor de intensitate ai tensiunii  $\Delta K_{I,fin}$  ; numarul de cicluri  $N_i$  după care se realizează o creștere a defectului da impusă .

Programul se oprește în momentul în care defectul s-a propagat pe întregul diametrul al sarmei  $d$  sau cand factorul de intensitate a tensiunii maxime  $K_{I_{\max,fin}}$  a atins valoarea tenacitatii la rupere  $K_{IC}$  .  
Datele de iesire din program sunt : factorii de intensitate ai tensiunii finali  $K_{I_{\max,fin}}$  ,  $K_{I_{\min,fin}}$  variația finală a factorului de intensitate al tensiunii  $\Delta K_{I,fin}$  adâncimea critică a defectului la care se produce ruperea sârmei  $a_{cr}$  si numarul de cicluri la care se produce ruperea  $N_c$  .

De asemenea programul traseaza :

-variația factorului maxim de intensitate al tensiunii  $K_{I_{\max}}$  în funcție de adancimea defectului  $K = f(a)$

-variația adancimii defectului  $a$  în functie de numarul total de cicluri  $a = f(N)$

143

SCREEN 12

5 CLS

pi = 4 \* ATN(1)

PRINT "DATE DE INTRARE"

PRINT ""

PRINT "INCARCARI"

PRINT "FORTELE DE LUCRU"

INPUT "Forta maxima = "; Fmax

INPUT "Forta minima="; Fmin

PRINT "MOMENTE DE LUCRU"

INPUT "Momentul maxim="; Mmax

INPUT "Momentul minim="; Mmin

PRINT ""

PRINT "CARACTERISTICI DE MATERIAL"

INPUT "Coeficientul din Legea lui Paris ="; C

INPUT "Exponentul din Legea lui Paris ="; m

INPUT "Tenacitatea la rupere [N/mm<sup>3/2</sup>] ="; KIc

PRINT ""

PRINT "GEOMETRIA CABLULUI FISURAT"

INPUT "Diametrul cablului="; d

INPUT "Adancimea initiala a fisurii [mm] ="; ao

INPUT "Latimea initiala a fisurii [mm] ="; bo

INPUT "Cresterea fisurii [mm] ="; Da

REM "Calculul factorilor de intensitate a tensiunii initiali"

Y = 1.0155 - .2375 \* (ao / bo)

Y1 = -.584 + .015 \* (ao / bo)

Y2 = 6.45575 - 3.34875 \* (ao / bo)

F = Y + Y1 \* (ao / d) + Y2 \* ((ao / d) ^ 2)

Ym = .89375 - .36375 \* (ao / bo)

Ym1 = -.55925 + .36625 \* (ao / bo)

Ym2 = 2.379 - 1.88 \* (ao / bo)

fm = Ym + Ym1 \* (ao / d) + Ym2 \* ((ao / d) ^ 2)

sigmax = 4 \* Fmax / (pi \* d ^ 2)

sigmaxm = 32 \* Mmax / (pi \* d ^ 3)

sigmin = 4 \* Fmin / (pi \* d ^ 2)

sigminm = 32 \* Mmin / (pi \* d ^ 3)

200 Klmaxt = sigmax \* SQR(pi \* ao) \* F

Klmint = sigmin \* SQR(pi \* ao) \* F

Klmaxm = sigmaxm \* SQR(pi \* ao) \* fm

Klminm = sigminm \* SQR(pi \* ao) \* fm

Klmax = Klmaxt + Klmaxm

Klmin = Klmint + Klminm

REM "Calculul propagarii fisurii"

ai = ao

Fi = F

fmi = fm

Ni = 0

Yi = Y

Y1i = Y1

Y2i = Y2

Ymi = Ym

Ym1i = Ym1

Ym2i = Ym2

CLS

VIEW (150, 50)-(450, 350), 1, 15

WINDOW (0, 0)-(5, 4000)

FOR i = ao TO d STEP Da

```
ai = ai + Da
bi = 3 * ai
```

```
Yi = 1.0155 - .2375 * (ai / bi)
Yli = -.584 + .015 * (ai / bi)
Y2 = 6.45575 - 3.34875 * (ai / bi)
```

```
Ymi = .89375 - .36375 * (ai / bi)
Ymli = -.55925 + .36625 * (ai / bi)
Ym2i = 2.379 - 1.88 * (ai / bi)
```

```
IF ai >= d THEN GOTO 500
```

```
280 Fi = Yi + Yli * (ai / d) + Y2i * ((ai / d) ^ 2)
fmi = Ymi + Ymli * (ai / d) + Ym2i * ((ai / d) ^ 2)
300 Klmaxti = sigmax * SQR(pi * ai) * Fi
Klminti = sigmin * SQR(pi * ai) * Fi
Klmaxmi = sigmaxm * SQR(pi * ai) * fmi
Klminmi = sigminm * SQR(pi * ai) * fmi
```

```
Klmaxi = Klmaxti + Klmaxmi
Klmini = Klminti + Klminmi
```

```
IF Klmaxi >= Klc THEN GOTO 500
```

```
DKli = Klmaxi - Klmini
DNi = Da / (C * (DKli) ^ m)
Ni = Ni + DNi
PSET (ai, Klmaxi)
NEXT i
```

```
500 LOCATE 25, 1
PRINT "Factorii de intensitate a tensiunii initiali"
PRINT "Klmax="; Klmax, "Klmin="; Klmin
PRINT
FOR i = 0 TO 5 STEP 1
LINE (i, 0)-(i, 4000)
NEXT i
FOR i = 0 TO 4000 STEP 400
LINE (0, i)-(5, i)
NEXT i
LOCATE 23, 58
PRINT "5"
LOCATE 23, 20
PRINT "0"
LOCATE 3, 16
PRINT "4000"
LOCATE 27, 1
```

```
PRINT "Factorii de intensitate a tensiunii finali"
PRINT "Klmaxfinal="; Klmaxi, "Klminfinal="; Klmini
PRINT "Lungimea finala a fisurii ="; ai
PRINT "Numarul de cicluri pana la rupere="; Ni
LOCATE 16, 16
PRINT ""
```

```
LOCATE 30, 3
INPUT "Reluarea calculului? (Da/Nu)", A$
IF A$ = "D" OR A$ = "d" THEN GOTO 5
END
```

145

### 5.3.3.Exemplu de calcul

În continuare este prezentat un exemplu de calcul al unei sârme din componența unui cablu de teleferic .

Datele de intrare au fost :

-caracteristicile de material

-tenacitatea la rupere  $K_{IC} = 3000 \text{ N/mm}^{3/2}$

-coeficientul  $C = 4,17 \cdot 10^{-11}$

-exponentul  $n = 2,75$

-geometria sârmei :diametrul  $d = 5\text{mm}$

-geometria defectului : adancimea  $a = 0,1 \text{ mm}$

latimea  $b = 0,3\text{mm}$

-incarcarea sârmei : -forța maxima  $F_{\max} = 3000 \text{ N}$

-forța minima  $F_{\min} = 300 \text{ N}$

-momentul maxim  $M_{\max} = 0$

-momentul minim  $M_{\min} = 0$

In urma rularii s-au obtinut urmatoarele rezultate :

-initial :

-factorul adimensional de intensitate al tensiunii  $f(a/b)_{ini} = 0.927$

-factorul maxim de intensitate  $K_{I_{\max, ini}} = 79.375 \text{ N/mm}^{3/2}$

-factorul minim de intensitate  $K_{I_{\min, ini}} = 7,937 \text{ N/mm}^{3/2}$

-final factorul adimensional de intensitate a tensiunii  $f(a/b)_{fin} = 5.493$

factorul maxim de intensitate al tensiunii  $K_{I_{\max, fin}} = 3300,2 \text{ N/mm}^{3/2}$

factorul minim de intensitate al tensiunii  $K_{I_{\min, fin}} = 330 \text{ N/mm}^{3/2}$

adancimea critica a defectului  $a_{cr} = 4.92\text{mm}$

numarul de cicluri pana la rupere  $N = 31880$  cicluri

146

Se observa ca initial factorul maxim de intensitate a tensiunii este mai mic decat tenacitatea la rupere ( $K_{I_{max}} < K_{IC}$ ), ceea ce înseamna ca nu sunt îndeplinite conditiile ruperii instabile .In continuare studiul efectuandu-se pentru solicitarea de oboseala a sârmei .

Rezultatele obtinute arată că ruperea sârmei se produce prin propagarea defectului , datorita atingerii valorii tenacității la rupere  $K_{IC}$ . Ruperea se produce pentru adancimea critica a defectului  $a_{c_r} = 4,92$  mm, care este atinsă dupa 31880 cicluri . În figura este prezentată variația factorului maxim de intensitate a tensiunii  $K_{I_{max}}$  in functie de adâncimea defectului  $a$  , obtinuta in urma rularii . Fig.V.5. Prezinta variația adancimii crestăturii  $a$  în funcție de numarul de cicluri de solicitare  $N$

#### 5.4.Concluzii

Lucrarea prezintă metodologia de estimare a durabilității sârmeilor , în ipoteza apariției unor defecte de formă eliptică , pe baza conceptelor Mecanicii Ruperii liniar – elastice . Calculul s-a realizat cu ajutorul unui program elaborat de autori bazat pe legea lui Paris .

In cadrul exemplului prezentat s-au obtinut valorile adancimii critice a fisurii  $a$  , respectiv a numărului de cicluri până la rupere  $N_a$  unei sârme .

Fig. V.4 este utilă deoarece permite determinarea factorului maxim de intensitate a tensiunii funcție de adâncimea defectului . De asemenea fig. V.5.permite estimarea creșterii defectului în functie de numarul de cicluri efectuate

147

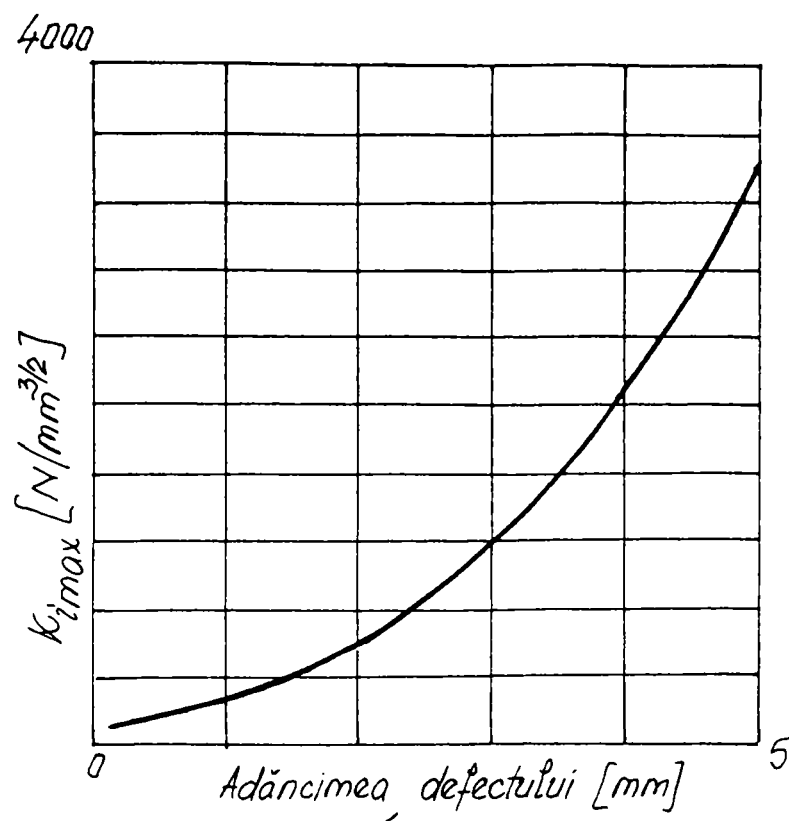


Fig. V.4

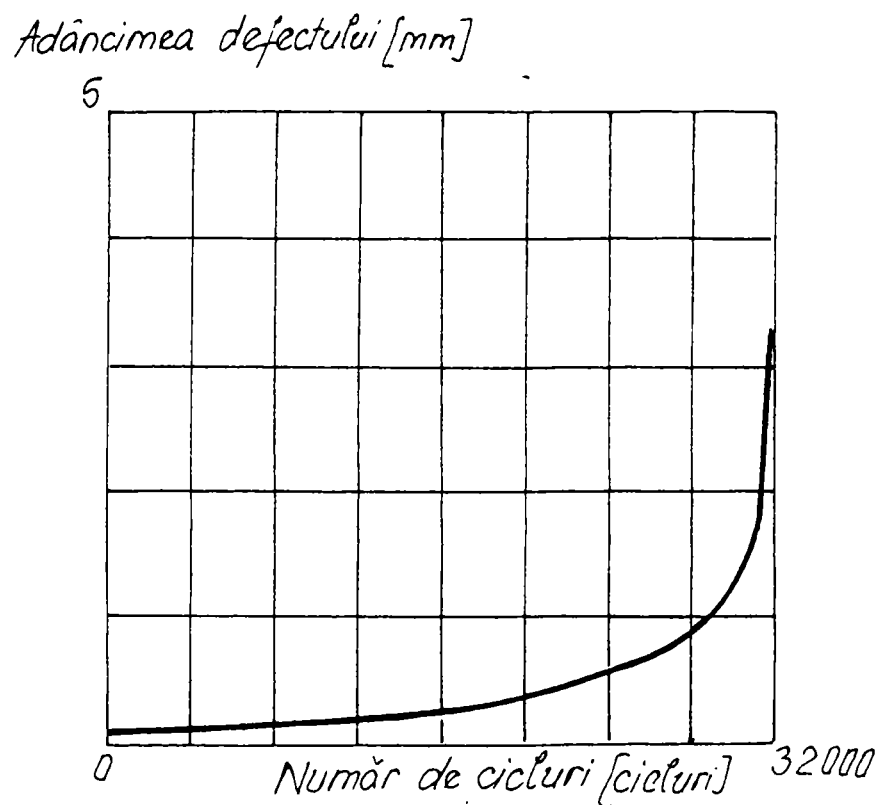


Fig. V.5

În tabelele 1-5 sunt prezentate rulările pentru solicitarea de întindere, încovoiere (pentru  $\rho = 500; 600; 700$ ) respectiv pentru solicitarea compusă de întindere cu încovoiere, luând în considerare sârme cu diametre de 5mm; 3mm; 2mm și 1mm. Pentru toate cazurile s-a considerat aceeași geometrie a defectului: adâncimea de 0,1mm și lățimea de 0,3mm –acestea fiind dimensiunile detectabile prin metode nedistructive.

De asemenea în fig.V6 –V9 s-a reprezentat variația factorului de intensitate a tensiunii cele 4 sârme solificate la tracțiune, în fig. V10 –V13 solicitare de încovoiere pentru  $\rho = 500\text{mm}$  iar în fig.V14-V17 pentru solicitarea compusă de întindere cu încovoiere.

În fig. V18 s-a reprezentat durabilitatea în funcție de tipul de solicitare.

Cablurile de oțel au o largă utilizare în industrie. Una dintre cele mai întâlnite aplicații o reprezintă cablurile de oțel ce intră în componența utilajelor miniere.Cablurile reprezintă elemente de rezistență de mareimportanță, care este imperios necesar să funcționeze în condiții de siguranță maximă.Un astfel de cablu monotoron, format din 19 sârme, este prezentat în fig.V.1

Din diagramele reprezentate se observa că pentru cazul solicitării de tracțiune și a solicitării compuse de tracttune cu încovoiere tenacitatea la rupere se atinge pentru o anumita lungime critică a fisurii producandu-se ruperea , pe când luand în considerare numai solicitarea de încovoiere factorul de intensitate a tensiunii maxime nu atinge valoarea critica , defectul propagandu-se pe întreaga secțiune a sârmei .

De asemenea in figura Fig.V.18 se observa ca durabilitatea sârmei pentru solicitarea de încovoiere nu depinde de diamterul acesteia , pe cand pentru solicitarea de întindere și întindere cu încovoiere depinde de diametrul sârmei .

149



V.1

INTINDERE												
d	Fmax	Fmin	Mmax	Mmin	Klmaxi	Klmini	Klmaxf	Klminf	acr	Nc		
mm	N	N	Nmm	Nmm	N/mm <sup>^(3/2)</sup>	N/mm <sup>^(3/2)</sup>	N/mm <sup>^(3/2)</sup>	N/mm <sup>^(3/2)</sup>	mm	cicluri		
5	3000	300	0	0	79.4	7.94	3000	300	4.7	30990.5		
3	1600	160	0	0	117.1	11.7	3000	300	2.66	9123.7		
2	720	72	0	0	118.3	11.8	3000	300	1.93	7527.4		
1	185	18.5	0	0	123	12.3	2378.4	237.8	1	4496.5		

V.2

INCOVOIERE												
d	Fmax	Fmin	Mmax	Mmin	Klmaxi	Klmini	Klmaxf	Klminf	acr	Nc		
mm	N	N	Nmm	Nmm	N/mm <sup>^(3/2)</sup>	N/mm <sup>^(3/2)</sup>	N/mm <sup>^(3/2)</sup>	N/mm <sup>^(3/2)</sup>	mm	cicluri		
500	5	0	0	1950	0	68.1	0	1314.7	0	5	41706	
	3	0	0	420	0	67.5	0	1015.5	0	3	38452.4	
	2	0	0	125	0	67.3	0	832	0	2	34483	
	1	0	0	15	0	63.9	0	565.3	0	1	29829.8	

V.3

INCOVOIERE												
d	Fmax	Fmin	Mmax	Mmin	Klmaxi	Klmini	Klmaxf	Klminf	acr	Nc		
mm	N	N	Nmm	Nmm	N/mm <sup>^(3/2)</sup>	N/mm <sup>^(3/2)</sup>	N/mm <sup>^(3/2)</sup>	N/mm <sup>^(3/2)</sup>	mm	cicluri		
600	5	0	0	1610	0	56.2	0	1085.4	0	5	70635	
	3	0	0	350	0	56.2	0	846.2	0	3	63485	
	2	0	0	100	0	53.9	0	665.6	0	2	61695	
	1	0	0	15	0	63.9	0	565.3	0	1	29830	

V.4

INCOVOIERE												
d	Fmax	Fmin	Mmax	Mmin	Klmaxi	Klmini	Klmaxf	Klminf	acr	Nc		
mm	N	N	Nmm	Nmm	N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3/2</sup>	N/mm <sup>3/3</sup>	mm	cicluri		
	5	0	1380	0	48.2	0	930.4	0	0	5	107926	
700	3	0	300	0	48.2	0	725.3	0	0	3	97000	
	2	0	90	0	48.5	0	599	0	0	2	85102	
	1	0	10	0	42.6	0	376.9	0	0	1	80970	

V.5

INCOVOIERE												
d	Fmax	Fmin	Mmax	Mmin	Klmaxi	Klmini	Klmaxf	Klminf	acr	Nc		
mm	N	N	Nmm	Nmm	N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3/2</sup>	N/mm <sup>3/3</sup>	mm	cicluri		
	5	3000	300	1950	0	147.5	3000	212.5	4.01	5325.5		
500	3	1600	160	420	0	184.6	3000	234.5	2.37	2548		
	2	720	72	125	0	185.6	3000	236.7	1.73	2171		
	1	185	18.5	15	0	186.9	2943.7	237.8	1	1490.2		

V.6

INCOVOIERE												
d	Fmax	Fmin	Mmax	Mmin	Klmaxi	Klmini	Klmaxf	Klminf	acr	Nc		
mm	N	N	Nmm	Nmm	N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3/2</sup>	N/mm <sup>3/3</sup>	mm	cicluri		

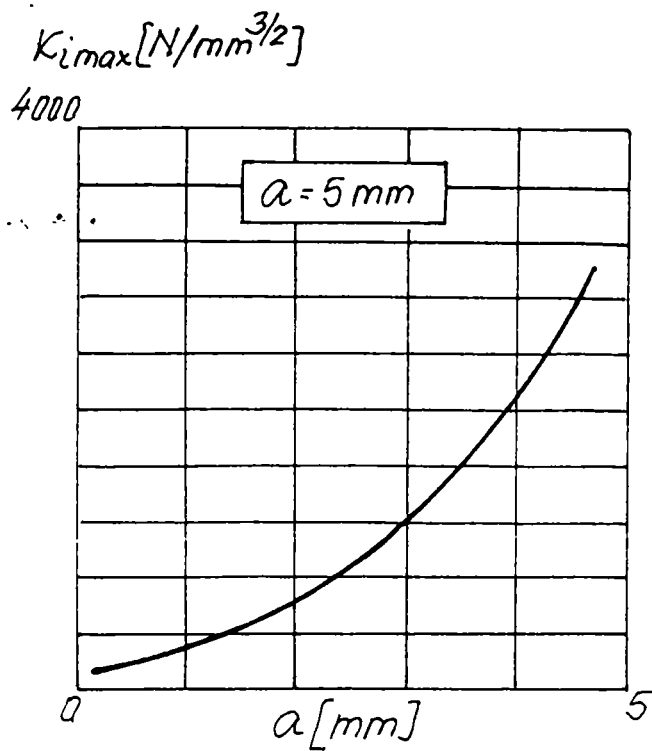


Fig. V.6

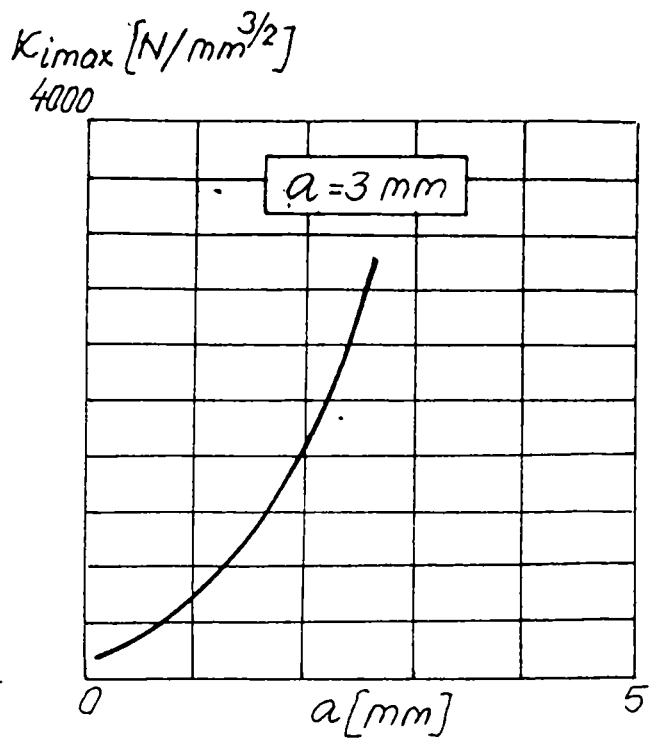


Fig. V.7

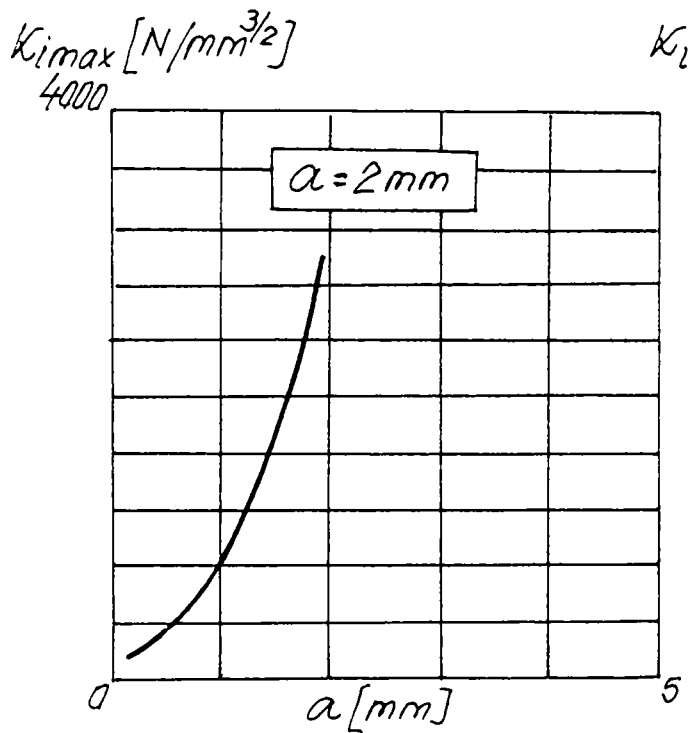


Fig. V.8

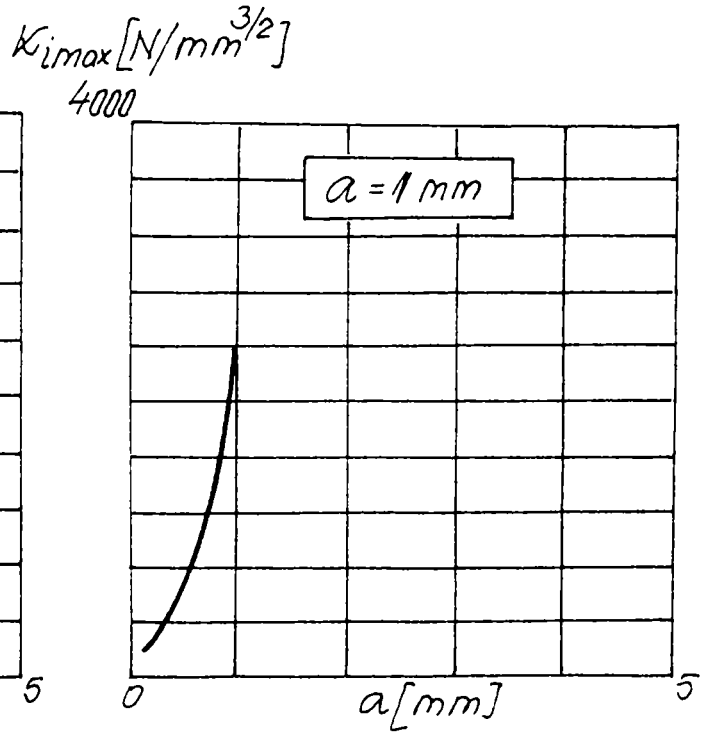


Fig. V.9

ÎNTINDERE

152

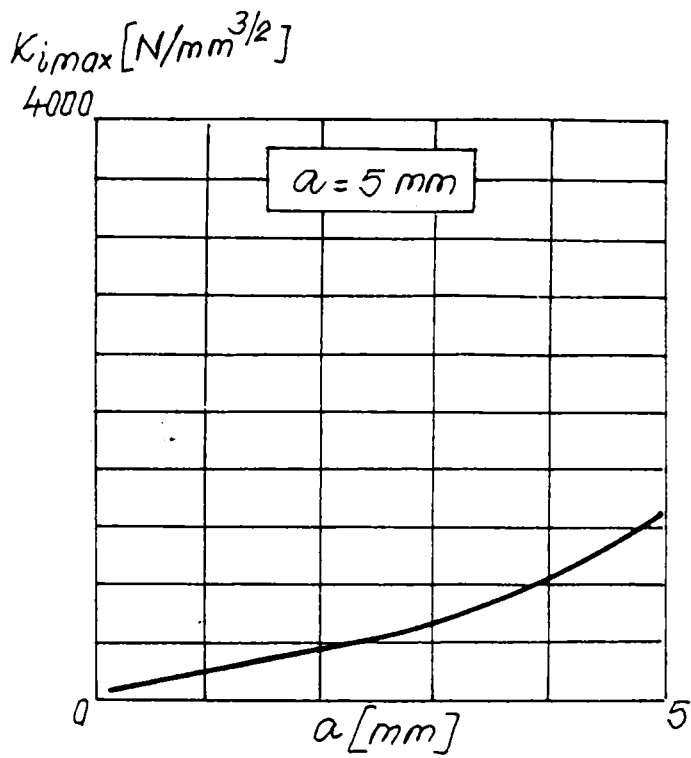


Fig. V.10

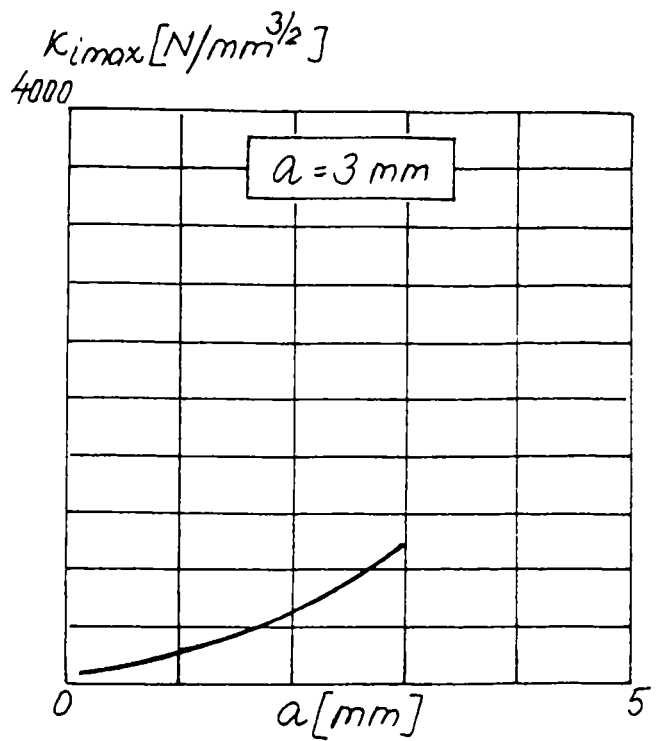


Fig. V.11

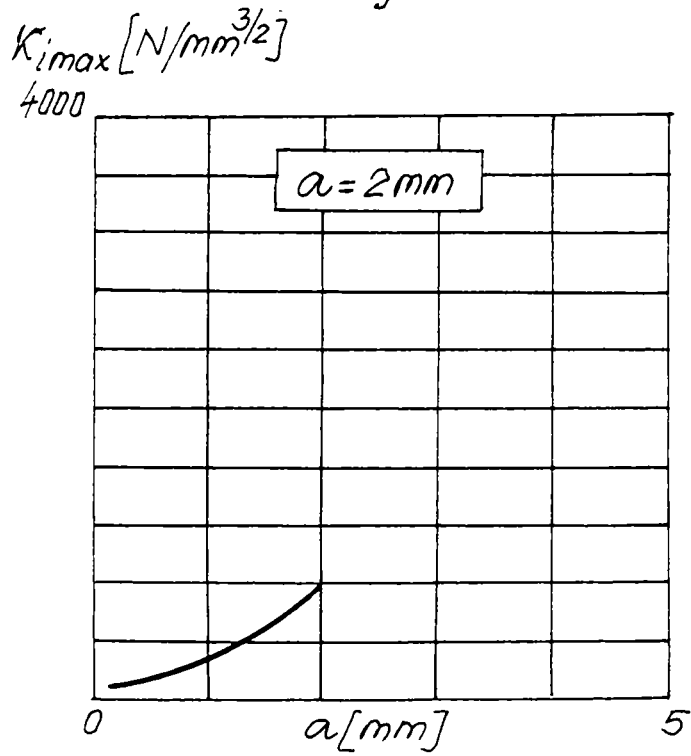


Fig. V.12

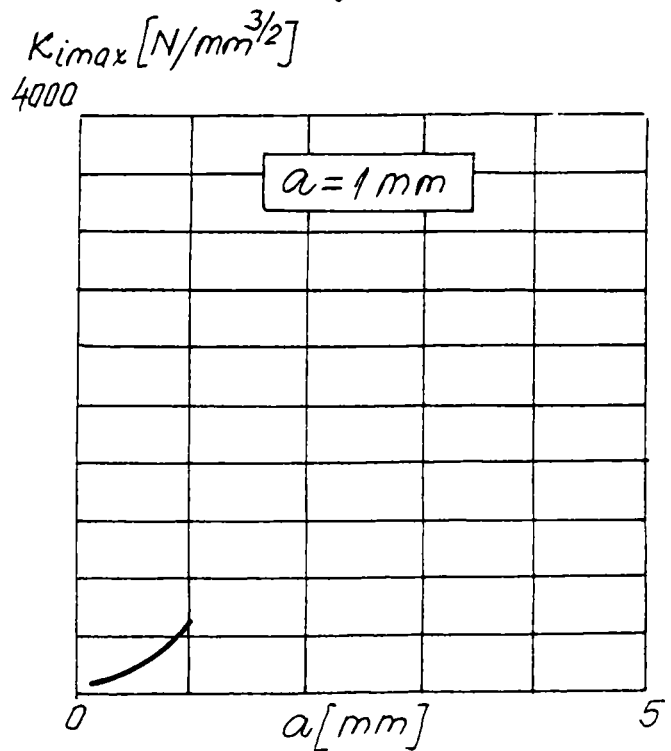


Fig. V.13

ÎNCOVOIERE ( $\rho=500\text{mm}$ )

153

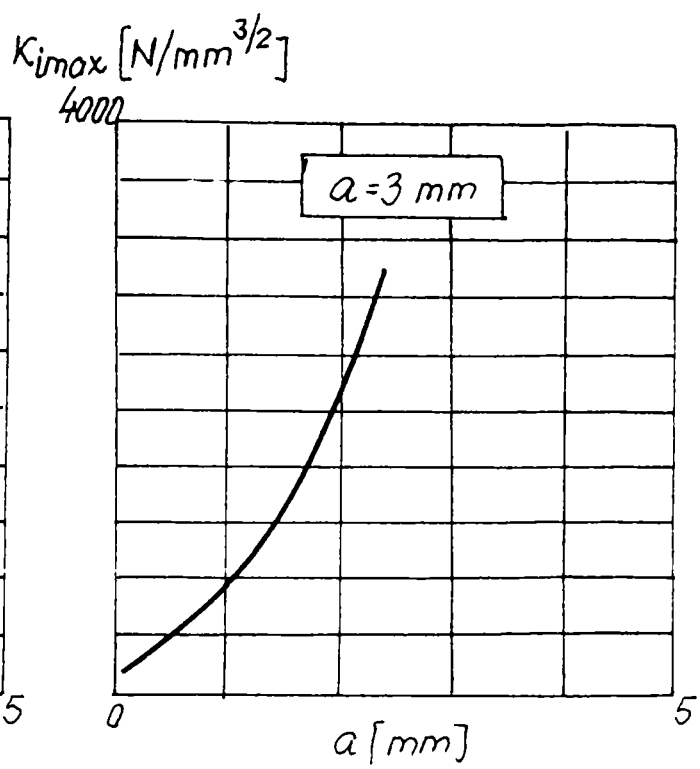
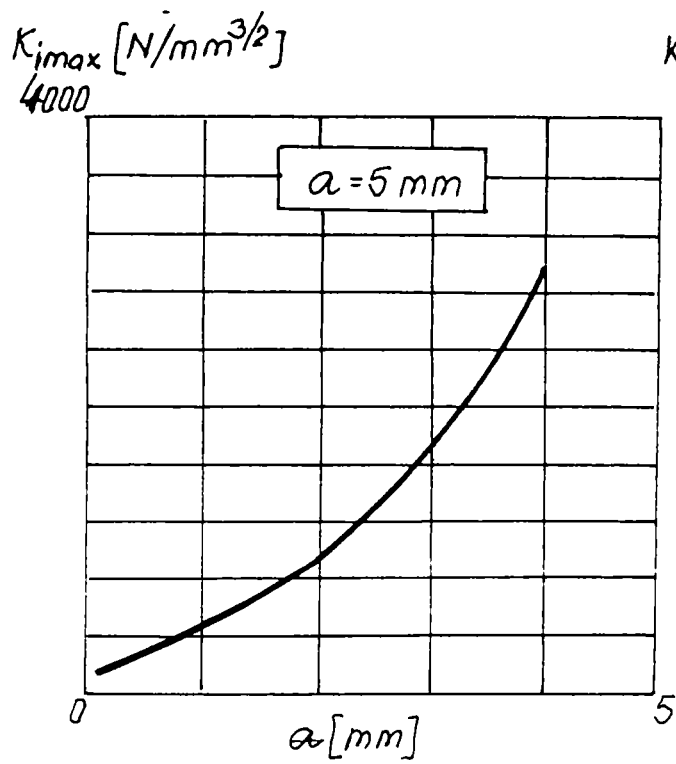


Fig.V.14

Fig.V.15

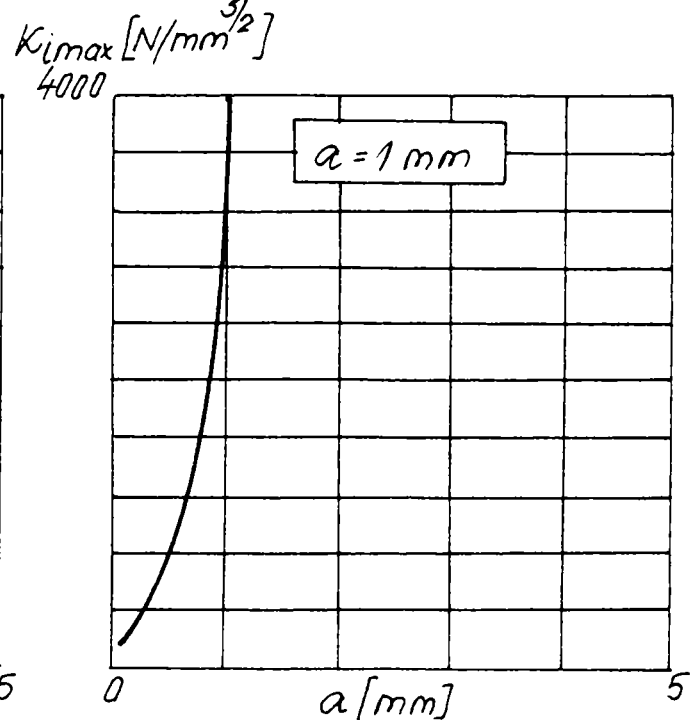
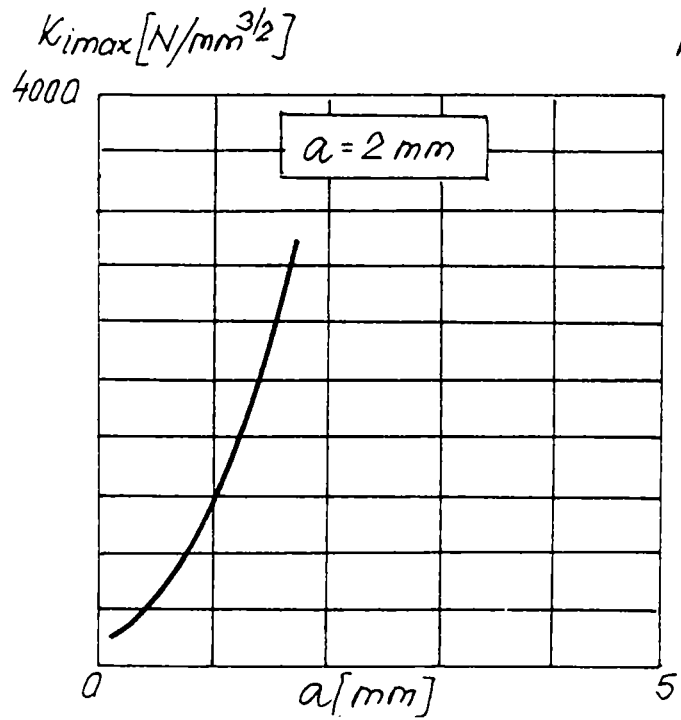


Fig.V.16

Fig.V.17

ÎNTINDERE CU ÎNCOVOIERE ( $\rho=500\text{mm}$ )

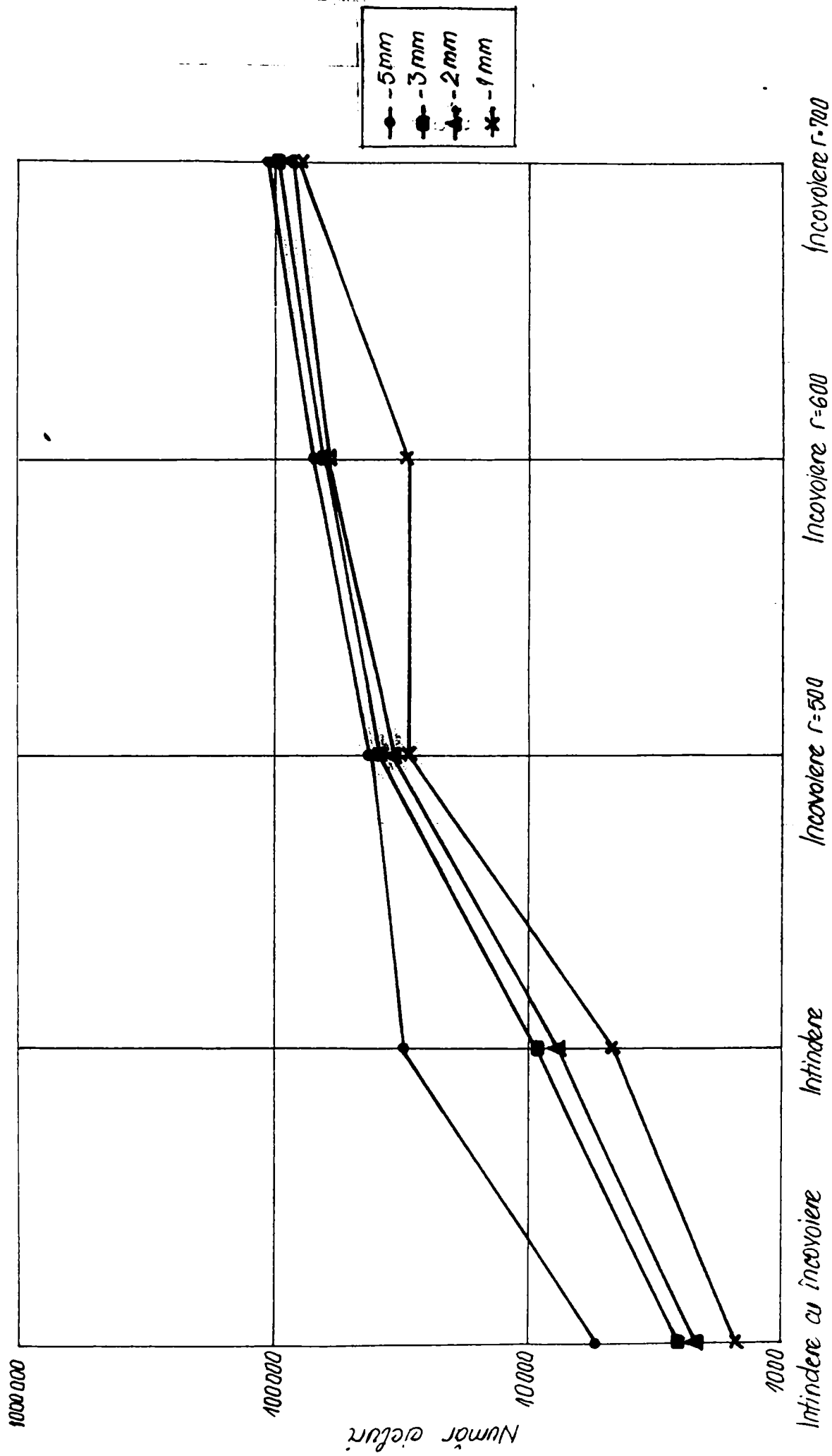
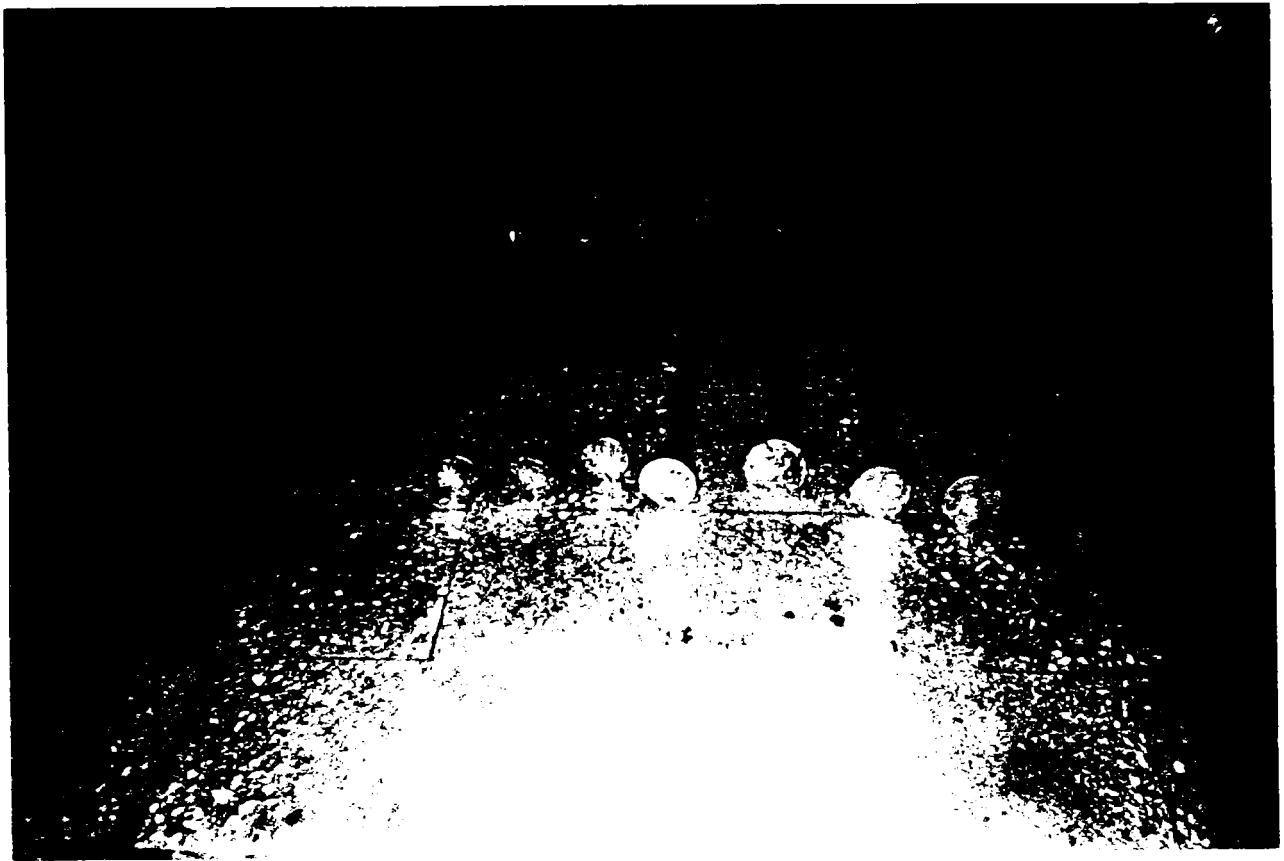


Fig. V. 18



## **Cap. 6 Considerații finale și Concluzii**

### CONSIDERAȚII FINALE ȘI CONCLUZII

Studiile privind comportarea mecanică a cablurilor din oțel în dimensiunea timp reușeste să prezinte o serie de sistematizări în domeniu, și prin încercările experimentale proprii prelucrate precum și prin rezultatele obținute în laboratorul de încercări de cabluri să finalizeze următoarele aspecte:

- preocupările continue și încercările periodice pentru verificarea calității cablurilor;
- determinarea curbelor de durabilitate pentru cabluri (Wöhler) și, în continuare, aprecierea influenței suprasolicitărilor asupra durabilității;
- prezentarea sistematică a relațiilor analitice pentru calculul durabilității;
- aplicarea criteriului de degradare liniară MINER ( $D=1$ ), dar și pentru încercările în trepte Înaltă-Joasă, respectiv Joasă-Înaltă, obținerea pentru cabluri a valorilor  $D>1$ , respectiv  $D<1$ ;
- prezentarea influenței principalilor factori asupra durabilității: mod de ungere, calitatea sârmei, modul de înfășurare;
- definirea unui cablu de referință REFWIRO pentru posibilitatea comparării încercărilor efectuate cu probabilități de 50%, 95% și 5% (ca limite);
- studiul durabilității sârmelor din cablurile de tracțiune pe baza conceptelor de mecanica ruperii, cu admiterea unui defect eliptic;
- prezentarea sistematizată a celor mai semnificative domenii de cercetare în tematică studiilor de durabilitate a cablurilor;
- prezentarea unei bibliografii de specialitate cu preocupări specifice durabilității cablurilor.

157



# BIBLIOGRAFIA

[A.1] **Arnold, H.**, *Load spectra in service*, Bull.OIPEEC, No.32 (1978), p.14/16.

[A.2] **Arnold, H.**, *Einige bemerkenswerte Untersuchungen und Zahlen aus dem Arbeitsgebiet des Institutes* (Some noteworthy research and results from the work of the work of the Institute) Bull OIPEEC 30(1977), 38-51

[A.3] **Apel, G.**, *The stranding factor*, OIPEEC, RTC, Glasgow, 1981, p.1.1.1-33.

[A.4] **Anon**, *Comite mixte OITAF-OIPEEC sur les methodes de calcul des cables et l'evoloution des criteres de securite* (OITAF-OIPEEC joint committee on rope calculation methods and on evolution of safety criteria), Bull.OIPEEC, 33(1978), p.7/9.

[A.5] **Anon**, *Rapport d'activite du comite mixte du OIPEEC et OITAF pour l'etude des: Methodes de calcul des cables et l'evoloution des enteres de securite* (Raport on the activity of the joint committee of OIPEEC and OITAF for the study of calculation methods for ropes and the evolution of safety criteria), Bull.OIPEEC, 2(1978), p.40/48.

[A.6] **Anon**, *Information on fatigue testing machine type P5 GIG 3 for steel wire ropes*, Bull.OIPEEC 86.

[B.1] **Boleanțu, L.**, *Des considerations sur les résultats de l'interpolation isoprobable des courbes de l'endurance pour les cables*, OIPEEC RTC-Milan (1973), p.201/207.

[B.2] **Buzdugan, Gh., Blumenfeld, M.**, *Strength Calculations of Machine Parts*, (Roumanish) Ed.Tehnică, București, 1979.

[B.3] **Buzdugan, Gh., Elena Alămoreanu, Iliescu, N., Mîncă, I., Sandu, M.**, *Computational Handbook in Mechanical Engineering* (Roumanish), Ed.Tehnică, București, 1996.

[B.4] **Babeu, T.**, *Considerations about wire rope fatigue testing*, OIPEEC, RTC-Delft (1993) pp 14/19.

158

[B.5] Babeu, T., *Considerations concerning the service life of wire ropes*, OIPEEC, Bull.No.71 (1996), p.49/54.

[B.6] Babeu, T., Babeu, S.D., *Diagrame ale ciclurilor limită și simularea în laborator a durabilității cablurilor*, în *Analele Univ."Eftimie Murgu"*, Reșița, 1996.

[B.7] Babeu, S.D., *Rewiew to OIPEEC Bulletin/Bericht/ Bolletine 71*, Bul.Șt.și Tehnic al Universității "POLITEHNICA" din Timișoara, Tom 41(55), MECANICĂ, 1996, p.230/231.

[B.8] Babeu, T., Babeu, S.D., *Despre influența bazei de măsură în determinarea caracteristicilor elastice a conductorilor*, *Analele Univ."Eftimie Murgu"*, Reșița, 1996.

[B.9] Babeu, T., Babeu, S.D., *Considerații privind rezistența în exploatare a cablurilor de la utilajele miniere*, Seminar șt."Metode pentru determinarea rezervei de viață" Acad.Română, Filiala Timișoara, Subcom.Șt. mat.U."Politehnica" Timișoara, 1996.

[B.10] ..., Babeu, S.D., *Contaneizarea o concepție logistică*, *Lucr.Simpozion Național de Roboți Industriali*, Ed.XIIa, Timișoara, vol.I, 1994, p.97/102.

[B.11] Babeu, S.D., *Cumularea degradărilor pentru cablurile din oțel*, *Lucr.ses.de com.șt. ale Univ."Aurel Vlaicu" Arad*, vol.XIII, *Rezistența materialelor*, 1997, p.183/192.

[B.12] ..., Babeu, S.D., *Influența suprasolicitărilor asupra durabilității cablurilor*, *Lucr.ses. de com.șt. ale Univ."Aurel Vlaicu" Arad*, vol.XIII, *Rezistența materialelor*, 1997, p.179/182.

[B.13] ..., Babeu, S.D., *About fatigue of the ropes*, XIV International Conference on Material Hadhing and Warehousing, KIV ICMHW'96, Belgrade-Yu, 1996, p.2.16/2.19.

[B.14] ..., Babeu, S.D., *Considerații generale privind condițiile de stabilități ale unui excavator cu rotor port cupe*, Al VI-lea Simpozion Național de Utilaje pentru Construcții, vol.II, București, 1997, p.483/486.

[B.15] ..., Babeu, S.D., *Cu privire la echilibrarea unui excavator cu rotor port cupe*, Al VI-lea Simpozion Național de Utilaje pentru Construcții, vol.II, București, 1997, p.487/490.

[B.16] ..., **Babeu, S.D.**, *Calcul de stabilitate ale unui excavator cu rotor port cupe*, Al VI-lea Simpozion Național de Utilaje pentru Construcții, vol.II, București, 1997, p.491/494.

[B.17] **Bahke, E.**, *Proposals for the extensinuis of OIPEEC's Block Program, Theoretical problems*, OIPEEC Bull., No 49(1985), p.7/12.

[B.18] **Bocsanczy, J.**, *Quelques considerations de principe sur la determination de la duree de vie des cables d'extraction* (Some main considerations in the determination of the life of quarrying ropes). OIPEEC RTC-Krakow (1981), 43-54.

[B.19] **Bahke, E.**, *Some problems of modern fatigue strengths investigation*, Bull.OIPEEC 26(1975), 16-21.

[B.20] **Boroska, J.**, *Veranderungen der Mechanischen und Ermundungseigenschaften von in betrieb Befindlichen Stahlseildrahten* (Variation of mechanical and fatigue properties of wires in ropes in operation), OIPEEC RTC-Krakow (1981) Suppl. 11-19

✓ [B.21] **Branca, F.P., Cappa, P., Del Prete, Z&Steindler, R.**, *Accelerated fatigue tests on wire ropes: results and discussion*, OIPEEC RTC-Delft (1993), IV, 35-37.

✓ [B.22] **Boleanțu, L. & Babeu, T.**, *Au sujet de la nouvelle methode d'interpretation des resultates des essais de fatigue* (On the subject of the new method to interpret the results of fatigue tests on ropes), Bull.OIPEEC 26(1978), 13-15.

✓ [B.23] **Bellone, S.**, *Notizie sul comportamento in servizio di una fune flessibile* (News about the behaviour of a flexible wire rope), Bull.OIPEEC 6(1965), 19-21.

✓ [B.24] **Boleanțu, L. & Babeu, T.**, *Correlation entre les methodes d'interpretation des resultat a l'essai de durabilite des cables* (Korrelationen Zwischen den 'auswertungsmethoden der Ergebnisse bei dauer Prufung von Drahtseilen; Correlation between the methods of interpreting the results of fatigue endurance test on ropes), Bull.OIPEEC 43(1988), 11-17.

✓ [B.25] **Beblo, W.**, *Kinematic model of the process of elongation for mine hoisting ropes*, OIPEEC-RTC Krakow (1981), 194-197.

- [B.26] Babeu, T., *Considerations about wire rope fatigue testing*, OIPEEC RTC-Delft, 13-19.
- [B.27] Boleanțu, L., *Letter in response to enquiry on a standard machine Working group 1 : wire rope*, Bull.OIPEEC 16(1970), 35-36.
- [B.28] Beck, W. & Briern, U., *Correlation between endurance prediction and service life of running ropes*, OIPEEC RTC-Delft (1993), 16-23.
- [B.29] Branca, F.P., Cappa, P., Del Prete, Z. & Steindler, R., *Accelerated fatigue tests on wire ropes; results and discussion*, OIPEEC RTC-Delft (1998), 7-13.
- [B.30] Boleanțu, L. & Babeu, T., *Sur l'interpretation des resultats aux essais de durabilite des cables* (On the interpretation of the results of tests on the endurance of wire ropes), Bull.OIPEEC 30(1977), 32-37.
- [B.31] Boleanțu, L. & Babeu, T., *Des considerations sur les resultats de l'interpolation isoprobable des courbes de l'endurance pour les cables* (Considerations of the results of interpolatin of statistical curves for the endurance of wire ropes), OIPEEC RTC-Milan (1973), 201-207.
- [B.32] Bejan, M., *Unități de măsură*, Ed.Echinox, Cluj Napoca, 1996.
- [B.33] Bejan, M., *Unități de măsură*, Ed.Casa Cărții de Știință, Cluj Napoca, 1997.
- [C.1] Casey, M.F., *An approach to the fatigue life prediction of large diameter wire rope*, OIPEEC Bull.No.62 (1991), p.15/20.
- [C.2] Casey, N.F., *The fatigue endurance of wire ropes for monitoring offshore structures*, OIPEEC RTC-Delft (1993), p.24/49.
- [C.3] Casey, N.F., Waters, D.M., *Condition monitoring for fatigue test assessment and life prediction of six strand rope*, OIPEEC, RTC-Zurich (1989), p.7.1/20.
- [C.4] Chaplin, C.R., *Tension - Tension fatigue in moorning ropes for offshore structures*, OIPEEC Bull. No. 56 (1988), p.9/22.
- [C.5] Chaplin C.R., *Offshore applications programme on cumulative damage in tensil fatigue working party 3: Offshore applications*, OIPEEC Bull.No.56(1988), p.36/40.

- 45 [C.6] **Chaplin, C.R.**, *Proposed programme on tensile fatigue*, OIPEEC Bull.No.55 (1988), p.126/132.
- 46 [C.7] **Chaplin, C.R.**, *Prediction of offshore mooring ropes*, OIPEEC, RTC-Delft (1993), p.50/75.
- 47 [C.8] **Chaplin, C.R.**, *Prediction of the fatigue endurance of ropes subject to fluctuating tension*, OIPEEC Bull. No. 70 (1995), p.31/39.
- 48 [C.9] **Cioclov, D.**, *Rezistența și fiabilitate la solicitări variabile (Roumanish)*, Ed. Facla, Timișoara, 1975.
- 49 [C.10] **Ciuffi, R.**, *Report on BLP (Block Load Programme)* Bull.OIPEEC, No.36 (1979), p.38/52.
- 50 [C.11] **Clement, Ph.**, *Etude de l'endommagement subi par un cable en flexion alternée sur poulies*, Bull. OIPEEC, No. 45(1983), p.67/90.
- 51 [C.12] **Chaplin, C.R.**, *Prediction of the fatigue endurance of ropes subject to fluctuating tension*, Bull.OIPEEC 70(1995), 31-39.
- 52 [C.13] **Clement, P.**, *Etude de l'endommagement subi par un cable en flexion alternee sur poulies (Damage study for a cable submitted to reverse bending over pulleys)*, Bull.OIPEEC 45(1983), 67-90.
- 53 [C.14] **Clement, P.**, *Fatigue d'un cable en flexion sur une poulie : formulation d'une loi generale donnant le nombre de cycles a rupture par utilisation d'endommagement (Fatigue of a wire rope bending on a pulley : working out a general rule giving the amount of cycles to breakage by the knowledge of damage)*, Bull.OIPEEC 40(1981), 28-56.
- 54 [C.15] **Chaplin, C.R.**, *Problems of specifying discard criteria for offshore ropes*, OIPEEC RTC-Zurich (1989), 1-16.
- 55 [C.16] **Clement, P.**, *Fatigue behaviour of a 24 mm locked coil wire rope*, Bull.OIPEEC 55(1988), 15-34.
- 56 [C.17] **Chaplin, C.R.**, *Prediction of offshore mooring ropes*, OIPEEC RTC-Delft (1993), 50-75.
- 57 [C.18] **Clement, P.**, *Discard criteria for sonar tow cables*, Bull.OIPEEC 60(1990), 7-16.

1 6 2

82 [C.19] Casey, N.F., *An approach to the fatigue life prediction of large diameter wire rope*, Bull.OIPEEC 62(1991), 15-40.

JP [C.20] Clement, P., *Etude de l'endommagement subi par un cable en flexion alternee sur poulie* (Damage study for a cable submitted to reverse bending over pulleys), Bull.OIPEEC 45(1983), 67-90.

W [C.21] Chaplin, C.R., *Tension-tension fatigue in mooring ropes for offshore structures*, Bull.OIPEEC 56(1988), 9-22.

61 [C.22] Clement, P., *Discard criteria for sonar tow cables*, Bull.OIPEEC 60(1990), 7-16.

8 [D.1] De Stefano, A., Rossetti, U., *New methods of rope calculations based on fatigue tests and cumulative damage*, Bull.OIPEEC, No.33 (1978), p.22/24.

7 [D.2] De Stefano, A., Rossetti, U., *New methods of rope calculation based on fatigue tests and cumulative damage*, Bull. OIPEEC, No 33(1978), p.10/14.

U [D.3] De Stefano, A., *Discussion of : Sur la nouvelle formule interpretative des results des essais de fatigue et ses possibilites d'application aux methods de calcul a l'endurance*, Bull.OIPEEC 28(1978), 46-48.

[D.4] De Stefano, A & Fassinotti, G., *Comparison between formulae for ropes fatigue* (Comparaisons entre formules pour le fatigue des cables), OIPEEC RTC-Luxemburg (1977), 2.3.1-9

6 [D.5] Dragone, G., *Spectres de charge et etude de l'endurance des cables par la method a charge variable*, OIPEEC RTC-Milan (1973), p.217/226.

Y [D.6] Dumitru, I., Babeu, T., Marşavina, L., Babeu, S.D., *Effect of prestressing on durability at repeated impacts*, Euromech Collogium 386-Dynamics of Wibro-Impact Sistems, Longhborungh-U.K., 1998, p.1/8.

5 [E.1] Edward, N.S., *Degradation of crane ropes in an offshore environment and prognosis for further life*, OIPEEC RTC-Zurich (1989), 13.1-11.

6 [F.1] Faraggiana, G., Rossetti, U., *On the lawfulness on the application of cumulative damage theory on t ension ropes*, OIPEEC, Bull.No.63(1992), p.21/26.

163



- 70 [F.2] Feyrer, K., *Drahtseile Bemessung. Betrieb. Sicherheit*, Springer-Verlag, 1994.
- [F.3] Feyrer, K., *Equivalent formulator wire ropes under fluctuating tension*, OIPEEC Bull. No 70(1995), p.47/56.
- [F.4] Feyrer, K., *Wire ropes under fluctuating tension and bending*, Bull.OIPEEC 63(1992), 27-40.
- [F.5] Feyrer, K., *The application of a new method of wire rope calculation*, Bull.OIPEEC 55(1988), 35-51.
- [F.6] Feyrer, K., *Endurance calculation of wire rope running over sheaves*, OIPEEC RTC-Delft (1993), 1.2-15.
- [F.7] Feyrer, K., *Analytical interpretation of fatigue bending tests*, Bull.OIPEEC 49(1985), 19-22.
- [F.8] Feyrer, K., *The number of bending cycles of parallel ropes*, OIPEEC RTC-Glasgow (1983), 1.2.1-11.
- [F.9] Fuchs, D., Spas, W., *The influence of fluctuating tensile stresses on the endurance of hoisting ropes on koeze haulage systems*, OIPEEC Bull. No 70(1993), p.57/62.
- [F.10] Fuchs, D., Spas, W., *A method of calculating the hoisting cycles of a rope as a function of stress to the point of discarding*, OIPEEC RTC-Delft (1993), 91-102.
- [F.11] Fuchs, D., *A contribution to the prospective service life of winding ropes in Koepe-winding systems in mining*, Bull.OIPEEC 55(1988), 35-51.
- [F.12] Francois, D. & Gourmelon, J.P., *For a new safety fatigue design concept of civil engineering cables*, Bull.OIPEEC 62(1991), 41-46.
- [G.1] Gnilke, W., *Lebensdauerberechnung der Maschinenelemente*, V.Techn., Berlin, 1980.
- [G.2] Godono, G., Natale, U., *Evaluation de la duree des cables soumis a sollicitations cyclequement variables*, Bull. OIPEEC, No.28(1976), p.33/36.
- [G.3] Godono, G & Linguiti, F., *Sur le calcul des cables des ascenseurs (On the calculation of lift wire ropes)*, OIPEEC RTC-Luxemburg (1977), 2.3.1-9.

2 [G.4] **Giovannozzi, R.**, *Studio dinamico delle machine di prova* (Dynamic study of experimental machines), Bull.OIPEEC 12(1968), 13-15.

1 [G.5] **Giovannozzi, R.**, *Report on themes 2 and 3 : New calculation methods based on cumulative damage and an economic point of view; Safety criteria evolution*, OIPEEC RTC-Luxemburg (1977), 53-68.

6 [G.6] **Ginovszky, A., Kaderjak, G. & Kutý, A.**, *The effects of lubrication and structure of wire ropes on the fatigue life*, OIPEEC RTC-Luxemburg (1977), 11-10.

7 [G.7] **Gressier, M.**, *Selection of hoisting crane ropes according to the class of mechanisms*, OIPEEC RTC-Delft (1993), 76-90.

8 [G.8] **Grabner, P. & Gwenetadse, M.**, *Neue Forschungsergebnisse zur Schmierung von Drahtseilen*, OIPEEC RTC-Delft (1993) 37-57

9 [H.1] **Haibach, E.**, *Zeitfestigkeit und Betriebfestigkeit von Titanwerkstoffen im Vergleich zu Stählen und Leichtmetallen*, Materialprüfung, 7, (1965), Nr.4, p.118/122.

10 [H.2] **Hanke, M., Hromir, M.**, *Calculation of service life according to the cumulative fatigue damage Theory of Corten - Dolan*, Materialprüfung 11 (1969), Nr.6, p.189.

11 [H.3] **Hankus, J.**, *Fatigue tests on hoisting wire ropes of diameter above 50mm*, OIPEEC, RTC-Glasgow (1985), 4, p.21/28.

12 [H.4] **Hankus, J.**, *Budowa I wlasnosci mechaniczne linstalowychi (Polish)*, GIG, Katowice, 1990.

13 [H.5] **Hankus, J.**, *Steel ropes fatigue by reliability formulation*, Bull.OIPEEC 61(1991), 28-48.

14 [H.6] **Hankus, J.**, *Supplementary criteria for mine hoisting rope replacement*, OIPEEC RTC-Zurich (1989), 10.1-1.8

15 [H.7] **Hansel, J. & Olesky, W.**, *The determination of the fatigue life of wire ropes based on an analysis of stresses in wires*, OIPEEC RTC-GLASGOW (1985), p.1.3.1.-24.

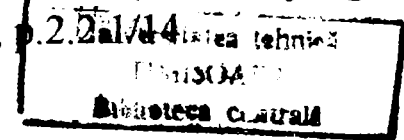
1 6 5



- 0 [I.1] Iovane, P., *Failures and deteriorations in aerial tramways and ski-lifts-technical retirement : reasons and proposals*, Bull.OIPEEC 48(1981), 19-27.
- 2 [J.1] Johnson, L.G., *The Statistical Treatment of Fatigue Experiments*, Elsevier P.C., Amsterdam, 1964.
- 98 [J.2] Jelmmlich, G., *Endurance and damage behaviour of wire ropes in one-step and oly-step tests under the effect of ditfsent influencing factors as a basis for deriving criteria of reliability in service and dimensoning principls*, OIPEEC, RTC-Krakow (1981), p.297/306.
- ca [J.3] Jahne, K., *Reliability of the number of wire breaks as discarding criterion for steel wire ropes running over sheaves*, Bull. OIPEEC 66(1993), 13-24.
- no [K.1] Kapur, K.C., Lamberson, L.R., *Reliability in Engineering Design*, John Wiley & Sons, New-York, 1977.
- 101 [K.2] Kogan, J., *On design standards for wire rope durability*, Bull.OIPEEC 45(1983). 33-58.
- 102 [K.3] Kopanakis, G.A. & Woodtli, J., *The influence of lubrication on the fatigue behaviour of locked coil ropes flexed over roller chains*, OIPEEC RTC-Delft (1993), 24-37.
- 103 [K.4] Kowalczyk, J., *Travaux de recherches de l'Institut Central des Mines (GIG) a Katowice dans le domaine des cables d'acier*, Bull.OIPEEC 15(1969), 28-34.
- 104 [L.1] Luboz, G., *Proposition d'une autre formule pour xprimer les resultats des essais de fatigue*, Bull.OIPEEC 35(1979), 18-21.
- 105 [L.2] Linguiti, F., *Poulie pour ascenseurs avec gorges en caoutchouc*, Bull.OIPEEC 28(1976), 60-64.
- 106 [M.1] Marşavina L., Babeu, T., Babeu, S.D., *Studiul stării de tensiune dintr-o placă având o creştatură laterală terminată cu un orificiu circular*, Bul.Şt.vol.V, Inginerie Montană, ALTEXIM-1, Sibiu, 1998, p.375/382.
- 107 [M.2] Marşavina, L., Babeu, S.D., *Studiul durabilităţii cablurilor de teleferic pe baza conceptelor de mecanica ruperii*, Bul.şt., vol.V, Inginerie Montană, ALTEXIM, Sibiu, 1998, p.383/388.

1 6 5

- 108 [M.3] Mancini, G., *Commentaires sur les recherches COMMA 2 et Brugg*, Bull.OIPEEC 24(1975), 5-18.
- 109 [M.4] Margetts, R.G. & Spikes, H.A., *Lubrication of wire ropes*, OIPEEC RTC-Glasgow (1985), 9.6.1-11.
- 110 [M.5] Meeuse, G.C., *State of the art research in the field of the endurance of ropes*, Bull.OIPEEC 36(1979), 11-19.
- 111 [O.1] OIPEEC - Secretariat, *Le programme BLP, working group 1: fatigue of cables*, Bull.OIPEEC, No.24 (1975), p.5
- 112 [O.2] Oleinik, N.V., *Procsnosti i dolgovecsnosti detalei, o ciklicseskoi dolgovecsnosti stali v cviazi s perepadom urovnja naprazsenosti*, Detali masin, Izd.Teh.Kiev, 1965, 2, p.84/94.
- 113 [O.3] Oplatka, G., Roth, M., *Endurance of steel wire rope under fluctuating tension and twist: influence of the rope lay*, OIPEEC, Bull.No.71 (1996), p.13/22.
- 114 [O.4] Oplatka, G., Woodtil, J., *Fatigue behaviour of a wire rope under simultaneras fluctuating tensile and bending stress*, OIPEEC Bull., No 64(1992), p.29/47.
- 115 [O.5] Oplatka, G., Roth, M., *Fatigue tests with repeated bending on Seale ropes*, OIPEEC RTC-Luxemburg (1977), 1.6-1.7.
- 116 [O.6] Oplatka, G., Roth, M., *Einfluss der Schlagart und der Seele auf die Lebensdauer von Seale-Seilen-Diskussion der Ergebnisse der Dauerbiegeversuche "Brugg" der OIPEEC*, Bull.OIPEEC 24(1975), 19-26.
- 117 [R.1] Ridge, I.M.L., Chaplin, C.R., *Bending-tension fatigue - the influence of fluctuating load on the safety of ropes in bending*, OIPEEC, Bull.No.62 (1991), p.78/95.
- 118 [R.2] Ridge, I.M.L., *Bending - tension fatigue of wire rope*, OIPEEC, Bull.No.66 (1993), p.31/50.
- 119 [R.3] Rossetti, U., Maradel, F., *Check on the validity of the Miner's hypothesis for tension - tension fatigue*, OIPEEC, Bull.No.64(1992), p.23/28.
- 120 [R.4] Rossetti, U., *New method for ropes calculation based on fatigue cumulative damage*, OIPEEC RTC-Luxembourg (1977), p.2.2



- 21  
~~110~~ [R.5] Rossetti, U., *Discussion du memoire 4.1; et exemples de la duree de vie*, OIPEEC RTC-Luxembourg (1977), p.112/115.
- 122 [R.6] Rossetti, U., De Stefano, A., *Resume d'un exemple de calcul a l'endurance d'apres la nouvelle methode*, Bull.OIPEEC, No 33(1978), p.15/21.
- 123 [R.7] Rossetti, U., *Influence of the fatigue formula on the endurance calculation of ropes by the new method based on cumulative damage*, OIPEEC, RTC-Krakow (1981), p.316/321.
- 124 [R.8] Rossetti, U., Faragiana, G., *New proposal for the valuation of the endurance of ropes by the cumulative damage hypothesis*, OIPEEC RTC-Glasgow (1985), p.1.4.1/11.
- 125 [R.9] Rossetti, U., *Quelques observation sur l'influence de D/d/Some remarks on the influence of D/d*, Bull.OIPEEC 9(1967), 8-11.
- 126 [R.10] Rossetti, U., *Sur la nouvelle formule interpretative des results des essais de fatigue et ses possibilites d'application aux methodes de calcul a l'endurance*, Bull.OIPEEC 28(1976), 37-45.
- 127 [R.11] Rusu, O., Teodorescu, M., Lascu-Simion, N., *Metal Fatigue. I. Fundamentals and Properties (Roumanish)*, Ed.Tehnică, București, 1991.
- 128 [R.12] Ruso, O., Teodorescu, M., *Metal Fatigue. II. Engineering Applications (Roumanish)*, Ed.Tehnică, București, 1991.
- 128 [S.1] Schott, G., *Lebensdauerberechnung wit werkstoffermüdungsfunktionen*, DVf.G.Leipzig, 1990.
- 128 [S.2] Schneider, A., *Calculating the useful life of a multistrand spiral rope*, Bull.OIPEEC 46(1983), 30-47.
- 139 [S.3] Saramet, C.C., Bejan, M., *Inginerul, confident și vizionar*, Ed.AGIR, București, 1999, p.352
- 132 [S.4] Sawada, K., *Study of the fatigue and life of ropeway wire ropes*, OIPEEC RTC-Milan (1973), 172-182.
- 133 [T.1] Timoshenko, S., *Strength of Materials, Part.II, Advanced Theory and Problems*, Third Edition, Krieger L.C., 1976.

168

- 134 [T.2] **Thaon, M.**, *Analyse statistique de resultats d'essais de fatigue sur cables*, OIPEEC RTC-Milan (1973), 227-241.
- 135 [T.3] **Tonghini, M.**, *On some formulae for the study of the endurance of wire ropes*, Bull.OIPEEC 37(1980), 54-65.
- 136 [V.1] **van der Sterren, B.G.**, *Endurance of steel wire ropes in free bending conditions*, Bull.OIPEEC 67(1996), 21-37.
- 137 [Z.1] **Zimerman, Z.**, *New methods of rope calculation based on fatigue tests and cumulative damage*, Bull.OIPEEC, No 31(1977), p.13/16.
- 138 [W.1] **Wiek, L.**, OIPEEC, *Inquiry into. Rope Fatigue Machines*, Bull.OIPEEC, No.64, November 1992, p.13/22.
- 139 [W.2] **Wiek, L.**, *Calculation of rope endurance whether the cause may be wear or ftiqye*, Bull.OIPEEC 56(1988), 105-119.
- 140 [W.3] **Wiek, L.**, *Contact pressure and steel wire rope endurance*, Bull.OIPEEC 43(1982), 18-24.
- 141 [W.4] **Waterhouse, R.B. & Takeuchi, M.**, *Effect of fibre additions to oils to reduce fretting damage in roping steel wire*, OIPEEC RTC-Delft (1993), 2-9.
- 142 [W.5] **Woodli, J. & Kopanakis, G.**, *Fatigue crack nucleation and propagation in locked coil wire ropes under forced bending*, OIPEEC RTC-Delft (1993), 78-90.
- 143 [W.6] **Waters, D.M.**, *Some aspects on the fatigue appraisal of large diameter wire ropes*, OIPEEC RTC-Glasgow (1985), 2.7.1-10.
- 144 [W.7] **Winder, G.E.**, *Proposal for a large bending fatigue test facility at the Safety in Mines Research Establishment*, Bull.OIPEEC 28(1976), 31-32.

169