

INSTITUTUL POLITEHNIC " TRAIAN VUIA " TIMISOARA  
FACULTATEA DE CONSTRUCTII  
CATEDRA DE CONSTRUCTII METALICE

ING. ZAHARIA MIHAI.

CONTRIBUTII PRIVIND STUDIUL  
=====

ACOPERISURILOR SUSPENDATE  
=====

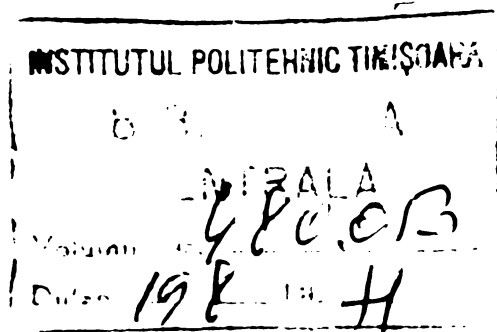
PE CABLURI.  
=====

- Teză de doctorat -

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

Conducător științific.

Academician profesor emerit ing. DAN MATEESCU.



## C U P R I N S

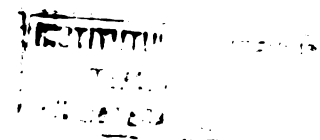
	Pag.
<b>CAP. I.- CONSIDERATII GENERALE PRIVIND ACOPERISURILE SUSPENDATE PE CABLURI . . . . .</b>	1.
1.1. Actualitatea temei.	
1.2. Apariția structurilor suspendate și a acoperișurilor suspendate pe cabluri. Scurt istoric.	
1.3. Caracteristicile acoperișurilor suspendate pe cabluri.	
1.4. Stabilizarea acoperișurilor suspendate pe cabluri.	
1.5. Domenii de folosire.	
1.6. Eficiența acoperișurilor suspendate pe cabluri.	
<b>CAP. II.- CLASIFICAREA ACOPERISURILOR SUSPENDATE . . . . .</b>	13.
2.1. Clasificarea generală a acoperișurilor suspendate.	
2.2. Clasificarea acoperișurilor suspendate pe cabluri - stadiul actual.	
2.3. Clasificarea multicriterială interconexă a acoperișurilor suspendate pe cabluri.	
<b>CAP. III.- SISTEME CONSTRUCTIVE SI ELEMENTE CONSTRUCTIVE DE ALCATUIRE ALE ACOPERISURILOR SUSPENDATE PE CABLURI . . . . .</b>	25.
3.1. Principalele sisteme constructive ale acoperișurilor suspendate pe cabluri.	
3.2. Cablurile.	
3.2.1. Construcția și caracteristicile cablurilor din oțel.	
3.2.2. Alegerea cablurilor din oțel pentru acoperișurile suspendate.	
3.3. Detalii de fixare și de intersecție a cablurilor la acoperișurile suspendate.	
3.4. Construcțiile de reazem ( de centur).	
3.5. Inveliturile acoperișurilor suspendate.	
3.6. Execuția acoperișurilor suspendate pe cabluri.	
<b>CAP. IV.- CALCULUL STRUCTURILOR DE CABLURI DIN ALCATUIREA ACOPERISURILOR SUSPENDATE PE CABLURI . . . . .</b>	43.
4.1. Generalități.	
4.2. Probleme de calcul.	
4.3. Calculul diverselor sisteme de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate sub acțiunea încărcărilor exterioare ( Statice).	

- 4.3.1. Cablul singular.
- 4.3.2. Rețele de cabluri.
  - 4.3.2.1. Ecuațiile și relațiile caracteristice ale rețelelor ortogonale de cabluri în calculul ca sistem discret și continuu.
  - 4.3.2.2. Aspecte privind determinarea poziției inițiale la rețelele ortogonale.
  - 4.3.2.3. Aspecte privind calculul deplasărilor sub acțiunea încărcărilor exterioare la rețelele ortogonale.
  - 4.3.2.4. Aspecte privind calculul rețelelor oblice.
- 4.3.3. Structuri pretensionate cu cablurile dispuse în două suprafețe distincte.
- 4.3.4. Sisteme combinate de acoperișuri suspendate.
- 4.4. Aspecte privind calculul dinamic al structurilor de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate.
  - 4.4.1. Cablul singular.
  - 4.4.2. Rețele de cabluri cu dublă curbură.
  - 4.4.3. Structuri pretensionate cu cabluri dispuse în două suprafețe distincte.
  - 4.4.4. Calculul dinamic prezentat de Dmitriev.
- 4.5. Calculul rețelelor de cabluri pretensionate, formate din două familii de cabluri de tip paraboloid hiperbolic, din alcătuirea acoperișurilor suspendate.
  - 4.5.1. Probleme generale.
  - 4.5.2. Calculul prezentat de Streletski N.S.
  - 4.5.3. Calculul prezentat de Sehleyer.
  - 4.5.4. Calculul prezentat de H. Mellmann și P.L. Mortensen.
  - 4.5.5. Calculul prezentat de M. Majowiecki.
  - 4.5.6. Metoda interactivă de calcul.
  - 4.5.7. Calculul prezentat de H.K. Bandel.
- 4.6. Verificarea siguranței structurilor de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate.
  - 4.6.1. Probleme studiate.
  - 4.6.2. Caracteristici ale acțiunilor.
    - 4.6.2.1. Specificul acțiunilor.
    - 4.6.2.2. Încărcările considerate în calcul.
      - 4.6.2.2.1. Aspecte specifice privind încărcările prezentate de literatura de specialitate.

- 4.6.2.2. Aspecte specifice privind încărcările cu referire la reglementările tehnice din R.S.R.
- 4.6.3. Caracteristici de rezistență și rigiditate ale materialelor.
  - 4.6.3.1. Probleme studiate.
  - 4.6.3.2. Caracteristici ale cablurilor prezentate de literatura de specialitate.
  - 4.6.3.3. Caracteristici ale cablurilor în legătură cu reglementările tehnice din R.S.R.
- 4.6.4. Dimensionarea.
  - 4.6.4.1. Calculul de dimensionare cu aplicarea metodei la stări limită.
    - 4.6.4.1.1. Scopul calculului.
    - 4.6.4.1.2. Stări limită la structurile pe cabluri.
    - 4.6.4.1.3. Gruparea acțiunilor.
    - 4.6.4.1.4. Verificarea stărilor limită și coeficienții de siguranță considerați.
    - 4.6.4.1.5. Condiții constructive.
  - 4.6.4.2. Elemente privind calculul de dimensionare cu aplicarea metodei rezistențelor admisibile.
- 4.6.5. Concluzii.

CAP. V. - CALCULUL DE ORDINUL DOI AL UNEI REȚELE DE CABLURI ORTOGONALE PRETENSIONATE DE TIP PARABOLOID HİPERBOLIC DIN ALCA-  
TUIREA ACOPERISURILOR SUSPENDATE. . . . . 85.

- 5.1. Probleme generale.
- 5.2. Structura pe cabluri de tip paraboloid hiperbolic luată în studiu.
- 5.3. Prezentarea ipotezelor și a metodei de calcul.
  - 5.3.1. Ipotezele admise în calcul.
  - 5.3.2. Expunerea metodei de calcul de ordinul doi.
    - 5.3.2.1. Stabilirea geometriei sistemului sub încărcările inițiale în stadiul de nul.
    - 5.3.2.2. Stabilirea deplasărilor în sistemul de cabluri sub acțiunea diverselor încărcări statice.
    - 5.3.2.3. Stabilirea eforturilor în sistemul de cabluri sub acțiunea diverselor încărcări statice.
    - 5.3.2.4. Precizări privind modul de rezolvare a sistemului ecuațiilor de condiție.
      - 5.3.2.4.1. Modalități de conducere a rezolvării sistemului de ecuații de condiție, pentru cazul general al unor structuri cu deplasări mari.



- 5.3.2.4.2. Modul de rezolvare propus pentru sistemul ecuațiilor de condiție în cazul concret studiat.
- 5.3.2.5. Cazul particular de încărcare numai cu forțe verticale.
- 5.4. Concluzii.

## CAP. VI. - ÎNCERCĂRI PE MODEL. . . . . 101.

- 6.1. Structurile studiate.
- 6.2. Alegerea modelului pentru încercarea structurilor de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate.
- 6.3. Etapele de experimentare.
- 6.4. Determinarea pe model în tunel aerodinamic a coeficienților aerodinamici din acțiunea vântului.
  - 6.4.1. Modelul I supus experimentării.
  - 6.4.2. Stabilirea parametrilor de experimentare.
  - 6.4.3. Modul de desfășurare al experimentării.
  - 6.4.4. Prelucrarea datelor experimentale și determinarea coeficienților aerodinamici.
  - 6.4.5. Concluziile experimentării în tunelul aerodinamic.
- 6.5. - Determinări experimentale pe modelul II.
  - 6.5.1. Modelul II supus experimentării.
  - 6.5.2. Stabilirea parametrilor de experimentare.
    - 6.5.2.1. Probleme generale.
    - 6.5.2.2. Predimensionarea modelului II.
    - 6.5.2.3. Parametri de experimentare.
  - 6.5.3. Programul de experimentare.
  - 6.5.4. Determinarea experimentală a deplasărilor și eforturilor în rețea sub acțiunea încărcărilor statice.
    - 6.5.4.1. Metodologia de experimentare.
    - 6.5.4.2. Determinarea experimentală a deplasărilor rețelei.
    - 6.5.4.3. Determinarea experimentală a eforturilor.
      - 6.5.4.3.1. Desfășurarea experimentării.
      - 6.5.4.3.2. Măsurători tensometrice efectuate.
      - 6.5.4.3.3. Rezultatele experimentării.
  - 6.5.5. Determinări experimentale sub acțiunea încărcărilor dinamice,

6.5.5.1.Scopul experimentărilor.	
6.5.5.2.Metodologia de experimentare.	
6.5.5.3.Instalația folosită.	
6.5.5.4.Rezultatele experimentale și prelucrarea lor.	
6.5.5.5.Concluzii privind experimentările dinamice.	
CAP.VII.PROGRAM PENTRU CALCULUL DE ORDINUL UNU SI DOI AL REȚELE- LOR ORTOGONALE PRETENSIONATE DE CĂBLURI DE TÎP PARABO- LOID HIPERBOLIC . . . . .	132.
7.1.Programul RETCAB.	
7.1.1.Date generale privind programul.	
7.1.2.Parametrii folosiți de program.	
7.1.3.Algoritmul și schema logică de principiu.	
7.1.4.Date de intrare în program.	
7.1.5.Prezentarea programului RETCAB.	
7.2.Aplicarea programului la calculul unei rețele de ca- bluri de tip paraboloid hiperbolic.	
CAP.VIII.-ASPECTE PRIVIND METODA DE CALCUL SI PROGRAMUL ELABORAT IN LEGATURA CU REZULTATELE EXPERIMENTALE . . . . .	139.
8.1.Probleme generale.	
8.2. Compararea rezultatelor teoretice cu cele experimenta- le pentru deplasările W.	
8.3. Compararea rezultatelor teoretice cu cele experimen- tale pentru eforturile din cabluri.	
8.4. Rezultate în calculul de ordinul unu și doi.	
8.5. Concluzii.	
CAP.IX.-PROPUNERI PRIVIND " INSTRUCȚIUNI TEHNICE PENTRU REALIZA- REA STRUCTURILOR USOARE DE ACOPERIS CU REȚELE ORTOGONALE DE CABLURI DE TIP PARABOLOID HIPERBOLIC " . . . . .	144.
9.1.Obiective propuse și precizări.	
9.2.Instrucțiuni tehnice pentru realizarea structurilor ușoare de acoperiș cu rețele ortogonale de cabluri de tip paraboloid hiperbolic.	
CAP.X.-SINTEZA - CONCLUZII . . . . .	159.
- BIBLIOGRAFIE	168.
- ANEXE.	

CAPITOLUL I. CONSIDERATII GENERALE PRIVIND ACOPERISURILE SUSPENDATE

PE CABLURI.  
=====

1.1. Actualitatea temei.

Cerințele legate de realizarea unor deschideri libere din ce în ce mai mari la o serie de construcții moderne, au impus reluarea unei idei constructive vechi - aceea de structură suspendată.

În cadrul structurilor suspendate în ultimii 20 - 30 de ani un avânt deosebit au cunoscut acoperișurile suspendate pe cabluri.

Interesul sporit ce se acordă acestor structuri trebuie căutat în economicitatea lor datorată consumurilor reduse de materiale și manoperă, completată de posibilitățile ce le oferă pentru perfecționarea expresiei arhitecturale a construcției (41) (98).

Structurile de acoperișuri pe cabluri se recomandă astfel ca soluții moderne de mare eficiență tehnico-economică, care pot să ducă la o nouă calitate în concepția de realizare a acoperirii unor suprafețe libere mari fără rezeme intermediare.

Tovarășul Nicolae Ceaușescu arăta că, " trebuie să facem astfel încât cincinalul 1981 - 1985, definit de Congresul al XII-lea cincinalul noi calități, să devină o realitate în toate domeniile de activitate " (1).

În lumina acestui deziderat, în condițiile în care Programul-directivă de cercetare științifică, dezvoltare tehnologică și de introducere a progresului tehnic în perioada 1981 - 1985 și direcțiile principale până în anul 2000, subliniază că în construcții activitatea de cercetare va fi orientată spre adoptarea unor soluții constructive eficiente, dezvoltarea experienței de proiectare și execuție existente în țara noastră în domeniul acoperișurilor suspendate pe cabluri, se impune ca o necesitate.

Deși an de an pe plan mondial numărul construcțiilor a căror acoperișuri sînt rezolvate ca structuri suspendate pe cabluri au crescut, pînă în prezent nu putem vorbi de o concepție științifică unitară privind alcătuirea și calculul lor.

Aceasta implică realizarea unor studii teoretice și experimentale, pe principalele tipuri de acoperișuri suspendate pe cabluri, în vederea precizării caracteristicilor constructive și a elementelor de calcul specifice inclusiv a problemelor de execuție, materializate ulterior în instrucțiuni tehnice care să constituie un instrument de lucru concret pentru inginerii din proiectare și execuție.

Este singurul mod care, după părerea mea, poate să ducă și în țara noastră la introducerea pe o scară mai largă a acestor structuri cu toate avantajele economice și tehnice legate de acest lucru.

Lucrarea de față, care și-a propus studiul teoretic și experimental al structurilor de cabluri din alcătuirea unor tipuri de acoperișuri suspendate pe cabluri precum și o sinteză privind alcătuirea și calculul acestor structuri, se constituie ca o contribuție la realizarea acestui deziderat.

## 1.2. Apariția structurilor suspendate și a acoperișurilor suspendate pe cabluri. Scurt istoric.

Structurile suspendate se pot defini ca structuri a căror elemente portante de bază lucrează în principal la întindere (98)(22).

În activitatea omului, prototipul construcțiilor rezolvate pe acest principiu, au fost probabil corturile din piei de animale.

După cât se cunoaște, primele corturi rotunde cu un singur stîlp sau lunguiețe cu doi stîlpi, au apărut în Mesopotamia, iar corturi din ramuri subțiri au fost folosite pe scară largă la acoperirea caselor de locuit în Indonezia (63).

În antichitate Odeonul din Atena era acoperit cu un cort, la fel și teatrul lui Marcellus din Roma(23) (63).

Odată cu dezvoltarea tehnicii țesăturilor și împletiturilor, au început să fie executate corturi din țesături, plase pescărești și pînze de corabie.

De multe sute de ani, pentru executarea plaselor și a țesăturilor se folosesc fibre a căror rezistență a fost depășită numai în ultimul timp (22).

Un impuls deosebit în dezvoltarea structurilor suspendate l-a dat construcția de poduri suspendate.

În construcția podurilor suspendate sînt cunoscute podurile



cu unul, două sau mai multe cabluri portante, cu forma părții carosabile urmărind la început curba cablului, iar apoi orizontala.

În 1816 a fost construit primul pod suspendat care în locul lanțurilor a folosit cabluri din sîrmă (22).

În practica construcției de poduri suspendate s-a folosit și ideea de pretensionare.

Pînă în prezent nu s-a putut stabili cine a folosit pentru prima oară, la podurile suspendate cabluri suplimentare, care consolidează construcția podului în direcția verticală și laterală (22).

E. Mock dă desenul unui pod de rîu cu astfel de elemente de consolidare construit în Anglia în anul 1741 (62).

În orice caz, fără îndoială că pretensionarea unui sistem spațial de cabluri este cunoscută încă de mult (22).

După podurile suspendate au început să se construiască și acoperișuri suspendate ca arsenalul din Lorient în anul 1837 (22).

Dar primele lucrări ingineresti importante în domeniul structurilor de acoperișuri suspendate se datoresc lui V.G. Suhov.

Inginerul rus V.G. Suhov, construiește între 1880-1882 acoperișurile suspendate la rezervoarele din Maikop.

În 1893, V.G. Suhov folosind ideea acoperișurilor reticulate suspendate, construiește acoperișul halelor uzinei de cazane mari din Moscova.

La 27 martie 1895, V.G. Suhov brevetează "Dispozitivul de acoperișuri reticulate suspendate pentru clădiri" obținînd brevetul nr. 1894 (23)(49) (105).

În anul 1896, V.G. Suhov construiește la expoziția din Nijni-Novgorod pavilioane, acoperite cu acoperișuri suspendate cu contur circular, oval și respectiv dreptunghiular (4). Cel circular a avut 68 m, iar celelalte două dimensiuni de 73 x 30 m și 98 x 51 m. (40).

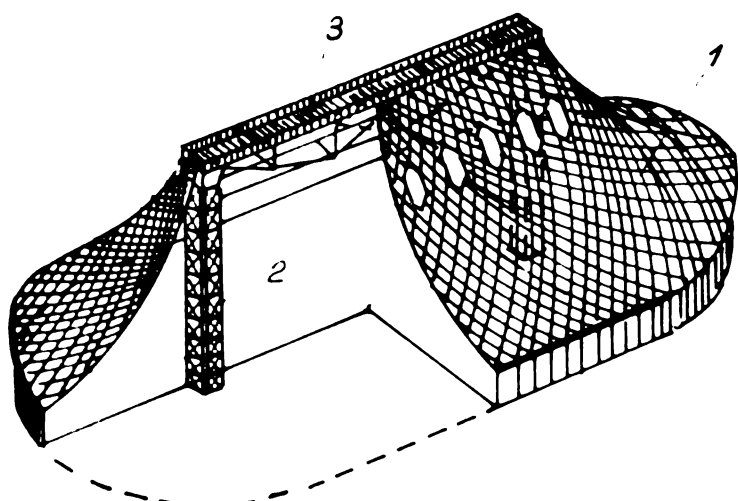


Fig. I.1. Pavilion la expoziția din Novgorod-1896.

1. Rețea metalică
2. Stîlpi
3. Grindă

Pavilionul pe plan oval de 98 x 51 m. (fig. I.1) a fost conceput cu acoperiș din rețea metalică suspendată, fixată la partea superioară de o grindă centrală ce descarcă pe doi stâlpi metalici.

În anii 1914 - 1918 - se citează în literatura de specialitate construcția hangarelor aeroporturilor din Cherbourg și Tunis, rezolvate ca structuri cu suprafețe suspendate (63).

În prima jumătate a secolului XX se mai pot cita câteva exemple de acoperișuri suspendate rezolvate pe principii diverse.

În anul 1932 a fost construită în S.U.A. clădirea elevatorului din Alabamă, care constă din patru celule de 32 x 82 m. acoperite cu un acoperiș sub formă de membrană din plăci subțiri de oțel (4) (94) (40).

În anul 1933 la expoziția internațională de la Chicago (SUA) s-a construit un pavilion al cărui acoperiș ușor a fost suspendat pe cabluri, care treceau peste piloni metalici înalți așezați pe conturul circular al pavilionului (23).

Un pas important în dezvoltarea acoperișurilor suspendate l-a constituit construirea, în anul 1937, a pavilionului Franței la expoziția de la Zagreb (Jugoslavia) (4) (23) (94).

Acoperișul suspendat avea o formă conică pe plan circular de 30 m., fiind de tip membrană metalică suspendată.

Lucrarea de bază, care constituie un punct de plecare în domeniul acoperișurilor suspendate pe cabluri a fost arena Raleigh din Statul Carolina de Nord (S.U.A.), începută de arh. M. Nowicki în anul 1950 și terminată în anul 1953 de ing. Fred Severud (23) (94).

Experiența primelor construcții a dus la apariția necesității de a stabiliza sistemele de acoperișuri suspendate.

Printre inginerii cunoscuți pentru activitatea lor în domeniul structurilor suspendate în general, Sarger consideră necesară stabilizarea prin pretensionare (83).

Stabilizarea acoperișurilor pe cabluri prin pretensionare a permis realizarea unor acoperișuri cu folosirea unor învelitori mai ușoare și deci mai eficiente.

În ultimele decenii acoperișurile suspendate de diverse tipuri au cunoscut o largă dezvoltare pe plan mondial.

S-au realizat o serie de acoperișuri pe cabluri reprezentative în Uniunea Sovietică, Statele Unite ale Americii, Japonia, Polonia, Cehoslovacia, Bulgaria, Italia, Uruguay, Franța, Iran, Suedia, R.D. Germană, R.F. Germană.

Printre acoperișurile cu deschideri mari se pot cita arena din Oakland Alameda, S.U.A., cu deschidere liberă 128 m, Sala Madison Square Garden din New York, cu diametrul exterior de 130 m, arena din Oklahoma, avînd în plan forma de elipsă cu dimensiunile 122/98 m.

În țara noastră printre realizările de construcții suspendate pentru acoperișuri se pot enumera: Patinoarul artificial 23 August, realizat din ferme pe cabluri, cinematograful în aer liber de la stațiunea Neptun (Mangalia Nord), acoperișul ușor pe rețea de cabluri și învelitoare textilă la Teatrul de vară Mamaia și bineînțeles Sala Polivalentă din București dealul Piscului cu deschidere de 76 m, realizată cu ferme concave pretensionate în sistem triunghiular dispuse la 4,50 m distanță.

În prezent este în curs de construcție o sală de sport la Bacău cu acoperiș suspendat din rețea de cabluri sub formă de "șea" și sînt în curs de proiectare alte cîteva construcții sportive cu acoperișuri suspendate pe cabluri. Pentru săli de sport cu 2000 locuri, în anul 1981, ISLGC București a elaborat proiectul tip 2130/II.b cu varianta de acoperiș cu cabluri metalice.

### 1.3. Caracteristicile acoperișurilor suspendate pe cabluri.

Acoperișurile suspendate se definesc ca sisteme în care elementele portante de bază care acoperă deschiderea construcției, sînt solicitate la întindere (40).

După cum am arătat prototipul acestor acoperișuri sînt probabil corturile a căror membrană constituia în acelaș timp atît elementul portant al acoperișului, cît și învelitoarea propriuzisă cu rol de protecție împotriva intemperiilor.

În acoperișurile pe cabluri aceste funcții se despart, elementele portante fiind cablurile, iar învelitoarea fiind formată de elementele de închidere (de umplutură) (31).

Acoperișurile suspendate pe cabluri se dovedesc mai economice în comparație cu celelalte construcții, atunci cînd trebuie acoperi-

te deschideri mijlocii mari fără reazeme intermediare.

Avantajele acoperişurilor suspendate pe cabluri sînt scoase în evidenţă pe larg de bibliografia de specialitate şi se rezumă în principal la următoarele(93):

1. Folosirea completă a materialului cu rezistenţă mare care lucrează la întindere, asigură greutatea redusă a construcţiei portante şi posibilitatea acoperirii unor deschideri mari, în condiţii de eficienţă economică sporită.

2. Uşurinţa şi rapiditatea montajului.

3. Formele constructive ale acoperişurilor pe cabluri dau posibilităţi vaste pentru perfecţionarea expresiei arhitecturale a construcţiei.

Alături de aceste avantaje, acoperişurile suspendate pe cabluri au şi unele dezavantaje, care pot fi sintetizate în următoarele(93):

1. Deformabilitate mare şi sensibilitate la efectele dinamice ale vîntului datorită căreia se reduce uneori domeniul folosirii acestor acoperişuri şi apare necesitatea să se recurgă la stabilizarea lor, ceea ce majorează costurile construcţiei.

2. Necesitatea preluării forţelor transmise de acoperişul suspendat, care duce la amenajarea unor construcţii de reazem sau ancoraje speciale.

3. Dificultatea, în unele cazuri, de înlăturare a apei de pe acoperiş.

Trebuie însă subliniat faptul că toate calităţile şi avantajele acoperişurilor suspendate prevalează asupra dezavantajelor acestora, ceea ce justifică răspîndirea tot mai largă a acestor construcţii.

Un element esenţial la acoperişurile suspendate este faptul că dimensionarea elementului principal portant se face la întindere. În aceste condiţii apare raţional, să se folosească materiale cu calităţi superioare de rezistenţă.

Calităţile unui material se pot scoate în evidenţă prin mărimea " indicelui de eficienţă " a materialului care reprezintă de fapt lungimea la care o fibră de secţiune constantă suspendată vertical se

rupe sub acțiunea greutatei proprii în punctul de suspendare (78).

Tabelul I.1.

Materialul	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	R (km)	max l (km)
Plumb	1,7	11,4	0,15	0,2
Aluminiu	17	2,7	6,5	8,6
Oțel OL 52	52	7,8	6,7	8,9
Allaj de aluminiu	50	2,8	18	24
Sîrmă de oțel superior	220	7,8	28	37
Matase	—	—	45	—
Bumbac	—	—	26 40	—
Cablu din fire de perlon	57	1,14	50	66
Betonul (la compresiune)	6,0	2,2	2,7	

$\max P = F \cdot \sigma$   
 $\max G = V \cdot \gamma = F \cdot R \cdot \gamma$   
 din condiția  $\max P = \max G$  rezultă „indicele  
 de eficiență al materialului”

$$R \text{ (km)} = \frac{\sigma \text{ (kg/mm}^2\text{)}}{\gamma \text{ (g/cm}^3\text{)}}$$

În tabelul I.1. se vede clar că indicele de eficiență "R" este deosebit de mare la oțelul de înaltă rezistență din care sînt confecționate sîrmele cablurilor.

De asemenea se pot vedea performanțele deosebite ale cablurilor din fire de perlon.

Tot în tabel sînt specificate deschiderile teoretice maxime pentru fire liber suspendate din materialele respective (max. l.).

Deschiderile maxime practice ale construcțiilor de acoperișuri suspendate, luîndu-se în considerare încărcările utile, înălțimile construcțiilor, traveile și alți factori, sînt de numai cca. 10 - 20 % din deschiderea maximă (78).

Deci, pentru o construcție cu cabluri de oțel de înaltă rezistență această valoare ar putea să fie de circa 3-7 km.

Totuși se consideră că nici acoperișurile uriașe peste orașe sau zone industriale nu vor depăși limita de 1-3 km. deschidere liberă (78).

#### 1.4. Stabilizarea acoperișurilor suspendate pe cabluri.

Elementele portante ale acoperișului suspendat au o rigiditate la încovoiere negliabilă așa că forma acoperișului depinde în mod deosebit de caracterul încărcării exterioare, bineînțeles în lipsa măsurilor speciale de stabilizare (94).

Posibilitatea deplasărilor cinematice și a deplasărilor elastice, determină un caracter accentuat de deformare.

Deplasările cinematice sînt de obicei însemnate la o modificare bruscă și importantă a caracterului încărcărilor, de exemplu ale vîntului și față de o valoare relativ mare a încărcărilor temporare (98).

Deformațiile elastice se datoresc în mare măsură tensiunilor mari și modulelor de elasticitate mai reduse, caracteristice cablurilor de oțel cu rezistență ridicată, folosite la acoperișurile suspendate.

La acoperișurile suspendate prin acțiunea încărcărilor dinamice (de obicei din efectul vîntului) pot să se producă oscilații care prezintă un mare pericol pentru suprastructura acoperișului și pentru construcția de reazem (94).

În comparație cu construcțiile din elemente rigide, pericolul apariției rezonanței - coincidența frecvențelor propriilor vibrații ale acoperișului cu frecvența încărcării din vînt sau a altor sarcini variabile în timp, este mai mare (98).

Evident, acoperișurile în care o asemenea rezonanță este posibilă sînt instabile din punct de vedere aerodinamic și nu pot fi exploatate.

Toate acestea obligă pe proiectanți să dea o atenție deosebită în timpul proiectării asupra măsurilor de stabilizare a acoperișurilor suspendate.

Prin stabilizare se înțelege totalitatea măsurilor constructive, care se iau pentru micșorarea deformării acoperișului și asigurarea unei comportări corespunzătoare în exploatare sub acțiunea sarcinilor dinamice diverse.

O serie de surse bibliografice (16) (85) (94) (98) fac precizări referitoare la stabilizarea acoperișurilor pe cabluri.

Stabilizarea se poate face de fapt în două moduri principale: prin lestarea acoperișului și prin pretensionarea sistemului de cabluri, (25)(81) funcție de sistemul de acoperiș.

Stabilizarea prin lestare se poate face cu elemente rigide nelegate între ele, (fig. I.2.a) sub forma unor plăci prefabricate de obicei din beton armat. În acest caz condiția pentru asigurarea stabilității sistemului este ca încărcarea permanentă să fie mai mare decît încărcarea de sucțiune a vîntului, cu o asigurare caracterizată

printr-un coeficient cu valoarea de la 1,1 - 1,5

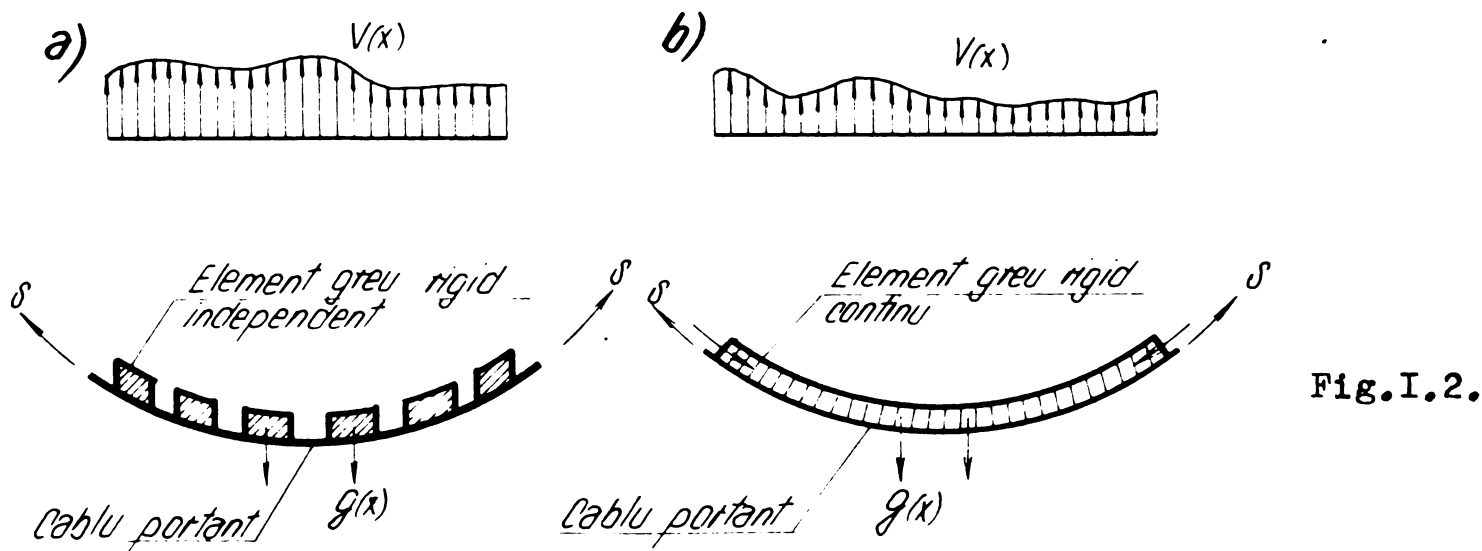


Fig.I.2.

Stabilizarea prin lestare se poate face și cu o construcție continuă rigidă cum este de exemplu o placă monolită de beton, sau un sistem de plăci prefabricate monolitizate astfel încât să rezulte un element continuu ( fig.I.2.b).

Față de cazul anterior, greutatea acoperișului poate fi micșorată.

În acest caz o parte din încărcarea din sucțiune poate fi preluată de pînza rigidă de beton în care se dezvoltă forțe de compresiune.

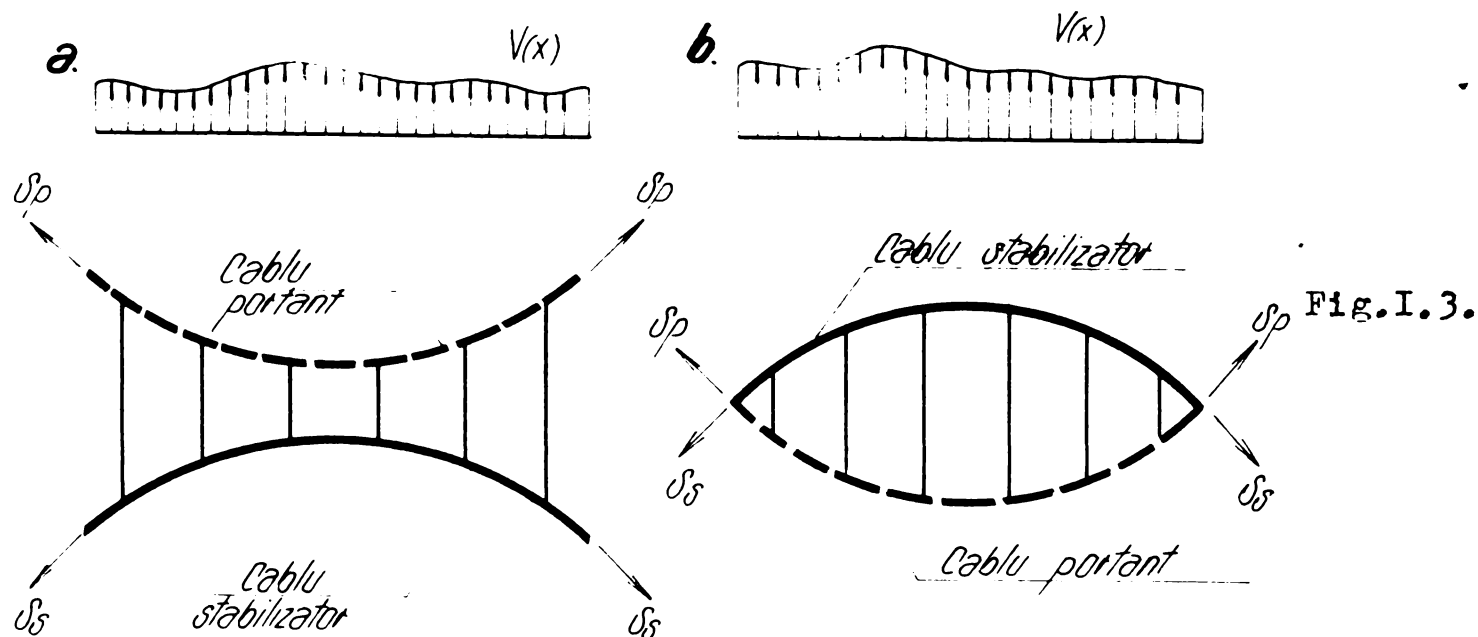
La astfel de sisteme este posibil să se facă o lestare temporară  $C.p(X)$  care după întărirea monolitizărilor se înlătură, introducându-se astfel un efort de precomprimare în elementele de închidere a acoperișului. Coeficientul  $C = 1,1 - 1,5$  ia în considerare erorile în determinarea încărcărilor și a pierderilor de tensiune. În acest fel se înlătură posibilitatea ca în exploatare, sub acțiunea încărcării temporare  $p(X)$ , să apară întinderi în pînza continuă de beton (81).

Lestarea acoperișului se face de obicei cu plăci prefabricate de beton, constituind suportul învelitorii și sporind greutatea acoperișului pînă la 150-250 daN/m<sup>2</sup>. (25).

Pretensionarea acoperișurilor suspendate se face prin întinderea cablurilor stabilizatoare.

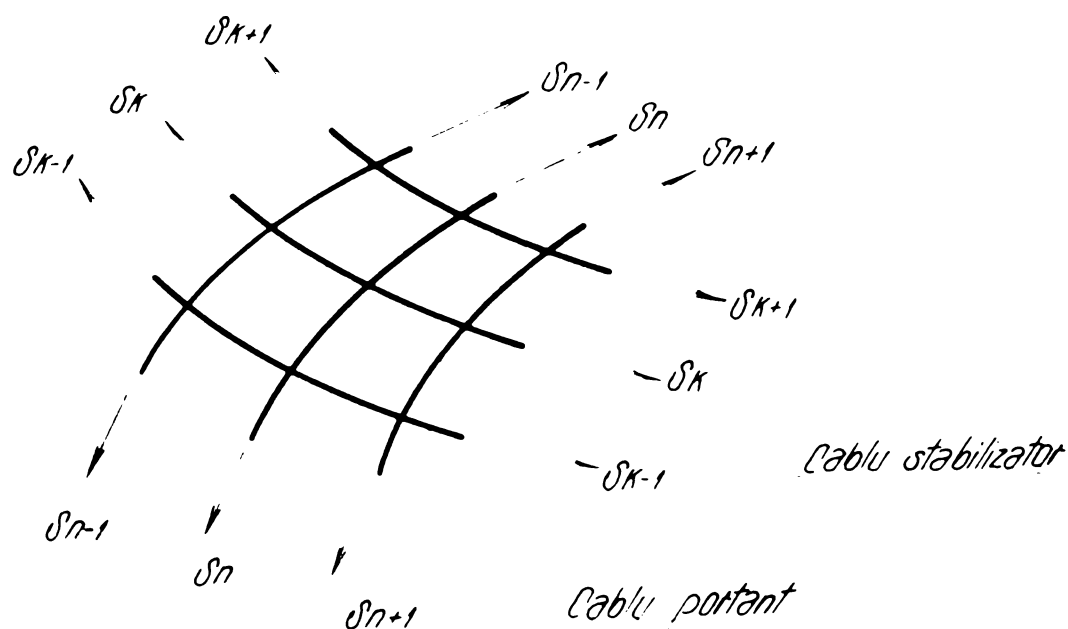
Forțele de pretensionare inițială a structurii se determină din condiția de efort pozitiv în elementele fără rigiditate la compresiune, pentru orice grupare de încărcări posibilă.

Pretensionarea sistemelor cu cabluri dispuse în două suprafețe distincte spațiale sau plane (ferme pe cabluri) se poate face cu ajutorul cablurilor de stabilizare.



Încărcarea negativă (sucțiunea) poate fi preluată prin cabluri de stabilizare întinse, așezate sub cele portante (fig. I.3.a) cablurile fiind legate între ele printr-un sistem de bare de legătură (31).

Un sistem analog (fig. I.3.b.) se obține prin așezarea cablului stabilizator deasupra cablului portant.



Pretensionarea rețelelor de cabluri (fig. I.4.) se face prin punerea sub tensiune a familiei de cabluri de stabilizare. Încărcarea negativă este preluată de cablurile stabilizatoare așezate transversal pe cele purtătoare (31). Suprafața rețelei are forma de "șea", cu curbura totală negativă.

Prin fixarea ambelor familii de cabluri în locurile de intersecție se crează stabilizarea sistemului portant, caracterizat prin deplasări mici la diferite grupări de încărcări (31).



Mărirea pretensionării duce la micșorarea deformațiilor sistemului sub sarcinile de exploatare, dar duce concomitent și la mărirea eforturilor în cabluri și deci la un consum mai ridicat de materiale pentru cabluri. De aceea, mărirea pretensionării este un factor care trebuie determinat cu deosebită grijă ținând cont de toate aspectele legate de aceasta.

### 1.5. Domenii de folosire.

Caracteristicile acoperișurilor suspendate, avantajele și dezavantajele care le prezintă determină și folosirea lor la diverse tipuri de construcții. Datorită formelor arhitecturale deosebite ce se pot obține cu acest fel de structuri precum și datorită posibilităților de a acoperi cu ele deschideri relativ mari, acoperișurile pe cabluri se folosesc în general la construcții importante de cele mai multe ori cu caracter unicat.

Deși nu putem vorbi de un inventar exact al acoperișurilor suspendate construite pînă în prezent, chiar dacă numărul acestor construcții este de numai cîteva sute (9), totuși unele surse bibliografice (28) indică procentual volumul de clădiri executate după destinație și deschidere.

Domeniile de utilizare cele mai frecvente sînt la săli de sport, săli de expoziție, săli de spectacol și adunări, clădiri comerciale, construcții industriale și depozite, hangare, gări.

Aceeași sursă bibliografică (28) scoate în evidență folosirea frecventă (34 %) a suprafețelor de tip hiperbolic.

Deschiderile cele mai des folosite sînt între 30-70 m.

În ultimul timp s-au folosit acoperișuri pe cabluri și pentru acoperirea unor rezervoare de apă, ca de exemplu la rezervorul de apă potabilă de 345.000 mc. construit la Durban în Africa de Sud, avînd un diametru de 167,6 m., cu un turn cilindric central de reazem (82).

Este de presupus că în viitorul apropiat va crește numărul structurilor realizate cu acoperișuri suspendate pe cabluri, pe măsura creșterii experienței și acumulării unor date privind proiectarea și execuția. De asemenea este probabil să crească ponderea acoperișurilor suspendate cu deschideri mari și foarte mari, avînd în vedere că tocmai la astfel de deschideri ies în evidență avantajele lor economice.

### 1.6. Eficiența acoperișurilor suspendate pe cabluri.

Acoperișurile suspendate pe cabluri se dovedesc eficiente în special la deschideri mijlocii și mari.

Unul dintre constructorii japonezi, prof. Y. Tsuboi consideră că pentru construcții cu deschideri mai mari de 70 m, se obține cel mai mic consum de metal folosind acoperișurile suspendate, acest consum neputând fi realizat de nici una din celelalte soluții constructive cunoscute pînă în prezent (29) (101).

În sinteza documentară elaborată de S. Hagiescu (29) se arată că după unii autori utilizarea structurilor suspendate devine mai economică decît construcțiile metalice sau pînzele subțiri cu simplă sau dublă curbură, chiar de la 40 m deschidere.

În orice caz, greutatea elementelor portante de cabluri de exemplu din ferme de tip Jawerth de 6,2 daN/m<sup>2</sup> (Palatul Sporturilor la Helsinki - Finlanda) la deschideri de 93 m, sau de 3,9 daN/m<sup>2</sup>, (Piața la Athis Mons - Franța) la deschideri de 43 m, sînt concludente (29).

Anișenco (4) prezintă diagrame ale consumurilor de oțel și beton pe m<sup>2</sup> de suprafață pentru acoperișuri la construcții cu deschideri peste 30 m. (fig. I.5. a. b).

Rezultă din aceste diagrame consumul mai redus de oțel și beton la acoperișurile suspendate pe cabluri față de soluțiile clasice de acoperișuri.

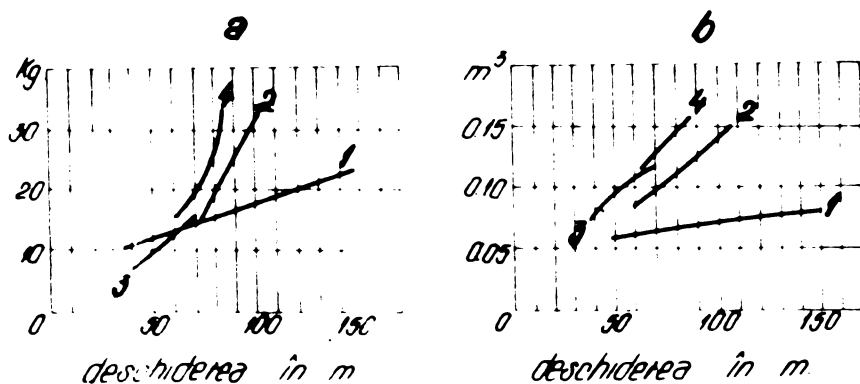


Fig. I.5.

- a) oțel b) beton
1. Acoperiș suspendat pe contur rotund.
  2. Pînze subțiri din beton armat
  3. Acoperișuri din grinzii de beton armat,
  4. Acoperișuri din ferme metalice.

Literatura de specialitate prezintă și date privitoare la costul acoperișurilor.

De exemplu construcția stadionului din Montevideo, realizat

cu acoperiș suspendat a costat 640 mii dolari, comparativ cu 1,9 milioane dolari, cât ar fi costat o cupolă de aluminiu, sau 2,4 milioane dolari în cazul unei cupole de beton armat(63).

Dintr-o analiză efectuată cu ocazia studierii proiectelor pentru acoperirea stadionului "Dinamo" din Moscova în anul 1963, au rezultat următoarele costuri pentru un m<sup>2</sup>.de acoperiș suspendat(4): 149 ruble pentru un acoperiș suspendat pe contur oval, 179 ruble pentru un acoperiș suspendat pe contur circular și 250 - 400 ruble pentru alte rezolvări constructive ale acoperișului.

O altă analiză economică efectuată tot în U.R.S.S.(4) arată că costul unui loc comercial în piețele acoperite cu acoperișuri suspendate pe cabluri reprezintă 679 ruble, în timp ce pentru piețe de capacitate similară, dar cu alte tipuri de acoperișuri această cifră se ridică la 740 - 840 ruble.

Aceste exemple dovedesc că acoperișurile suspendate pe cabluri, prin costul lor se dovedesc deosebit de competitive în raport cu alte soluții constructive.

Eficiența acoperișurilor suspendate se regăsește și în durata de execuție mai redusă (4) față de soluțiile clasice de acoperișuri și în montajul relativ simplu.

Însă realizarea unui acoperiș suspendat este întradevăr eficientă, numai în măsura în care există o dotare tehnică corespunzătoare în vederea montajului și există un personal specializat atât în faza de proiectare, cât și de execuție.

## CAPITOLUL II. CLASIFICAREA ACOPERISURILOR SUSPENDATE.

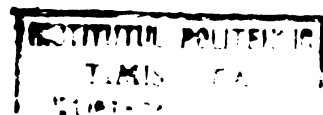
=====

### 2.1. Clasificarea generală a acoperișurilor suspendate.

În prezent nu există o clasificare generală și atotcuprinzătoare a acoperișurilor suspendate, chiar dacă această problemă are o mare importanță (94)(44).

Din cele câteva sute de acoperișuri de acest tip construite pînă în prezent, majoritatea diferă ca formă(9).

O clasificare științifică, riguroasă și atotcuprinzătoare, ar permite o delimitare strictă a diverselor tipuri constructive și o sistematizare clară a acestora, în vederea elaborării unor concepte de proiectare și execuție, specifice pentru fiecare tip de structură în parte.



Tocmai datorită importanței acestei probleme, se explică și interesul manifestat de diferiți autori pentru elaborarea unor clasificări cât mai complete.

În cele ce urmează voi reda câteva din aceste clasificări prezentate în literatura de specialitate, făcînd mențiunea că deși unele dintre acestea nu sînt întru totul concludente, le-am menționat pentru a avea o imagine de ansamblu asupra stadiului actual în această chestiune.

Dmitriev și Kașilov (16) le clasifică astfel:

- acoperișuri suspendate sub formă de rețele de cabluri;
- acoperișuri suspendate rezolvate ca pînze suspendate de beton pe cabluri;
- acoperișuri suspendate de tip combinat din cabluri elastice și sisteme rigide lucrînd la încovoiere;
- acoperișuri suspendate cu cabluri exterioare, care susțin o construcție rigidă suspendată;

După Anișcenko (4) clasificarea se poate face astfel:

- acoperișuri suspendate cu cabluri exterioare care susțin o construcție rigidă suspendată;
- acoperișuri suspendate propriuzise;
- acoperișuri suspendate de tip cablu-grindă;
- acoperișuri suspendate de tip combinat;

După Z. Sobotka (94) clasificarea se poate face astfel:

- acoperișuri de tip membrană;
- acoperișuri suspendate pe rețele de cabluri;
- acoperișuri suspendate de tip cablu - grindă;
- acoperișuri suspendate armate (de fapt pînze suspendate de beton pe cabluri);
- acoperișuri suspendate ancorate;

După N.S. Strelețki (98) clasificarea se face astfel:

- acoperișuri suspendate simple - plăci și membrane;
- acoperișuri suspendate cu sisteme încrucișate pretensionate de cabluri sub formă de șea;
- acoperișuri suspendate cu cabluri dispuse în două "centuri" pretensionate;
- sisteme combinate;

Una din primele clasificări a fost dată de Otto Frei (23), această clasificare fiind apoi reluată sub diferite forme.

Redăm în continuare această clasificare generală(23):

- acoperişuri suspendate de tip membrană;
- acoperişuri suspendate rezolvate ca reţele de cabluri;
- acoperişuri suspendate din reţele de cabluri şi grinzi;
- acoperişuri suspendate " pleoştite"
- sisteme de arce şi cadre combinate cu cabluri.

De asemenea tot Otto Frei dezvoltă problema reţelelor de cabluri cu clasificare de amănunt (22).

De la această clasificare generală a acoperişurilor suspendate, se trece la clasificările de amănunt a acoperişurilor suspendate pe cabluri.

## 2.2. Clasificarea acoperişuri or suspendate pe cabluri-stadiul actual.

Din clasificările existente în literatura de specialitate se remarcă cele făcute în câteva lucrări (4)(9) (16) (40) (44) (78) (81) ( 94), care după părerea mea reuşesc să sintetizeze principalele concluzii desprinse în acest domeniu pînă în prezent pe plan mondial.

Clasificarea dată de Anişcenko (4) are la bază nouă criterii, după cum urmează:

1. Forma în plan a construcţiei.
2. Suprafaţa geometrică a acoperişurilor.
3. Schema constructivă a acoperişurilor suspendate;
4. Structura acoperişului;
5. Posibilităţile de asigurare a rigidizării acoperişului.
6. Materialul acoperişului;
7. Gradul de industrializare;
8. Conturul de reazem.
9. Modul de construcţie al acoperişului suspendat;

Deşi această clasificare a fost făcută cu referire specială la un contur curbiliniu închis ea este valabilă în principiu şi pentru celelalte acoperişuri suspendate pe cabluri.

O clasificare interesantă o consider şi cea dată de Dmitriev şi Kaşilov (16).

Ei pornesc în clasificare de la luarea în considerare a doi factori principali şi anume: acoperişul propriuzis portant-reţeaua de cabluri (A) şi elementul de reazem al acoperişului(B).

Clasificarea se dezvoltă în continuare prin aprofundarea elementelor legate de configurația în plan, geometria suprafeței, schema constructivă, caracterul pretensionării, materialul cablurilor, caracterul rezemării.

N.M.Kirșanov (40) dă următoarea clasificare pentru acoperișurile suspendate pe cabluri:

1. Acoperișuri suspendate ancorate;
2. Acoperișuri suspendate cu o centură ( monoplasă);
3. Sisteme suspendate cu două centuri ( cu două plase);
4. Acoperișuri suspendate sub formă de șea.
5. Acoperișuri suspendate cutate.

În cadrul celor 5 tipuri considerate, Kirșanov precizează subtipuri caracteristice particulare.

Koșenko (44) ia drept criteriu de bază în clasificarea sa curbura suprafeței în care sînt dispuse cablurile, ajungînd la următoarea clasificare:

1. Acoperișuri suspendate pe cabluri cu o singură curbură;
  - a. sisteme cu cabluri paralele pretensionate acoperind mai multe deschideri,
  - b. ferme din cabluri;
2. Acoperișuri suspendate pe cabluri cu dublă curbură.
  - a. pe contur circular;
  - b. sub forma de șea;
  - c. pe contur pătrat;
3. Acoperișuri suspendate cu piloni și cabluri de tip închis.

Porinînd de la lucrările lui Otto Frei, Conrad Roland extinde clasificarea acoperișurilor suspendate pe cabluri sub formă de șea în următoarele grupări (78):

1. Acoperișuri cu suprafață șea simplă;
2. Acoperișuri cu suprafață vălurată;
3. Acoperișuri cu suprafața șea între arcuri;
4. Acoperișuri cu suprafața bombată;

O clasificare interesantă deși uneori neconsecventă este dată de Sobotka Zdenec, luînd drept criteriu general forma acoperișului suspendat pe cabluri. Iată tipurile principale stabilite conform

4800.13  
198 H

acestei clasificări (94):

1. Acoperișuri pe contur circular;
2. Acoperișuri suspendate cilindrice;
3. Acoperișuri suspendate concave;
4. Acoperișuri suspendate sub formă de șea.
5. Acoperișuri suspendate cutate;

O clasificare mai complexă este dată de H.Rühle, pornind de la două criterii de bază și anume: curbura suprafeței acoperișului (cu o curbură și cu două curburi) și tipul sistemului de cabluri (cabluri singulare, cabluri dispuse în două centuri și cabluri dispuse în rețele). (81)

S.Hagiescu și C.Dalban (14) clasifică acoperișurile suspendate după următoarele criterii:

1. În funcție de efortul inițial din cablu;
2. După modul de realizare a efortului inițial;
3. După planele care cuprind curbele inverse (structuri pretenzionate cu cablu întinzător);
4. După modul de solicitare
  - a - structuri plane;
  - b - structuri spațiale;

Elemente interesante privind clasificarea și criteriile de clasificare le găsim într-un raport întocmit de subcomitetul pentru structuri suspendate (9), criteriile reluate și de alte surse bibliografice (25).

Drept criterii de bază în clasificări se iau forma membranei imaginare sau reale întinsă pe cabluri și numărul de plase în care sînt dispuse cablurile.

Deasemenea, se face o clasificare a rețelelor în funcție de forma ochiurilor rețelei (rețele cu ochiuri triunghiulare, ortogonale, hexagonale).

Toate aceste clasificări corespund în general realităților generate de structurile de acoperișuri pe cabluri. Un principal neajuns pe care îl au, este însă faptul că de regulă criteriile de clasificare sînt tratate separat. De asemenea dacă toate aceste clasificări luate global pot să descrie destul de complet, după părerea mea, structurile de acoperișuri pe cabluri, luate fiecare în parte suferă de inexactități și nu sînt a totcuprinzătoare.

De fapt acest lucru este recunoscut practic de toate sursele bibliografice studiate pînă în prezent.

### 2.3. Clasificarea multicriterială interconexă a acoperişurilor suspendate pe cabluri.

În prezent, o clasificare generală a acoperişurilor suspendate pe cabluri, reprezintă după părerea mea, o necesitate.

În acest sens am căutat să sistematizez cunoştinţele privind clasificarea acoperişurilor pe cabluri, expuse în diversele lucrări de specialitate şi să încerc pe această bază să fac o clasificare mai generală, reunind şi completînd elementele existente pînă în prezent în acest domeniu.

Clasificarea propusă în cele ce urmează are la bază 15 criterii de clasificare, care sînt luate în considerare fiecare în legătură cu celelalte.

Interconectarea criteriilor de clasificare permite ca pentru un anumit tip de acoperiş să se ia în considerare în mod unitar toate caracteristicile sale.

Avînd în vedere numărul mare de criterii alese la clasificare, am denumit această clasificare multicriterială. Caracterul unitar al tratării rezultă din interconexiunea criteriilor în cadrul clasificării.

În acest fel clasificarea multicriterială interconexă, reuşeşte să dea o imagine de ansamblu şi relativ completă asupra diverselor tipuri şi sisteme de acoperişuri suspendate pe cabluri.

În cele ce urmează, voi evidenţia doar cîteva din elementele de bază ale clasificării propuse, avînd în vedere că întreaga clasificare este redată integral în tabelele II.1.a,b,c.

Ca punct de plecare s-a considerat împărţirea în două mari clase - acoperişuri suspendate pe cabluri propriuzise cu elementul portant al acoperişului exclusiv din cabluri şi acoperişuri suspendate combinate din cabluri şi elemente diverse, în care elementul portant al acoperişului constă din cabluri şi elemente rigide diverse.

Aceste două mari clase au fost subgrupate în funcţie de 14 criterii, care s-au considerat în general în ordinea importanţei influenţei lor asupra determinării sistemului de acoperiş.



# CLASIFICAREA MULTICRITERIALĂ INTERCONEXĂ

(partea I-a)

NR. CRT.	CRITERII DE CLASIFICARE						
1	2	3	4	5			
1	CLASE PRINCIPALE DE ACOPERISURI SUSPENDATE PE CABLURI	NUMĂRUL DE SUPRAFETE (STRATURI) ÎN CARE SÎNT CUPRINSE CABLURILE	TIPUL SISTEMULUI DE CABLURI SAU TIPUL SISTEMULUI COMBINAT DE CABLURI ȘI ELEMENTE DIVERSE	GEOMETRIA SUPRAFETEI IMAGINARE ÎNTINSE PESTE CABLURI (CURBURA TOTALĂ = G)	TIPUL ACOPERISULUI PE CABLURI		
2	ACOPERISURI PE CABLURI PROPRIU-ZISE	ACOPERISURI CU CABLURILE DISPUSE ÎNTR-O SINGURĂ SUPRAFAȚĂ	CABLURI SINGULARE	CU O SINGURĂ CURBURĂ (G=0)	ACOPERIS CILINDRIC		
3				ACOPERIS CONIC			
4				CU DUBLĂ CURBURĂ G > 0 SAU G < 0	TIP CUPOLĂ INVERSĂ CU CABLURI SINGULARE		
5				TIP CORT			
6				CU DUBLĂ CURBURĂ (G > 0)	TIP CUPOLĂ INVERSĂ		
7				CU DUBLĂ CURBURĂ (G < 0)	TIP PARABOLOID HIPERBOLIC		
8			TIP CONOID				
9			ACOPERISURI CU CABLURILE DISPUSE ÎN DOUĂ SUPRAFETE DISTINCTE	SISTEME PLANE (FERME PE CABLURI) SAU SPAȚIALE	CU O SINGURĂ CURBURĂ SAU DUBLĂ CURBURĂ	FERME CONCAVE	
10						FERME CONVEXE	
11						FERME MIXTE	
12						ACOPERIS CUTAT	
13						CONVEX TIP "ROATA DE BICICLEȚĂ"	
14						CONCAV	
15						SISTEME CUTATE	
16						ACOPERIS CU LANTERNĂ GREU CENTRAL	
17						SISTEME CU CABLURILE ÎNCRUCȘATE	
18						ACOPERISURI COMBINATE DIVERSE	
19						ACOPERISURI SISTEM COMBINAT DE CABLURI ȘI ELEMENTE DIVERSE	CABLURI SINGULARE CU GRINZI SAU FERME TRANSVERSALE DE REAZEM
20	RETELE ORTOGONALE DE CABLURI ȘI ELEMENTE RIGIDE TRANSVERSALE	DARECARE					
21	CABLURI PORTANTE ȘI ELEMENTE RIGIDE DE SUSPENDATE	DARECARE	CU CABLURI TIRANȚI ȘI ELEMENT RIGID SUSPENDAT				
22	CABLURI SINGULARE SAU REȚELE COMBinate CU MEMBRANE	DARECARE	CU CABLURI ȘI MEMBRANĂ ÎNSĂRI				

# CLASIFICAREA MULTICRITERIALĂ ÎNTERCONEXĂ

(partea II-a)

NR. CRT.	CRITERII DE CLASIFICARE				
0	6	7	8	9	10
1	MODUL DE DISPUNERE A CABLURILOR (SAU FERME-LOR DIN CABLURI)	ELEMENTE CARACTERISTICE SPECIFICE	NUMĂRUL FAMILIILOR DE CABLURI DISPUSE ÎN REȚEA (SAU FORMA OCHIULUI REȚELEI)	FORMA ÎN PLAN A ACOPERISULUI (PRINCIPALELE FORME)	TIPUL ÎNVELITORII ACOPERISULUI (TIP GREU SAU TIP USOR)
2	CABLURI PARALELE	—	—	DREPTUNGHI SAU PATRAT	GREU
3	CABLURI CONVERGENTE	—	—	CIRCULARĂ	GREU SAU USOR
4	CABLURI RADIALE	CU INEL CENTRAL ÎNTINS	—	CIRCULARĂ	GREU
5	CABLURI RADIALE	CU REAZEM CENTRAL	—	CIRCULAR SAU DARECARE	GREU
6	REȚELE DIVERSE	—	DOUĂ, TREI SAU PATRU FAMILII	CIRCULAR	GREU
7	R. ORTOGONALE REȚELE DIVERSE	SISTEME CU CABLURI PORTANTE ȘI ÎNTINZĂTOARE	DOUĂ, TREI SAU PATRU FAMILII	POLIGONALA, PATRAT, DREPT, CURB	USOR
8	—	—	DOUĂ FAMILII	PATRAT DREPTUNGHI	USOR
9	PARALELĂ	CABLU STABILIZATOR INFERIOR	—	DREPTUNGHI PATRAT OVAL	USOR
10		CABLU STABILIZATOR SUPERIOR			
11		CU CABLU PORTANT ȘI STABILIZ.			
12	PARALELĂ	AȘEZARE ALTERNANTĂ A ÎNVELITORII	—	DREPTUNGHI (PATRAT)	USOR
13	RADIAL	CABLU STABILIZATOR	—	CIRCULAR	USOR
14	RADIAL	CABLU STABILIZATOR	—	CIRCULAR	USOR
15	RADIAL	ÎNVELITORI DISPUSE ALTERNANT PE CABLU ȘI PORTĂTOR	—	CIRCULAR	USOR
16	RADIAL	LANTERNOU CENTRAL	—	CIRCULAR, DREPTUNGHI, PATRAT	USOR
17	RADIAL	—	—	CIRCULAR	USOR
18	—	—	—	DARECARE	USOR
19	PARALEL	CU CABLURI PUTERNIC TENSIONATE	—	DREPTUNGHI, PATRAT	USOR
20	PARALEL	EXISTENȚA ELEMENTELOR RIGIDE	—	DARECARE	USOR
21	—	EXISTENȚA ELEMENTELOR RIGIDE	—	DARECARE	—
22	DARECARE	—	—	DARECARE	USOR

# CLASIFICAREA MULTICRITERIALĂ ÎNTERCONEXĂ

(partea II-a)

NR. CRT.	CRITERII DE CLASIFICARE				
0	11	12	13	14	15
1	CARACTERUL ELEMENTELOR DE REAZEM (RIGID, FLEXIBIL) SAU TIPUL LOR	MODUL DE STABILIZARE A SISTEMULUI PORTANT AL ACOPERISULUI SUSPENDAT (PRETENSIONARE, LESTARE)	TIPUL DE LESTARE (RIGIDĂ CU ELEM. CONTINU SAU ELASTICĂ A SISTEMULUI PORTANT)	MODUL DE REALIZARE A PRECOMPRI-MĂRII ELEMENTELOR DE ÎNCHIDERE ALE ÎNVELITURII	SISTEME CARE POT SĂ DEVINĂ PÂNZE SUSPENDATE DE CE-TOAN SAU SISTEM MONOLIT DE APOSTURILOR
2	STILPI ȘI ANCORAJE GR. STILPI ANCORAJE	LESTARE PRIN GREUT. ÎNVELITOARE	ELASTICĂ RIGIDĂ	LESTARE CU SUPRASARCINA TEMP. SAU TENSIUN. CABLURI	DA
3	—	LESTARE, PRETENS.	—	—	DA
4	RIGID	LESTARE PRIN GREUT. ÎNVELITOARE	ELASTICĂ RIGIDĂ	LESTARE CU SUPRA SARCINA TEMP. SAU TENSIUN. CABLURI	DA
5	RIGID	LESTARE PRIN GREUTATE ÎNVELITOARE	ELASTICĂ RIGIDĂ	LESTARE CU SUPRA SARCINA TEMP. SAU TENSIUN. CABLURI	DA
6	RIGID	LESTARE PRIN GREUTATE ÎNVELITOARE	ELASTICĂ RIGIDĂ	LESTARE CU SUPRA-SARCINA TEMPORARĂ	DA
7	RIGID SAU FLEXIBIL	PRETENSIONARE	—	—	NU
8	RIGID	PRETENSIONARE	—	—	NU
9	STILPI ȘI ANCORAJE	PRETENSIONARE	—	—	NU
10	GRINZI, STILPI ȘI ANCORAJE	PRETENSIONARE	—	—	NU
11	RIGID	—	—	—	—
12	STILPI ȘI ANCORAJE GRINZI ȘI ANCORAJE RIGID	PRETENSIONARE	—	—	NU
13	RIGID	PRETENSIONARE	—	—	NU
14	RIGID	PRETENSIONARE	—	—	NU
15	RIGID	PRETENSIONARE	—	—	NU
16	RIGID	PRETENSIONARE	—	—	NU
17	RIGID	PRETENSIONARE	—	—	NU
18	RIGID SAU FLEXIBIL	PRETENSIONARE	—	—	NU
19	RIGID	PRETENSIONARE	—	—	NU
20	RIGID	PRETENSIONARE	—	—	NU
21	—	—	—	—	NU
22	RIGID SAU FLEXIBIL	PRETENSIONARE	—	—	NU

Un criteriu de bază este numărul de suprafețe distincte, în care sînt cuprinse cablurile după care distingem, acoperișuri cu cabluri dispuse într-o singură suprafață (monostat) și acoperișuri cu cabluri dispuse în două suprafețe distincte.

Acoperișurile pot fi prevăzute cu cabluri singulare, cu rețele de cabluri cu ferme din cabluri sau cu sisteme combinate de cabluri și elemente diverse.

Luînd în considerare modul de solicitare vom delimita sistemele plane și spațiale de structuri pe cabluri.

În structurile spațiale am inclus și fermele plane intersectate și sistemele de rețele suprapuse legate cu diagonale sau montanți.

Un alt criteriu de bază îl constituie forma membranei imaginare (sau reale) întinse pe cabluri. Geometria acestei suprafețe, cu precizarea curburii totale a acesteia delimitează alte subgrupe în clasificarea propusă.

Sînt necesare precizări privind tipurile de suprafețe principale de la care se pleacă în stabilirea formei arhitecturale a acoperișurilor suspendate.

Plecînd de la expresia indicatoarei lui Dupin (66)

$$D_{11} \eta_1^2 + 2D_{12} \eta_1 \eta_2 + D_{22} \eta_2^2 = \pm 1$$

în care  $D_{11}$ ,  $D_{12}$ ,  $D_{22}$  sînt coeficienții celei de a doua forme fundamentale și egalînd membrul din stînga al expresiei de mai sus cu zero se pun în evidență direcțiile  $\eta_1 / \eta_2$  ale asimptotelor care depind de existența și valoarea realizantului

$$D_{12}^2 - D_{11} \cdot D_{22}$$

Proprietățile geometrice ale suprafeței în vecinătatea unui punct se caracterizează funcție de tipul indicatoarei astfel:

a).  $D_{12}^2 - D_{11} \cdot D_{22} < 0$  indicatoarea este elipsă, curbura totală este pozitivă. Suprafața se situează de o singură parte al planului tangent și este convexă. Punctul este de tip eliptic.

b).  $D_{12}^2 - D_{11} \cdot D_{22} > 0$  indicatoarea este o hiperbolă, curbura totală este negativă; suprafața are curbură opusă, planul tangent intersectează suprafața pe linii asimptotice. Punctul este de tip hiperbolic.

c).  $D_{12}^2 - D_{11} \cdot D_{22} = 0$  indicatoarea este o parabolă:

curbura totală este nulă, planul tangent rămîne de aceeași parte a suprafeței și nu se rotește în lungul liniilor generatoare. Punctul este de tip parabolic.

Dacă toate punctele, suprafeței sînt de același tip (eliptic, hiperbolic sau parabolic) suprafețele se clasifică în :

- suprafețe eliptice ( sfera, elipsoidul, paraboloidul de rotație și eliptic);
- suprafețe hiperbolice (paraboloidul hiperbolic, hiperboloidul cu o pînză, conoidul);
- suprafețe parabolice ( cilindrul, conul);

În cadrul clasificării, apartenența formei unui acoperiș suspendat la una din aceste tipuri de suprafețe trebuie înțeleasă în ideea că geometria acoperișului este apropiată de suprafața indicată, ea fiind obținută din această suprafață prin delimitarea cu linii de contur diverse.

Forme interesante de acoperișuri suspendate se pot obține și din intersectarea unor suprafețe, sau cuplarea diversă a mai multor acoperișuri de același tip.

În cadrul clasificării vom indica suprafețele eliptice și hiperbolice ca suprafețe cu dublă curbura, iar cele de tip parabolic ca suprafețe cu o singură curbura. Semnul curburii totale  $\frac{1}{R_1 \cdot R_2}$  notate cu G va servi pentru indicarea tipului de suprafață eliptic sau hiperbolic.

Tipul acoperișului pe cabluri este strîns legat de geometria suprafeței în care sînt cuprinse cablurile și precizează denumirea sub care sînt cel mai frecvent menționate în literatura de specialitate.

Dispunerea cablurilor sau fermelor pe cabluri, caracteristicile specifice ale acoperișurilor și numărul de familii de cabluri ale rețelelor, delimitează și precizează alte subgrupe.

Tin să menționez că la criteriul legat de forma în plan a acoperișului, se precizează numai formele cele mai caracteristice și mai des folosite, avînd de a face, după cum am precizat, cu o clasificare generală.

La criteriul legat de tipul de învelitoare prin învelitoare de tip greu, se înțelege învelitoare avînd greutatea circa 170-230 daN/m<sup>2</sup>, iar prin învelitoare de tip ușor se înțelege învelitoare

avînd greutatea în general sub 60-70 daN/m<sup>2</sup>.

La criteriul legat de elementul de reazem se indică soluția recomandată pentru un tip de acoperiș dat. Elementele rigide sînt realizate de regulă din beton sau metal, iar cele flexibile de regulă din cabluri dispuse pe conturul acoperișului și ancorate corespunzător. Soluția de reazem cu stîlpi sau cu grinzi, stîlpi și ancoraje este o soluție mixtă (indicată la cîteva tipuri de acoperișuri) care nu exclude de regulă folosirea elementelor de reazem rigide sau flexibile. De altfel și la acoperișurile la care s-a indicat la elementul de reazem tipul rigid sau flexibil este posibilă de la caz la caz aplicarea soluției mixte.

Criteriul privind stabilizarea sistemului portant al acoperișului suspendat admite stabilizarea de greutate prin lestarea definitivă a acoperișului, realizată de regulă prin învelitoare de tip greu și stabilizarea prin pretensionarea propriuzisă a sistemului de cabluri.

Stabilizarea prin lestare se poate face cu elemente prefabricate rigide independente numită lestare elastică sau cu element unic rigid numită lestare rigidă.

Pentru anumite tipuri de acoperișuri clasificarea scoate în evidență posibilitatea unei leștări temporare printr-o supra sarcină aplicată pînă la asigurarea monolitismului rosturilor între elementele prefabricate de acoperiș. După înlăturarea suprasarcinii se asigură o pretensionare a sistemului de cabluri introducîndu-se un efort de pre-comprimare în elementele de închidere ale acoperișului.

Aici se impune precizarea că plecînd de la o lestare de tip elastic cu elemente prefabricate de beton, învelitoarea poate fi transformată într-un element continuu prin asigurarea monolitismului rosturilor și precomprimarea sistemului de elemente din beton printr-o metodă adecvată care poate fi și lestarea cu suprasarcină temporară.

Menționez că referindu-ne la pretensionare poate să existe o tensionare a sistemului portant de cabluri și o precomprimare a elementului de închidere (învelitoare) al acoperișului. Acest lucru este precizat de clasificarea propusă.

Pe baza elementelor legate de stabilizare de tipul de lestare rigidă sau elastică și de precomprimarea elementelor de închidere clasificarea stabilește sistemele de acoperișuri suspendate pe cabluri care pot fi transformate în acoperișuri suspendate rezolvate ca

pânze suspendate de beton pe cabluri.

Aceasta permite o delimitare a sistemelor lucrând ca pânze suspendate de beton pe cabluri, care după opinia mea, nu pot fi încadrate în categoria acoperişurilor suspendate pe cabluri propriuzise prezentând elemente constructive şi de calcul particulare. Se pot întâlni astfel dese confuzii referitoare la această problemă întâlnite în literatura de specialitate.

Bineînţeles că această clasificare nu poate să epuizeze toate aspectele posibile, având în acest sens limitele ei.

Însă prin modul în care este concepută, poate să precizeze locul oricărui acoperiş suspendat pe cabluri, iar pe măsura apariţiei altor tipuri, poate fi completată logic şi uşor.

### CAPITOLUL III. SISTEME CONSTRUCTIVE SI ELEMENTE CONSTRUCTIVE DE ===== ALCATUIRE ALE ACOPERISURILOR SUSPENDATE PE CABLURI. =====

#### 3.1. Principalele sisteme constructive ale acoperişurilor suspendate pe cabluri.

Clasificarea acoperişurilor pe cabluri se face, nu ca un scop în sine, ci în ideea de a putea, printre altele, să stabilim principalele sisteme constructive ale acestora.

Aşa cum însă, pînă în prezent, nu există un consens în ceea ce priveşte clasificarea generală a acoperişurilor pe cabluri, nici sistemele lor constructive nu pot fi determinate strict.

Aceasta explică şi faptul că diverşii autori (16) (44) (79) (81) (94) (98) care au tratat pînă în prezent sistemele constructive ale acoperişurilor pe cabluri, au prezentat în mod diferit problemele legate de acestea.

În cele ce urmează voi prezenta principalele sisteme constructive de acoperişuri suspendate pe cabluri grupate pe baza clasificării multicriteriale interconexe.

Am plecat de la ideea că de fapt, la baza sistemelor constructive stau în principal tipurile fundamentale determinate de diversele posibilităţi de stabilizare, în conformitate cu precizările de la Cap. I, punctul 1.4. şi Cap. II.

La rețelele de cabluri alături de cele ortogonale s-au considerat și celelalte tipuri funcție de forma ochiurilor rețelei și numărul de familii de cabluri din rețea.

În fig.III.1, sînt prezentate principalele tipuri de rețele de cabluri în raport de numărul familiilor de cabluri(9).

Pe baza acestor elemente s-au precizat sistemele constructive actuale de acoperișuri pe cabluri considerînd cele două categorii distincte:

- acoperișuri pe cabluri propriuzise, care cuprind sistemele cu cabluri dispuse într-o singură suprafață și două suprafețe;
- acoperișuri pe cabluri în sisteme combinate.

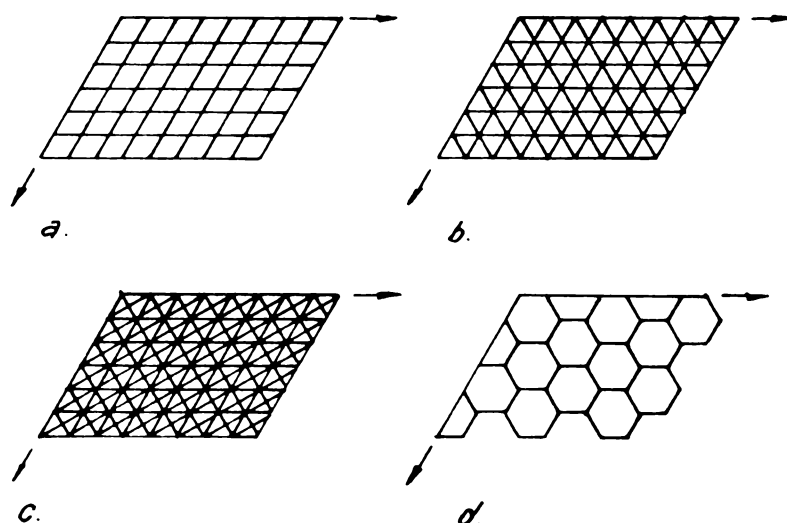


Fig.III.1. Tipurile principale de rețele de cabluri.

a). rețea cu două familii de cabluri. b) rețea cu trei familii de cabluri, c) rețea cu patru familii de cabluri, d) rețea cu ochiuri hexagonale.

A. Sisteme cu cablurile dispuse într-o singură suprafață.

1. Sisteme cu cabluri singulare.

1.a. Sistemele cu cabluri singulare dispuse paralel, stau la baza acoperișurilor cilindrice cu o singură curbura. Pentru astfel de sisteme este necesară o învelitoare de tip greu, pentru a se realiza stabilizarea acoperișului.

Învelitoarea se realizează în general din elemente prefabricate chesonate, din beton armat iar uneori din beton monolit.

Greutatea proprie a învelitorii este în general între 170 - 230 daN/m<sup>2</sup>.

La deschideri mari este necesară precomprimarea învelitorii de beton, pentru limitarea fisurilor și concomitent pentru limitarea



deformațiilor construcției. În acest caz acoperișul devine o pânză concavă suspendată (91).

Săgeata optimă a cablurilor este  $1/15 - 1/20$  din deschidere.

În fig. III.2. este redat un acoperiș cilindric pe cabluri paralele pe contur dreptunghiular.

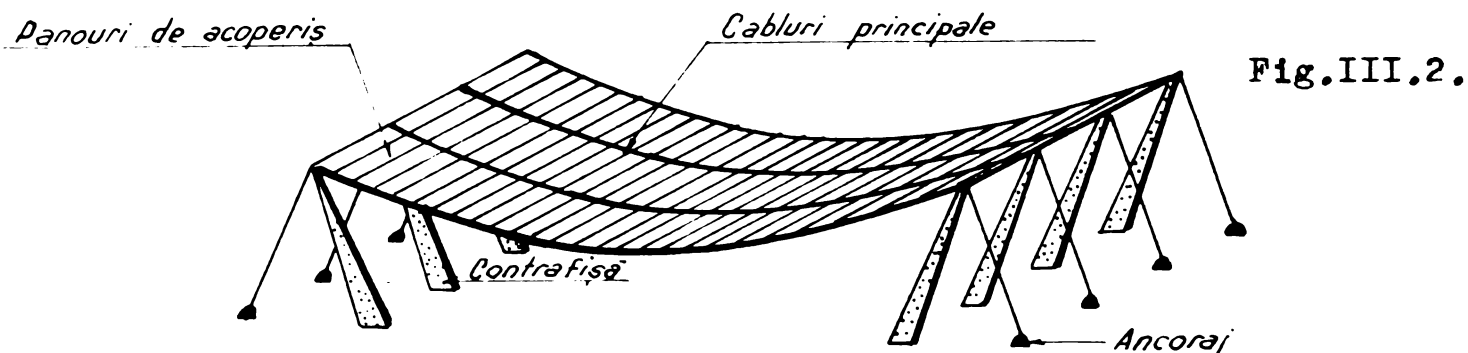


Fig. III.2.

1.b. Sistemele cu cabluri singulare avînd dublă curbură.

Cablurile sînt dispuse în general radial. Conturul cel mai des folosit este cel rotund.

Cablurile radiale se pot prinde în partea centrală cu un inel central (fig. III.3.a.), sau se pot fixa la partea centrală pe un stîlp (fig. III.3.b.).

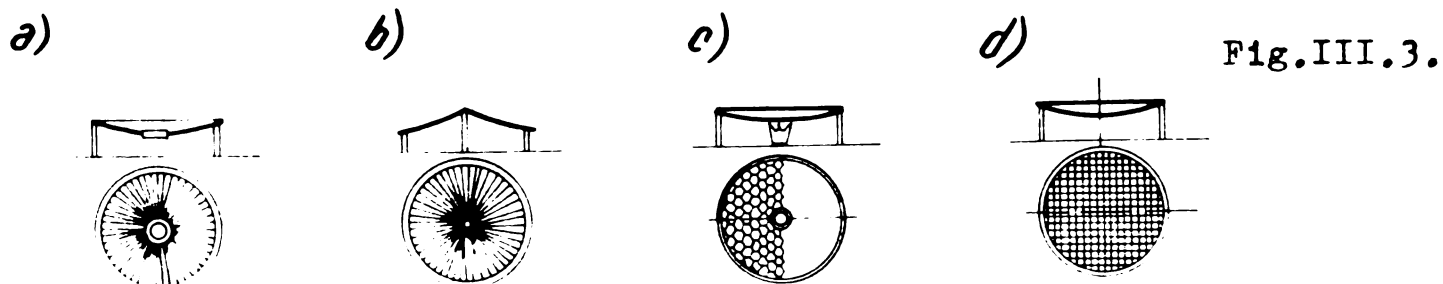


Fig. III.3.

Valoarea optimă a săgeții cablurilor este și în acest caz  $1/15 - 1/20$  din deschidere.

Pentru stabilizarea acoperișului este necesară o învelitoare grea.

În afară de conturul rotund se poate folosi uneori și conturul eliptic sau dreptunghiular.

## 2. Sisteme cu rețele de cabluri.

2.a. Sisteme cu rețele de cabluri cu dublă curbură, cu curbura totală pozitivă dau în principal sistemele de acoperișuri de tip cupolă inversă și de tip paraboloid eliptic (fig. III.3.c.d.)

2.b. Sisteme cu rețele de cabluri cu dublă curbură, cu curbura totală negativă - tip paraboloid hiperbolic, sînt sistemele cunoscute în general sub denumirea de sisteme sub formă de "șea".

Este unul din sistemele cel mai des folosite în practica proiectării acoperișurilor pe cabluri.

Acestea sînt cel mai adesea alcătuite din două familii de cabluri paralele, dispuse obișnuit ortogonal, una din familii fiind alcătuită din cabluri purtătoare, iar cealaltă din cabluri stabilizatoare. Pretensionarea sistemului se face cu ajutorul familiei de cabluri stabilizatoare.

- Săgeata optimă pentru rețelele de cabluri este:

- la cablurile stabilizatoare  $1/2 - 1/15$  din deschidere;
- la cablurile purtătoare  $1/15 - 1/25$  din deschidere.

La aceste sisteme se folosesc învelitori de tip ușor.

În fig. III.4. sînt prezentate schematic cîteva din sistemele de acoperișuri sub formă de șea.

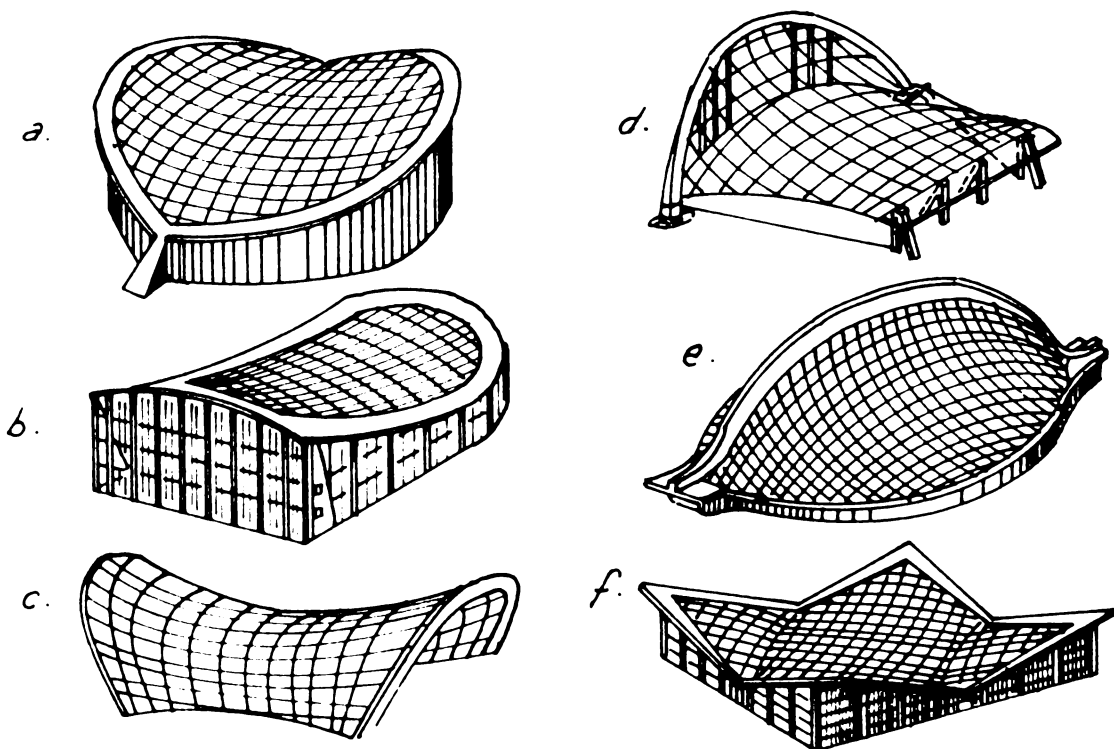


Fig. III.4.

În fig. III.4.a.b.c., este prezentat sistemul sub formă de șea, cu arce înclinate de reazem sau contur rigid divers.

În fig. III.4.d, acoperișul pe cabluri are un contur de reazem parțial rigid și parțial flexibil, din cabluri pe trei părți.

În fig. III.4.e, este prezentat sistemul avînd un arc central longitudinal, iar în fig. III.4.f, acoperișul a rezultat din intersecția unor paraboloidi hiperbolici.

Bineînțeles că în funcție de conturul de margine putem

obține o mare varietate de acoperișuri sub formă de șea.

B. Sisteme cu cabluri dispuse în două suprafețe.

1. Sisteme formând acoperișuri cu o singură curbură.

Obișnuit se realizează sisteme plane sub forma unor ferme pe cabluri. La o dispunere paralelă a acestora se obțin acoperișuri cu o singură curbură.

Invelitoarea în aceste cazuri are greutate relativ mică, de circa 40 - 60 daN/m<sup>2</sup>.

Deoarece instrucțiunile indicativ P110-91 fac precizările necesare privind structurile ușoare cu ferme pe cabluri nu voi insista asupra acestora.

2. Sisteme cu cablurile dispuse în două suprafețe, cu dublă curbură sau cu forme diverse.

Aceste sisteme folosesc în general aceleași rezolvări constructive ca cele cu o singură curbură.

Conturul de reazem și așezarea lor în plan determină diverse sisteme.

În fig. III.5. sînt redată cîteva tipuri de acest fel pe contur circular sau oval.

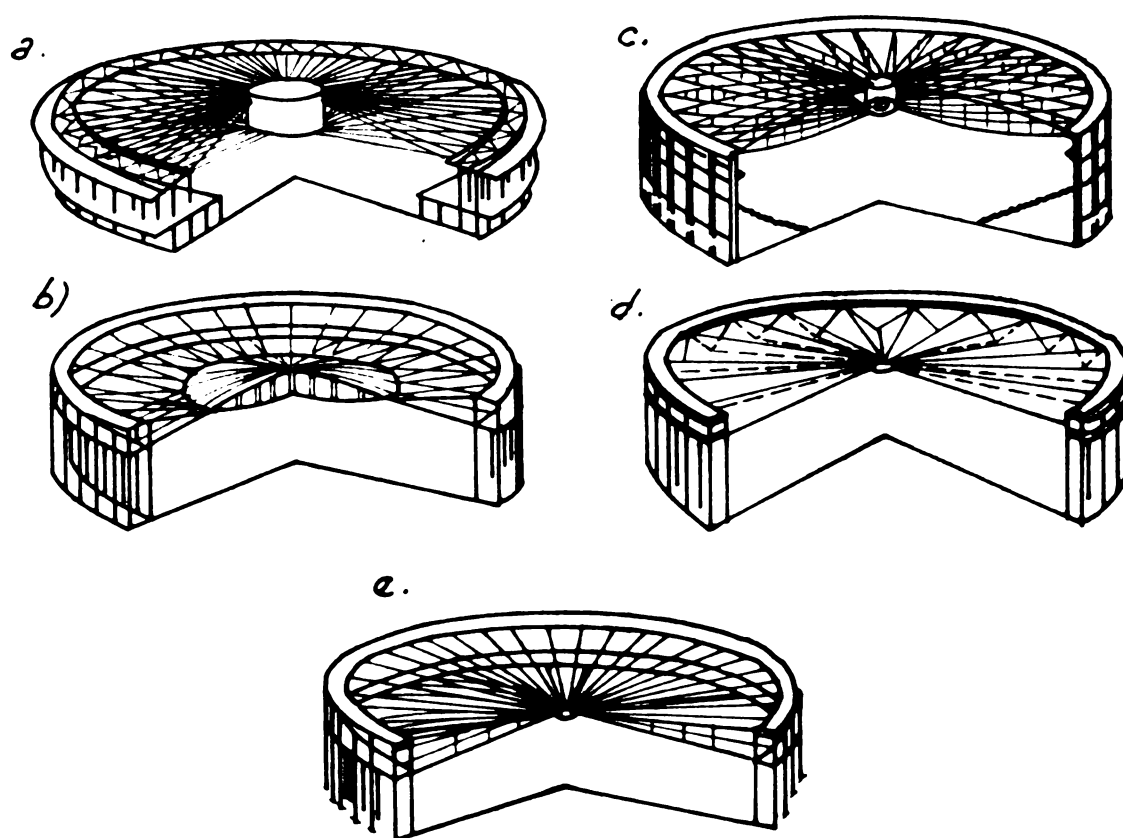


Fig. III.5.

Sistemele pot fi prevăzute cu un cilindru central (fig. III. 5.a.c.), cu cabluri intersectate (fig. III.5.b.), cu înveli -

toare dispusă alternant, dînd un sistem cutat (fig.III.5.d.) , cu un sistem de cabluri convergente spre centru (fig.III.5.e.), sau în sistem divers.

La aceste sisteme învelitoarea este de tip ușor.

C. Sisteme combinate de acoperișuri pe cabluri.

1. Sisteme de acoperișuri cu cabluri paralele puternic tensionate, dispuse orizontal.

Constau din cabluri subțiri, cu diametrul în general sub 5 mm, care sînt întinse între construcții rigide de capăt.

Pentru a se asigura preluarea eforturilor din suucțiunea vîntului și pentru a limita săgeata cablurilor, cablurile se sprijină pe ferme sau grinzi rigide, dispuse la distanțe de maximum 12 m.

Învelitoarea de tip ușor, se sprijină direct pe cabluri.

2. Sisteme de acoperișuri din rețele ortogonale de cabluri și grinzi rigide, formate dintr-o familie de cabluri și o familie de grinzi, dispuse transversal pe cabluri. Forma acoperișului este determinată de conturul de reazem și de forma grinzilor.

Prin pretensionarea familiei de cabluri, întreaga rețea mixtă lucrează ca o rețea pretensionată.

3. Sisteme de acoperișuri suspendate formate din cabluri de suspendare și elemente rigide suspendate spațiale (grinzi, ferme, plăci, etc.).

În aceste sisteme cablurile au rol de tiranți de suspendare a sistemului de rezistență al acoperișului.

Cablurile pot susține o varietate mare de elemente rigide de construcție.

4. Acoperișuri pe cabluri realizate sub forma unor rețele de cabluri sau cabluri singulare dispuse sub diverse forme, peste care se întinde o învelitoare realizată sub forma unei membrane ușoare elastice. Astfel de acoperișuri se folosesc în general pentru construcții ușoare cu caracter temporar.

Membrana învelitorii se poate realiza din materiale textile sau sintetice diverse.

Sistemele de acoperișuri prezentate sînt în general sistemele folosite la majoritatea acoperișurilor pe cabluri. Este evident că pe măsura dezvoltării practicii proiectării și construcției acoperișurilor pe cabluri vor putea apărea și alte sisteme constructive de-

rivate din aceste sisteme de bază.

### 3.2.Cablurile.

Elementul principal portant al acoperişurilor suspendate îl formează cablurile.

În afara cablurilor de oţel propriuzise, la acoperişurile suspendate se mai pot folosi în calitate de cabluri şi alte materiale ca: oţel rotund sau oţel profilat, platbenzi cu rigiditate mică la încovoire. De asemenea lanţurile de oţel se pot folosi în special la centurile de reazem elastice.

Se mai pot folosi şi cabluri din fire artificiale, având rezistenţe mari şi foarte mari la întindere şi greutate proprie mică, ca de exemplu cabluri din perlon. Cablurile din perlon au însă deformaţii mari, care cresc în timp.

Aceste elemente portante similare cablurilor au o arie de răspîndire foarte redusă la acoperişurile suspendate, ele putînd fi folosite numai la construcţii neimportante cu deschideri mici şi cu măsuri speciale care să le asigure siguranţa în exploatare.

De aceea, în stadiul actual al dezvoltării construcţiei de acoperişuri suspendate, în calitate de element portant se folosesc în majoritatea cazurilor cablurile din oţel, asupra cărora ne vom opri în continuare.

#### 3.2.1. Construcţia şi caracteristicile cablurilor din oţel.

Cablul din oţel se defineşte ca ansamblul de sîrme sau toroane, grupate prin înfăşurarea în jurul unei inimi, într-unul sau mai multe straturi concentrice, cu excepţia cablurilor plate care sînt alcătuite din cabluri alăturate în plan şi cusute.

Cablurile de oţel pot fi clasificate după mai multe criterii cum sînt; forma, materialul sîrmelor, construcţia lor, cablarea, etc.

Astfel după forma secţiunii transversale, avem cabluri rotunde sau plate. La cele din fire dispuse paralel se pot da diverse forme în funcţie de necesitate. După forma secţiunii transversale a toronului avem cabluri cu toron rotund sau cu toron profilat. După materialul inimii putem avea cabluri cu inimă metalică, vegetală sau minerală.

După sensul de răsucire al cablurilor şi toroanelor avem toron stînga sau toron dreapta şi cabluri stînga sau dreapta.

După felul acoperirii suprafeței sîrmelor din cabluri putem avea: sîrmă mată , sîrmă zincată cu strat subțire de zinc sau gros de zinc și sîrmă stanată.

Redăm în continuare principalele tipuri de cabluri de oțel:

a. Cablurile simple sînt alcătuite dintr-un singur toron, grupat prin înfășurarea sîrmelor în straturi concentrice. Ele pot fi la rîndul lor:

- cabluri simple, deschise sau cablu spiral;

- cablu semiînchis, la care stratul exterior este format din sîrme profilate, care alternează cu sîrme rotunde, astfel încît împreună formează o suprafață cilindrică, care asigură o închidere relativă a straturilor interioare, alcătuite doar din sîrme rotunde;

- cablul închis, este cablul simplu la care stratul sau straturile exterioare sînt alcătuite din sîrme profilate, astfel dispuse, încît să formeze o suprafață cilindrică cît mai netedă, care asigură o bună închidere a straturilor interioare, alcătuite doar din sîrme rotunde;

b. Cablul compus - este alcătuit din înfășurarea mai multor toroane sau a mai multor cabluri duble (construcție triplă, cablu triplex sau cablu cablat) în jurul unei inimi. Distingem următoarele tipuri:

- cablul construcție normală;

- cablul construcție combinată;

- Cablul construcție concentrică;

c. Cabluri plate - formate din cabluri cusute simplu în același plan cu sîrmă.

d. Cabluri cu fire paralele în care sîrmele care compun cablul sînt dispuse paralel.

La fabricarea cablurilor se folosesc sîrme din oțel carbon de calitate. În țara noastră se folosesc mărcile OLC 35, OLC 45, OLC 55 și OLC 60 conform STAS - 880-80. Pentru categoriile de rezistență 1760 N/mm<sup>2</sup> și 1960 N/mm<sup>2</sup>, se folosesc mărci de oțeluri cu conținutul de carbon pînă la 0,85 %.

Cablurile sub acțiunea sarcinilor se deformează, alungirile fiind atît elastice, cît și neelastice.

Modulul de elasticitate depinde de tipul cablului.

În cap. IV, se prezintă problemele legate de valoarea modulului de elasticitate la cablurile din oțel.

Funcție de caracteristicile cablurilor se face și alegerea acestora pentru acoperișurile suspendate.

### 3.2.2. Alegerea cablurilor din oțel pentru acoperișurile suspendate.

În bibliografia de specialitate nu este suficient lămurită problema alegerii corecte a cablurilor pentru acoperișurile suspendate. Experiența de proiectare arată că la alegerea cablurilor și la întocmirea specificațiilor nu se ține seamă deseori de particularitățile construcției acestora, de condițiile de lucru admitându-se în majoritatea cazurilor supradimensionări (26).

Alegerea justă se face prin analiza condițiilor pe care trebuie să le îndeplinească cablurile.

#### a. Calitatea sârmei.

Cablurile fabricate în R.S.R. se fac cu trei calități de sîrmă A, B și C, conform STAS 1298-80. Abaterile admisibile a rezistenței la tracțiune de la 15 - 30 <sup>daN</sup>/mm<sup>2</sup>, poate fi în sensul valorii mai mari. De exemplu pentru sîrma cu rezistență minimă la tracțiune 160 daN/mm<sup>2</sup>. se admite:

A - 160 - 175 daN/mm<sup>2</sup>.

B, C. 160 - 190 daN/mm<sup>2</sup>.

Pentru cabluri ca element portant aceste abateri fiind numai în sensul valorii mai mari nu au influență asupra rezistenței. Din acest punct de vedere se pot admite cabluri de orice calitate a sârmei.

Deasemenea se impun în funcție de clasă:

- abaterile diametrelor sîrmelor;
- numărul de îndoiri alternante;
- numărul de răsuciri;
- încercarea de rupere cu nod (pentru sîrme cu diametrul sub 0,5 mm).

Pentru folosirea cablurilor la construcții suspendate, în general, nici una din abaterile menționate, nu are o influență majoră asupra rezistenței construcției.

Referitor la numărul de îndoiri alternante și de răsuciri pentru sîrmele cu diametrul peste 1,5 mm, care sînt cele mai des folosite la cablurile pentru acoperișuri suspendate, acestea sînt diferite funcție de calitate. Dar la acoperișurile suspendate cablurile sînt

exploatate fără influxiuni multiple și din acest punct de vedere calitățile B sau C sînt pe deplin acceptabile.

b. Secțiunea și limita teoretică a rezistenței sîrmei.

Un cablu deschis din sîrmă subțire prezintă o suprafață laterală mare și este expus mai mult la coroziune în comparație cu un cablu cu aceeași suprafață a secțiunii transversale format din sîrme cu diametru mare.

În legătură cu acest aspect trebuie să preferăm cablurile cu sîrme cu diametre mai mari.

Este indicat de asemenea să se aleagă sîrme cu rezistența de rupere la tracțiune mai mare din categoria V sau IV.

c. Tipuri de acoperiri ale sîrmelor.

În funcție de condițiile concrete de lucru a cablurilor în exploatare se va alege și gradul de protecție al sîrmelor din cabluri. Sîrma pentru cabluri conform STAS 1298-80 se execută cu următoarele stări de suprafețe;

- mată (m)
- zincată înainte de trefilare, zincată trasă (zt)
- zincată final electrolitic (g)
- zincată cu strat gros de zinc (G)
- stanate (S) numai pentru cablurile din categoria 1960

N. Sîrmele zincate (zt) corespund condițiilor pentru acoperișurile pe cabluri.

d. Tipul de înfășurare a sîrmelor în toroane.

În acest sens trebuie să alegem între un contact liniar sau punctiform .

Se recomandă contactul liniar deoarece în acest caz rezistența la uzură a cablurilor este mărită.

e. Felul și sensul răsucirii.

Se confecționează cabluri obișnuite și preformate.

Preformarea este operația executată anterior toronării sau cablării, pentru a da sîrmelor, respectiv toroanelor o formă potrivită datorită căreia să se anihileze tendința de desfacere. Prin preformare se înlătură în parte tensiunile din sîrme și se echilibrează repartiția tensiunilor pe întreaga secțiune transversală a cablurilor.

La elementele construcțiilor suspendate de acoperișuri, capetele cablurilor sînt prevăzute cu legături corespunzătoare de aceea de regulă se poate renunța la folosirea cablurilor care nu se desrăsucesc.

De asemenea nu se condiționează sensul răsucirii.



#### f. Costul cablurilor.

Va constitui evident un criteriu de loc neglijabil în alegerea cablurilor.

Este deosebit de important ca la alegerea cablului elementele legate de clasa de calitate, protecția sîrmlor, tipul de cablu, etc. să fie studiate în strînsă legătură cu costurile pe care le reprezintă. Specificarea la comandă a unor elemente de calitate superioară care nu întotdeauna sînt justificate tehnic pot să ducă la o scumpire nedorită a construcției.

De aceea studierea atentă a fiecărui criteriu la alegerea cablurilor constituie o necesitate.

În general sub raportul caracteristicilor mecanice, se recomandă la acoperișurile suspendate, cablurile spirale de tip închis, care prezintă un contact liniar al sîrmelor, densitate maximă a răsucirii, procent mai înalt de umplere a secțiunii, deformabilitate minimă sub sarcină.

Caracteristici bune, pentru acoperișurile suspendate, au și cablurile cu fire paralele, la care se remarcă în special modulul de elasticitate ridicat. La noi în țară instrucțiunile indicativ P110-81 recomandă folosirea cablurilor STAS 1513-80.

Problema alegerii cablurilor este încă o problemă deschisă și ea poate fi rezolvată în general pentru fiecare caz concret în parte, în funcție de toți factorii menționați anterior.

### 3.3. Detalii de fixare și de intersecție a cablurilor la acoperișurile suspendate.

Alegerea detaliilor de fixare a capetelor cablurilor precum și a nodurilor de intersecție reprezintă o problemă deosebit de importantă, de ea depinzînd în mare parte comportarea corespunzătoare în exploatare a întregului acoperiș.

Alegerea depinde de un complex de factori din care amintim materialul folosit pentru cabluri, elementul de contur al acoperișului, metoda de pretensionare a cablurilor.

Dimensionarea ancorajelor are în vedere condiția ca ruperea să se facă în cabluri și nu în ancoraje.

#### a. Fixarea capetelor cablurilor.

Ancorarea de capăt a cablurilor se poate realiza prin diverse procedee (fig. III.6.).

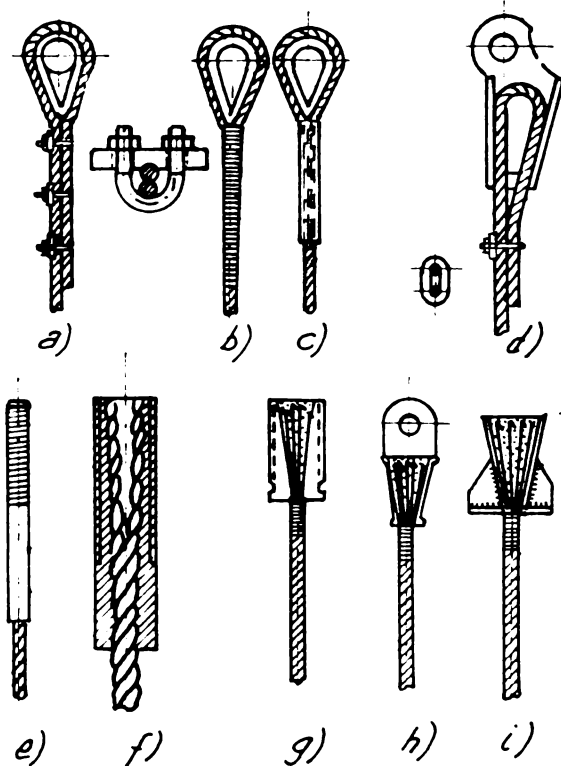


Fig.III.6.

- Fixare cu ochet și cleme (fig.III.6.a.).Așezarea clemelor se face respectând distanța între ele de  $6.d$ .La acest sistem de prindere forța de rupere a cablului se micșorează cu circa 20 % (94).

- Fixare cu ochet și matisare (fig.III.6.b.).La sfârșitul matisării locul este bandajat cu sîrmă moale (11).

La acest sistem de fixare, forța de rupere a cablului se va micșora față de diametrul cablului cu pînă la 30 %.

- Fixare cu ochet și tub de oțel sau aluminiu(fig.III.6.c.)

-Fixare cu manșon de oțel și pană(fig.III.6.d.).

- Fixare cu manșon cu filet (fig.III.6.e.) în care manșonul cu filet se trece peste capătul cablului și apoi se broșează prin gaura calibrată a unei prese.

- Fixare cu manșon din oțel moale și pană (fig.III.6.f.)

- Fixare cu manșon umplut cu compoziție turnată(fig. III.6.g. h.i.).

Se recomandă folosirea ancorajelor cu manșon cu compoziție turnată.Precizări privind aceste ancoraje se găsesc în instrucțiunile tehnice P110-81.

In cazul cînd în loc de cabluri se folosesc elemente portante din bare de oțel rotund, fixarea capetelor se face în diverse variante folosind de regulă sudura (16).

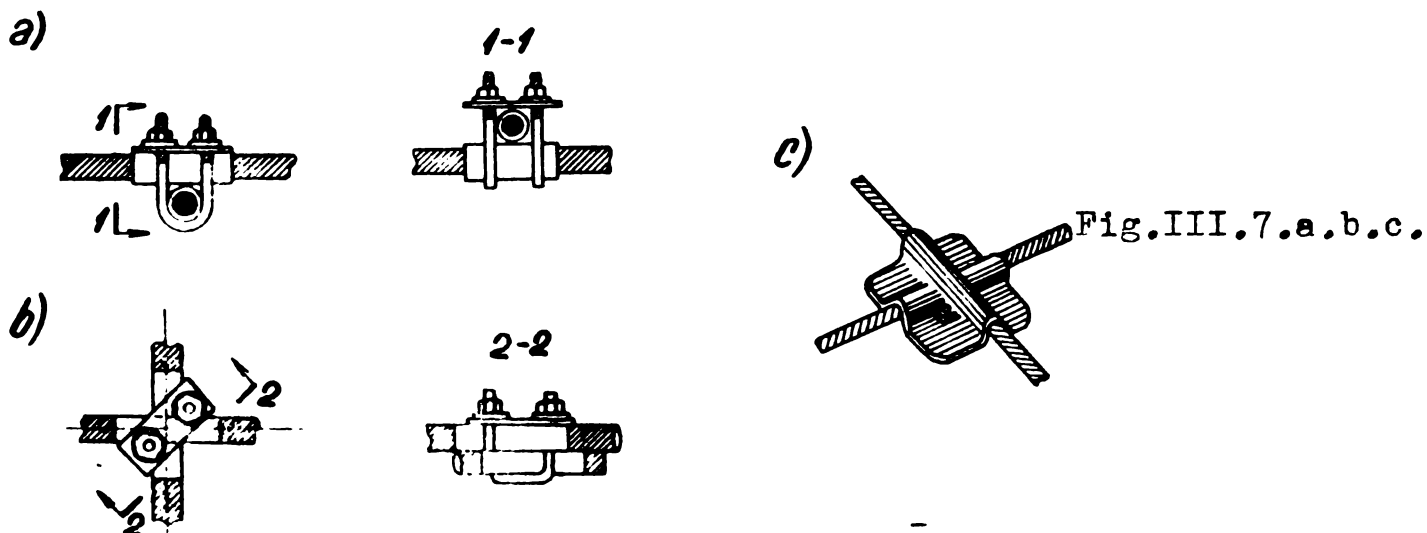
b. Noduri de fixare a cablurilor de elemente de contur.

Cablurile acoperișului suspendat se fixează de conturul de reazem, sau de conturul de reazem și un element central.

Funcție de tipul de fixare de capăt a cablului și de materialul, oțel sau beton, al construcției de reazem marginale sau centrale se stabilește și detaliul de fixare a cablului.

c. Noduri de intersecție a cablurilor în deschidere. Pentru asigurarea conlucrării tuturor cablurilor care se intersectează în suprafața acoperișului, nodurile de intersecție trebuie astfel construite încât să se înlăture posibilitatea deplasării cablurilor în nod și lunecarea nodurilor din poziția inițială.

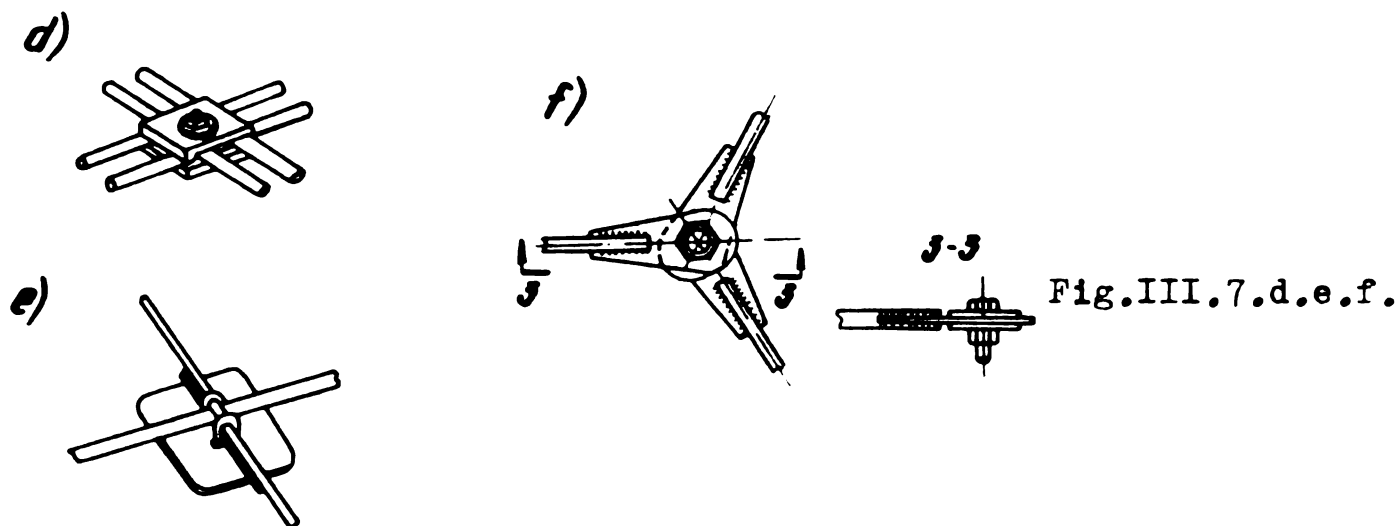
Modul obișnuit de fixare cu ajutorul jugurilor simple sau duble este arătat în fig. III.7.a.b.



La rețelele ortogonale de cabluri se poate folosi modul de fixare indicat în fig. III.7.c. în care placa de fixare constituie și un reazem pentru plăcile din învelitoare.

La elemente portante din oțel rotund se pot folosi rezolvările din fig. III.7.d.e.f.

În fig. III.7.f. este indicat un nod dintr-o rețea hexagonală.



La fermele din cabluri se pune problema legării între ele a

elementelor fermei.

Detalii în acest sens se precizează în instrucțiunile tehnice indicativ Pllo-81.

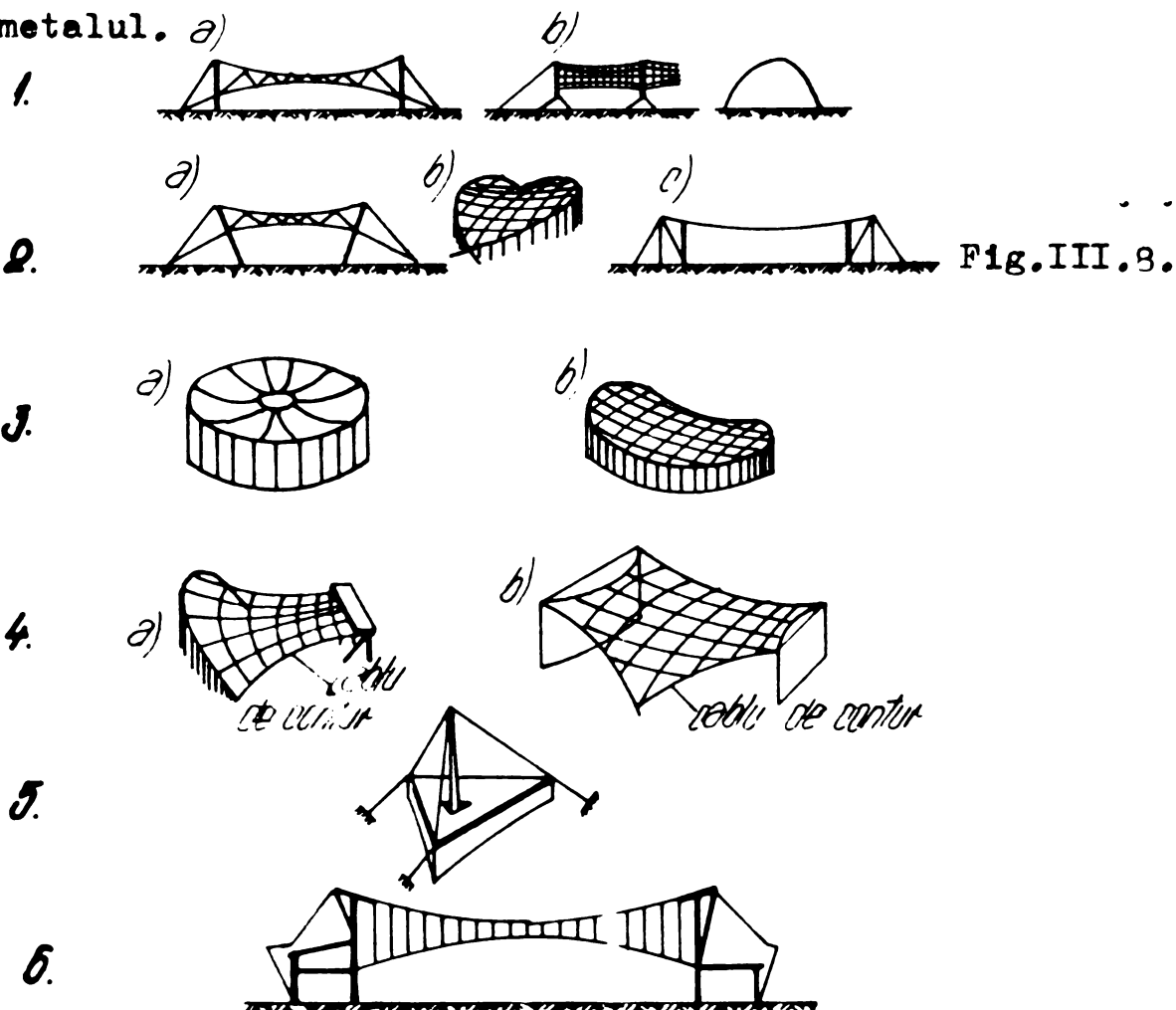
### 3.4. Construcțiile de reazem (de contur).

O problemă importantă a acoperișurilor suspendate, care influențează adeseori negativ eficiența lor economică e constituie construcțiile de reazem, care preiau eforturile din cabluri și le transmit la teren (98).

Alegerea tipului de construcție de contur, depinde în principal de posibilitățile de preluare a eforturilor din cabluri. În afară de aceasta, prin proiectarea construcției de reazem trebuie să se ia în considerare necesitatea asigurării rigidității acoperișului, scurgerea apei de ploaie, precum și alți factori specifici.

De aceea la proiectarea acoperișurilor pe cabluri este necesar să studiem geometria sistemului de cabluri în strânsă legătură cu geometria construcției de reazem.

La elementele de reazem se folosește de obicei betonul armat sau metalul.



Deși construcțiile de reazem sînt deosebit de diverse, totuși,

pot fi grupate în câteva tipuri caracteristice.

În fig. III.8, se dau schemele principalelor tipuri de construcții de reazem (98).

Acestea sînt:

- structuri verticale cu ancoraje (stâlpi, arce, cadre) fig. III.8.1.a.b.

- piloni înclinați, arce înclinate, grinzi înclinate, cadre, fig. III.8.2.a.b.c.

- inele rigide circulare sau ovale rezemate pe ziduri sau stâlpi - fig. III.8.3.a.b.

- conture flexibile (sau parțial flexibile) sub formă de cabluri sau ferme pe cabluri care transmit eforturile la elemente ale construcției sau direct la teren - fig. III.8.4.a.b.

- elemente rigide și tiranți - fig. III.8.5.

- construcții de reazem avînd și destinație funcțională în clădiri (tribune sportive, anexe, etc). fig. III.8.6.

### 3.5. Invelitorile acoperișurilor suspendate.

Pentru a obține soluții eficiente de acoperișuri suspendate este absolut necesar ca pe lîngă o alcătuire rațională a structurii să se folosească o învelitoare corespunzătoare (55).

Elementele principale componente ale învelitorii sînt (55);

- stratul suport;
- stratul de izolare hidrofugă;
- stratul de izolare termică;
- elementul de etanșare a rosturilor;
- elementele de reazemare, ancorare, etc.

Principalele probleme care se ridică la alcătuirea și executarea învelitorilor sînt (28);

- dificultatea fixării elementelor componente ale învelitorii ca urmare a variațiilor mari ale săgeții structurii, care pot fi de pînă la 1/80 din deschidere,

- realizarea etanșeității învelitorii în timp;
- asigurarea scurgerii apelor pluviale.

În general învelitorile se clasifică în două mari grupe: învelitori grele și învelitori ușoare.

#### I. Invelitori grele.

Invelitorile grele sînt învelitori a căror greutate ajunge la 170-230 daN/m<sup>2</sup>, fiind alcătuite din beton armat monolit sau prefabricat.

a. Invelitori monolite din beton.

Invelitorile din beton armat monolit se folosesc mai rar, datorită faptului că necesită un timp mai lung de execuție, cofraje pentru turnare, iar calitatea este mult influențată de condițiile de lucru de pe șantier (55).

b. Invelitori din plăci prefabricate de beton armat. Este recomandabilă executarea învelitorilor din plăci prefabricate, deoarece execuția acoperișului este mai simplă, iar durata de execuție este mai scurtă.

După forma ochiurilor cablurilor de susținere, plăcile prefabricate pot avea formă pătrată, dreptunghiulară, trapezoidală, hexagonală, etc.

## II. Invelitori ușoare.

Cele mai economice și raționale forme de acoperișuri suspendate pe cabluri sînt cele stabilizate prin pretensionare.

La aceste acoperișuri este evident că se pune problema găsirii unei soluții de învelitoare cât mai ușoară.

De aceea învelitorile ușoare au avut o dezvoltare deosebită, existînd un număr însemnat de soluții constructive pentru astfel de învelitori: (55) (44).

a. Invelitori din pînză de fire vegetale impermeabilizate, sînt folosite în general la construcții cu caracter temporar, învelitoarea fiind suspendată direct pe cabluri.

b. Invelitori din mase plastice.

Invelitorile din masă plastică au avut în special în ultimii ani o largă folosire la diferite construcții din complexe expoziționale (22), sau complexe sportive (46).

c. Invelitori din plăci rezultate din prelucrarea superioară a lemnului sau din lemn.

Folosirea lemnului la realizarea învelitorilor acoperișurilor suspendate este în ultimul timp mai frecventă.

d. Invelitori din plăci sandwich.

e. Invelitori din tablă.

f. Invelitori din arbeciment.

### 3. Invelitori monolite din beton ușor.

Pentru condițiile din țara noastră se recomandă pentru învelitorile grele plăci prefabricate de beton armat izolate termic și hidrofug corespunzător. Pentru învelitorile ușoare se recomandă folosirea soluției cu tablă cutată prezentată în instrucțiunile tehnice Pllo-81.

#### 3.6. Execuția acoperișurilor suspendate pe cabluri.

Unul din avantajele principale a acoperișurilor suspendate pe cabluri este rapiditatea și relativa simplitate a construcției și montajului lor.

Construcția fundațiilor clădirilor și a elementelor de contur a acoperișurilor nu prezintă diferențe față de construcțiile obișnuite, ele realizându-se cu procedeele tehnologice curente.

La montajul și construcția acoperișului propriuzis însă, apar o serie de aspecte specifice.

Cablurile se confecționează în fabrici specializate.

Înainte de montaj, cablurile trebuie prelucrate conform indicațiilor din proiectul de execuție. Astfel ele trebuie tăiate la lungimea prescrisă în proiect, trebuie pregătite capetele cablurilor în vederea fixării lor (fixarea ochetilor, fixarea capetelor cablurilor în pahare de ancoraj, etc).

În general aceste operații se recomandă să se facă în ateliere specializate ele urmînd apoi a fi transportate la locul de montaj.

La fermele pe cabluri se recomandă confecționarea și asamblarea lor în ateliere specializate ele urmînd a fi apoi transportate gata asamblate la locul de montaj.

Montajul pe șantier prezintă anumite caracteristici în funcție de tipul de acoperiș care se execută.

La acoperișurile din cabluri singulare, cablurile pregătite așa cum am arătat anterior, se fixează în ancoraje.

După fixarea cablurilor este necesar să se controleze corespundența poziției și dimensiunilor acestora, cu proiectul.

Montajul plăcilor prefabricate de acoperiș sau a panourilor învelitorilor se poate face direct pe cabluri fără amenajarea unei schele speciale. Atunci cînd acest lucru nu este posibil se recomandă folosirea unor schele mobile.

La învelitorile monolite este necesară realizarea unui eșafodaj

pentru susținerea cofrajului.

Stabilizarea acoperișului se poate realiza prin lestarea acoperișului temporar pînă la monolitizarea rosturilor între plăcile prefabricate, după care lestul se înlătură, asigurîndu-se o pretensionare a sistemului de cabluri și a învelitorii propriuzise.

La acoperișurile cu ferme pe cabluri montajul fermelor se poate realiza fără schele. În acest sens se pot folosi macarale pe cablu montate chiar pe elementele de reazem și contur ale acoperișului suspendat. După montarea și fixarea fermelor se trece la pretensionarea acestora prin tensionarea tălpilor acestora cu ajutorul preselor.

La sistemele spațiale cu cablurile dispuse în două suprafețe pretensionarea se poate realiza prin diverse procedee, în funcție de forma concretă a acoperișului.

La rețelele de cabluri, montajul se începe cu fixarea cablurilor purtătoare.

Poziția și lungimile cablurilor portante se pot corecta prin dispozitivele reglabile de ancorare, atunci cînd acestea există.

Urmează așezarea și întinderea cablurilor stabilizatoare, fixarea lor în nodurile de intersecție cu cablurile purtătoare.

Pretensionarea cablurilor se realizează la deschideri mici, cu dispozitivele reglabile cu care sînt ancorate cablurile sau cu ajutorul preselor hidraulice la deschideri mari.

Realizarea pretensionării acoperișurilor suspendate pe cabluri în vederea stabilizării lor se face în principiu în două moduri (16):

- pe rînd fiecare cablu în parte;
- concomitent toate cablurile;

Pretensionarea prin punerea sub tensiune a fiecărui cablu în parte, pe rînd, este cel mai des folosită.

Acest sistem de pretensionare nu cere o determinare deosebit de precisă a lungimilor cablurilor acestea putîndu-se regla în timpul pretensionării.

O deficiență a acestui mod de pretensionare constă în durata mai lungă necesară pentru realizarea pretensionării.

Sistemul de realizare a pretensionării prin punerea sub tensiune concomitentă a tuturor cablurilor structurii este un procedeu mai rapid care permite o industrializare ridicată a execuției.

La sistemele spațiale radiale cu cablurile dispuse în două



suprafețe se poate realiza tensionarea concomitentă a cablurilor, prin intermediul unui cilindru central cu înălțimea reglabilă.

La sistemele radiale cu cabluri dispuse într-o singură centură, pretensionarea se poate realiza prin deplasarea punctului central al rețelei în jos sau în sus și fixarea apoi a acestui punct prin diverse posibilități constructive.

La sistemele de acoperișuri cu două arce de contur, pretensionarea se poate realiza prin montarea rețelei de cabluri pe arcele de rezeme montate într-o poziție mai ridicată decât cea finală și lăsarea în jos apoi a acestora.

Acest procedeu presupune realizarea articulată a celor două arce de contur, astfel încât să fie posibilă această deplasare a lor.

Un neajuns al acestui sistem de pretensionare este faptul că duce la complicarea detaliilor construcției și presupune o exactitate deosebită a execuției.

În general pretensionarea acoperișurilor pe cabluri se stabilește pentru fiecare caz de construcție în parte în funcție de caracteristicile acesteia, precum și de posibilitățile tehnice ale executantului.

#### CAPITOLUL IV. CALCULUL STRUCTURILOR DE CABLURI DIN ALCATUI- REA ACOPERISURILOR SUSPENDATE PE CABLURI.

##### 4.1. Generalități.

Dezvoltarea acestui domeniu al construcțiilor în ultimele 2-3 decenii, a dus la acumularea unui material relativ vast privind calculul unor structuri suspendate concrete.

Odată cu aceasta au apărut și încercări de elaborare a unor metode de calcul generalizate, aplicabile la un grup mai mare sau mai mic de acoperișuri suspendate pe cabluri asemănătoare ca structură.

Diversitatea ipotezelor și metodelor de calcul folosite în prezent face destul de dificilă o trecere în revistă a acestora pe baza unor criterii unitare. Probabil că tocmai această dificultate legată de vastitatea bibliografiei existente în prezent precum și de tendința unor autori de a se opri la una din ipoteze sau metode de calcul și de a le ignora pe celelalte, ne lipsesc în momentul de față de o lucrare care să prezinte ansamblul acestor probleme punându-ne

la îndemână într-un mod unitar experiența acumulată în acest domeniu pînă în prezent.

De aceea, tratarea în continuare a stadiului actual al calculului acoperișurilor suspendate pe cabluri pornește de la dorința autorului, de a depăși nivelul unei simple enumerări de ipoteze sau metode de calcul, pentru a face o prezentare sistematică pe baza unor criterii unitare pornind de la principalele tipuri de acoperișuri pe cabluri.

Acest mod de prezentare oferă posibilitatea localizării sub aspectul calculului a unui anumit sistem de acoperiș pe cabluri reprezentînd un instrument de lucru în vederea calculului unui sistem dat.

Referindu-ne la structurile de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate pe cabluri alături de problemele legate de stabilirea formei inițiale și determinarea stării de efort și deplasare la încărcări statice și dinamice se impune studierea problemelor generale legate de verificarea siguranței structurii în cadrul căreia trebuie să considerăm aspectele specifice legate de caracteristicile acțiunilor și materialelor, precum și problemele de bază pentru dimensionare.

De aceea în acest capitol după ce se prezintă probleme privind calculul sub încărcări statice și dinamice a structurilor de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate se vor trata și problemele specifice legate de verificarea siguranței acestor structuri.

#### 4.2. Probleme de calcul.

Problemele care se pun la calculul structurilor de cabluri ale acoperișurilor suspendate în general se pot rezuma la (9):

A. Stabilirea formei (geometriei) inițiale a sistemului sub încărcările inițiale.

B. Stabilirea deplasărilor sistemului și a eforturilor în sistem sub acțiunea diverselor încărcări statice inclusiv cu considerarea variațiilor de temperatură și a deplasărilor elementelor de suspensie a cablurilor.

C. Calculul dinamic.

Calculul structurilor de cabluri pentru acoperișuri se poate face considerîndu-le fie ca un sistem discret fie ca un sistem continuu.

### Sistem discret.

Tratarea ca sistem discret pleacă de la considerarea structurii reale de cabluri ca un ansamblu de bare, capabile să preia numai eforturi axiale de întindere, articulate în nodurile de intersecție ale acestora.

Acțiunea forțelor exterioare asupra sistemului se face sub forma unor forțe concentrate definite ca mărime direcție și sens, aplicate în nodurile structurii.

Matematic un astfel de sistem se poate reprezenta de regulă printr-un sistem de ecuații cu diferențe finite (9).

Prin prelucrarea sistemului de ecuații în anumite condiții concrete se poate ajunge la un sistem de ecuații algebrice.

La același sistem de ecuații algebrice se poate ajunge direct considerând echilibrul fiecărui nod al structurii în corelație cu nodurile adiacente.

### Sistem continuu.

Tratarea ca sistem continuu pleacă de la reprezentarea structurii reale de cabluri printr-un sistem de ecuații diferențiale sau ecuații cu derivate parțiale (9).

Acțiunea forțelor exterioare în cazul sistemului continuu se face sub forma sarcinilor distribuite în lungul cablurilor. Sarcinile concentrate duc în acest caz la discontinuitate în forma curbelor după care sînt dispuse cablurile.

### Ipoteze și metode de calcul.

La calculul structurilor suspendate pe cabluri pentru acoperișuri se folosesc în prezent: teoria firelor tratată de mecanica teoretică, teoria mediului continuu precum și ipotezele stațiilor construcțiilor.

Metodele de calcul îmbracă diverse forme ele fiind în strînsă legătură cu ipotezele de calcul considerate, cu modul de considerare al structurii ca sistem discret sau continuu.

În acest capitol pe măsura analizării diverselor sisteme de cabluri ale acoperișurilor suspendate sub aspectul calculului vom evidenția atât ipotezele cît și metodele de calcul specifice acestora.

De asemenea precizări privind modalitățile de conducere a re-

zolvării sistemului de ecuații de condiție pentru cazul general al unor structuri cu deplasări mari, în care se încadrează și structurile pe cabluri, se vor face și în cap.V.

### Stabilirea geometriei inițiale a sistemului sub încărcările inițiale.

Forma inițială a sistemului suspendat este poziția de echilibru sub acțiunea încărcărilor inițiale. Ea depinde deci atât de încărcările aplicate cât și de parametrii sistemului de cabluri.

Este evident că se impune să definim încărcările inițiale.

În concepția existentă în momentul de față în tratarea calculului acoperișurilor suspendate, se admit ca încărcări inițiale încărcările din greutatea proprie a cablurilor structurii și încărcările din forțele de pretensionare a sistemului (cînd există bineînțeles o pretensionare a sistemului).

Putem admite ca la sistemele pretensionate să se considere ca încărcări inițiale numai forțele de pretensionare și să se negligeze aportul greutății proprii a cablurilor care este de regulă foarte mic.

La sistemele de cabluri pretensionate vom adopta în cele ce urmează pentru poziția inițială denumirea de stadiul de nul întîlnit în literatura de specialitate (V.K.Kaciurin, Vedenicov, Schleyer, Hagiescu și alții). Ca parametri și sistemului de cabluri se iau - lungimile cablurilor, componenta orizontală a tensiunii în cablu, tensiunile în cabluri, mărimea, direcția și sensul forțelor aplicate, precum și coordonatele punctelor caracteristice ale sistemului de cabluri față de un sistem de coordonate dat.

De regulă în stadiul de nul determinarea stării de efort din pretensionare se efectuează în ipoteza de calcul liniar.

### Stabilirea deplasărilor și eforturilor sistemului de cabluri sub acțiunea diverselor încărcări exterioare (statice).

Odată stabilită geometria inițială de echilibru a structurii de cabluri sub acțiunea încărcărilor inițiale se pune problema de a studia în continuare deplasările structurii și starea de eforturi în structură sub acțiunea diverselor încărcări exterioare. Pentru sistemele suspendate relația între deplasări și sarcinile aplicate este neliniară (9).

Rigiditatea mică a cablurilor iar uneori și configurația geometrică a sistemelor de cabluri duc la deplasări relativ mari sub sarcini a sistemelor suspendate.

De aceea echilibrul structurii sub acțiunea diverselor sarcini exterioare statice scris pe geometria inițială a sistemului nu mai este corect. Mulți autori menționează necesitatea abordării calculului în ipoteza de calcul de ordinul doi - când raportarea forțelor exterioare se face la poziția deformată.

Va trebui să ne oprim asupra a ceea ce trebuie să înțelegem prin poziția deformată a sistemului de cabluri.

Referindu-ne la cablul singular, ca sistem de bază a structurilor de acoperișuri suspendate pe cabluri, spre deosebire de elementele rigide (de exemplu o grindă) (81) în care încărcarea exterioară produce deplasări elastice mici, configurația axei cablului se determină cu luarea în considerare a deplasărilor cinematice a diferitelor puncte de pe cablu precum și a deplasărilor rezultate din deformarea elastică a cablului.

Construcțiile pe cabluri trebuie astfel studiate cu luarea în considerare a neliniarității geometrice.

Putem vorbi de o neliniaritate geometrică legată de caracterul cantitativ al sarcinii exterioare precum și de o neliniaritate geometrică legată de caracterul calitativ al încărcărilor exterioare.

Să considerăm un cablu singular încărcat în trei puncte situate la intervale de  $1/4$  din deschidere cu sarcini egale  $W$  și care ia forma de echilibru indicată în fig. IV.1. cu linia punctată.

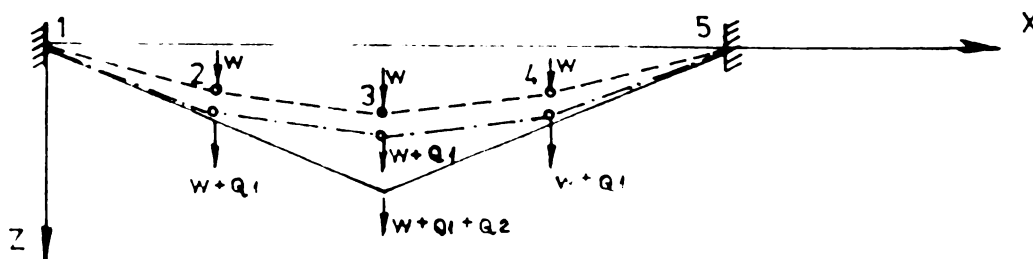


Fig. IV.1.

a). Se aplică o sarcină adițională  $Q_1$  egală în toate cele trei puncte. Noua formă de echilibru reprezentată pe figură prin linie punctată, este în general conformă cu cea inițială, mărimea săgeților depinzând direct proporțional cu sarcina  $Q_1$ .

Lungimea totală a cablului, este egală cu lungimea inițială plus lungimea din alungirea elastică a cablului, sub variația efortului din cablu.

b. Se aplică în continuare numai în nodul 3 o sarcină adițională  $Q_2$  mult mai mare în raport cu  $Q_1$ .

Cablul își schimbă forma inițială transformându-se într-un triunghi cu vârful în nodul 3 datorită unei deplasări cinematice. La aceasta se mai adaugă și o deplasare a nodului din deformația elastică aferentă sarcinii  $Q_2$ .

În acest caz mărimea săgeții depinde atât de schimbarea formei cablului cât și de alungirea sa.

Deci relația între sarcinile aplicate și deplasări este neliniară.

Această comportare neliniară este tipică pentru structurile de cabluri. Cu toate acestea la structurile pretensionate această comportare nu este atât de pronunțată neliniară ca la un cablu singular de exemplu.

Pentru calculul deplasărilor și a eforturilor corespunzătoare în structura de cabluri, pentru încărcări exterioare diferite de cele inițiale, trebuie să fie cunoscute forma inițială a sistemului și eforturile inițiale în cabluri.

În tratarea ca sistem discret sînt utilizate de regulă formulări rezultate dintr-un set de ecuații algebrice neliniare.

Soluționarea acestora poate fi făcută prin procedee numerice.

În tratarea ca sistem continuu sînt utilizate formulări rezultate dintr-un set de ecuații diferențiale neliniare.

Deplasările sistemelor suspendate pot fi calculate de asemenea prin metode bazate pe minimalizarea energiei potențiale totale a sistemului.

În general problema comportării neliniare a necesitat elaborarea unor metode speciale de calcul pentru acoperișurile suspendate pe cabluri.

#### 4.3. Calculul diverselor sisteme de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate sub acțiunea încărcărilor exterioare (statice).

Calculul diverselor sisteme de cabluri se face pentru determinarea poziției inițiale a sistemului sub încărcările inițiale precum și pentru stabilirea deplasărilor sistemului și a eforturilor în sistem sub acțiunea încărcărilor care pot să acționeze pe acoperiș.

### 4.3.1. Cablul singular.

Pe baza calculului sistemelor suspendate stă cablul singular.

Ca schemă de calcul vom folosi cele două posibilități de considerare a cablului ca sistem discret format din bare articulate și ca sistem continuu. O primă problemă care se pune este determinarea poziției inițiale de echilibru. Sînt numeroși autori care se ocupă de problema calculului cablului singular și care dau și soluțiile ecuației de echilibru pentru diferite încărcări și pentru cabluri considerate neextensibile sau extensibile elastic. Astfel putem cita o serie de autori: Otto Frei și Schleyer (22) Pugsley (75) Czitary (13) G. Akkermann, U. Beckman (31), C. Drăgan (17), Dmitriev și A. Kasilov (16).

În ceea ce privește calculul deplasărilor cablului izolat sub acțiunea variației încărcărilor exterioare precum și determinarea eforturilor corespunzătoare, există deasemenea un important număr de lucrări.

Astfel o serie de soluții privind aceste aspecte ale calculului întîlnim la Pugsley (75). Francis (21) (20) C. Drăgan (17) Dmitriev și Kasilov (16) V. Kaciurin (39) O'Brien și Francis (69) Michalos și Birnstiel (61) Schleyer (22).

### Considerarea cablului ca un sistem continuu.

Schleyer bazîndu-se pe elementele furnizate de teoria elasticității consideră un element diferențial  $dS$  de cablu în poziția inițială și finală  $d\bar{S}$  (fig. IV.2).

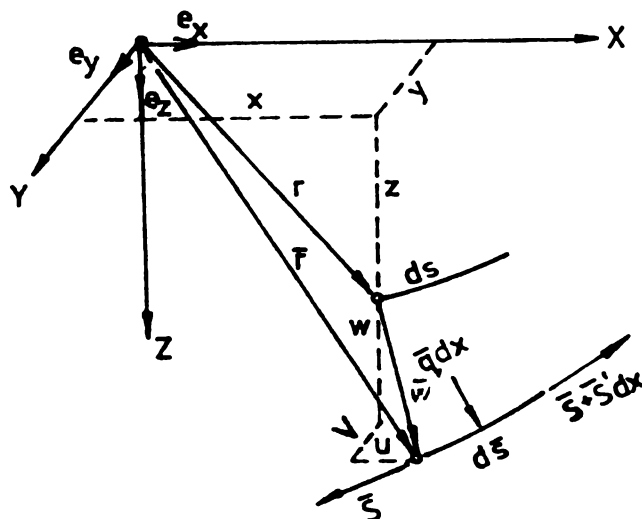


Fig. IV.2.

Precedînd de la un sistem cartezian de coordonate  $O.X.Y.Z.$  și ținînd cont de versorii  $e_x, e_y, e_z$  el definește poziția elementului prin vectorul  $r$  și respectiv  $\bar{r}$  de poziție:

$$r(x) = x e_x + y(x) e_y + z(x) e_z = \{x, y(x), z(x)\} \quad (4.1)$$

$$\bar{r} = r + \bar{w} = \{\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}\} = \{x+u, y+v, z+w\} \quad (4.2)$$

Plecînd de la aceste elemente se ajunge la ecuațiile de echilibru.

$$\left. \begin{aligned} Hq' + q_x &= 0; \\ Hq\bar{y}'' + q_y - q_x\bar{y}' &= 0; \\ Hq\bar{z}'' + q_z - q_x\bar{z}' &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.3.)$$

Deasemenea Schleyer dă pentru  $\epsilon$  valoarea:

$$\epsilon = \frac{u' + y'v' + z'w'}{1 + y'^2 + z'^2} + \frac{v'^2 + w'^2}{2(1 + y'^2 + z'^2)^2} \quad (4.4.)$$

pe baza căreia, luînd în considerare și variația de temperatură scrie relația pentru efortul în cablu.

$$S_p = \frac{EF}{1 + y'^2 + z'^2} (u' + y'v' + z'w') + \frac{EF}{2(1 + y'^2 + z'^2)^2} (v'^2 + w'^2) - EF\epsilon \quad (4.5.)$$

În aceste relații.

$S_p$  = efortul în cablu:

$Hq$  = componenta orizontală a efortului în cablu:

$E$  = modulul de elasticitate al cablului:

$F$  = aria secțiunii transversale a cablului:

$q_x, q_y, q_z$  = componentele după axele  $x, y, z$ , a încărcării ce acționează pe cablu.

Considerarea cablului ca un sistem discret.

a). Cablu singular acționat de o forță oarecare care se află în același plan cu cablul (16).

Plecînd de la elementele din fig. IV.3.a. unde s-a reprezentat nodul "n" și elementele discrete de cablu  $n-1, n, n+1$

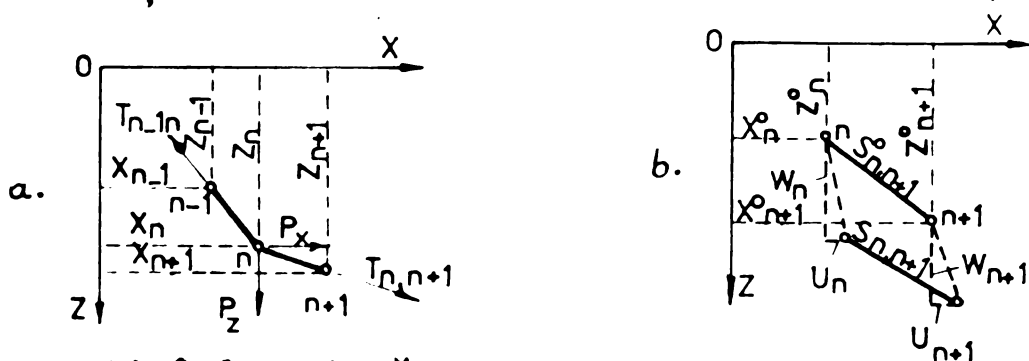


Fig. IV.3.a.b.

ținînd cont că:

$$\nabla_n \left[ T \frac{\Delta x}{S} \right] = -T_{n-1,n} \frac{\Delta x_{n-1,n}}{S_{n-1,n}} + T_{n,n+1} \frac{\Delta x_{n,n+1}}{S_{n,n+1}} \quad (4.6)$$

$$\nabla_n \left[ T \frac{\Delta z}{S} \right] = -T_{n-1,n} \frac{\Delta z_{n-1,n}}{S_{n-1,n}} + T_{n,n+1} \frac{\Delta z_{n,n+1}}{S_{n,n+1}} \quad (4.7.)$$

în care  $S$  sînt lungimile elementelor discrete de cablu considerate și făcînd aproximațiile  $\Delta x \approx S$  și  $H \approx T$  se ajunge la ecuațiile



de echilibru;

$$\nabla_n H + P_x = 0; \quad \nabla_n \left[ H \frac{\Delta Z}{\Delta X} \right] + P_z = 0 \quad (4.8)$$

Plecînd de la poziția elementului  $n, n + 1$  prezentată în fig. IV.3.b. vom putea scrie relația <sup>între</sup> efort și deplasări.

$$H = EF \left[ \frac{\Delta U}{\Delta X_0} + \frac{\Delta Z_0}{\Delta X_0} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta X_0} + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta W}{\Delta X_0} \right)^2 \right] \quad (4.9.)$$

în care  $\xi$  este scrisă funcție de deplasările  $u, w$ .

b. La cablul singular considerat în spațiu sub acțiunea unei încărcări oarecare pe baza unui raționament analog se ajunge la următoarele ecuații (16);

- pentru poziția de echilibru:

$$\nabla_n H + P_x = 0; \quad \nabla_n \left[ H \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right] + P_y = 0; \quad \nabla_n \left[ H \frac{\Delta Z}{\Delta X} \right] + P_z = 0 \quad (4.10)$$

și pentru efort:

$$H = EF \left[ \frac{\Delta U}{\Delta X} + \frac{\Delta Z_0}{\Delta X} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta X} + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta W}{\Delta X} \right)^2 + \frac{\Delta Y_0}{\Delta X} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta X} + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta V}{\Delta X} \right)^2 \right] \quad (4.11)$$

#### Forme particulare de încărcare a cablului singular.

Pentru o încărcare dată aceste ecuații au soluții concrete.

Precizăm că sub acțiunea greutateii proprii de intensitate  $q$  un cablu întins și suspendat între două reazeme ia forma unui arc de catenoidă (lănțisor) (17).

În general pentru simplificarea calculelor în condițiile unei precizii satisfăcătoare, în practică, curba funiculară a unui cablu întins și suspendat între două reazeme este considerată ca fiind un arc de parabolă.

Prin aceste greutăți cablului distribuită pe unitatea de lungime a cablului se consideră uniform distribuită pe coarda deschiderii.

Pentru diverse rezolvări practice trebuie să amintim că se poate folosi în calcul grinda dreaptă asociată arcului de curbă funiculară.

Pe baza acestora diverși autori printre care C. Drăgan (17) precum și de G. Akkermann (81) dau formule directe de calcul pentru cablul singular sub diverse ipoteze de încărcare.

Pentru calculul practic al cablului elastic cu reazeme fixe la același nivel se dau diverse relații de calcul. Pentru calculul componentei horizontale  $H$  a efortului în cablu sub încărcarea  $(q_0 + p)$  se poate folosi ecuația (28) (39).

$$H^3 + \left( \frac{EF D_0}{2l H_0^2} - H_0 \right) H^2 = \frac{EFD}{2l} \quad (4.12)$$

în care  $D = \int_0^l Q^2 dx$  - parametrul încărcării ( $q_0 + \rho$ ) pentru care calculăm efortul H

$H_0$  = efortul în cablu cu săgeata  $f_0$  ;

$D_0$  = parametrul încărcării  $q_0$  care acționează pe cablu.

$Q$  = forța tăietoare în grinda simplu rezemată asociată având aceeași deschidere și aceeași încărcare ca și cablul;

Pentru parametrul D sînt date valori corespunzătoare diferitelor încărcări (98) (39).

În ecuația anterioară s-a considerat simplificat alungirea coardei și nu a cablului.

Pentru calculul cu luarea în considerare a alungirii întregului cablu Matelinschi (98) dă următoarea ecuație;

$$H^3 + \frac{8EF}{3\left(\frac{f}{L}\right)^2 \left(\frac{L}{L}\right)^3} H^2 = \frac{EFD}{2L\left(\frac{L}{L}\right)^3} \quad (4.13)$$

Pentru calculul cablului cu reazemeni nivelate cu considerarea deplasării reazemelor și variația de temperatură se indică ecuația (98) (39).

$$H^3 \left[ \frac{EFD_0 \cos^5 \varphi}{2LH_0^2} - H_0 + \frac{(\delta + \alpha tL - \frac{W^2}{L}) \cos \varphi + v \sin \varphi \cos^2 \varphi}{L} EF \right] H^2 = \frac{EFD}{2L} \cos^5 \varphi \quad (4.14)$$

în care  $V$ ,  $\delta$ ,  $W$ , - deplasările reazemului cablului pe verticală, orizontală în lungul cablului și perpendicular pe planul lui.

$\alpha$  - coeficientul de dilatație termică,

$\varphi$  - unghiul de înclinare față de orizontală al cablului. Cunoșcînd valoarea efortului H se poate calcula săgeata.

Nu putem încheia aceste succinte considerații privind calculul cablului singular sub diferite încărcări fără a aminti pretensionarea cablului singular.

Pretensionarea are loc cînd lungimea cablului fixat în cele 2 puncte de reazeme este mai mică decît lungimea sa inițială  $l$ . În acest caz cablul este încărcat cu un efort inițial  $N$ . Pentru calcul sub acțiunea unei încărcări verticale oarecare se poate folosi ecuația (98) (76);

$$H^3 - NH^2 = \frac{EFD}{2L} \quad (4.15)$$

#### 4.3.2. Rețele de cabluri.

Ne vom referi în mod special la rețelele formate din două familii de cabluri care se intersectează dispuse în suprafețe avînd curbura totală negativă.

La rețelele ortogonale cele două familii de cabluri se găsesc în planuri verticale care se intersectează sub un unghi drept. Proiecția în plan a rețelelor ortogonale formează ochiuri patrulate sau dreptunghiulare. În cazul când cele două familii de cabluri se găsesc în planuri verticale care se intersectează sub un unghi oarecare vorbim de rețele oblice.

Aceste rețele pentru a fi folosite în structura acoperișurilor pe cabluri trebuie stabilizate, indiferent dacă această stabilizare se face prin introducerea unor forțe inițiale de întindere în cabluri, prin punerea sub tensiune a cablurilor stabilizatoare, la acoperișul de tip ușor, sau prin crearea efectului de pretensionare printr-o învelitoare de tip greu, la acoperișurile suspendate grele.

Făcem precizarea că nu ne vom ocupa de acoperișurile suspendate cu învelitoare monolitizată lucrând ca o pânză de beton, pe care autorul prezentei lucrări consideră că nu sînt de fapt acoperișuri suspendate pe cabluri propriuzise.

Calculul rețelelor de cabluri se poate face adesea simplificat prin considerarea unui cablu înlocuitor singular din fiecare familie de cabluri care se calculează ca atare (31).

De regulă însă se consideră rețeaua ca atare ca schemă de calcul folosind de asemenea cele două posibilități de abordare a sistemului de cabluri ca sistem discret de "n" noduri în care converg elementele rețelei și ca sistem continuu.

Problemele de calcul care se pun sînt determinarea poziției inițiale de echilibru sub sarcini inițiale și determinarea deplasărilor sistemului și a eforturilor respective sub acțiunea încărcărilor exterioare.

În cele ce urmează ne vom ocupa în mod special de rețelele ortogonale avînd în vedere mai larg a lor răspîndire în aplicațiile practice făcînd totodată și o succintă trecere în revistă privind calculul rețelelor oblice.

#### 4.3.2.1. Ecuațiile și relațiile caracteristice ale rețelelor ortogonale de cabluri în calculul ca sistem discret și continuu.

##### Considerarea ca sistem discret.

Considerăm un nod "a" dintr-o rețea ortogonală sub acțiunea unei forțe verticale  $P_z$  aplicate în nod (16) în conformitate cu notațiile din fig. IV.4.

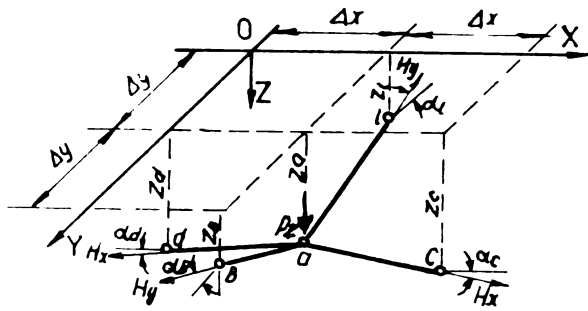


Fig.IV.4.

Cordonatele punctului "a" corespund situației deplasate a rețelei de cabluri.

Se ajunge la ecuația (16) de echilibru în nod:

$$H_x (\Delta_x^2 z) + H_y (\Delta_y^2 z) + P_z = 0 \quad (4.16)$$

în care:

$$\Delta_x^2 z = \frac{z_d - 2z_a + z_c}{\Delta x} ; \quad \Delta_y^2 z = \frac{z_b - 2z_a + z_e}{\Delta y} \quad (4.17)$$

Relațiile de legătură între efort și deplasări sînt următoarele:

$$H_x = \frac{EF_x}{L_x} \left[ \Delta^* u + \sum_1^m \frac{\Delta z_0}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta x} \Delta x + \frac{1}{2} \sum_1^m \left( \frac{\Delta W}{\Delta x} \right)^2 \Delta x \right] \quad (4.18)$$

$$H_y = \frac{EF_y}{L_y} \left[ \Delta^* v + \sum_1^m \frac{\Delta z_0}{\Delta y} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta y} \Delta y + \frac{1}{2} \sum_1^m \left( \frac{\Delta W}{\Delta y} \right)^2 \Delta y \right] \quad (4.19)$$

În cazul existenței forței de pretensionare aceste relații

iau forma:

$$H_x = H_{0x} + \frac{EF_x}{L_x} \left[ \Delta^* u + \sum_1^m \frac{\Delta z_0}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta x} \Delta x + \frac{1}{2} \sum_1^m \left( \frac{\Delta W}{\Delta x} \right)^2 \Delta x \right] \quad (4.20)$$

$$H_y = H_{0y} + \frac{EF_y}{L_y} \left[ \Delta^* v + \sum_1^m \frac{\Delta z_0}{\Delta y} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta y} \Delta y + \frac{1}{2} \sum_1^m \left( \frac{\Delta W}{\Delta y} \right)^2 \Delta y \right] \quad (4.21)$$

în care:

$H_{0x}$  = componenta orizontală a efortului de pretensionare în cablul paralel cu ax X

$H_{0y}$  = efortul de pretensionare în cablul paralel cu axa Y

#### b. Considerarea ca sistem continuu.

Schleyer pleacă de la elementul (fig.IV.5.) cu dimensiuni  $d_x$  și  $d_y$  de rețea, considerat ca un element continuu, definit prin vectorii de poziție pentru starea inițială.

$$r = x e_x + y e_y + z(x, y) e_z \quad (4.22)$$

$$r = \{ x, y, z(x, y) \} \quad (4.23)$$

și respectiv pentru poziția deformată.

$$\bar{r} = r + \bar{w} \quad (4.24)$$

$$\bar{w} = \{ u(x, y), v(x, y), w(x, y) \} \quad (4.25)$$

In ca: este univoc și cel puțin de două ori diferen-  
țiabil.

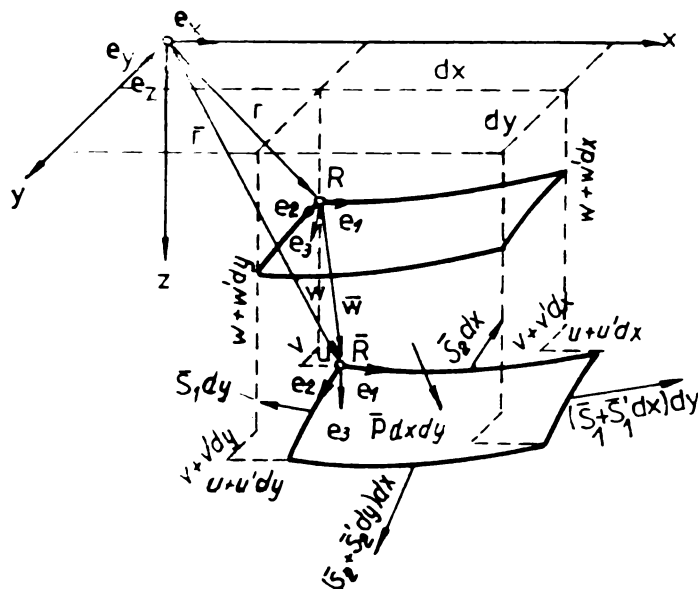


Fig.IV.5.

In final considerînd:

$$H_x = \bar{S}_1 E_x \quad (4.26)$$

$$H_y = \bar{S}_2 E_y$$

Se june la ecuațiile care dau condiția de echilibru.

$$H_x' + (H_y U')' + p_x = 0;$$

$$(H_x V')' + H_y' + p_y = 0; \quad (4.27)$$

$$\left[ H_x (z' + W') \right]' + \left[ H_y (z' + W') \right]' + p_z = 0$$

în care  $u, v, w$  sînt componentele deplasării punctului R după cele trei axe de coordonate.

Pentru determinarea celor 5 necunoscute,  $H_x, H_y, U, V, W$  Schleyer consideră suplimentar ecuațiile care stabilesc relația între componentele orizontale ale eforturilor și deformații respectiv deplasări.

In cazurile concrete metoda prezentată de Schleyer poate fi folosită în cadrul unor rezolvări aproximative cu impunerea următoarelor restricții (22);

- considerarea numai a unor suprafețe simple de rețele de cabluri;
- cablurile ambelor familii au o singură secțiune și un singur pas;
- conturul ales este o formă regulată de exemplu: dreptunghi sau elipsă;
- încărcările orizontale  $p_x$  și  $p_y$  lipsesc
- se exclud deplasările reazemelor;
- la încărcări verticale nu se consideră componentele orizontale ale deplasărilor;
- restricții în ceea ce privește ipotezele de încărcare.

#### 4.3.2.2. Aspecte privind determinarea poziției inițiale la rețelele ortogonale.

Pe lângă aspectele prezentate anterior privind calculul o serie de autori abordează pentru diverse cazuri concrete sau generale modul de determinare a poziției inițiale folosind atât modelul discret cât și continuu de tratare a rețelei de cabluri.

Dean și Ugarte (15) plecând de la rețeaua ortogonală cu cablurile paralele respectiv cu cele 2 axe de coordonate  $O x$  și  $O y$  încărcate cu sarcini verticale paralele, cu axa  $Z$  care acționează concomitent cu forțele de pretensionare dă ecuația de echilibru în poziția inițială.

$$H_x(y) \nabla_x \left[ \frac{1}{l_x(x)} \Delta x W(x, y) \right] + H_y(x) \nabla_y \left[ \frac{1}{l_y(y)} \Delta y W(x, y) \right] = -g(x, y) \quad (4.28)$$

în nodurile rețelei;

în această ecuație;

$H_x$  și  $H_y$  - componentele orizontale ale efortului inițial în cablu pe unitatea de lungime,  $T$  și  $T_y$  (respectiv în direcția cablurilor paralele cu axa  $x$  și respectiv  $y$ ).

$l_x, l_y$  - lungimea proiecției în planul  $x o y$  a ochiului rețelei;

$g(x, y)$  - sarcina verticală distribuită;

$W(x, y)$  - deplasările nodurilor în direcția axei  $Z$ ;

$\Delta, \nabla$  - operatori diferențiali.

Pentru sisteme regulate geometrice această ecuație ia forma

$$(15) (9): \left[ \frac{H_x(y)}{l_x} \Delta_x + \frac{H_y(x)}{l_y} \Delta_y \right] W(x, y) = g(x, y) \quad (4.29)$$

în care operatorii au următoarea semnificație:

$$\Delta_x W(x, y) = W(x+1, y) - 2W(x, y) + W(x-1, y) \quad (4.30)$$

$$\Delta_y W(x, y) = W(x, y+1) - 2W(x, y) + W(x, y-1)$$

Deoarece  $H_x$  și  $H_y$  ca valori inițiale determinate ca forțe de pretensionare a sistemului sînt cunoscute pentru un caz practic ales se poate obține forma inițială a rețelei corespunzătoare acestor valori.

Pentru soluționarea ecuației poate fi folosită tehnica de calcul "Walking through technique" descrisă de Avent (3).

În general la soluționarea ec. se impun condiții de margine legate de sistemul concret analizat.

Forma inițială a unor rețele a fost analizată și de Scalzi, Podolny și Teng (86).

Abordarea calculului poziției inițiale plecând de la un sistem continuu pentru reprezentarea rețelei de cabluri este tratat de o serie de autori ca: Schleyer (22).

Siev și Eidelman (90), Eras G. și Elze H. (19) Mollmann (65)

Ceea ce trebuie scos în evidență este faptul că la rețelele de cabluri cu curbura Gauss pozitivă nu e posibil de introdus o forță de pretensionare inițială prin punerea sub tensiune a uneia din familiile de cabluri (22).

#### 4.3.2.3. Aspecte privind calculul deplasărilor sub acțiunea încărcărilor exterioare la rețelele ortogonale.

Pe lângă aspectele prezentate anterior, o serie de autori abordează pentru diverse cazuri concrete sau generale modul de determinare a deplasărilor la rețelele ortogonale.

Pozițiile deplasate și forțele în cabluri pentru o rețea ortogonală supusă la încărcări generate, schimbări de temperatură și deplasări de rezeme poate fi determinată utilizând reprezentarea discretă sau continuă.

În cadrul reprezentării discrete menționăm studiile lui Siev și Eidelmann (90) care tratează rețeaua ca un sistem de "n" noduri obținând un sistem de "3 n" ecuații neliniare algebrice având ca necunoscute deplasările nodurilor. Soluționarea sistemului de ecuații se face în două faze. În prima fază se consideră comportarea liniară a sistemului obținându-se soluțiile sistemului.

Aceste soluții li se aduc corecții calculând printr-un proces iterativ în care se utilizează ipotezele teoriei liniare (9) pentru încărcări infinite simale.

Mollmann și L. Mortensen (64) soluționează aceste ecuații pentru deplasări mici ale rețelei.

În abordarea continuă Schleyer (22) ajunge la un set de ecuații intergo-diferențiale rezolvabile în general practic numai pentru forme particulare de rețea.

Pentru rezolvare se folosesc în general tehnici numerice de calcul.

Aceste ecuații se pot transforma în ecuații cu diferențe finite.

Shore și Bathish (89) utilizează proprietățile seriilor duble

Fourier pentru transformarea acestor sisteme de ecuații într-un set de ecuații algebrice neliniare.

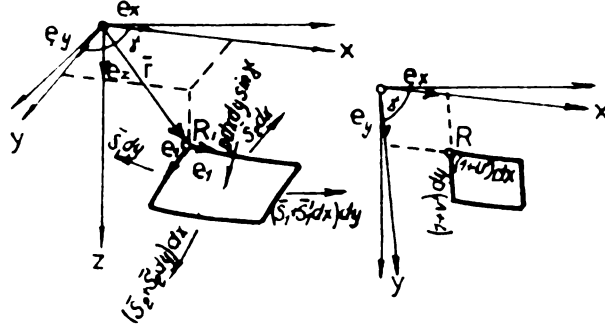
#### 4.3.2.4. Aspecte privind calculul rețelelor oblice.

Fără să ne propunem o analiză a calculului acestor rețele trebuie subliniat faptul că în general calculul este similar cu cel al rețelelor ortogonale.

Structura reală este reprezentată de asemenea fie printr-un model discret fie continuu.

Forma inițială a rețelelor oblice supuse la sarcini verticale și eforturi de pretensionare a fost soluționată de Mollmann (64) și Siev (92). Se obține un sistem de "3 n" ecuații pentru valori particulare ale tensiunilor de pretensionare inițiale și pentru condiții de margine concrete. Calculul deplasărilor și eforturilor se soluționează de asemenea printr-o abordare discretă.

În ceea ce privește calculul prin abordarea continuă menționăm lucrările lui Schleyer (22) care face un calcul similar cu cel al rețelelor ortogonale considerând un sistem de axe de referințe convenabile, în conformitate cu fig. IV.6.



#### 4.3.3. Structuri pretensionate cu cabluri dispuse în două suprafețe distincte.

Problemele de calcul care se pun sînt similare cu cele prezentate pentru celelalte tipuri de acoperișuri.

Aceste structuri se reduc în general la calculul unei structuri plane - ferme pe cabluri de diverse tipuri.

Problema de calcul privind poziția inițială sau determinarea deplasărilor și eforturilor sub diversele sarcini pentru astfel de structuri a fost studiată de Jawerth (37) Schleyer (22) Howard (31) Scalzi și Teng (86), Krishna și Sparkes (45) Strelețki N.S. (98), Dmitriev și Kasilov (16).

La structurile spațiale alcătuite din sisteme plane de ferme dispuse paralel sau radial reducerea calculului la sistemul plan presupune determinarea încărcării aferente elementului plan, funcție de structura și forma acoperișului.

În calculul sistemelor plane de ferme considerăm deosebit de valoroasă metoda de calcul elaborată de S. Hagiescu (29).

Această metodă stă la baza calculului precizat de instrucțiunile tehnice P110 - 81.



#### 4.3.4. Sisteme combinate de acoperișuri suspendate pe cabluri.

Sistemele de acoperișuri suspendate pe cabluri în care structurile de cabluri sînt asociate cu elemente rigide diverse formînd o structură unitară, cunoscute sub denumirea de sisteme combinate, nu se pretează la o metodă generală de calcul. Fiecare sistem în parte formează de obicei un sistem static unicat care trebuie abordat ca atare pe baza metodelor de calcul specifice staticii construcțiilor.

#### 4.4. Aspecte privind calculul dinamic al structurilor de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate.

Principalul dezavantaj al acoperișurilor suspendate pe cabluri este instabilitatea relativă la acțiunea sarcinilor variabile în timp în mod special sub acțiunea vîntului.

Referindu-ne la sistemele suspendate pe cabluri în general comportarea dinamică a fost studiată în mod special la sistemele de poduri suspendate. La acoperișurile suspendate pe cabluri avem puține informații în ceea ce privește comportarea lor sub sarcini dinamice. La noi în țară normativul P110-91 tratează calculul dinamic al fermelor pe cabluri. Tratări interesante ale acestor probleme le găsim și la Sofronie (95) la Schleyer (22) la Dmitriev (16) la A.P. Rjanițîn (77) la L.F. Lileev și E.N. Seleznova (48). Un calcul dinamic este complex și dificil.

Calculul dinamic impune atît studierea vibrației libere a sistemului de cabluri în vederea determinării formelor sale proprii de vibrație și a frecvențelor ce corespund acestor forme cît și studierea comportării sub acțiunea sarcinilor dinamice care impun sistemului de cabluri oscilații forțate în vederea determinării eforturilor și deplasărilor.

##### 4.4.1. Cablul singular.

Mollmann H. (65) și Pugsley (75) sînt dintre autori care au studiat problema răspunsului dinamic al cablului izolat. Referindu-ne la cablul singular putem aminti fenomenul de galopare întîlnit frecvent la liniile electrice cînd acestea în anumite condiții încep să oscileze cu amplitudini mari și frecvențe joase.

Fenomenul de galopare se produce la viteze de vînt sensibil mai mici decît valorile maxime înregistrate în zonele respective. Mc Daniels a determinat ecuațiile care descriu acest fenomen (25) (60).

Pentru un cablu întins, fără amortizare, perfect flexibil de lungime  $L$  avînd masă -  $m$  - uniform distribuită în proiecție orizontală, frecvența proprie  $\omega_n$  de vibrație în modul "n" este dată de expresia (9).

$$\omega_n = \frac{n\pi}{L} \sqrt{\frac{H}{m}} \quad (4.31)$$

în care  $g$  = accelerația gravitațională;  $H$  - întinderea în cablu numai sub acțiunea încărcării permanente  $q$ ;  $m = \frac{q}{g}$ ;  $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$

Ecuatia este valabilă numai pentru cablul întins.

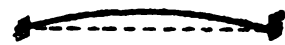
Considerînd săgeata  $f$  a cablului vom putea scrie:

$$\omega_n = n\pi \sqrt{\frac{g}{8f}} \quad (4.32)$$

Formele modului fundamental de vibrație al cablului cu o variație sinusoidală iar pentru modurile de vibrație  $n = 1, 2, 3$  au forma din fig. IV.7. Comportarea cablului neamortizat și amortizat sub acțiunea unei forțe perturbatorii exterioare cu caracter pulsatoriu este redată (9) în fig. IV.8.



Cablu în poziție statică



Modul de vibrație  $n=1$



Modul de vibrație  $n=2$



Modul de vibrație  $n=3$

Fig. IV.7.

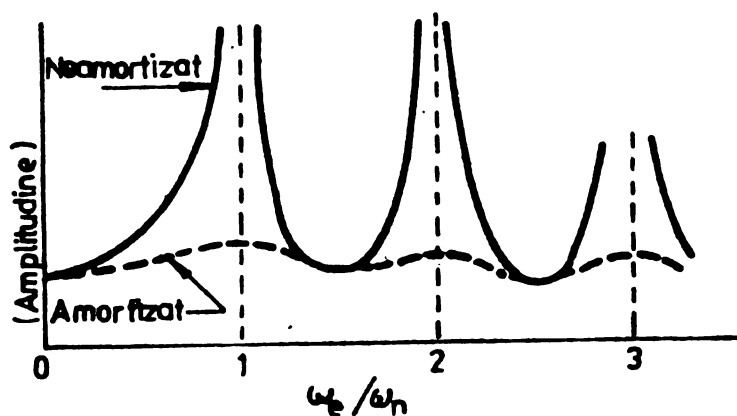


Fig. IV.8.

Considerînd frecvența  $\omega_e$  a forței exterioare perturbatoare cu caracter pulsatoriu, la rezonanță cînd  $\frac{\omega_e}{\omega_n} = 1, 2, 3, \text{ etc.}$  amplitudinile cresc teoretic la infinit.

Cablurile în mișcare posedă amortizări proprii (frecări între sîrme, etc) astfel că practic amplitudinile vibrațiilor la rezonanță nu sînt atît de mari niciodată. Cu toate acestea fără măsuri

speciale de amortizare caracterul acestor vibrații este adesea distructiv (9).

Deci ar fi necesar pentru evitarea rezonanței să se asigure prin proiectare ca frecvența oscilației  $\omega_p$  să nu aibă valori în apropierea frecvențelor proprii  $\omega_n$ .

Acest lucru este practic greu sau imposibil chiar de realizat, întrucât ar trebui să avem date referitoare la acțiunea dinamică a vîntului, care să ne permită să cunoaștem această frecvență care trebuie evitată.

În practică, măsurile de amortizare ce se iau, trebuie să ducă la încadrarea amplitudinii și frecvențelor vibrațiilor la valori acceptabile pentru o exploatare normală a construcției.

Tipurile de acoperișuri pe cabluri avînd la baza structurii cablul singular, se pot stabiliza prin lestare prin care se sporește greutatea acoperișului. Rigiditatea sistemului în acest caz crește prin mărirea efortului în cablu, datorat măririi sarcinii permanente care acționează pe el.

În felul acesta amplitudinea vibrațiilor proprii ale cablurilor din structură descrește.

În proiectare se pune problema asigurării unei amortizări corespunzătoare a cablurilor structurii în așa fel încît răspunsul său la sarcini dinamice să ducă la revenirea sa în poziție inițială de echilibru fără oscilații cu amplitudini exagerate sau prelungite (9) (25).

#### 4.4.2. Rețele de cabluri cu dublă curbura

Problemele legate de calculul frecvențelor proprii ale rețelelor cu dubla curbura au fost studiate de diferiți autori. Dintre aceștia menționăm pe Schleyer (22), Simicyn, Jawerth și Schultz.

Trebuie arătat faptul că în cazul acoperișurilor suspendate rezolvate ca rețele de cabluri cu dublă curbura frecvența rețelei nu corespunde cu cea a subsistemelor componente (9).

Amortizarea oscilațiilor la rețele se realizează printr-o alegere corespunzătoare a configurației sistemului și printr-o pretenționare rațională a acestuia care să ducă la o rigiditate suficientă în exploatare.

După cum am mai arătat problema calculului frecvențelor din vînt și a stabilirii limitelor pentru frecvențele proprii nu poate

fi pe deplin lămurită datorită absenței unor măsurători meteorologice concludente(22).

In legătură însă cu diferite condiții concrete pot să fie determinate diferite forme de vibrație.

In lucrarea sa (22) Schleyer expune o metodă pentru calculul frecvențelor proprii ale rețelelor de cabluri cu dublă curbura avînd curbura totală negativă

De asemenea Schleyer indică formule aproximative de calcul a frecvențelor proprii pentru o rețea simetrică în plan dreptunghiular de dimensiuni  $l_x, l_y$ .

Considerînd suprafața inițială a rețelei definită de

$$\bar{z} \approx z = -\frac{K_x}{2}x^2 + \frac{K_y}{2}y^2 \quad (4.33)$$

ajunge la formula:

$$\omega_{ss}^2 = \frac{\pi^2}{\mu} \left( \frac{H_x}{l_x^2} + \frac{H_y}{l_y^2} + \frac{K_x^2 E_x F_x}{\pi^2 l_x} \right) \quad (4.34)$$

pentru vibrații simetrice și respectiv la formula:

$$\omega_{aa}^2 = \frac{42}{\mu} \cdot \frac{\frac{H_x}{l_x^2} \cdot (4 + K_y^2 l_y^2) + \frac{H_y}{l_y^2} (4 + K_x^2 l_x^2)}{4 + K_x^2 l_x^2 + K_y^2 l_y^2} \quad (4.35)$$

pentru vibrații antisimetrice.

In ceea ce privește posibilitatea ca într-o direcție să avem o oscilație simetrică iar în cealaltă antisimetrică Schleyer dă următoarea formulă aproximativă de calcul;

$$\omega_{aa}^2 = \frac{2,67}{\mu} \left( \frac{H_x}{l_x^2} \cdot \frac{63 + K_y^2 l_y^2}{4 + K_x^2 l_x^2} + 3,75 \frac{H_y}{l_y^2} \right) \quad (4.36)$$

4.4.3. Structuri pretensionate cu cablurile dispuse în suprafețe distincte.

La aceste acoperișuri pretensionarea sistemului de bază cablu portant - cablu stabilizator constituie unul din sistemele cele mai raționale de amortizare a vibrațiilor pînzei de cabluri.

Indicații privind proiectarea practică le găsim la Zetlin (108) (109) (107).

Similar cu procedeul folosit la rețelele de cabluri Schleyer (22) dă pentru fermele pe cabluri formule aproximative de calcul pentru frecvențele proprii.

La noi în țară instrucțiunile Pllo-81 fac precizări privind calculul dinamic al fermelor pe cabluri.

4.4.4. Calculul dinamic prezentat de Dmitriev(16).

Dmitriev ia în considerare aspecte legate de calculul dinamic pentru sisteme cu deformare liniară și neliniară.

Sistemul de cabluri este considerat ca sistem discret de bare care converg în noduri, masele fiind concentrate în noduri.

Caracteristicile dinamice ale unui sistem de bare articulată cu deformație liniară cu "n" grade de libertate, este exprimată prin următorul sistem de ecuații.

$$m_i W_i^{(2)} = P_i + \sum_{j=1}^n r_{ij} W_j = 0 \quad (4.37)$$

în care  $m_i$  - masa concentrată în nodurile "i" ale sistemului

$W_i^{(1)}$  - deplasarea nodului "i"

$P_i$  - sarcină în nodul : "i"

$r_{ij}$  - coeficienții sistemului liniar de ecuații.

$W_i^{(2)}$  - a doua derivată în raport cu "t" a deplasării în

nodul "i".

Dmitriev dă și rezolvarea acestui sistem pentru diferite condiții inițiale.

Considerând aceeași configurație a sistemului de cabluri de bare articulate în noduri dar cu deformații neliniare Dmitriev dă ecuațiile care descriu oscilațiile acestor sisteme.

Pentru un sistem cu un singur grad de libertate oscilațiile libere sînt date de ecuația:

$$fWH + (mW^{(2)} - P) = 0 \quad (4.38)$$

$$H = H_0 + 2AW + AW^2 \quad (4.39)$$

unde  $f, A$  - coeficienții care caracterizează rigiditatea și geometria sistemului.

Pentru sistemele suspendate pe cabluri cu mai multe grade de libertate vibrațiile libere sînt date de ecuațiile:

$$\nabla_{\kappa} \left[ H \frac{\Delta z}{l} \right]_i + (P - mW^{(2)})_{\kappa} = 0 \quad (4.40)$$

$$H_i = H_0 + \frac{EF}{L_i} \left[ \sum \frac{\Delta z_0 \Delta W}{l} + \frac{1}{2} \sum \frac{\Delta W^2}{l} \right]_i \quad (4.41)$$

Dmitriev dă modul de rezolvare a acestor sisteme de ecuații pentru cazuri concrete de sisteme.

4.5. Calculul rețelelor de cabluri pretensionate, formate din două familii de cabluri de tip paraboloid hiperbolic din alcătuirea acoperișurilor suspendate.

#### 4.5.1. Probleme generale.

Acoperișurile pe cabluri realizate din două familii de cabluri formînd o rețea pretensionată sub formă de paraboloid hiperbolic sînt mult folosite pe plan mondial în practica construcțiilor din ultimii 25-30 ani.

Aceaste explică și interesul manifestat de mulți specialiști în ceea ce privește calculul unor astfel de sisteme, printre care putem menționa: Kaciurin V.K. (39), Pirner M. (70), Schleyer (22), Mollmann H. (64), Streletski S. (98), F. Leonhardt (47), H.K. Bandel (5), M. Majowiecki (52) (53).

Problemele care se pun în calcul sînt în general aceleași ca la celelalte sisteme de cabluri din componența acoperișurilor suspendate și anume stabilirea formei inițiale de echilibru sub încărcările inițiale și determinarea deplasărilor și eforturilor în elementele structurii sub acțiunea diverselor încărcări exterioare.

Ca schemă de calcul se pot folosi cele două posibilități de abordate a sistemului de cabluri ca sistem discret și ca sistem continuu.

Avînd de a face de fapt cu o rețea de cabluri pretensionată problemele generale de calcul sînt cele prezentate la calculul rețelelor de cabluri în paragrafele anterioare și de aceea nu vom mai insista asupra lor.

Pentru rețelele de tip paraboloid hiperbolic, pornind de la ecuațiile generale de calcul se ajunge la soluții particulare caracteristice acestor tipuri de acoperișuri.

Rețelele sînt formate din două familii de cabluri. Familia de cabluri portanțe avînd rol în principal să suporte sarcinile care generează presiuni pe suprafața acoperișului și familia de cabluri stabilizatoare sau întinzătoare care realizează pretensionarea sistemului de cabluri din rețea și suportă în principal sarcinile care generează suționi pe suprafața acoperișului.

După modul de dispunere a cablurilor în cele două rețele putem avea acoperișuri suspendate de tip paraboloid hiperbolic cu rețele de cabluri ortogonale sau oblice.

În general problemele calculului la rețelele de tip paraboloid hiperbolic tratează toate aceste aspecte particulare privind modul de alcătuire al rețelei precum și aspectele legate de caracterul rigid sau flexibil al elementului marginal de reazem.

În cele ce urmează am selectat cîteva soluții interesante de rezolvare a calculului rețelelor de tip paraboloid hiperbolic prezentate de literatură de specialitate.

#### 4.5.2. Calculul prezentat de Streletski N.S.

Streletski (98) indică o metodă aproximativă de calcul con -

siderînd o rețea de tip paraboloid hiperbolic care are parametrii cablurilor  $l^2: f = \text{constatnt}$ . Rețeaua se înlocuiește pentru calcul cu un sistem fictiv cu două centuri, care are în calitate de cablu portant cablul portant principal din rețea din planul XoZ, iar în calitate de cablu de stabilizare un cablu fictiv paralel cu cel portant, care înlocuiește lucrul tuturor cablurilor de stabilizare asupra celui portant

Secțiunea cablurilor portante se poate determina din condiția ieșirii din lucru a cablului stabilizator.

În calcul se iau în considerare deformațiile elastice ale elementelor, dar nu se iau în considerare variațiile săgeții cablurilor, deci nu se ia în considerare schimbarea schemei de calcul lucrîndu-se pe schema nedeformată.

Calculul se conduce în continuare considerînd relația:

$$\Delta H_0 = \alpha \Delta H_H \quad (4.42)$$

unde  $\Delta H_0$  variația componentei orizontale a efortului în cablu stabilizator.

$\Delta H_H$  - variația componentei orizontale a efortului în cablu portant.

$\alpha$  - coeficient de proporționalitate avînd expresia:

$$\alpha = \frac{\mu_H^2 l_H^2}{\mu_0^2 l_0^2} \cdot \frac{f_0}{f_H} = \frac{E_0 f_0}{E_H f_H} \quad (4.43)$$

unde:

$l_H$  - deschiderea cablului portant principal.

$l_0$  - deschiderea cablului stabilizator principal.

Micșorarea efortului cablului de stabilizare - cu valoare  $\Delta H_0$  - este provocată de modificarea forțelor de acțiune reciprocă a cablurilor  $\Delta q$  la încărcarea sistemului.

$$\Delta q = \rho \frac{\alpha f_0}{\alpha f_0 + \frac{l_0^2}{l_H^2} f_H} \quad (4.44)$$

Efortul de calcul în cablu portant va fi;

$$H_H = \frac{l_H^2}{8f_H} \left[ q + q_0 + \rho \left( 1 - \frac{\alpha f_0}{\alpha f_0 + \frac{l_0^2}{l_H^2} f_H} \right) \right] \quad (4.45)$$

Efortul maxim în cablu stabilizator pentru sucțiunea medie a vîntului  $\rho_w$  se calculează cu formula;

$$H_0 = \frac{l_0^2}{8f_0} \left[ q_0 + \rho_w \left( 1 - \frac{f_H}{f_H + \alpha f_0 \frac{l_H^2}{l_0^2}} \right) \right] \quad (4.46)$$

Această metodă dă rezultate acceptabile pentru valoarea eforturilor de întindere în cabluri, dar pentru determinarea deplasărilor rezultatele sînt mai puțin exacte.

#### 4.5.3. Calculul prezentat de Schleyer.

Vom prezenta calculul aproximativ necesar pentru predimensionare în metoda Schleyer.

Schleyer expune o metodă de calcul aproximativă pentru eforturile din cele două familii de cabluri ale rețelei și pentru săgeata medie  $w$ .

Se pleacă de la funcția  $z = f(x, y)$  și se scrie ecuația suprafeței geometrice a rețelei în starea inițială.

$$z = -\frac{K_x}{2} x^2 + \frac{K_y}{2} y^2 \quad (4.47)$$

$$z' = \frac{dz}{dx}; \quad z'' = \frac{d^2z}{dx^2} \quad (4.48)$$

$$(4.49)$$

$$\text{în care: } z'' = -K_x; \quad z'' = K_y \quad (4.50)$$

$$\frac{K_y}{K_x} = \rho$$

Se consideră rețeaua încărcată numai cu încărcarea verticală  $p_z$  uniform repartizată pe întreg acoperișul. Coeficientul de repartizare a încărcării  $p_z$  la cele două familii de cabluri portante și întinzătoare se determină cu relațiile:

$$\alpha_x = \frac{1}{1 + f\rho^2}; \quad \alpha_y = \frac{f\rho^2}{1 + f\rho^2} = 1 - \alpha_x \quad (4.51)$$

în care  $f$  - coeficient de rigiditate avînd expresia:

$$\frac{E_y F_y}{E_x F_x} = f \quad (4.52)$$

$E_x, E_y$  - modulul de elasticitate a cablurilor.

$$F_x = \frac{A_x}{l_x} \left[ \text{cm}^2/\text{m} \right] \quad \text{secțiunea cablurilor pe unitatea de lungime.}$$

$$F_y = \frac{A_y}{l_y} \left[ \text{cm}^2/\text{m} \right] \quad \text{secțiunea cablurilor pe unitatea de lungime.}$$

Cu coeficienții  $\alpha_x$  și  $\alpha_y$  se poate calcula componenta orizontală a eforturilor de întindere.

$$P_{zHxp} \approx \alpha_x \frac{p_z}{K_x}; \quad P_{zHyp} \approx -\alpha_y \frac{p_z}{K_y} = -f\rho^2 P_{zHxp} \quad (4.53)$$

Calculul aproximativ al săgeții medii se face în formula;

$$P_z W_m = \frac{\Delta x}{K_x^2 E_x F_x} - \alpha_x p_z \quad (4.54)$$

Săgeata maximă este aproximativ dată de relația;

$$P_z W_0 \approx (1.1 - 1.25) W_m \quad (4.55)$$

în aceste relații  $\Delta$  coeficient calculat cu tabelca funcție de

$$\bar{f} = K_x \cdot x$$

Eforturile din variația de temperatură.

$${}^t H_{xp} \approx -E_x F_x \epsilon \alpha_y \left(1 + \frac{1}{\rho}\right) \quad (4.56)$$

$${}^t H_{yp} \approx -E_y F_y \epsilon \alpha_x (1 + \rho) = \frac{1}{\rho} {}^t H_{xp}$$

Săgeata medie din variația de temperatură;

$${}^t W_m = \frac{\Delta x}{K_x} x (1 - f\rho)^t \epsilon \quad (4.57)$$

De menționat că pentru o rețea pretensionată avînd efor-



turile inițiale de întindere  $H_{x0}$  și  $H_{y0}$  vom avea pentru eforturi expresiile:

$$H_x = H_{x0} + H_{xp}$$

(4.58)

$$H_y = H_{y0} - H_{yp}$$

#### 4.5.4. Calculul prezentat de H. Mollmann și P. L. Mortensen.

Calculul se referă la o rețea de cabluri de tip paraboloid hiperbolic, considerată ca un sistem discret (64).

Metoda de calcul a fost concretizată pe un exemplu de calcul și verificată experimental prin încercări pe model. Când rețeaua de cabluri în starea inițială, este încărcată adițional cu sarcini exterioare, se ajunge la o nouă configurație de echilibru corespunzătoare stadiului final.

Poziția vectorului nodului J este:

- pentru poziția inițială  $r^j$
- pentru poziția finală  $r^j + w^j$

în care  $w^j$  este vectorul deplasărilor.

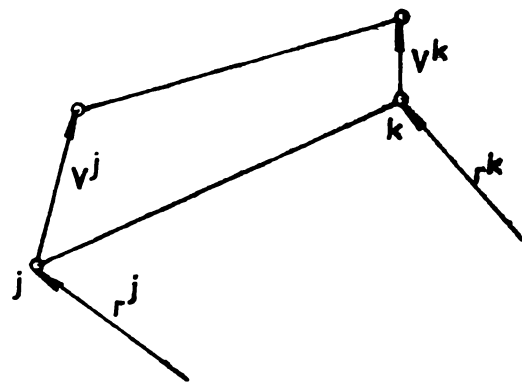


Fig. IV.9.

Considerăm elementul J K (Fig. IV.9)

Se face ipoteza că sarcinile

exterioare acționează numai în nodurile rețelei și punctele de contur.

Se scriu ecuațiile de echilibru pentru starea inițială și finală.

Se ajunge la un set de ecuații vectoriale care se transformă în

" 3 n " ecuații algebrice scalare neliniare, necunoscutele fiind cele

" 3 n " componente ale deplasărilor punctelor nodale.

După determinarea deplasărilor nodurilor se determină eforturile în cabluri.

Autorii propun două metode de rezolvare pentru sistemul de ecuații de condiție.

De asemenea s-a elaborat un program în limbaj ALGOL pentru această metodă de calcul.

#### 4.5.5. Calculul prezentat de M. Majowiecki.

Calculul se referă la o rețea de cabluri la acoperișul unei clădiri din Bari - Italia (52).

Suprafața în care au fost dispuse cablurile în stadiul de nul este apropiată de paraboloidul hiperbolic.

Majowiecki a determinat coordonatele nodurilor interioare și eforturile în sistem în stadiul de nul în așa fel încât să obțină o suprafață de echilibru cât mai apropiată de cea aleasă inițial.

Calculul sub acțiunea încărcărilor se face prin rezolvarea

unui sistem de "3n" ecuații de echilibru în funcție de deplasările nodurilor sub sarcini. Ecuația generală pentru nodul curent "K" este următoarea:

$$\sum_{Kj} \left\{ \left( \frac{\Delta X_{Kj,i}}{L_{Kj}} - \frac{\Delta^0 X_{Kj,i}}{L_{Kj}} \right) S_{Kj}^0 + \frac{\Delta X_{Kj,i}}{L_{Kj}} E_{Kj} A_{Kj} \left[ \frac{L_{Kj}}{L_{Kj}^0} - (1 + \alpha \Delta T_{Kj}) \right] \right\} \quad (4.59)$$

$$= - (P_{Kj}^0 + \Delta P_{Kj,i}) \quad \text{cu } i = x, y, z$$

în care:

- $\frac{\Delta X_{Kj,i}}{L_{Kj}}$  - cosinusii directorii ai elementelor "KJ", în poziția deplasată;
- $\frac{\Delta^0 X_{Kj,i}}{L_{Kj}}$  - cosinusii directorii ai elementului "KJ", în stadiul de nul;
- $E_{Kj}$  - modulul de elasticitate al elementului KJ;
- $A_{Kj}$  - aria secțiunii elementului KJ;
- $\Delta T_{Kj}$  - diferența de temperatură aferentă elementului;
- $\Delta P_{Kj,i}$  - sarcina în nodul K în direcția "i"
- $S_{Kj}^0$  - efortul în elementul KJ în stadiul de nul;

Necunoscutele sistemului sînt noile coordonate (X, Y, Z), K sau deplasările (u, v, w).

După rezolvarea prin iterație a acestui sistem de "3n" ecuații neliniare se obțin deplasările (u, v, w) ale nodurilor și pe baza acestor deplasări se obțin eforturile  $S_{Kj}$  în elementele  $kj$

#### 4.5.6. Metoda interactivă de calcul.

M. Majowiecki (53) a efectuat o serie de studii privitoare la proiectarea unor structuri spațiale ușoare cu ajutorul calculatorului electronic. Aceste studii se pot aplica cu succes la calculul rețelelor spațiale de cabluri din structura acoperișurilor suspendate și deci și la rețelele de tip paraboloid hiperbolic.

El a elaborat o metodă rapidă pentru satisfacerea condițiilor arhitecturale și statice a acestor structuri printr-un program de calcul pe care l-a denumit "interactiv".

Acest program permite cu ajutorul unui calculator echipat cu un sistem vizual (Display graphics system) să se stabilească o proiectare vizuală rapidă.

Odată forma geometrică determinată prin această metodă se poate trece la proiectarea de detaliu a structurii.

#### 4.5.7. Calculul prezentat de H.K. Bandel.

H.K. Bandel consideră o rețea de cabluri dispusă sub formă

de parabolă hiperbolic raportată la un sistem OXYZ de axe rectangulare (5). Considerăm proiecția rețelei în planul XOY conform fig. IV.1 și un nod  $i, k$  din rețea izolat conform fig. IV.11.

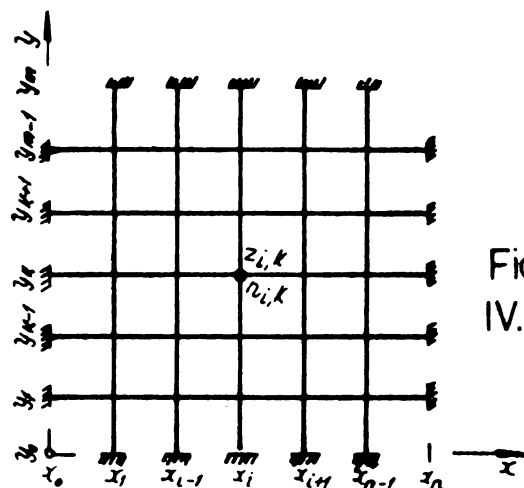


Fig. IV.10

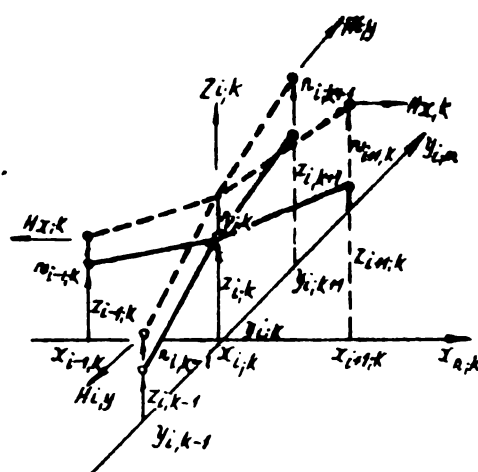


Fig. IV.11

Plecînd de la ecuația de echilibru a nodului  $i, k$ , sub acțiunea forțelor exterioare  $Z_{i,k}$  (se consideră numai acțiunea forțelor verticale) se ajunge la ecuația generală avînd ca necunoscute deplasările verticale  $w_{i,k}$ . Bandel dă deasemenea expresia de calcul pentru componentele orizontale ale eforturilor în cablu  $H_{x,k}$  și  $H_{i,y}$ . Pentru determinarea valorilor deplasărilor  $w$  și a eforturilor  $H$  se dau valori  $H$  aproximative, cu ajutorul cărora se determină din sistemul inițial de deplasări  $w$ . Cu aceste valori  $w$  se obține o nouă serie de valori pentru eforturile  $H$ . Urmează un proces iterativ, cu interpolare liniară, pînă la coincidența valorilor  $H$ , sau pînă ce diferența între 2 valori succesive obținute este mai mică, decît o valoare impusă, în funcție de gradul de precizie urmărit.

#### 4.6. Verificarea siguranței structurilor de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate.

##### 4.6.1. Probleme studiate.

Calculul elementelor structurilor de cabluri în vederea verificării siguranței și obținerii unei asigurări raționale, implică o analiză aprofundată a acțiunilor și a grupărilor lor, a caracteristicilor de rezistență și rigiditate a materialelor componente, în vederea unei dimensionări corecte.

Deoarece în R.S.R. instrucțiunile tehnice privind fermele pe cabluri Illo-81 folosesc metoda de calcul după stările limită este rațional ca și analiza celorlalte structuri pe cabluri specifice acoperișurilor suspendate să folosească această metodă.

Plecând de la precizările din literatura de specialitate s-au detaliat aspectele specifice legate de verificarea siguranței structurilor de cabluri pe baza reglementărilor tehnice din R.S.R.

Avînd în vedere că reglementările din țara noastră nu reușesc să acopere o serie de probleme specifice acoperișurilor pe cabluri s-au făcut pe parcursul prezentării o serie de precizări și propuneri concrete.

#### 4.6.2. Caracteristici ale acțiunilor.

##### 4.6.2.1. Specificul acțiunilor.

În verificarea siguranței structurilor STAS 10.100/0-75 precizează că în calcule este necesar să se țină seama de specificul acțiunilor din toate punctele de vedere și anume: din punct de vedere al provenienței, al formei de manifestare, (sistem de forțe date, sisteme de deplasări sau deformații impuse, fenomene de interacțiune între construcție și mediul ambiant) al caracterului lor (static sau dinamic) și al distribuției în spațiu.

În calcule acțiunile sînt reprezentate prin încărcări.

##### 4.6.2.2. Încărcările considerate în calcul.

###### 4.6.2.2.1. Aspecte specifice privind încărcările prezentate de literatura de specialitate.

În evaluarea încărcărilor se pleacă întotdeauna de la forma construcției, materialele din care este realizată învelitoarea, locul unde este amplasată construcția și legat de aceasta de prevederile normelor specifice existente în fiecare țară.

Zdenek Sobotka (94) scoate în evidență obligativitatea considerării aglomerărilor de zăpadă și a încărcărilor nesimetrice funcție de forma acoperișului.

Se precizează efectul vîntului pe acoperișurile cilindrice concave indicînd suucțiunea maximă în valori de (1,6-1,9) din presiunea dinamică de bază.

Pentru acoperișuri cu forme unice el indică experimentări pe model în tunelul aerodinamic.

Forța inițială de pretensionare a cablurilor se indică orientativ în % față de suma încărcărilor din greutatea proprie și zăpadă astfel (94).

Zăpadă + greutate proprie kg/m <sup>2</sup>	Pretensionare inițială %
pînă la 10	100 - 300 %
10 - 50	30 - 100 %
50 - 100	10 - 40 %
100 - 150	7 - 15 %
150 - 200	5 - 10 %
> 200	0 - 5 %

N.S. - Strelețki (98) abordează și el problema încărcărilor ce acționează pe acoperișurile suspendate, făcînd referiri în mod special la reglementările existente în acest sens în U.R.S.S.

Pentru o formă complicată a acoperișului se recomandă determinarea coeficienților aerodinamici prin încercări pe model în tunelul aerodinamic.

Se recomandă ca grupările de încărcări să fie cît mai apropiate de condițiile reale din exploatarea construcției, subliniîndu-se în mod special că deplasările învelitorii trebuie calculate în conformitate cu repartizarea cea mai defavorabilă a încărcării.

Deseori încărcarea parțială a sistemului suspendat pe cabluri, dă deplasări mai mari ca pentru încărcarea totală, bineînțeles aceeași și funcție de forma acoperișului (98).

Strelețki recomandă de asemenea în conformitate cu normele sovietice (34) pentru acțiunea forțelor de pretensionare considerarea coeficienților  $n_1 = 1,1$  și  $n_2 = 0,9$  în funcție de gruparea în care intervin.

În raportul (9) prezentat de subcomitetul pentru structuri suspendate pe cabluri, se găsesc indicații privind evaluarea încărcărilor cît și ipotezele de calcul considerate în proiectarea acestor structuri.

Încărcările considerate trebuie să includă încărcări permanente, încărcări utile, încărcări din vînt, zăpadă și temperatură precum și încărcări din montaj. Se indică considerarea efectelor seismicului precum și acțiunea dinamică a vîntului. Sarcinile de montaj cuprind și forțele de pretensionare din cabluri. De asemenea în calcul trebuie avute în vedere deplasările elementelor de fixare ale cablurilor.

Se atrage atenția că proiectarea acoperișurilor suspendate

pe cabluri trebuie să țină cont de procedeul de montaj și de încărcările ce intervin în timpul montajului, într-un grad mai mare decât la acoperișurile clasice.

În ceea ce privește evaluarea încărcărilor ea trebuie făcută în conformitate cu normativele din fiecare țară(9).

Încărcările temporare se vor considera atât pe întreaga suprafață a acoperișului cât și pentru ipoteza de încărcare parțială care în general dă săgeata maximă.

Încărcarea din vânt se recomandă a se stabili conform lucrării Wind Forces on structures (103) sau pentru acoperișuri unicate pe baza de încercări pe model în tunel aerodinamic.

Pretensionarea sistemului de cabluri, va fi luată în considerare la proiectare și sub aspectul deplasărilor sistemului de cabluri sub acțiunea forțelor de pretensionare.

De asemenea se indică să se ia în considerare și deplasările suportului, ținând cont de eventualele deplasări în timp ale acestuia.

Se citează prevederile existente în S.U.A. (102) în care se specifică forța de rupere minimă în cablu funcție de ipotezele de încărcare.

Normele americane New York City Building Code ( secțiunea C 26 - 1010.5 e) pentru structuri suspendate pe cabluri (cu referiri la poduri) indică grupările de încărcări.

De asemenea, se consideră că forțe în cabluri peste 55 % din rezistența sa de rupere duc la deformații permanente ale acestora, (9) și de aceea se indică să nu fie depășit acest procent.

#### 4.6.2.2.2. Aspecte specifice privind încărcările cu referire la reglementările tehnice din R.S.R.

În R.S.R. nu există un normativ general privind calculul tuturilor tipurilor de acoperișuri suspendate pe cabluri.

În anul 1981 au fost aprobate "Instrucțiunile tehnice pentru realizarea structurilor ușoare cu ferme din cabluri" - Indicativ P110-81. Instrucțiunile, elaborate de un colectiv format din Dr. Ing. Silvia Hagiescu, Dr. Ing. Horea Sandi, Ing. F. Popescu, cu colaborarea Prof. Dr. Ing. Constantin Dalban - constituie un prim pas important în introducerea pe scară mai largă a acestor structuri în țara noastră.

La stabilirea încărcărilor pentru structurile cu ferme din cabluri se aplică prevederile acestor instrucțiuni. Pentru celelalte

tipuri de acoperișuri suspendate pe cabluri consider că trebuie plecat de la STAS-urile în vigoare privind încărcările ținând seama de particularitățile specifice acestor tipuri de structuri.

În conformitate cu prevederile STAS 10101/0-75 și STAS 10101/0A-77 în calcule se vor considera încărcările permanente, temporare ovasipermanente, temporare variabile și excepționale, cu presiunile ce se vor face în cele ce urmează.

#### a. Încărcări permanente.

Se vor lua în considerare următoarele încărcări;

- greutatea elementelor de construcție cu caracter permanent (greutatea cablurilor și altor elemente structurale, învelitoarea, elementele de construcție pentru iluminare naturală, instalații suspendate de structură, închideri, etc.);

- efectul pretensionării inițiale a sistemului de cabluri (atunci când acesta există).

S-a inclus efectul pretensionării la încărcările permanente, prin asimilarea cu prevederea de la punctul 3.4. STAS 10101/0A-77 și respectiv punctul 2.2.2. - c STAS 10101/0-75 care include efectul precomprimării la încărcările permanente.

Valorile normate ale intensității încărcărilor permanente, datorate greutății elementelor de construcție se determină în conformitate cu STAS 10101/1-78, iar valorile coeficienților încărcărilor pentru verificări la diferite stări limite sînt conform STAS 10101/0A-77 punctul 3.4.

Valorile forțelor de pretensionare inițială, se determină pe baza prevederilor instrucțiunilor tehnice specifice, de exemplu pentru ferme pe cabluri instrucțiunile Pllo-81, sau în lipsa lor pe baza prevederilor din literatura de specialitate și a condiției de " nedecuplare " a sistemului de cabluri, în așa fel încît să se asigure o rigiditate corespunzătoare ansamblului structurii de cabluri.

Prin " nedecuplare " a sistemului de cabluri înțelegînd, că forțele de pretensionare trebuie astfel alese, încît sub acțiunea celor mai defavorabile grupări de încărcări eforturile în toate cablurile să fie mai mari decît zero, cu un anumit grad de asigurare.

Neputînd admite valoarea zero a efortului în cabluri, va trebui să ne stabilim la o valoare minimă impusă a acestuia.

La stabilirea forței de pretensionare trebuie să avem în vedere acoperirea unei pierderi de efort prin relaxarea materialului cablurilor de circa 5 % din efortul de calcul (16)(6).

Coeficientul acțiunii pentru încărcările din pretensionare propun să se ia prin asimilare conform STAS 10101/0A-77, punctul 3.4. tabelul 3 poziția 6, respectiv cu valoarea 1,1 și 0,9. Aceste valori sînt egale cu cele precizate în instrucțiunile P110-81 și în bibliografia de specialitate (98).

#### b. Încărcări temporare.

În cadrul acestor încărcări la acoperișurile suspendate pe cabluri consider că pot interveni următoarele;

#### Încărcări ovasipermanente.

- încărcări pe planșee în zona unde pe acoperiș se amplasează eventual un etaj tehnic;

→ greutatea depunerilor de praf industrial, stabilite conform STAS 10101/2A1-78- tabelul 1 nr. crt. 18 sau a unor prescripții speciale.

#### Încărcări variabile.

- încărcări apărute în timpul montajului;
  - încărcări datorită unor mijloace ușoare de ridicare și transport cu cale fixă ( monosine);
  - încărcări datorite vîntului - conform STAS 10101/20-78;
  - încărcări datorită zăpezii - conform STAS 10101/21-78;
  - încărcări datorită chiciurii;
  - variații de temperatură exterioară conform STAS 10101/23A-78
- Coeficienții încărcărilor se determină conform STAS 10101/0A-77 punctul 3.5. tabelul 4 și respectiv punctul 3.6. tabelul 5.

Sînt necesare precizări privind acțiunea vîntului și zăpezii.

La evaluarea acțiunii vîntului pentru acoperișurile suspendate pe cabluri cu forme arhitecturale care nu se includ în prevederile STAS 10101/20-78, va trebui să se țină cont de prevederile de la punctul 1.1. care arată că se pot adopta și alte valori decît cele prevăzute în standard referitoare la coeficienții dinamici, la coeficienții aerodinamici, în vederea proiectării unor construcții de importanță deosebită.

În aceste cazuri consider că sînt necesare încercări pe model la soară redusă, în mod special pentru determinarea coeficienților aerodinamici, precum și studii speciale privind coeficienții dinamici,

În general acoperișurile pe cabluri se încadrează în categoria construcțiilor sensibile la acțiunea vîntului.

Evaluarea efectelor dinamice ale vîntului se va efectua pe baza



literaturii de specialitate și pe baza de încercări și studii speciale.

Privitor la încărcările din zăpadă, se impune precizarea că atunci când coeficientul de aglomerare  $C_z$  pentru suprafața construcției expusă zăpezii nu este cuprins în STAS 10101/21-78, sau în normative specifice, acesta trebuie determinat pe bază de studii speciale sau încercări pe modele la scară redusă. La structurile ușoare de acoperișuri suspendate pe cabluri se consideră și coeficientul de sensibilitate  $C_p$ .

În instrucțiunile Pllo-81 se face precizarea pentru acoperișurile executate din ferme pe cabluri, că la stările limită ultime se va considera încărcarea cu zăpadă majorată cu un coeficient dedus pe baza unor justificări fundamentate.

#### c. Încărcări excepționale.

Pentru acoperișurile suspendate pe cabluri considerăm că pot interveni următoarele încărcări;

- încărcări seismice;
- încărcări datorită cedării unor elemente de construcții;
- alte acțiuni excepționale în conformitate cu STAS 10101/0-75 ce ar putea apărea în mod real în funcție de destinația construcției și a zonei de amplasare.

La efectele seismice se ține cont de prevederile Normativului pentru proiectarea antisismică a construcțiilor de locuințe social-culturale, agrozootehnice și industriale" indicativ Pl00-81.

De asemenea, se vor avea în vedere precizările dela punctul 4.16. a instrucțiunilor Pllo-81.

#### 4.6.3. Caracteristici de rezistență și rigiditate ale materialelor.

##### 4.6.3.1. Probleme studiate.

Principalele materiale folosite în structura acoperișurilor suspendate sînt cablurile, elemente fără rigiditate la compresiune capabile să preia numai eforturi de întindere.

Alături de acestea mai pot interveni elemente metalice rigide a căror caracteristici se stabilesc în funcție de natura lor, în conformitate cu instrucțiunile tehnice în vigoare privind elementele de construcții metalice.

La verificarea siguranței construcțiilor se consideră caracteristicile de rezistență, rigiditate iar în cazul solicitărilor dinamice cele de inerție și de absorbție a energiei. Deoarece în lucrare abordăm problema solicitărilor dinamice numai cu caracter

general, vom insista în cele ce urmează asupra caracteristicilor de rezistență și rigiditate a cablurilor.

Pentru rigiditatea cablurilor K, se poate adopta formularea din instrucțiunile tehnice Pllo-81 și anume:

$$K = \frac{E \cdot A}{l} \quad (4.60)$$

în care E - modulul de elasticitate la tracțiune;

A - suprafața secțiunii cablului;

l - lungimea cablului

#### 4.6.3.2. Caracteristici ale cablurilor prezentate de literatura de specialitate:

Vom reda în principal prevederile existente în U.R.S.S. și în S.U.A., completate cu semnalări bibliografice și din alte țări.

În U.R.S.S., cablurile folosite curent pentru tiranți și pentru acoperișuri pe cabluri (6) sînt cablurile spirale simple și cablurile spirale închise.

Pentru tiranți mai pot fi folosite cablurile din 7 toroane cu inima metalică. Sîrmele în cabluri au diametre de la 0,4-3 mm.

Se recomandă cabluri din sîrme cu diametre mai mari de 1,5-2 mm. în special din motive de rezistență la coroziune. Se recomandă de asemenea, folosirea cablurilor cu sîrmă zincată sau cabluri închise (6).

Rezistența de calcul la cablurile nezincate se poate obține (6) prin înmulțirea rezistenței de rupere a cablului cu coeficientul mediu 0,65. Acest coeficient este obținut ca produs aproximativ al coeficienților de siguranță al materialului și al condițiilor de lucru care se iau fiecare egal cu 0,8.

Pentru cablurile zincate (34) rezistența de rupere se înmulțește cu coeficientul 0,6 obținînd rezistența de calcul.

La determinarea rezistenței de calcul a cablurilor considerate ca elemente în construcția acoperișului, în afară de acești coeficienți, mai intervine coeficientul condițiilor de lucru al elementului de construcție "m", care ține cont de lucrul în ansamblu al construcției (98).

După cum se știe modulul de elasticitate al cablurilor este în general mic acesta avînd între  $(0,09 - 0,12) \times 10^7$  daN/cm<sup>2</sup> (6).

În scopul măririi modului de elasticitate a cablurilor de oțel, Belenia recomandă întinderea cablurilor înainte de montajul în

construcție cu o forță cu circa 15 - 20 % mai mare decât efortul de calcul în cablu (6).

Instrucțiunile pentru proiectarea construcțiilor de oțel pre-tensionate (34) recomandă ca modulul de elasticitate după preîntinderea cablurilor să se ia  $E = 0,16 \times 10^7$  daN/cm<sup>2</sup>.

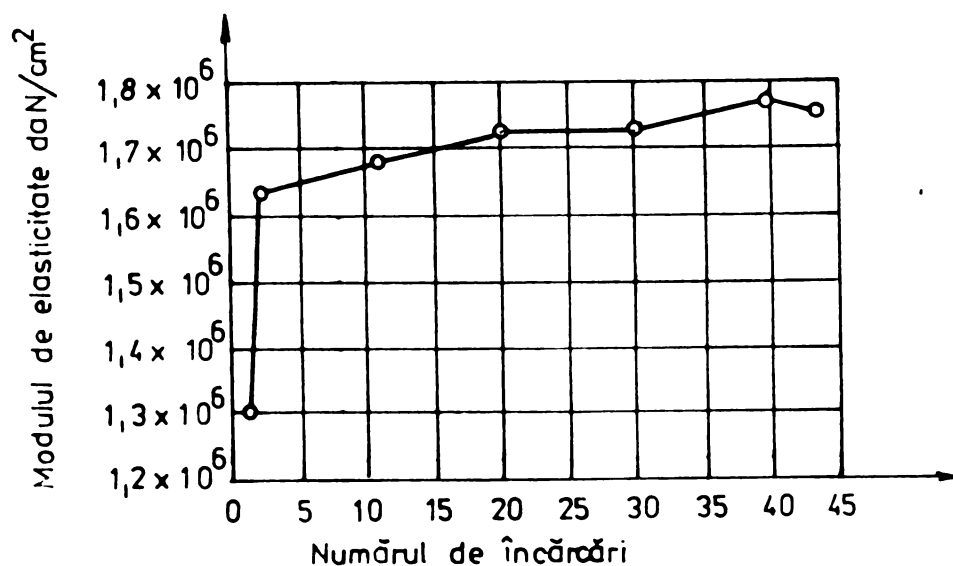
Rezultate experimentale privind valoarea modulului de elasticitate la cabluri după preîntinderea lor făcute de B.A.Speranski (6) sînt date în tabelul IV.1.

Tabelul IV.1.

Tipul cablului.	Modulul de elasticitate după preîntindere (daN/cm <sup>2</sup> ).
- Cablu spiral TK 1x 37-Ø 18 mm zincat.	(0,16-0,17) 10 <sup>7</sup>
- Cablu spiral TK 1 x37 Ø 22,5 mm. zincat.	0,16.10 <sup>7</sup>
- Cablu TK 7 x 19-Ø 33 mm zincat.	(0,14-0,15) 10 <sup>7</sup>
- Cablu TK 7 x 37 Ø 46,5 mm zincat.	(0,13-0,15) 10 <sup>7</sup>

Trebuie precizat că modulul de elasticitate se stabilizează deja după prima întindere cu menținerea încărcării de circa 1 oră și la următoarele întinderi acesta practic nu se mai schimbă(6). In graficul din fig.IV.12 se poate vedea variația modulului E funcție de numărul de întinderi al acestuia.

Fig.IV.12.



Speranski recomandă de asemenea să se considere în calcul o pierdere de efort prin relaxarea materialului în cablu în timp de cca. 5 % din efortul de calcul (96).

De asemenea unii autori (16) precizează că pentru creșterea modulului de elasticitate inițial al cablului și micșorarea deformații-

Por neelastice, cablurile trebuie să se preîntindă cu forța de 65-75 % din forța de rupere a cablurilor pe o perioadă de 0,5 - 2 ore, înainte de montarea lor în construcție.

Valorile precizate de Dmitriev și Kasilov (16) pentru modulul de elasticitate după preîntindere, sînt ceva mai mari ca cele indicate de Speranski mergînd pînă la  $0,175 \times 10^7$  daN/cm<sup>2</sup>. Redăm în cele ce urmează cîteva aspecte privind problemele rezistențelor de calcul și a modului de elasticitate la cabluri așa cum sînt prezentate în raportul privind structurile suspendate (9). Se menționează necesitatea întinderii cablurilor de oțel pînă la maximum 55 % din sarcina de rupere a cablurilor, în vederea eliminării alungirilor remanente și creșterii modului de elasticitate. Sarcina de rupere a cablurilor este mai mică decît suma individuală a sarcinilor de rupere a sîrmelor componente, intervenind un coeficient subunitar numit coeficient de cablare (cu excepția cablurilor cu fire paralele).

#### Rezistența la oboseală a cablurilor și toroanelor.

Sînt puține date în literatura de specialitate care tratează acest subiect.

În referatul (9) se citează încercările experimentale în acest domeniu făcute de Graf și Brenner precum și de Havemann.

După prescripțiile americane (10) efortul admisibil în cablu din sarcinile permanente și temporare trebuie să fie maxim 40 % din sarcina de rupere a cablului.

Nu este în general acceptat un criteriu unic pentru definierea avariei cablului la oboseală (9). Pentru aceasta se poate lua numărul de cicluri pentru a rupe unul sau șase fire exterioare a cablului, pentru anumite forțe aplicate. Referatul menționat (9) redă rezultate experimentale efectuate în acest sens în S.U.A.

#### 4.6.3.3. Caracteristici ale cablurilor în legătură cu reglementările tehnice din R.S.R.

La cablurile construcție simplă (STAS 1513-80) care sînt recomandabile pentru acoperișurile suspendate, sarcina reală minimă de rupere calculată a cablului este dată în STAS și ea este egală cu sarcina minimă teoretică de rupere a cablului, înmulțită cu coeficientul de scădere a rezistenței sîrmei la tracțiune.

Coeficientul de scădere al rezistenței este cuprins între 0,86 și 0,93 funcție de tipul de cablu construcție simplă și funcție de rezistența minimă de rupere la tracțiune a sîrmei.

La alte cabluri de exemplu cablurile compuse duble construcție normală (STAS 1353-80) sarcina efectivă minimă de rupere la tracțiune

a cablului se determină pe probe de cablu întreg conform STAS 2172-74, și trebuie să corespundă cu valorile specificate în STAS 1353-80.

În lipsa determinărilor experimentale, se poate determina sarcina reală minimă de rupere a cablului care se obține din sarcina teoretică minimă de rupere a cablului, corectată prin coeficientul de scădere  $K$  a rezistenței sârmei datorită toronării și cablării sârmei cu valori între 0,80 - 0,90 funcție de construcția cablului și de rezistența minimă a sârmei.

Deci STAS-urile pentru cablurile fabricate în R.S.R. dau caracteristicile de rezistență ale acestora.

În ceea ce privește modulul de elasticitate nu este indicat în STAS-uri.

Consider că se poate accepta pentru calcul un modul de elasticitate  $E = 1,6 \times 10^6$  daN/cm<sup>2</sup>. Modulul specificat anterior este determinat după întinderea repetată cu 55 % din sarcina de rupere calculată.

Trebuie să arăt că instrucțiunile tehnice pentru realizarea structurilor ușoare cu ferme din cabluri (33) dau pentru  $E$  valori cuprinse între  $1,6 \times 10^7$  N/cm<sup>2</sup> și  $1,8 \times 10^7$  N/cm<sup>2</sup> modul determinat după preîntindere repetată a cablurilor (minim 5 ori) până la jumătate din sarcina de rupere calculată. Tot aici se precizează că la construcțiile cu clasă de importanță deosebită valoarea modulului de elasticitate se va stabili pe baza verificărilor experimentale.

În aceleași instrucțiuni (33) referindu-ne la metoda de calcul la stări limită se precizează: "criteriul de rezistență care caracterizează stadiul ultim al capacității portante ale elementelor flexibile este forța normată de rupere  $F^N$  indicată în prescripțiile de specialitate."

Datele prevăzute în standarde reprezintă valori minime ale forței de rupere."

În STAS 10103/76 punctul 3.1.6. se precizează că rezistența normată la întinderea cablurilor se consideră rezistența de rupere a cablului, determinată conform standardelor de produs. Coeficientul  $\gamma_m$  al cablurilor se va prevedea în standardele de proiectare pe categorii de construcții la care se folosesc cabluri.

În același STAS se precizează că  $\gamma_m$  este coeficient care ține seama de variația posibilă a rezistenței caracteristice a materialului pus în operă față de cea stabilită pe epruvetele de încercare și de abaterile dimensionale ale elementelor construcției, conform toleranțelor admise la livrarea produselor. Precizări privind  $\gamma_m$  și

deasemenea forța de calcul "  $F^c$  " se vor de la punctul 4.6.4.1.4.

#### 4.6.4. Dimensionarea.

##### 4.6.4.1. Calculul de dimensionare cu aplicarea metodei la stări limită.

###### 4.6.4.1.1. Scopul calculului.

Calculul de dimensionare al elementelor structurilor de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate, cu metoda stărilor limită are drept scop final obținerea unei asigurări suficiente, pentru evitarea ajungerii la una din cele două stări limite. Această asigurare este în mod important condiționată și de alcătuirea constructivă de calitățile materialelor și respectarea unor condiții de exploatare admise la proiectare (54).

Deci trebuie să satisfacă următoarele condiții de dimensionare: stările limită ultime, stările limite ale exploatarei normale și condițiile constructive.

###### 4.6.4.1.2. Stări limită la structurile pe cabluri.

Instrucțiunile tehnice indicativ Pllo-81 fac precizări privind stările limite ultime și ale exploatarei normale pentru structurile cu ferme pe cabluri.

În lipsa unor normative specifice pentru celelalte structuri pe cabluri ale acoperișurilor suspendate consider că în afară de prevederile STAS 10.100/0-75 punctul 1.4 trebuie să se țină cont cel puțin de următoarele:

a). Stările limită ultime se caracterizează prin ruperea cel puțin a unui cablu portant al structurii, iar la structurile puternic pretensionate cel puțin a unui cablu portant sau stabilizator al structurii.

b). Stările limite ale exploatarei normale caracterizate prin deplasări statice sau dinamice excesive trebuie să fie considerate în legătură cu influența deosebită a acestor deplasări asupra învelitorii, instalațiilor suspendate și alte elemente aferente structurii pe cabluri.

La structurile pretensionate trebuie să fie obligatoriu studiate efectele legate de pierderea parțială sau totală a pretensionării sistemului.

###### 4.6.4.1.3. Gruparea acțiunilor.

Calculul structurilor trebuie să fie efectuat cu conside-

rarea combinațiilor defavorabile practic posibile, ale diferitelor acțiuni. Aceste combinații sînt reprezentate prin grupări de încărcări.

În țara noastră grupările de încărcări sînt precizate pentru structurile cu ferme pe cabluri în instrucțiunile tehnice P110-81. Pentru celelalte structuri pe cabluri neexistînd standarde specifice, consider că grupările de încărcări trebuie făcute pe baza STAS 10101/0-75, STAS 10103/76, STAS 10108/0-78 și STAS 10101/0A-77 în cele două categorii - grupări fundamentale și grupări speciale, completate cu alcătuirea din tabelul IV.2.

Tabelul IV.2.

Nr. crt.	Stări limită la care se face verificarea.	Grupări de încărcări	
		fundamentale.	speciale.
1.	Stări limită ultime.	$\sum n_i P_i + \sum n_i C_i + \gamma_g \sum n_i V_i$	$\sum P_i + \sum C_i + \sum V_i + E_1$
2.	Stări limită ale exploatarei normale.	Verificări sub efectul încărcărilor totale de exploatare.	Conform studiilor speciale.
		Verificări sub efectul fracțiunilor de lungă durată ale încărcărilor.	

în care  $P_i$  - încărcări permanente cu intensități normale  
 $C_i$  - încărcări cvasipermanente cu intensități normale  
 $V_i$  - încărcări variabile cu intensitate normală.  
 $n_i, n_i^d$  - conform STAS 10101/0A-77 și precizărilor din prezentul capitol. Propun în cazul acoperișurilor suspendate adoptarea următoarelor:

a). La gruparea fundamentală la stări limită ultime considerarea obligatorie la încărcările variabile a încărcărilor din zăpadă, vînt și temperatură fiecare separat, două cîte două, și toate trei simultan în aceste cazuri luîndu-se coeficientul de grupare cu valoarea  $\gamma_g = 1,0$

b). La gruparea fundamentală la stări limită ultime pentru cazurile cînd se consideră maximum trei încărcări  $V_i$  din care cel puțin una din zăpadă, vînt sau temperatură se va considera,  $\gamma_g = 1,0$

c). În cazul a patru sau mai multe încărcări,

$$\gamma_g = 0,95$$

d). Considerarea obligatorie ca o grupare fundamentală particulară a acțiunii exclusive a pretensionării (atunci cînd ea există)

e). Coeficientul acțiunii pentru încărcările din preten-

sionare va lua valorile,

$n = 1,1$  pentru cazul cînd încărcarea din pretensionare are efect defavorabil și pentru verificarea în stadiul de pretensionare cînd nu există alte încărcări exterioare,

$n = 0,9$  cînd încărcarea din pretensionare are efect favorabil .

Propunerile de la punctele a,b,c. derivă din faptul că acțiunea vîntului a zăpezii și temperaturii este practic posibilă cu valorile lor maxime, iar influența acestor încărcări este deosebit de importantă și cu efecte majore pentru structurile pe cabluri.

Propunerea de la punctul d, decurge din importanța considerării stării pretensionate a structurii atît sub aspectul stării de tensiune și deplasare, cît și a configurației geometrice a structurii, stare pretensionată denumită în această lucrare "Stadiul de nul" al structurii.

#### 4.6.4.1.4. Verificarea stărilor limită și coeficienți de siguranță considerați.

Prezentînd verificările la stările limită ultime și ale exploatarei normale, vom face și referiri la coeficientul global de siguranță.

La dimensionarea cablurilor considerate ca elemente liniare flexibile, componente ale structurii pe cabluri instrucțiunile Fllo-81 precizează că se pune condiția ca solicitarea de calcul " $S^C$ " să fie mai mică sau cel mult egală cu forța de calcul " $F^C$ ".

$$S^C \leq F^C$$

Această formulare poate fi extinsă la toate acoperișurile suspendate pe cabluri.

Evaluarea forței de calcul " $F^C$ " pentru cabluri (33) este prevăzută a se face cu relația:

$$F^C = \gamma_e \gamma_c \frac{F^n}{\gamma_m} \quad (4.61)$$

$\gamma_e$  - coeficientul condițiilor de lucru al elementului:  
( $\gamma_e = 0,8 \dots 0,85$ )

$\gamma_c$  - coeficientul condițiilor de lucru al materialului:  
( $\gamma_c = 0,75 \dots 0,80$ )

$\gamma_m$  = coeficient al materialului ( $\gamma_m = 1,15 \dots 1,30$ )

Consider că sînt necesare unele precizări suplimentare.

Cablurile fiind alcătuite din sîrme de oțel cu caracteristici mecanice superioare este de luat în considerare un coeficient  $\gamma_m$  sporit.



De asemenea, Strelețki (98) precizează în conformitate cu normele sovietice (34) un coeficient al materialului pentru cabluri  $K = \frac{1}{\gamma_m} = 0,8$  de unde ar rezulta o valoare minimă pentru  $\gamma_m = 1,25$  :

În ceea ce privește efectul global al celor doi coeficienți, al materialului și al condițiilor de lucru al materialului, consider oportună limitarea în conformitate cu recomandările făcute de Belenia(6) pe baza normelor sovietice (34) la 0,6 pentru cablurile zincate și 0,65 pentru cablurile nezincate. În acest sens propun ca valoarea pentru coeficientul materialului să se considere  $\gamma_m = (1,25 - 1,30)$ , iar pentru efectul global  $\frac{\delta_c}{\delta_m}$  să se introducă recomandarea ca:

$$\frac{\delta_c}{\delta_m} \leq 0,60 \text{ pentru cabluri zincate,}$$

$$\text{și } \frac{\delta_c}{\delta_m} \leq 0,65 \text{ pentru cabluri nezincate.}$$

Consider că valoarea coeficientului global de siguranță în metoda la stări limită se poate lua conform instrucțiunilor Pllo-81 și anume:  $C = \frac{\sigma_m}{\sigma_e \delta_c}$  în care  $n$  = coeficientul de supraîncărcare:

Instrucțiunile Pllo-81 indică pentru "C" valori de la 2 la 3.

Din studierea literaturii de specialitate coeficientul global de siguranță la acoperișuri pe cabluri realizate pînă în prezent au valori de 2,5 - 3,5 iar uneori mai mari. La acoperirea bazinului Olimpic din Tokio (100)(101) de exemplu coeficientul de siguranță adoptat a fost 5.

În ceea ce privește verificarea la stările limite ale exploatarei normale, în lipsa unor prescripții speciale aceasta se va face prin compararea deplasărilor statice sau amplitudinilor deplasărilor dinamice în punctele caracteristice ale structurii pe cabluri cu valori limită impuse, stabilite de la caz la caz funcție de o serie de factori dintre care enumerăm importanța construcției, natura învelitorii, gabaritele ce trebuie asigurate, închiderile folosite.

#### 4.6.4.1.5. Condiții constructive.

Principalele elemente care vor trebui precizate de la caz la caz pentru diversele structuri pe cabluri ale acoperișurilor suspendate, în cadrul condițiilor constructive, trebuie să se refere la:

1. Diametrele minime și maxime ale sîrmelor din cabluri.
2. Distanțe în îmbinări care să asigure întreținerea corespunzătoare.
3. Sortimentul de cabluri folosit să fie minim în vederea simplificării aprovizionării și în mod deosebit al execuției. În acest sens consider că numărul tipurilor de cabluri din acoperiș trebuie să fie maxim 2.
4. Dimensiunile principale ale cablurilor ( tipul de cablu )

să țină cont de:

- dimensionarea optimă a elementului care să reducă la minim consumul de oțel;
- condiții de livrare și transport;
- condiții impuse de tehnologia de execuție și montaj;
- posibilitatea de realizare a prinderilor marginale și a îmbinărilor între cabluri;

5. Condiții impuse de alcătuirea închiderilor.

6. Condiții legate de concepția elementelor sau instalațiilor suspendate de structura acoperișurilor.

7. Condiții care să permită realizarea pretensionării sistemului de cabluri și controlul valorii acestei pretensionări.

#### 4.6.4.2. Elemente privind calculul de dimensionare cu aplicarea metodei rezistențelor admisibile.

Metoda rezistențelor admisibile în calculul acoperișurilor suspendate pe cabluri consider că la noi în țară s-ar putea folosi numai pentru cazurile când nu se dispun de date concludente pentru calculul după metoda stărilor limite.

Gruparea încărcărilor se poate face cu adaptările necesare la acoperișurile pe cabluri, în grupări fundamentale, suplimentare și extraordinare.

La dimensionare se va avea în vedere satisfacerea condițiilor capacității portante de exploatare, a condițiilor de rigiditate precum și a condițiilor constructive.

La stabilirea încărcărilor se vor considera drept valori convenționale valorile normate din standarde.

În calculul cablurilor se lucrează cu rezistențele indicate de standardele specifice, iar pentru coeficientul de siguranță "C" se adoptă valori de la caz la caz în limita unui coeficient mediu 2,5-3,5, neexistând reglementări în acest sens.

În ceea ce privește condițiile constructive ele sînt comune cu cele de la metoda la stări limită.

#### 4.6.5. C o n c l u z i i .

Pentru calculul în vederea verificării siguranței și obținerii unei asigurări raționale a structurilor de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate pe cabluri trebuie folosită metoda semi - probabilistică a stărilor limită.

Pentru structurile ușoare din ferme pe cabluri se vor folosi instrucțiunile tehnice Pl 10-81.

Pentru celelalte structuri pe cabluri, specifice acoperișurile suspendate, elementele pe care le-am prezentat inclusiv propunerile și precizările făcute, constituie un instrument efectiv de lucru în vederea abordării calculului ori cărei structuri concrete, în lumina prescripțiilor tehnice din țara noastră.

Precizările și propunerile legate de specificul acoperișurilor pe cabluri (exceptând fermele pe cabluri la care se aplică instrucțiunile tehnice P110-81) care se referă la încărcări și gruparea lor, la valorile coeficienților de grupare  $\gamma_g$ , la coeficienții "n" ai acțiunilor pentru forțele de pretensionare, la coeficienții condițiilor de lucru ai materialului  $\gamma_c$  și coeficientul  $\gamma_m$  al materialului pentru cabluri, au fost făcute în vederea completării unor date neprecizate sau precizate insuficient în documentările tehnice existente în țara noastră.

O parte din acestea au fost folosite la elaborarea propunerilor de instrucțiuni tehnice prezentate la CAP. IX.

CAPITOLUL V. CALCULUL DE ORDINUL DOI AL UNEI REȚELE ORTOGONALE DE CABLURI DE TIP PARABOLOID HIPERBOLIC DIN ALCATUIREA ACOPERIȘURILOR SUSPENDATE.  
 =====

5.1. Probleme generale.  
 -----

Din capitolul care tratează stadiul actual al calculului acoperișurilor suspendate pe cabluri, s-a putut vedea multitudinea de aspecte care este specifică calculului unor astfel de sisteme.

Datorită dezvoltării și la noi în țară a sistemelor constructive avînd la bază rețele de cabluri (sala de sport în construcție la Bacău, proiectul unei săli de sport la Ploiești, acoperișul ușor al teatrului de vară Mamaia, etc), elaborarea unor metode de calcul și respectiv a unor programe de calcul specifice, constituite un suport teoretic capabil să stimuleze activitatea proiectanților în abordarea cu mai mult curaj a unor astfel de structuri.

În acest capitol se tratează o metodă de calcul aplicabilă strict unor sisteme de cabluri pretensionate de tip paraboloid hiperbolic, pentru care se elaborează un program de calcul aplicabil la tehnica de calcul existentă în prezent în R.S.R.

5.2. Structura pe cabluri de tip paraboloid hiperbolic luată în studiu.

Din multiplele forme posibile, ne-am propus studierea posibilităților de acoperire a unei construcții pe contur patrat cu o structură din cabluri de tip paraboloid hiperbolic suspendată pe un contur liniar rigid și stabilizată prin pretensionare.

Paraboloidul hiperbolic (fig.V.1.) ca suprafață, geometrică de bază a rețelei de cabluri, satisface în general bine condițiile specifice impuse acoperișurilor suspendate.

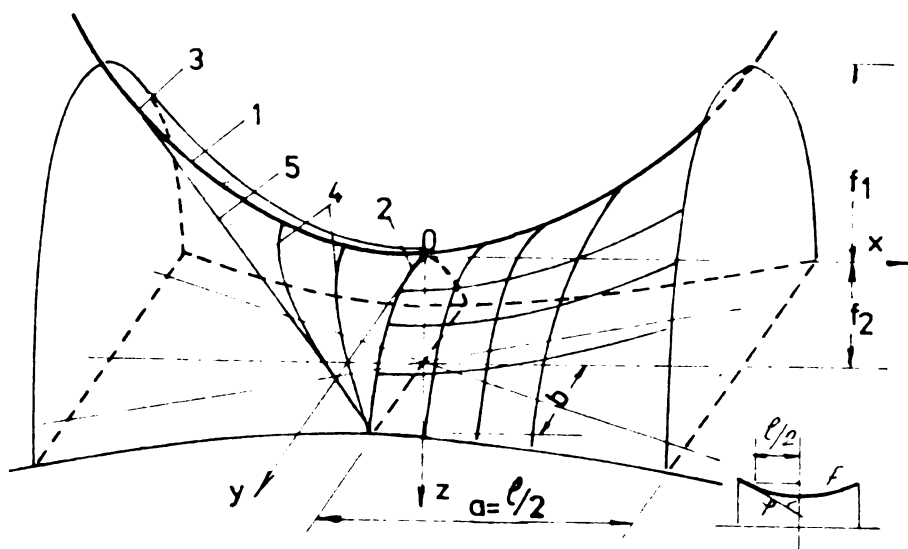


Fig.V.1.

### Paraboloidul hiperbolic.

1. Parabola principală portantă, 2. parabola principală de stabilizare,
3. punct de tangentă a planului secant cu parabola principală portantă,
4. hiperbole, 5. urma planului secant.

Cablurile portante au forma unor parabole patratiche concave și sînt dispuse paralel cu parabola principală portantă (respectiv cablul principal portant) dispusă în planul  $Z.O.X$ .

Cablurile de stabilizare s-au plasat perpendicular pe cablurile portante, pe care le tensionează, și sînt dispuse paralel cu parabola principală de stabilizare (respectiv cablul principal de stabilizare) dispusă în planul  $Z.O.Y$ .

Acoperișul suspendat va fi format dintr-o rețea de cabluri a cărei suprafață este izolată dintr-un paraboloid hiperbolic prin limitarea cu două plane secante, paralele cu axa  $OY$  și tangente la parabola principală portantă, paraboloidul hiperbolic avînd parametrii  $a=b$  iar parabolele principale și secundare corespunzătoare cablurilor portante și stabilizatoare fiind parabole patratiche cu raportul  $\frac{l^2}{f}$  - constant.

În aceste condiții conturul suprafeței este format din patru segmente liniare formînd un contur patrat în proiecție orizontală.

### 5.3. Prezentarea ipotezelor și a metodei de calcul.

### 5.31. Ipotezele admise în calcul.

Plecînd de la teoria generală a unui sistem suspendat spațial tridimensional considerat ca alcătuit din elemente discrete articulate în punctele de intersecție a cablurilor (99) (9), se tratează o metodă de calcul pentru structură ortogonală de cabluri pretensionate de tip paraboloid hiperbolic pe contur liniar în teoria de calcul de ordinul II, cu scrierea echilibrului pe structură deplasată.

Problemele care se pun în calcul sînt:

- stabilirea geometriei inițiale a sistemului sub încărcările inițiale:

- stabilirea deplasărilor sistemului și a eforturilor în sistemul de cabluri sub acțiunea diverselor încărcări statice, inclusiv cu considerarea variațiilor de temperatură și a deplasărilor elementelor de suspensie marginale a cablurilor.

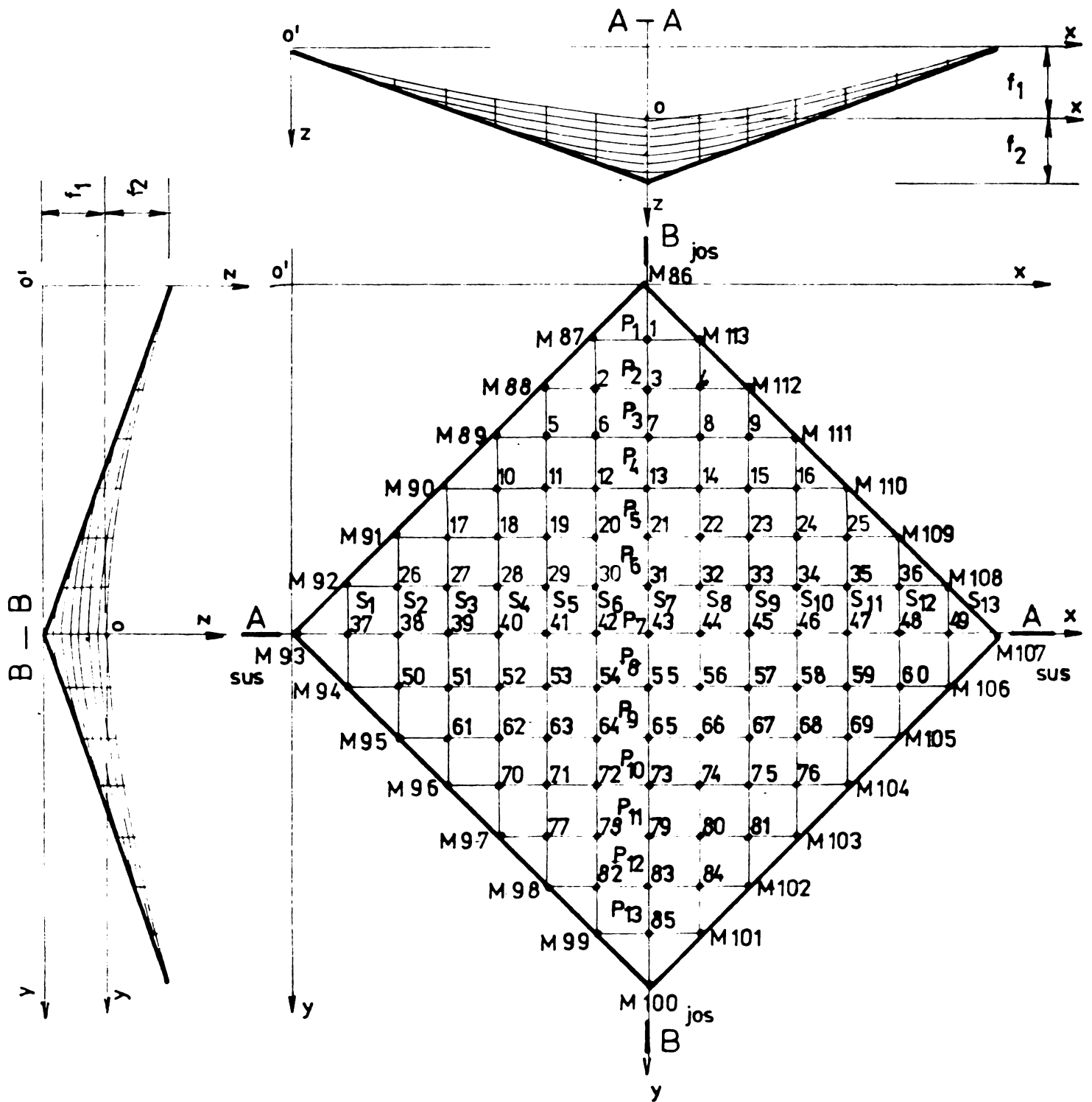
Considerarea structurii de cabluri ca o structură alcătuită din elemente discrete, capabile să preia numai eforturi axiale de întindere, articulate perfect în nodurile de intersecție a cablurilor impune și considerarea în calcul a ipotezelor privind faptul că fiecare element discret delimitat de 2 noduri adiacente, este un element perfect elastic pentru care aplicarea legii lui Hooke este valabilă, precum și ipoteza că forțele sînt conservative și că ele se aplică numai în nodurile structurii.

Trebuie precizat de asemenea, că ne vom referi la o structură de tipul celei prezentate în fig.V.2. în care s-a ales un număr de 85 de noduri interioare de intersecție a cablurilor.

Acest număr de 85 de noduri a fost stabilit din două considerente:

a) - posibilitatea aplicării algoritmului și programului de calcul pentru structuri reale similare pînă la circa 150 m. deschidere pe diagonalele principale, aceasta avînd în vedere că pasul cablurilor într-o structură reală este de circa 1,5 - 2,5 m, iar rețeaua propusă în calcul permite înlocuirea unui grup de circa 4 sau 5 cabluri cu unul echivalent, ceea ce este mai mult decît suficient pentru precizia calculului și a datelor furnizate.

b) - limitarea numărului maxim de ecuații ce urmează a fi rezolvate pentru calculul sistemului la 85 ecuații cînd se consideră numai acțiunea forțelor verticale și respectiv la  $3 \times 85 = 255$  ecuații pentru forțe oarecare, ceea ce pentru tehnica de calcul existentă



M 86 ÷ M 113 -puncte de fixare a rețelei pe contur .

1 ÷ 85 noduri interioare retea.

P<sub>1</sub> ÷ P<sub>13</sub> cabluri portante .

S<sub>1</sub> ÷ S<sub>13</sub> cabluri stabilizatoare .

Fig. 2.

în momentul de față în țara noastră nu prezintă probleme deosebite,

Înscriindu-se și în costuri rezonabile aferente timpului necesar pentru rulare pe calculator a programelor.

O altă precizare ce se impune este aceea, că s-a renunțat la folosirea facilităților legate de simetria sistemului și a încărcărilor ce acționează pe sistem pentru o eventuală reducere a numărului de ecuații ce intervin în calcul. Acest lucru a fost făcut pentru a putea folosi programele cu adaptări minime și la structuri asemănătoare, dar nesimetrice, care pot apărea în practica curentă, precum și pentru orice sistem de încărcări care ar putea acționa pe structură.

După cum s-a mai arătat se admite o comportare perfect elastică a materialului structurii, neliniaritatea avînd un caracter geometric determinat de considerarea în calcul a deplasărilor de noduri de mărimi finite, care influențează rigiditatea de ansamblu a structurii.

Considerarea neliniarității geometrice crează posibilitatea unui calcul mai apropiat de realitate și deci cunoașterea mai exactă a stării de efort și deformație în structură. Cu aceste precizări vom trece la prezentarea propriuzisă a metodei de calcul.

### 5.3.2. Expunerea metodei de calcul de ordinul doi.

Vom izola din structura de cabluri un nod "j" de intersecție a cablurilor pe care îl vom raporta la un sistem de coordonate ortogonale X, O, Y, Z în care axa OX este paralelă cu direcția de dispunere a cablurilor portante, iar axa OY cu direcția de dispunere a cablurilor stabilizatoare, în conformitate cu fig. V.3. În figură pentru claritatea expunerii s-a notat:  $S_{I,j}$ ,  $S_{II,j}$  ( $S_{I,j}^*$ ,  $S_{II,j}^*$ ) eforturile în elementele discrete componente ale cablurilor portante și respectiv cu  $S_{III,j}$ ,  $S_{IV,j}$  ( $S_{III,j}^*$ ,  $S_{IV,j}^*$ ) eforturile în elementele discrete componente ale cablurilor stabilizatoare.

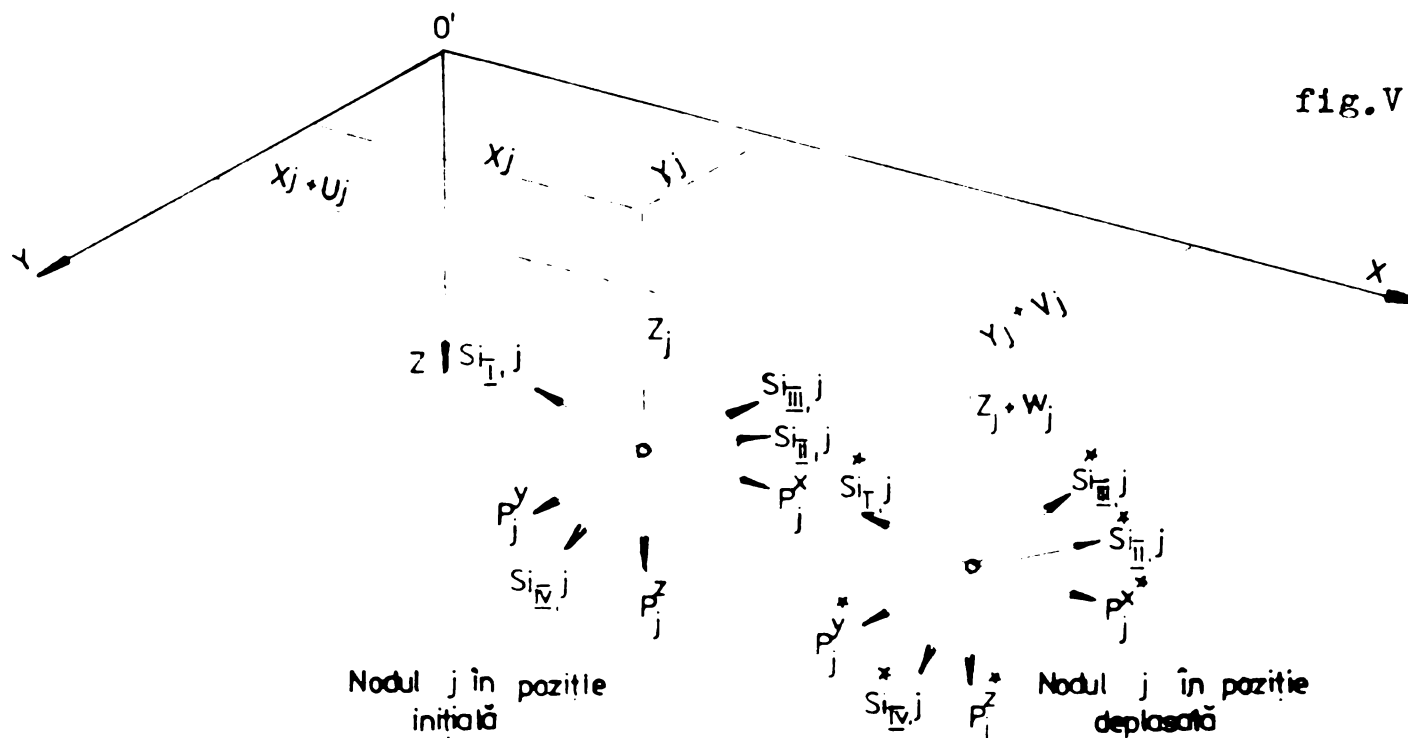


fig. V.3.

Trebuie făcută precizarea, că prin poziția inițială a nodului "j" se poate înțelege, atît poziția inițială în " stadiul de nul" cînd structura este numai sub acțiunea greutatei proprii (care obișnuit se neglijează) și a forțelor de pretensionare inițiale în cabluri, cît și o poziție considerată sub o încărcare oarecare  $P$  în nodul "j", poziție luată ca punct de referință inițială pentru o altă poziție de echilibru corespunzătoare unei sarcini în nodul "j"  $P^* = P + \Delta P$ , determinată prin suplimentarea cu  $\Delta P$  a sarcinii inițiale  $P$ . Se fac următoarele notații:

$J$  - indice care precizează nodul interior curent;

$i$  - indice care precizează nodurile adiacente alăturate ale

lui  $j$

$P_j^x, P_j^y, P_j^z$  - componentele după axele de coordonate ale încărcărilor exterioare  $P$  ce acționează în nodul "j" în poziția inițială;

$P_j^{x*}, P_j^{y*}, P_j^{z*}$  - componentele după axele de coordonate ale încărcării exterioare  $P_j^*$  ce acționează în nodul "j" în poziția deplasată;

$S_{ij}, S_{ij}^*$  - efortul în elementul discret "ij" în poziția inițială și respectiv deplasată;

$\Delta S_{ij}$  - variația efortului în elementul "ij"

$\alpha_{ij}, \beta_{ij}, \delta_{ij}, \alpha_{ij}^*, \beta_{ij}^*, \delta_{ij}^*$  - unghiurile formate de elementul discret ij cu cele trei axe de coordonate în poziția inițială și respectiv deplasată;

$U_j, V_j, W_j$  - componentele deplasării nodului "j" după direcția celor trei axe de coordonate;

$x_j, y_j, z_j$  - coordonatele nodului "j" în poziția inițială:

$l_{ij}$  - lungimea inițială a elementului "ij";

$\Delta l_{ij}$  - variația lungimii elementului "ij";

$l_{ij}^*$  - lungimea elementului "ij" după deplasare;

$H_x, H_y$  - componenta orizontală a efortului  $S_{ij}$  din cablurile paralele cu axa OX și respectiv OY;

$A_{ij}$  - aria secțiunii transversale a elementului "ij";

$E_{ij}$  - modulul de elasticitate al elementului "ij";

$\tau_{ij}$  - coeficientul de dilatare (contractie) termică;

$\Delta T_{ij}$  - variația de temperatură în elementul "ij".

Cu aceste considerații generale, vom putea trece la expunerea modului de determinare concretă a formei geometrice inițiale a si:



temului de cabluri sub încărcările inițiale, precum și la stabilirea deplasărilor și eforturilor în sistemul de cabluri sub acțiunea încărcărilor exterioare.

### 5.3.2.1. Stabilirea geometriei sistemului sub încărcările inițiale în stadiul de nul.

Vom reveni la rețeaua de cabluri pretensionată de tip paraboloid hiperbolic considerată în fig.V.2:

Structura de cabluri are  $N = 85$  noduri interioare de intersecție a cablurilor, considerate articulații perfecte și  $M = 28$  puncte exterioare de reazem, în care sînt fixate cele 13 cabluri portante și cele 13 cabluri stabilizatoare.

Ecuția paraboloidului hiperbolic în sistemul de axe  $XoYZ$  cu originea în centrul suprafeței rețelei este:

$$z = -f_1 \frac{x^2}{a^2} + f_2 \frac{y^2}{b^2} \quad (5.1.)$$

în care  $f_1$  = săgeata cablurilor portante principale

$f_2$  = săgeata cablurilor stabilizatoare principale

$a, b$  = semideschiderile în direcția axelor  $OX$  și  $OY$ .

Rețeaua formează ochiuri care în proiecție orizontală au dimensiunile:  $\lambda_x$  și  $\lambda_y$

Pentru un caz dat coordonatele punctelor de contur  $M_{86}$  -  $M_{113}$  sînt determinate, fiind puncte de margine.

Prin proiect dorim să obținem o suprafață a rețelei de tip paraboloid hiperbolic, cu parametri considerați  $a, b, f_1, f_2$  și respectiv  $\lambda_x$  și  $\lambda_y$

În aceste condiții vom putea determina coordonatele tuturor punctelor de intersecție a cablurilor pe care ne propunem să le aibă structura în stadiul de nul sub acțiunea forțelor de pretensionare.

Vom obține astfel pentru fiecare punct  $N_j$  ( $j = 1 \div 85$ ) coordonatele  $x_j, y_j, z_j$ . Facem precizarea că se determină coordonatele  $z_j$  funcție de coordonatele  $x_j, y_j$  care rezultă din considerații geometrice în conformitate cu fig.V.2.

Avînd în vedere că ecuația paraboloidului hiperbolic din care s-au determinat coordonatele specificate anterior, este scrisă față de sistemul  $X, O, Y, Z$ , avînd punctul  $O$  în centrul rețelei de cabluri (vezi fig.V.2.), se impune pentru ușurarea calculelor ulterioare generarea unor noi coordonate ale fiecărui nod într-un nou sistem  $X, O', Y, Z$ , pe care le putem scrie:

$$\begin{aligned} x &= x + \Delta x && \text{în care } \Delta x = a \\ y &= y + \Delta y && \text{în care } \Delta y = b \\ z &= z + \Delta z && \text{în care } \Delta z = f_1 \end{aligned} \quad (5.2.)$$

în aceste relații în partea dreaptă coordonatele  $x, y, z$  sînt de fapt coordonatele  $X_j, Y_j, Z_j$ , determinate în sistemul  $X, O, Y, Z$ ,

În calculele următoare pentru a nu complica notațiile vom lucra numai în sistemul  $X, O', Y, Z$ , considerînd coordonatele fiecărui punct  $N_j (x_j, y_j, z_j)$  cu aceleași notații ca în sistemul inițial, dar bineînțeles cu noile lor semnificații și valori.

Deci în această etapă a calculului am stabilit coordonatele tuturor nodurilor  $N_j$  în sistemul  $X, O', Y, Z$ , pe care ne propunem să le aibă structura reală în stadiul de nul cînd acționează numai forțele de pretensionare.

În continuare se impune să determinăm forțele de pretensionare  $H_0^x, H_0^y$  și să verificăm dacă sistemul de cabluri cu condițiile de margine impuse de noi, respectă geometria propusă respectiv coordonatele  $N_j(x_j, y_j, z_j)$  obținute anterior.

Determinarea poziției inițiale este o problemă relativ complicată. Pentru sistemul concret ales se face observația că componentele horizontale  $H_0^x, H_0^y$ , ale forțelor de pretensionare în stadiul de nul sînt constante în lungul fiecărui cablu, în condițiile în care nodurile rețelei nu sînt strînse.

În aceste condiții pentru valori determinate ale lui  $H_0^x, H_0^y, x_j, y_j$  se poate determina în fiecare punct valorile  $Z_j$  din ecuațiile de echilibru scrise în fiecare nod din care rămîn semnificative numai ecuațiile de proiecție după  $O' Z$ , care se pot scrie pentru fiecare nod  $j$  sub forma:

$$H_0^x (\Delta^2 z)_j^x + H_0^y (\Delta^2 z)_j^y + P_j^z = 0 \quad (j = 1 \dots 85) \quad (5.3)$$

Deoarece în stadiul de "nul" în general nu luăm în considerare decît forțele de pretensionare, greutatea proprie a rețelei neglijîndu-se ca foarte mică este evident că

$$P_j^z = 0$$

În aceste condiții ecuația de echilibru (5.3.) ia forma:

$$H_0^x (\Delta^2 z)_j^x + H_0^y (\Delta^2 z)_j^y = 0 \quad (j = 1 \dots 85) \quad (5.4.)$$

în care operatorii au următoarea semnificație:

$$(\Delta^2 z)_j^x = \frac{z(x+1, y) - 2z(x, y) + z(x-1, y)}{\lambda_x} \quad (5.5.)$$

$$(\Delta^2 z)_j^y = \frac{z(x, y+1) - 2z(x, y) + z(x, y-1)}{\lambda_y} \quad (5.6.)$$

Pentru "j" noduri interioare vom avea un sistem de "j"

ecuații cu  $Z_j$  necunoscute. În cazul nostru un sistem de 85 de ecua-

cu 85 de necunoscute.

Este evident că prin modul de scriere a ecuației de echilibru intervin implicit condițiile de margine concrete pentru sistemul ales.

Forțele de pretensionare  $H_0^X$  și  $H_0^Y$  se stabilesc uzînd de o metodă aproximativă (de exemplu cea expusă de Schleyer) metodă ce permite și o predimensionare a sistemului, în sensul determinării unor valori  $A_{ij}$  pentru aria secțiunii transversale a cablurilor.

Rezolvarea sistemului de ecuații 5.4. dă coordonatele nodurilor de intersecție a cablurilor în stadiul de nul. Dacă geometria găsită corespunde cu cea aleasă de noi, vom considera prima etapă a calculului acela de determinare a poziției inițiale și a forțelor de pretensionare terminată, putînd trece la calculul propriuzis al structurii.

5.3.2.2. Stabilirea deplasărilor în sistemul de cabluri sub acțiunea diverselor încărcări statice inclusiv cu considerarea variațiilor de temperatură și a deplasărilor elementelor de suspensie marginale.

Considerăm echilibrul unui nod "j" în poziția inițială și în poziția deplasată în conformitate cu fig. V.3. și ținem cont de notațiile făcute la punctul 5.3.2.

Echilibrul nodului "J" în poziția deplasată se poate scrie:

$$\begin{aligned} \sum_i S_{ij}^* \cos \alpha_{ij}^* + P_j^{X^*} &= 0 \\ \sum_i S_{ij}^* \cos \beta_{ij}^* + P_j^{Y^*} &= 0 \\ \sum_i S_{ij}^* \cos \gamma_{ij}^* + P_j^{Z^*} &= 0 \end{aligned} \quad (5.7.)$$

În aceste expresii:

$$\begin{aligned} \cos \alpha_{ij}^* &= \frac{(x_i - x_j) + (u_i - u_j)}{L_{ij}^*} = \frac{K_{ij}^X}{L_{ij}^*} \\ \cos \beta_{ij}^* &= \frac{(y_i - y_j) + (v_i - v_j)}{L_{ij}^*} = \frac{K_{ij}^Y}{L_{ij}^*} \\ \cos \gamma_{ij}^* &= \frac{(z_i - z_j) + (w_i - w_j)}{L_{ij}^*} = \frac{K_{ij}^Z}{L_{ij}^*} \end{aligned} \quad (5.8.)$$

$$L_{ij}^* = \sqrt{K_{ij}^{X^2} + K_{ij}^{Y^2} + K_{ij}^{Z^2}}$$

Vom considera de asemenea variația lungimii elementului ij sub acțiunea sarcinilor exterioare a variației de temperatură și a deplasării reazemelor.

$$\Delta L_{ij} = L_{ij} \left[ \frac{\Delta S_{ij}}{A_{ij} E_{ij}} + \zeta_{ij} \Delta T_{ij}^0 \right] \quad (5.10)$$

în care:

$$L_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (5.11)$$

Deci lungimea finală a elementului este:

$$L_{ij}^* = L_{ij} + \Delta L_{ij} \quad (5.12)$$

Egalînd expresiile (5.9) și (5.12) operînd o serie de transformări ținînd cont de expresia (5.10) și neglijînd termenul

$$\frac{\Delta S_{ij}^2}{2A_{ij}E_{ij}(1 + \zeta_{ij}\Delta T_{ij})}$$

Se ajunge la expresia variației efortului în elementul  $ij$

$$\Delta S_{ij} = M_{ij}^1 \cdot L_{ij} (M_{ij}^2 + M_{ij}^3 - M_{ij}^4) \quad (5.13)$$

în care:

$$M_{ij}^1 = \frac{A_{ij} E_{ij}}{(1 + \zeta_{ij} \Delta T_{ij}^0) L_{ij}^3} \quad (5.14)$$

$$M_{ij}^2 = \frac{1}{2} [(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2 + (w_i - w_j)^2] \quad (5.15)$$

$$M_{ij}^3 = [(x_i - x_j)(u_i - u_j) + (y_i - y_j)(v_i - v_j) + (z_i - z_j)(w_i - w_j)] \quad (5.16)$$

$$M_{ij}^4 = \zeta_{ij} \Delta T_{ij}^0 \left(1 + \frac{\zeta_{ij}}{2} \Delta T_{ij}^0\right) L_{ij}^2 \quad (5.17)$$

Vom introduce notația:

$$S_{ij}^* = S_{ij} + \Delta S_{ij} \quad (5.18)$$

În continuare vom substitui valorile (5.8) în ecuațiile (5.7) și ținînd cont de (5.18) și (5.13) vom ajunge la sistemul de ecuații de echilibru a structurii sub forma:

$$\sum_1^i M_{iJ}^0 \cdot K_{iJ}^X + P_J^{X*} = 0 ; (J=1..85) \quad (5.19)$$

$$\sum_1^i M_{iJ}^0 \cdot K_{iJ}^Y + P_J^{Y*} = 0 ; (J = 1..85)$$

$$\sum_1^i M_{iJ}^0 \cdot K_{iJ}^Z + P_J^{Z*} = 0 ; (J = 1..85)$$

În sistemul de ecuații 5.19 am notat:

$$M_{iJ}^0 = \left[ \frac{S_{ij}}{L_{ij}} + M_{ij}^1 (M_{ij}^2 + M_{ij}^3 - M_{ij}^4) \right] \quad (5.20)$$

Sistemul de ecuații de echilibru (5.19) scris pe poziția deplasată a structurii pentru un număr  $N$  de noduri interioare, are  $3N$  necunoscute deplasări  $u_j, v_j, w_j$  respectiv componentele deplasărilor nodurilor după direcția celor 3 axe de coordonate.

În general la sistemele suspendate ne raportăm întotdeauna la poziția inițială a structurii care este de obicei stadiul de nul, dar ne putem raporta și la o poziție cu încărcare oarecare care precede treapta de încărcare pe care o luăm în calcul.

În orice caz convenim să considerăm poziția inițială ca o

poziție nedeplasată. Fie nodul "J" din fig.V.3. în poziția inițială. Vom scrie ecuațiile de echilibru:

$$\begin{aligned} \sum_i \left[ \frac{\delta_{ij} (x_i - x_j)}{l_{ij}} \right] + P_j^x &= 0 \\ \sum_i \left[ \frac{\delta_{ij} (y_i - y_j)}{l_{ij}} \right] + P_j^y &= 0 \\ \sum_i \left[ \frac{\delta_{ij} (z_i - z_j)}{l_{ij}} \right] + P_j^z &= 0 \end{aligned} \quad (J=1-85) \quad (5.21)$$

Scădem ecuațiile (5.21) din ecuațiile (5.19), grupăm separat termenii liniari de cei neliniari, trecem termenii de încărcare și termenii neliniari în partea dreaptă a ecuațiilor, rescriem ecuațiile cu explicitarea tuturor termenilor indicînd vecinătățile nodului j cu indicii i I, i II, i III, i IV și avem:

$$\begin{aligned} b_1 U_{iI} + b_2 U_{iII} + b_3 U_{iIII} + b_4 U_{iIV} + b_5 U_j + f_1 V_{iI} + f_2 V_{iII} + f_3 V_{iIII} + \\ + f_4 V_{iIV} + f_5 V_j + g_1 W_{iI} + g_2 W_{iII} + g_3 W_{iIII} + g_4 W_{iIV} + g_5 W_j = \\ = - (P_j^{x*} - P_j^x) - \sum_i R_{ij}^x + \sum_i K_{ij}^4 \end{aligned} \quad (5.22 a)$$

pt.  $j = 1 \div 85$

$$\begin{aligned} c_1 U_{iI} + c_2 U_{iII} + c_3 U_{iIII} + c_4 U_{iIV} + c_5 U_j + d_1 V_{iI} + d_2 V_{iII} + d_3 V_{iIII} + \\ + d_4 V_{iIV} + d_5 V_j + q_1 W_{iI} + q_2 W_{iII} + q_3 W_{iIII} + q_4 W_{iIV} + q_5 W_j = \\ = - (P_j^{y*} - P_j^y) - \sum_i R_{ij}^y + \sum_i K_{ij}^8 \end{aligned} \quad (5.22 b)$$

pt.  $j = 1 \div 85$

$$\begin{aligned} d_1 U_{iI} + d_2 U_{iII} + d_3 U_{iIII} + d_4 U_{iIV} + d_5 U_j + h_1 V_{iI} + h_2 V_{iII} + h_3 V_{iIII} + \\ + h_4 V_{iIV} + h_5 V_j + q_1 W_{iI} + q_2 W_{iII} + q_3 W_{iIII} + q_4 W_{iIV} + q_5 W_j = \\ = - (P_j^{z*} - P_j^z) - \sum_i R_{ij}^z + \sum_i K_{ij}^{12} \end{aligned} \quad (5.22 c)$$

pt.  $j = 1 \div 85$

în care:

$$\begin{aligned} K_{ij}^1 &= \frac{\delta_{ij}}{l_{ij}} + M_{ij}^1 \left[ (x_i - x_j)^2 - M_{ij}^4 \right] & K_{ij}^5 &= M_{ij}^1 (x_i - x_j) (y_i - y_j) \\ K_{ij}^2 &= M_{ij}^1 (x_i - x_j) (y_i - y_j) & K_{ij}^6 &= \frac{\delta_{ij}}{l_{ij}} + M_{ij}^1 \left[ (y_i - y_j)^2 - M_{ij}^4 \right] \\ K_{ij}^3 &= M_{ij}^1 (x_i - x_j) (z_i - z_j) & K_{ij}^7 &= M_{ij}^1 (y_i - y_j) (z_i - z_j) \\ K_{ij}^4 &= M_{ij}^1 \cdot M_{ij}^4 (x_i - x_j) & K_{ij}^8 &= M_{ij}^1 \cdot M_{ij}^4 (y_i - y_j) \end{aligned} \quad (5.23)$$

$$K_{ij}^9 = M_{ij}^1 (x_i - x_j)(z_i - z_j) \quad K_{ij}^{11} = \frac{S_{ij}}{L_{ij}} + M_{ij}^1 \left[ (z_i - z_j)^2 - M_{ij}^4 \right]$$

$$K_{ij}^{10} = M_{ij}^1 (y_i - y_j)(z_i - z_j) \quad K_{ij}^{12} = M_{ij}^1 \cdot M_{ij}^4 (z_i - z_j)$$

$$b_1 = K_{i\bar{i}j}^1; \quad b_2 = K_{i\bar{i}\bar{j}}^1; \quad b_3 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{j}}}^1; \quad b_4 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{\bar{j}}}^1; \quad b_5 = -(b_1 + b_2 + b_3 + b_4) \quad (5.24)$$

$$t_1 = K_{i\bar{i}j}^2; \quad t_2 = K_{i\bar{i}\bar{j}}^2; \quad t_3 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{j}}}^2; \quad t_4 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{\bar{j}}}^2; \quad t_5 = -(t_1 + t_2 + t_3 + t_4) \quad (5.25)$$

$$f_1 = K_{i\bar{i}j}^3; \quad f_2 = K_{i\bar{i}\bar{j}}^3; \quad f_3 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{j}}}^3; \quad f_4 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{\bar{j}}}^3; \quad f_5 = -(f_1 + f_2 + f_3 + f_4) \quad (5.26)$$

$$c_1 = K_{i\bar{i}j}^5; \quad c_2 = K_{i\bar{i}\bar{j}}^5; \quad c_3 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{j}}}^5; \quad c_4 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{\bar{j}}}^5; \quad c_5 = -(c_1 + c_2 + c_3 + c_4) \quad (5.27)$$

$$o_1 = K_{i\bar{i}j}^6; \quad o_2 = K_{i\bar{i}\bar{j}}^6; \quad o_3 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{j}}}^6; \quad o_4 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{\bar{j}}}^6; \quad o_5 = -(o_1 + o_2 + o_3 + o_4) \quad (5.28)$$

$$g_1 = K_{i\bar{i}j}^7; \quad g_2 = K_{i\bar{i}\bar{j}}^7; \quad g_3 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{j}}}^7; \quad g_4 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{\bar{j}}}^7; \quad g_5 = -(g_1 + g_2 + g_3 + g_4) \quad (5.29)$$

$$d_1 = K_{i\bar{i}j}^9; \quad d_2 = K_{i\bar{i}\bar{j}}^9; \quad d_3 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{j}}}^9; \quad d_4 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{\bar{j}}}^9; \quad d_5 = -(d_1 + d_2 + d_3 + d_4) \quad (5.30)$$

$$h_1 = K_{i\bar{i}j}^{10}; \quad h_2 = K_{i\bar{i}\bar{j}}^{10}; \quad h_3 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{j}}}^{10}; \quad h_4 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{\bar{j}}}^{10}; \quad h_5 = -(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \quad (5.31)$$

$$q_1 = K_{i\bar{i}j}^{11}; \quad q_2 = K_{i\bar{i}\bar{j}}^{11}; \quad q_3 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{j}}}^{11}; \quad q_4 = K_{i\bar{i}\bar{\bar{\bar{j}}}^{11}; \quad q_5 = -(q_1 + q_2 + q_3 + q_4) \quad (5.32)$$

$$R_{ij}^x = M_{ij}^1 \left[ (x_i - x_j) M_{ij}^2 + (u_i - u_j) (M_{ij}^2 + M_{ij}^3) \right]$$

$$R_{ij}^y = M_{ij}^1 \left[ (y_i - y_j) M_{ij}^2 + (v_i - v_j) (M_{ij}^2 + M_{ij}^3) \right] \quad (5.33)$$

$$R_{ij}^z = M_{ij}^1 \left[ (z_i - z_j) M_{ij}^2 + (w_i - w_j) (M_{ij}^2 + M_{ij}^3) \right]$$

Prin rezolvarea sistemului de ecuații (5.22) se obțin valorile componentelor după axele de coordonate ale deplasărilor nodurilor rețelei și anume  $u_j, v_j, w_j$ .

5.3.2.3. Stabilirea eforturilor în sistemul de cabluri sub acțiunea diversilor încărcări statice, inclusiv cu considerarea variațiilor de temperatură și a deplasărilor elementelor de suspensie marginale.

Determinarea variației eforturilor în elementele sistemului se face conform expresiei stabilită anterior (5.13).

Pentru calcul se folosesc valorile deplasărilor stabilite în etapa anterioară de calcul în conformitate cu cele precizate la punctul 5.3.2.2.

Se observă că la calculul eforturilor se ține cont atât de variația de temperatură, cât și de deplasările elementelor de margine, a căror influență este cuprinsă în valorile termenilor din expresia de calcul a eforturilor.

In determinarea expresiilor finale  $S_{ij}$  ale eforturilor se va ține cont atât de variația  $\Delta S_{ij}$  a acestora cât și de valoarea  $S_{ij}$  a eforturilor în etapa anterioară de calcul, considerată ca poziție de plecare pentru calculul lui  $\Delta S_{ij}$ .

Se impun totuși câteva precizări privind considerarea interacțiunii între elementul marginal de suspensie și rețeaua propriuzisă.

Calculul se conduce într-o primă etapă fără luarea în considerare a deplasărilor punctelor de fixare pe contur a cablurilor. Se obține un set de reacțiuni cu care se pot calcula elementele marginale și respectiv deplasările punctelor de fixare pe contur  $u, v, w$  (punctele 86 - 113).

Se scrie sistemul ecuațiilor de condiție cu considerarea valorilor deplasărilor punctelor de fixare marginale, obținându-se astfel în partea stângă a sistemului de ecuații o serie de termeni cu valori numerice distincte. Acești termeni se pot grupa în partea dreaptă a sistemului și considera ca termeni de corecție ai încărcării.

Se rezolvă în aceste condiții sistemul ecuațiilor de condiție obținând un set nou de deplasări pentru nodurile interioare ale rețelei care țin cont de deplasarea elementului marginal și de asemenea un nou set de eforturi. Cu noile reacțiuni obținute se repetă calculul intrînd într-un proces iterativ. Interacțiunea se continuă funcție de precizia pe care dorim să o aibă calculul, pînă cînd diferențele

între deplasările obținute în două etape de calcul succesive sînt mai mici decît o valoare impusă considerată ca satisfăcătoare.

#### 5.3.2.4. Precizări privind modul de rezolvare a sistemului ecuațiilor de condiție.

După cum s-a arătat la punctul 5.3.2.2. sistemul ecuațiilor de condiție este un sistem neliniar.

Înainte de a trece la concretizarea metodei de rezolvare propuse în cazul nostru, considerăm util să prezentăm cîteva date generale referitoare la modalitatea de conducere a rezolvării sistemului de ecuații de condiție pentru cazul general al unor structuri cu deplasări mari (24).

##### 5.3.2.4.1. Modalități de conducerea rezolvării sistemului de ecuații de condiție pentru cazul general al unor structuri cu deplasări mari.

Vom considera sistemul ecuațiilor de condiție într-un caz general oarecare scris sub forma matricială.

$$R^* \Delta = P.$$

La structurile cu deplasări mari, în care comportarea structurii este geometric neliniară deși se consideră comportarea perfect elastică a materialului, stabilirea corectă a unor situații finale poate fi făcută indiferent de procesul real pornind de la o situație inițială dată (24).

Rezolvarea care poate fi aplicată este fie rezolvarea iterativă fie rezolvarea prin pași succesivi.

a) Rezolvarea prin iterație. Se face pentru mărimile finale totale ale sarcinilor date cuprinse în matricea coloană P. Calculul se conduce pornind într-o primă etapă de la matricea R din calculul liniar determinîndu-se un prim set de deplasări  $\Delta$  (1).

În etapa II-a de calcul cu deplasările  $\Delta$  (1) se calculează matricea de rigiditate geometrică secantă  $G_s(1)$  cu ajutorul căreia se obține matricea de rigiditate corectată.

$$R^* (1) = R - G_s (1)$$

Cu aceasta se calculează un nou set de deplasări  $\Delta$  (2), și similar în a treia etapă de calcul cu matricea

$R^* (2) = R - G_s (2)$  se determină deplasările  $\Delta$  (3). Calculul se repetă pînă la asigurarea unei convergențe corespunzătoare,

Acest procedeu poate fi îmbunătățit prin aplicarea condiției



de echilibru static in fiecare ciclu. In acest caz începînd cu o a doua etapă de calcul se folosește o matrice de rigiditate de forma  $R - G_t^{(i)}$  unde intervine matricea de rigiditate geometrică tangentă - corespunzătoare deplasărilor  $\Delta(i)$ .

Ciclurile se repetă pînă cînd corecția  $\Delta P^{(i)}$  devine neglijabilă.

b.) Rezolvarea prin metoda cu pași succesivi.

In acest caz structura se încarcă cu o succesiune de încărcări incrementale  $\Delta P$  pînă la atingerea încărcării finale.

Pentru fiecare treaptă se folosește matricea de rigiditate tangentă. Pentru o etapă oarecare de calcul sistemul de ecuații devine:

$$R^{*(i)} \Delta i = \Delta P^{(i)} \quad \text{în care } R^{*(i)} = R - G_t^{(i-1)}$$

care dă un set de deplasări  $\Delta i$ .

Deplasările totale in această etapă se calculează prin însumare.

$$\sum \Delta j \quad (j = 1, \dots, i)$$

Sensul fizic al acestui mod de rezolvare constă în aproximarea comportării neliniare, printr-o succesiune de intervale cu comportare liniarizată corespunzătoare treptelor incrementale  $\Delta P^{(i)}$ .

Abaterile sînt cu atît mai mici cu cît incrementul  $\Delta P^{(i)}$  este mai mic. Este însă de observat că din punct de vedere al rezolvării practice nu este convenabilă o valoare prea mică pentru  $\Delta P$  datorită mărimei timpului necesar rezolvării.

Si în această metodă se poate folosi corectarea pe baza restabilirii condiției de echilibru static la interval de cîteva trepte de încărcare.

5.3.2.4.2. Modul de rezolvare propus pentru sistemul ecuațiilor de condiție in cazul concret studiat.

Sistemul de ecuații ( 5.22) a fost scris separînd termenii liniari de cei neliniari.

Termenii neliniari de forma  $R_{ij}$  au fost trecuți în partea dreaptă a sistemului împreună cu termenii din încărcarea exterioară  $P$  și cei din temperatură.

In acest fel putem considera termenii  $R_{ij}$  ca pe niște termeni de corecție ai încărcării aplicați pe sistem.

Plecînd de la această observație se propune un mod de rezolvare iterativă care să decurgă astfel:

In prima etapă de calcul se calculează un prim set de deplasări  $\Delta(1)$  considerînd termenii  $R_{ij} = 0$ . Aceasta de fapt corespunde cu un calcul liniar.

Cu deplasările  $\Delta(1)$  vom calcula termenii de ordinul doi  $R_{ij}(1)$  care se consideră termeni de corecție ai încărcării.

În acest mod se calculează un nou set de valori pentru deplasări  $\Delta(2)$ .

Etapele de calcul se repetă pînă cînd se ajunge ca diferența între deplasările obținute în două etape succesive să fie suficient de mică pentru precizia de calcul impusă  $\Delta(i) - \Delta(i-1) < \epsilon$

Valoarea pentru  $\epsilon$  se alege de la caz la caz, în funcție de precizia pe care vrem să o obținem în calcul.

În general acest procedeu permite o convergență relativ bună și în limite de precizie acceptabile.

### 5.3.2.5. Cazul particular de încărcare numai cu forțe verticale.

Deoarece majoritatea încărcărilor exterioare ce acționează pe rețeaua de cabluri a unui acoperiș suspendat sînt verticale (sau au componente horizontale ce se pot neglija) este de luat în considerare ipoteza de încărcare.

$$P_j^x = P_j^y = 0 ; P_j^z \neq 0$$

În aceste condiții se poate considera cu o suficientă precizie a calculului că deplasările horizontale ale nodurilor sînt nule

$$u_j = v_j = 0$$

Această ipoteză ne permite să considerăm numai componenta verticală a deplasărilor nodurilor  $w_j$ .

Pentru o structură reală, pentru principalele încărcări  $P_j^z \neq 0$ , aflarea valorilor  $w_j$  sînt suficiente pentru determinarea comportării structurii sub sarcini.

Considerarea în calcul numai a componentei  $w_j$  a deplasării nodului, duce la simplificarea și ușurarea deosebită a calculului, reducînd de 3 ori numărul ecuațiilor de condiție.

Este evident că avem 3 n ecuații pentru "n" necunoscute  $w_j$ .

De aceea se observă că este suficient să păstrăm cele "n" ecuații de proiecție după axa  $OZ$ , rezolvarea rezumîndu-se la un sistem de forma:

$$Q_1 w_{I} + Q_2 w_{II} + Q_3 w_{III} + Q_4 w_{IV} + Q_5 w_j = (P_j^{z^*} - P_j^z) - \sum_i R_{ij}^z + \sum_i K_{ij}^z \quad (5.34)$$

*pt. j = 1-85*

### 5.4. Concluzii.

Metoda de calcul este aplicabilă unor structuri spațiale

ortogonale de cabluri pretensionate de tip paraboloid hiperbolic pe contur liniar, dar poate fi ușor adaptată și aplicată la diverse tipuri de rețele de cabluri.

Metoda permite calculul sub încărcări exterioare statice de orice natură indiferent de mărime, direcție și sens, cât și pentru variația de temperatură și deplasări ale rezemelor cablurilor din rețea.

În cap. VII se prezintă un program de calcul elaborat pe baza acestei metode de calcul.

Având în vedere elementul practic al calculului, programele tratează numai cazul încărcărilor verticale care pentru proiectarea curentă sînt esențiale.

Dar pe baza programului elaborat, orice inginer cu experiență în programare poate ușor asambla și scrie ecuațiile de condiție pentru orice ipoteză de încărcare, iar tehnica actuală de calcul nu ridică probleme deosebite în rezolvarea sistemelor de ecuații de condiție.

Menționăm că rezultatele experimentale au confirmat valabilitatea metodei de calcul cât și a programului elaborat în teză așa cum se va putea vedea în capitolul VIII.

## CAPITOLUL VI. ÎNCERCĂRI PE MODEL.

### 6.1. Structurile studiate.

Încercările experimentale au drept scop studiul comportării sub încărcări a unor rețele de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate de tip paraboloid hiperbolic.

În acest sens modelele pe care s-au condus experimentările și care vor fi prezentate pe larg în acest capitol, respectă ca structură și formă geometrică - caracteristicile generale ale unor acoperișuri pe cabluri de tip paraboloid hiperbolic, cu caracteristicile prezentate la cap. V. pct. 5.2.

### 6.2. Alegerea modelului pentru încercarea structurilor de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate.

Cercetarea pe modele la scară redusă, ne oferă posibilitatea obținerii unor rezultate relativ precise, cu posibilități în general simple și costuri rezonabile. Bineînțeles că aceste rezultate sînt concludente, numai în măsura în care complexul de parametri realizați în timpul experienței permit extinderea rezultatelor cercetării pe model, la structurile reale cu dimensiuni mult mai mari.

Cercetările experimentale trebuie să determine stît distri-

buția încărcărilor exterioare pe suprafața acoperișului cât și starea de efort și deformație în rețeaua de cabluri. Din încărcările exterioare pentru acoperișurile pe cabluri o importanță deosebită o are încărcarea din vânt.

Cercetarea ar putea fi condusă pe un model care să poată servi concomitent atât la măsurarea acțiunii vântului, cât și a eforturilor și deplasărilor din rețea. Această modalitate de lucru este deosebit de intuitivă și concretă, însă este greu de realizat în primul rând datorită problemelor deosebite pe care le pune executarea unui astfel de model.

De aceea se recomandă cercetarea pe două tipuri de modele distincte (23) și anume:

- pe primul model se determină în tunelul aerodinamic încărcările pe suprafața acoperișului din acțiunea vântului;

- pe al doilea model, destinat încercărilor statice și dinamice se determină mărimea eforturilor și deplasărilor în rețeaua de cabluri.

Acest ultim mod de lucru a fost ales și pentru conducerea experimentărilor care fac obiectul celor ce urmează.

### 6.3. Etapele de experimentare.

Cercetările experimentale au fost efectuate pe două modele distincte în trei etape:

- determinarea pe modelul I în tunelul aerodinamic a încărcărilor din acțiunea vântului, respectiv ai coeficienților aerodinamici;
- determinarea deplasărilor și eforturilor în rețeaua de cabluri sub acțiunea diverselor încărcări statice pe modelul II; -
- încercări sub acțiunea unor încărcări dinamice pe modelul II.

### 6.4. Determinarea pe model în tunel aerodinamic a coeficienților aerodinamici din acțiunea vântului.

#### 6.4.1. Modelul I supus experimentării.

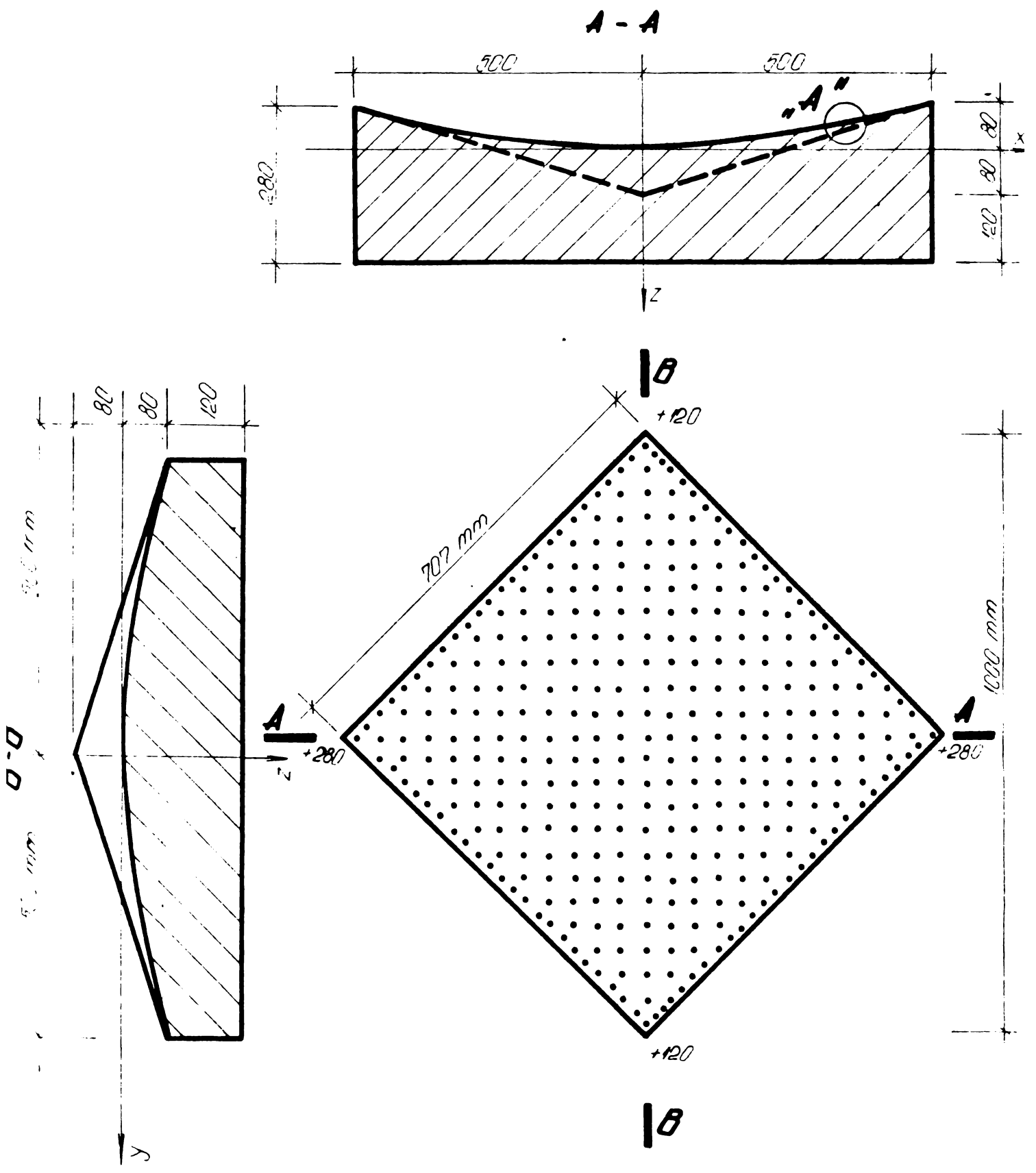
Pornindu-se de la forma rețelei de cabluri de paraboloid hiperbolic descrisă anterior (cap.V) s-a realizat un model având următorii parametrii (fig.VI.1).

$$a = b = \frac{l}{2} = 500 \text{ mm.}$$

$$f_1 = f_2 = 80 \text{ mm.}$$

- înălțimea colțurilor joase = 120 mm

- înălțimea colțurilor ridicate = 230 mm.



**DETALIUL "A"**

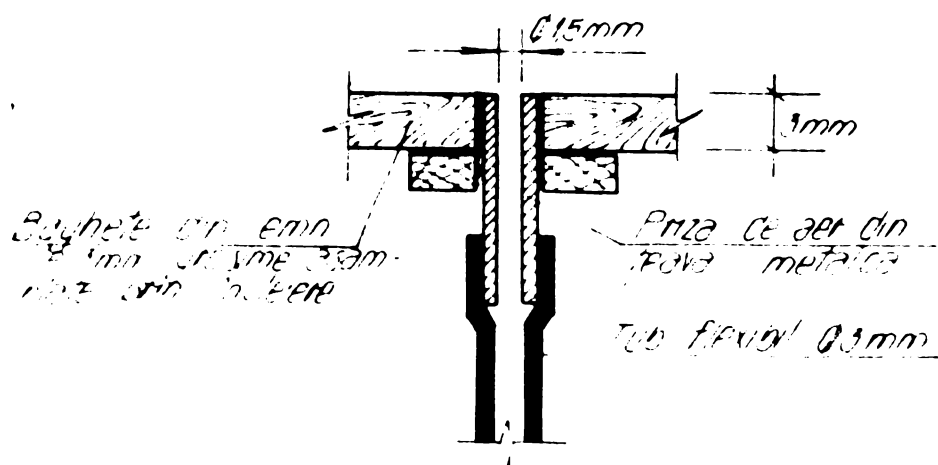


Fig VI.1

Modelul are în plan forma unui patrat cu diagonala de 1000 mm.

În tabelul VI.1. sînt indicate valorile  $Z$  ale parabolei aferente cablului principal portant funcție de variabila  $x$  în sistemul de coordonate reprezentat în figura VI.1.

Modelul a fost realizat din lemn și anume: pereții laterali ai modelului din placaj de 5 mm, iar suprafața acoperișului din baghete de lemn flexibile înclinate între ele. Modelul s-a rigidizat în interior cu nervuri din placaj de 5 mm.

Pe suprafața acoperișului s-au realizat 362 de puncte în care să fie efectuate măsurătorile. În fiecare din aceste puncte s-a fixat o priză de aer metalică avînd diametrul interior la suprafața modelului de 1,5 mm. Aceste prize s-au așezat normal pe suprafața acoperișului în fiecare punct.

De prizele de aer s-au fixat tuburi flexibile cu diametrul interior  $\emptyset$  3 mm care conduc la aparatele de măsurat.

Cele 362 de puncte sînt numerotate din 1 în 1, de la 1 la 362.

Modelul a fost realizat deosebit de precis cu toleranțe de o zecime de mm, pentru a se putea asigura precizia măsurătorilor în timpul experienței.

#### 6.4.2. Stabilirea parametrilor de experimentare.

Parametrii la care se efectuează experiența au trebuit să fie cît mai apropiați de cei naturali, pentru că extinderea rezultatelor cercetărilor pe model la construcția reală poate să se facă, în general, numai dacă modelul se cercetează în condiții asemănătoare cu cele în care se află construcția reală:

Unii autori ca Dan Ghiocel (25.) precizează dificultățile legate de simularea acțiunii vîntului natural pe construcțiile reale, prin acțiunea curentului de aer asupra modelelor în tunelul aerodinamic, printre care cele mai importante sînt:

- realizarea în timpul experimentărilor în tunel a numărului Reynolds corespunzător situației reale din natură.
- simularea în tunel a rugozității terenului.
- simularea în tunel a turbulenței aerului natural.

Se știe că acțiunea vîntului asupra a două corpuri geometrice asemănătoare dă rezultate matematice asemănătoare cînd la ambele corpuri este egal numărul lui Reynolds:

$$(6.1)$$

$$Re = \frac{V \cdot l}{\nu}$$

unde  $V$  = viteza curentului de aer

$l$  = dimensiunea caracteristică maximă a construcției sau modelului.

$\nu$  = viscozitatea cinematică a aerului;

În STAS 10101/20-78 se indică pentru  $\nu$  la 15°C și presiunea atmosferică de 760 mm coloană de mercur valoarea  $\nu = 0,145 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s.

Deci, dacă modelul este realizat față de construcția reală la scara 1/n, ar trebui ca viteza curentului de aer în tunel să fie de "n" ori mai mare ca viteza reală a vântului.

Tehnic acest lucru este practic nerealizabil în majoritatea cazurilor.

Studiile efectuate pînă în prezent (23) (94) au dovedit că atunci cînd construcția reală (și deci și modelul) au în plan o configurație poligonală, încărcarea din vînt nu este legată de numărul lui Reynolds, dacă atît pentru model cît și pentru construcția reală acesta este mai mare decît 1000.

În acest caz pentru model va trebui să avem un curent de aer constant în tunelul aerodinamic.

Construcția reală va respecta întotdeauna în mod evident condiția:

$$Re_{\text{construcție}} > 1000$$

Această condiție este respectată și pentru modelul I chiar la o viteză mică a curentului de aer.

De exemplu pentru  $V = 10$  m/s vom avea

$$Re_{\text{model}} = \frac{10 \times 1,0}{0,145 \times 10^{-4}} > 1000$$

unde în calcul s-a introdus o valoare  $\nu = 0,145 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s corespunzătoare unei temperaturi de 15°C, iar pentru dimensiunea maximă a modelului s-a luat  $l = 1$  m.

Concluzia este că una din dificultățile principale de experimentare în tunelul aerodinamic și anume aceea a reproducerii în condiții de tunel a numărului Reynolds corespunzător situației din natură, nu se mai pune în cazul nostru concret.

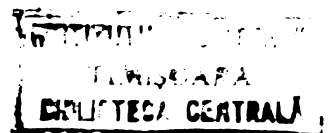
Experimentarea are drept scop determinarea coeficienților aerodinamici "C".

Acțiunea unitară exercitată de vînt pe fețele unei construcții "p", se exprimă prin produsul dintre presiunea dinamică  $q$  și coeficientul aerodinamic  $C$  (25) (74).

$$p = C \cdot q \quad (6.2)$$

Deci coeficientul aerodinamic notat  $C$ , se definește ca: raportul între presiunea exercitată de vînt într-un punct al suprafeței construcției și presiunea dinamică a vîntului (presiunea se consideră acționînd normal pe suprafață) (25).

Prin convenție  $C$  se consideră pozitiv pentru presiuni și



negativ pentru sucțiuni.

Cunoaștem că presiunea dinamică  $q$  este legată de viteza curentului de aer prin formula:

$$q = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \quad (6.3.)$$

unde  $\rho$  = densitatea aerului,  
 $v$  = viteza curentului de aer.

Deci coeficientul aerodinamic este complet determinat prin raportul:  $C = \frac{P}{q}$  (6.4.)

Coeficientul aerodinamic  $C$  nu depinde de viteza curentului de aer din tunel (23) (94).

Se pune deci problema a măsura în fiecare punct presiunea "pi" normală la suprafața acoperișului și de a determina presiunea dinamică  $q$  a curentului de aer ce a provocat această presiune.

Cu aceste date se va putea determina coeficientul aerodinamic în fiecare punct al suprafeței modelului ca raport.  $C_i = \frac{P_i}{q}$

Trecerea la experimentare impune stabilirea vitezei curentului de aer din tunel.

Această viteză s-a stabilit atât în funcție de posibilitățile tehnice de care dispune instalația cu care este dotat tunelul unde s-a făcut experimentarea, cât și de unele precizări și recomandări ale bibliografiei de specialitate.

La experiențe efectuate de Otto Frei s-au folosit viteze între 16,7 m/s - 17,6 m/s, iar la încercarea în tunel a machetei Pavilionului francez de la expoziția internațională de la Bruxelles, s-au folosit viteze de pînă la 30 m/s (94).

Alegerea vitezei pentru încercare este rațional să se facă în domeniul vitezelor de la cca. 15 m/s la 25 m/s care în conformitate cu scara Beaufort (25) (97) corespunde unui vînt tare și respectiv unei vijelii puternice.

#### 6.4.3. Modul de desfășurare al experimentării.

Experiențele s-au efectuat în tunelul aerodinamic al catedrei de aeronautică al Institutului Politehnic din București. Tunelul deși relativ vechi are caracteristici deosebite permițînd realizarea experiențelor în condiții optime.

Tunelul aerodinamic cu diametrul camerei de experiență de 1,5 m. este cu circuit închis și cu "vînt limitat" (camera de experiență închisă). Aceste caracteristici au influențat asupra corecțiilor ce au trebuit aduse rezultatelor experimentale, corecții ce se datoresc



faptului că vîna fluidă are o mărime finită în raport cu modelul experimentat. Modelul a fost introdus în camera de experiență și fixat pe un disc de lemn mobil cu grosimea de 5 mm. și diametrul de 1300 mm, așa cum se poate vedea în fig. VI.2. Discul împreună cu modelul se poate roti liber în plan orizontal.

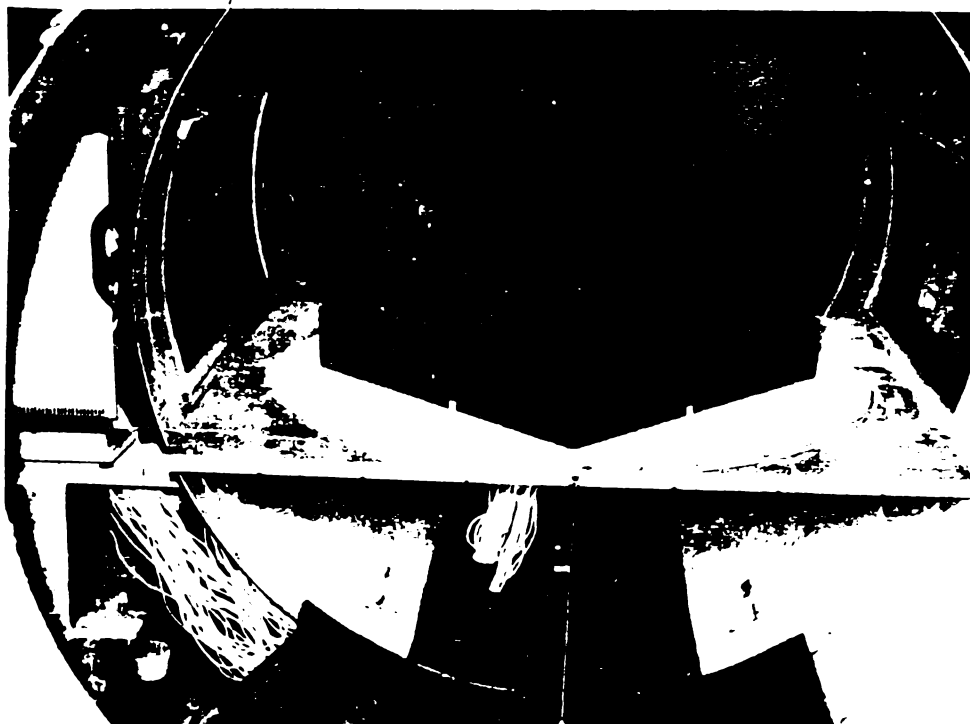


Fig. VI.2.

Avînd în vedere că manometrul multiplu pe care l-am avut la dispoziție nu a permis efectuarea decît a 60 de citiri simultane, experiența a decurs în etape pînă la complectarea măsurătorilor pentru punctele de pe o jumătate a modelului și anume de la 1 la 195.

S-a fixat modelul în tunel la poziția  $0^\circ$  față de direcția curentului de aer din tunel. Prin tuburi flexibile cu diametrul interior de  $\varnothing 3$  mm, s-a făcut legătura între prizele de aer fixate pe model și bateria de manometre cu alcool. Cele 60 de elemente ale bateriei au fost racordate după cum urmează:

- 2 elemente racordate la camera de experimentare pentru a indica diferența între presiunea din camera de experimentare (care în timpul experienței este închisă) și presiunea atmosferică;

- 3 elemente libere lucrînd la presiunea atmosferică;

- 55 elemente racordate la prizele de aer fixate pe model.

Pentru determinarea vitezei curentului de aer din camera de experiență se utilizează un micromanometru (M1) conectat la două prize de presiune statică în vîna fluidă, situată în zona de viteză max. (ieșirea din colector) și respectiv la intrarea în colector. Indicațiile acestui micromanometru nu dau direct viteza curentului, de aer ci indică doar diferența de presiune dintre cele două puncte, care însă poate fi folosită la determinarea vitezei curentului de aer pe baza curbei de etalonare a tunelului care este cunoscută.



Fig.VI.3.

În fig. se poate vedea o imagine de ansamblu a camerei de experimentare a tunelului aerodinamic cu modelul amplasat în ea. Se observă tuburile de racord și bateria de manometre. Citirile la micromanometru s-au făcut vizual notându-se pe parcursul experienței pentru fiecare poziție a modelului.

Indicațiile bateriei de manometre au fost fotografiate, citirile făcându-se ulterior de pe imaginile fotografice. Acest lucru a eliminat eventualele erori care s-ar fi făcut prin citiri directe în timpul experienței și a redus mult timpul desfășurării experiențelor care și în aceste condiții au necesitat circa 10 zile.

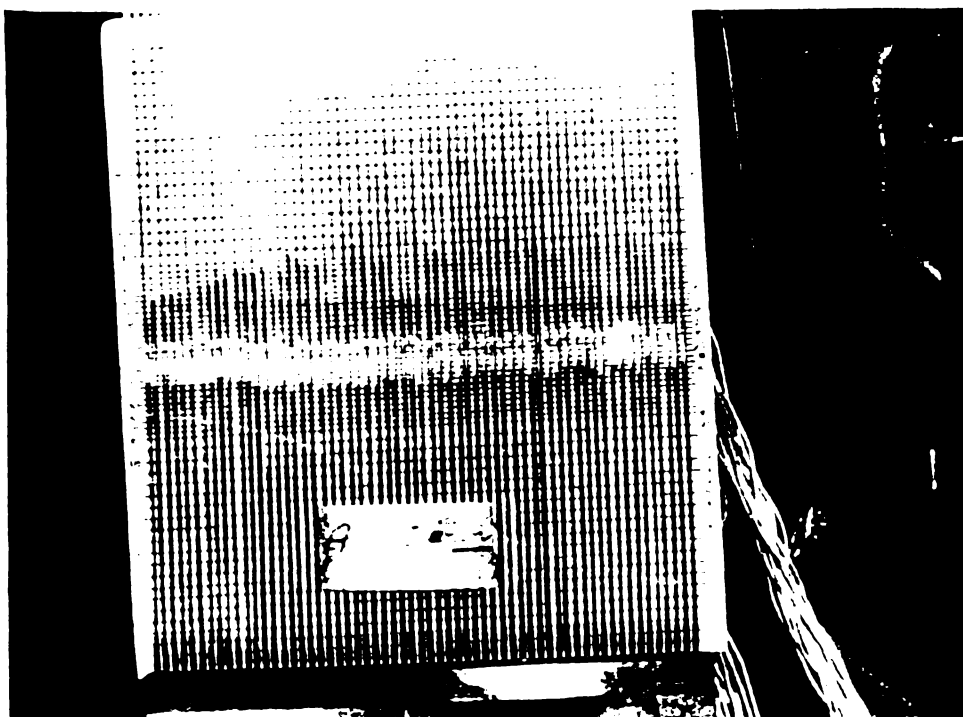


Fig.VI.4.

În fig.VI.4 se poate vedea imaginea de ansamblu a bateriei de manometre cu 60 elemente din care elementul 1 și 59 sînt legate la camera de experimentare, elementele 37, 38, 60 sînt libere la presiunea atmosferică iar restul de 55 elemente sînt racordate la puncte de pe suprafața modelului pentru orientarea modelului  $270^\circ$  și pentru viteza  $V = 16,30$  m/s. După cum am arătat datorită numărului limitat de tuburi al bateriei de manometre, experimentarea a decurs pe etape măsurătorile făcîndu-se pe grupuri de puncte de pe model în limita celor 55 de măsurători simultane posibile. Fiecare etapă de experimentare a decurs în două faze după cum urmează:

Faza I-a. După realizarea tuturor legăturilor și verificarea aparatelor de măsură se închide camera de experiență a tunelului. Modelul este așezat în poziție corespunzătoare curentului de aer luată convențional ca direcția  $0^\circ$  (fig.VI.5).

Se conectează în stația de alimentare cu aer la o primă viteză de experimentare de ca. 17 m/s. Pentru poziția modelului  $0^\circ$  se citește și se notează lungimea coloanei de alcool "h" a micromanometrului (M1) precum și temperatura alcoolului din rezervorul bateriei de manometre. Concomitent se fotografiază indicațiile bateriei de manometre și se notează temperatura alcoolului din rezervorul bateriei de manometre. Se trece la rotirea modelului cu  $15^\circ$  față de poziția inițială ajungînd cu modelul în poziția cu direcția curentului de aer la  $15^\circ$ . Se fac aceleași citiri și operații ca la poziția  $0^\circ$ . Se repetă această schemă de lucru pentru poziția modelului rotită din  $15^\circ$  în  $15^\circ$  de la poziția  $0^\circ$  la  $360^\circ$  conform schițelor din fig.VI.5. Precizăm că pe model sectoarele notate I, II corespund zonei punctelor 1 la 195 la care s-au efectuat măsurători.

Faza II-a. Decurge identic cu faza I-a, cu deosebirea că stabilizarea curentului la aer s-a făcut pentru o viteză mai mare în jurul valorii de 21 m/s.

În concluzie s-au efectuat măsurători în fiecare punct de la 1 la 195 pentru două viteze caracteristice și pentru fiecare din cele 25 poziții de orientare ale modelului față de curentul de aer de la  $0^\circ$  la  $360^\circ$  din  $15^\circ$  în  $15^\circ$ . Aceasta înseamnă că s-au făcut circa 9750 de măsurători.

#### 6.4.4. Prelucrarea datelor experimentale și determinarea coeficienților aerodinamici.

După cum am arătat se pune problema calculului coeficientului aerodinamic "C1" pentru care avem nevoie de valoarea presiunii dinamice  $q$  a curentului de aer și presiunea normală efectivă "p1" în punctul studiat.

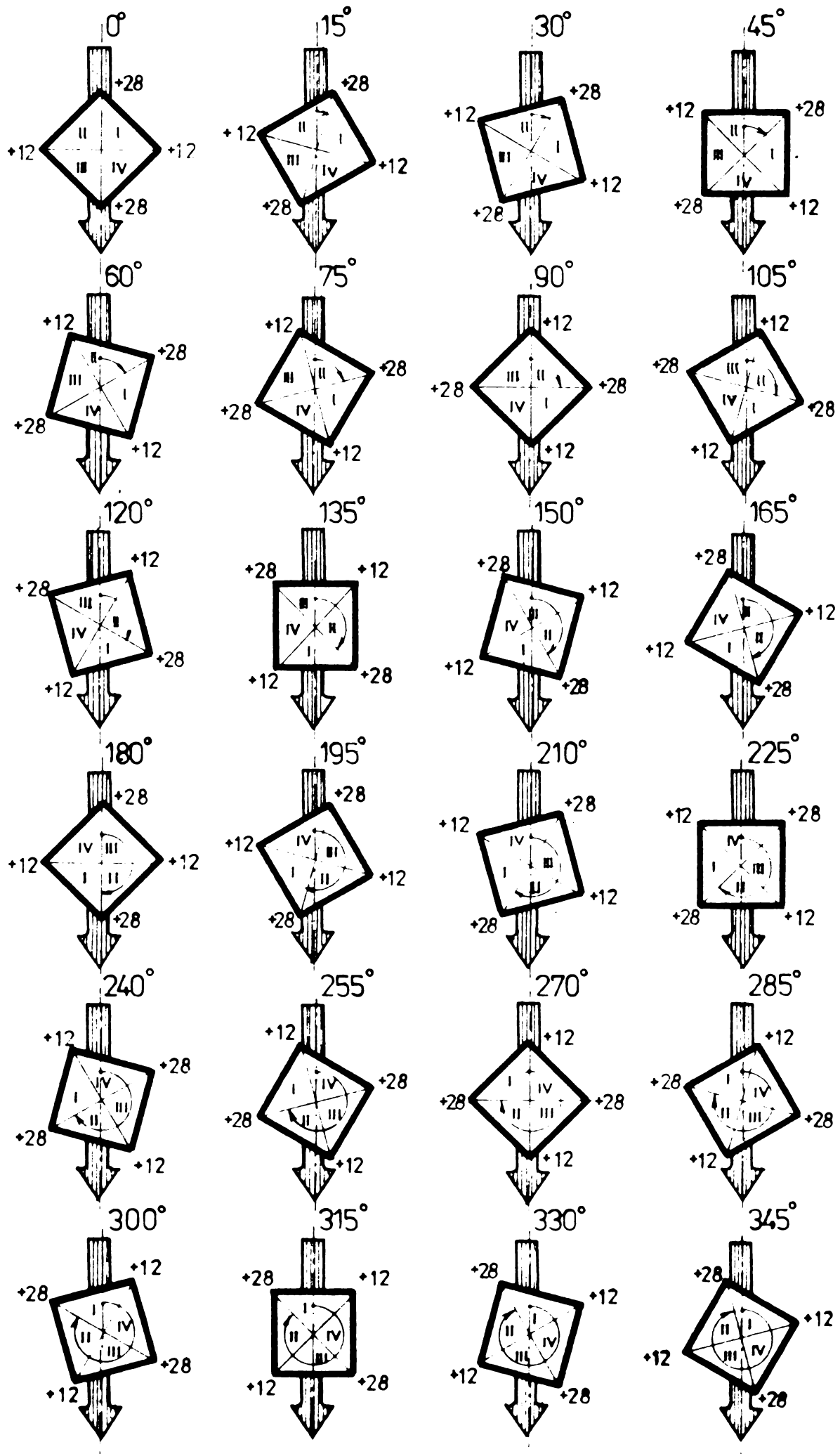


Fig.V50 Orientarea modelului față de direcția curentului de aer în tunelul aerodinamic.

Facem precizarea că în cele ce urmează vom reda mersul de principiu al calculului pentru "Ci", "Pi" și "q" fără a mai reda calculele numerice propriuzise, de oarece acestea prezintă un volum deosebit de mare. În final se vor reda integral valorile obținute pentru coeficienții aerodinamici "Ci".

#### Determinarea presiunii dinamice q.

Plecăm de la formula cunoscută pentru q (6.3.). Se pune în primul rând problema obținerii vitezei V în camera de experimentare pe baza citirilor "hc" la micromanometrul (Ml). Pentru o anumită poziție a modelului și pentru o fază anumită a experimentării se procedează astfel: Se corectează citirea "hc" cu factorul de corecție al denivelării citite ( datorat volumului limitat de alcool).

$$h_{real} = h_c \left[ 1 + \left( \frac{d}{D} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin \alpha_i} \right] \quad (6.5.)$$

- unde  $\frac{d}{D}$  = raportul dintre diametrele tubulului și a cuvei micromanometrului

$\alpha_i$  = înclinația micromanometrului (în cazul nostru  $\alpha_i = 30^\circ$ )

Se aduce în continuare corecția de temperatură greutatei specifice a alcoolului.

$$\gamma = \gamma_0 \frac{1 + \beta T_0}{1 + \beta T_m} \quad (6.6.)$$

unde  $\beta = 0,001$ ;

$\gamma$  = greutatea specifică a alcoolului măsurată la temperatura  $T_0$ ;

$T_0$  = temperatura la începutul experienței;  $T_m$  = temperatura medie în timpul experienței. Pe baza acestor date, avînd în vedere rețalonările existente la tunel au rezultat vitezele în camera de experimentare.

În decursul experienței pentru prima viteză aceste valori au oscilat între  $V_1 = 16,0 \text{ m/s} - 17,265 \text{ m/s}$ , iar pentru a doua viteză între  $V_2 = 20,365 \text{ m/s} - 22,482 \text{ m/s}$ .

Cunoscînd viteza V și densitatea  $\rho$  a aerului s-a putut calcula pentru fiecare caz în parte presiunea dinamică q.

#### Determinarea presiunilor "pi"

Pentru o anumită poziție a modelului și pentru o fază anumită a experimentării, presiunea într-un punct "i" dat se obține după cum urmează. Se citește din fotografia corespunzătoare înălțimea "hi" a coloanei de alcool de la tubul bateriei de manometre conectat la punctul "i". Se citește apoi valoarea "ho" la tubul bateriei care indică presiunea la care funcționează camera închisă de experimentare.

Se determină valoarea corectată.

$$h_i'' = h_i - h_0$$

(6.7.)

Se determină apoi presiunea căutată.

$$p_i = \gamma h_i''$$

(6.8.)

### Determinarea valorilor coeficienților aerodinamici pe suprafața modelului I.

Cu aceste date s-a calculat în punctele de la 1 la 195 valoarea

$$C_i^v = \frac{P_i}{\rho q}$$

pentru fiecare orientare a modelului de la  $0^\circ$  la  $360^\circ$  din  $15^\circ$  în  $15^\circ$  la cele două viteze de experimentare. Avînd în vedere că au rezultat unele diferențe în limita  $\pm 8\%$  la coeficienții aerodinamici stabiliți pentru cele două viteze de experimentare, s-a calculat un coeficient mediu în fiecare punct pentru o anumită orientare a modelului.

$$C_i^m = \frac{C_i^{v1} + C_i^{v2}}{2}$$

S-au putut stabili deci pentru cele 25 de orientări ale modelului (fig. VI.5) coeficienții aerodinamici pentru jumătate din suprafața acoperișului respectiv punctele 1 la 195 (sectoarele I, II). Avînd în vedere simetria modelului, s-a trecut la completarea coeficienților aerodinamici pe întregul model pentru orientările de la  $0^\circ$  la  $180^\circ$  (din  $15^\circ$  în  $15^\circ$ ), prin transpunerea rezultatelor din sectoarele I, II (punctele 1 - 195) la sectoarele III, IV (punctele 195-362). În schițele de principiu din fig. VI.6. s-au redat spre exemplificare orientările de la  $0^\circ$  la  $75^\circ$ .

Datorită simetriei modelului se rețin în final numai orientările modelului de  $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ . Rezultatele obținute pentru orientările  $105^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ, 165^\circ$ , s-au folosit pentru verificarea orientărilor de la  $0^\circ$  la  $90^\circ$  și eliminarea unor eventuale erori

### 6.4.5. Concluziile experimentării în tunelul aerodinamic.

Coeficienții aerodinamici rezultați sînt redați sintetic în anexa VI.1. corespunzător orientărilor modelului față de curentul de aer de  $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$  care datorită simetriei modelului epuizează toate pozițiile de la  $0^\circ$  la  $360^\circ$ . Pentru a putea folosi valorile din anexa VI.1 pentru exemplificare în figura VI.7. sînt notate și numerotate prizele de aer de la 1 la 362 și valorile aferente ale coeficienților aerodinamici pentru orientarea modelului față de curentul de aer  $0^\circ$ . Trebuie să precizez că în fig. VI.7 pentru simplificarea desenului la notarea coeficienților aerodinamici s-a făcut următoarea convenție de semne: coeficienții aerodinamici din zonele unde curentul de aer exercită presiune se afectează cu semnul "+" iar coeficienții aerodinamici din zonele unde avem sucțiuni nu se afectează cu nici un semn.

Ca o caracteristică generală a experimentării trebuie să

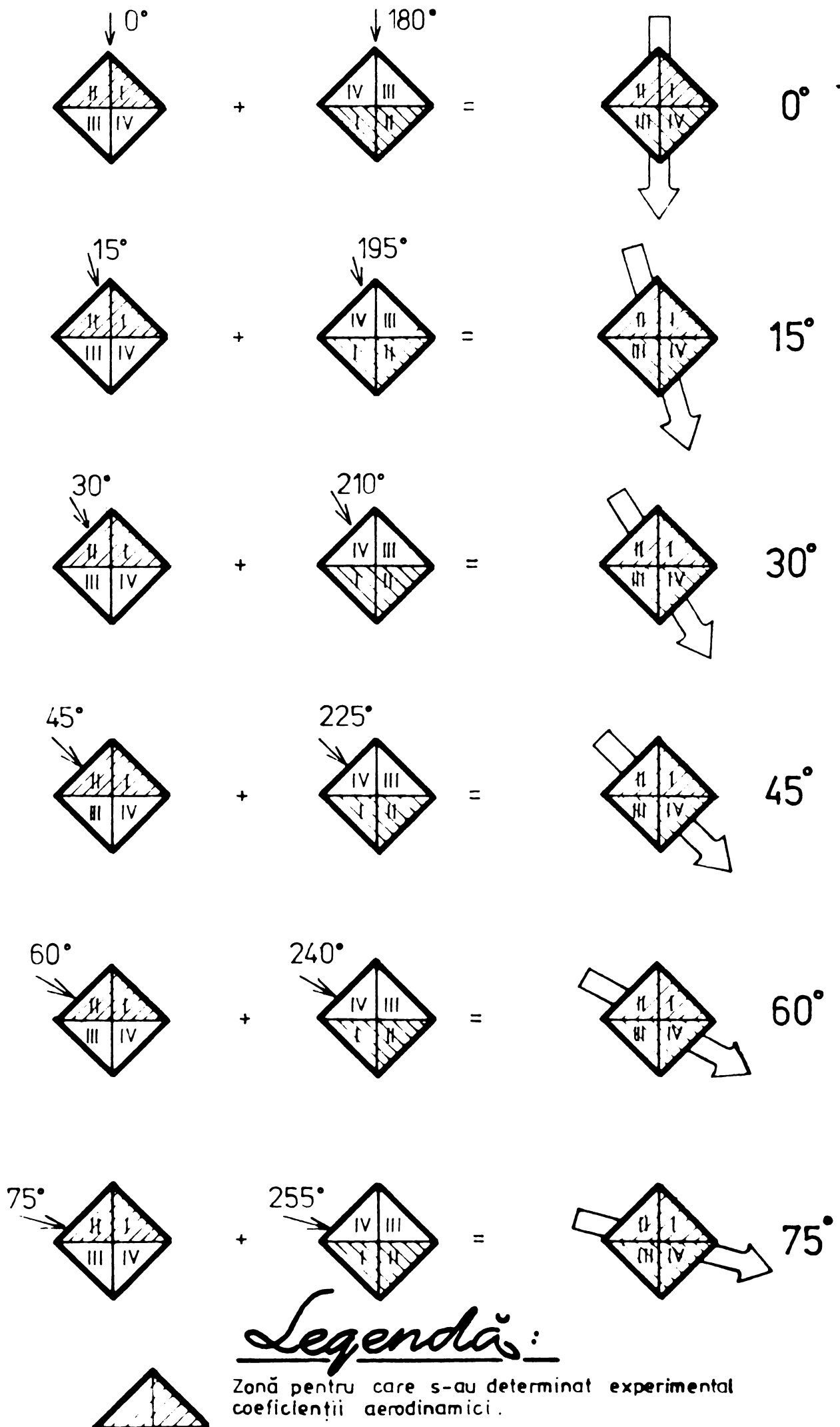


Fig.VI.6 Schițele de principiu privind transpunerea coeficienților aerodinamici pe întregul model pentru orientările față de curentul de aer de 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°.

remarcăm faptul, că pe suprafața acoperișului se exercită în majoritatea cazurilor sucțiuni. De asemenea, considerăm că valorile mari ale coeficienților aerodinamici în zonele marginale și în special în zona colțurilor modelului nu trebuie luate în considerare decât ca valori strict locale datorită unor perturbații locale ale curentului de aer. De aceea considerăm că valorile extreme pe care trebuie să le reținem pentru calculul general al structurii acoperișului, nu trebuie să ia în considerare aceste valori locale marginale. Aceste valori locale vor trebui luate în considerare numai pentru verificarea locală a învelitorii în punctele respective.

Deși în anexa VI.1. sînt redate integral cele 362 valori pentru coeficienții aerodinamici pentru fiecare orientare țin totuși să scot în evidență pentru fiecare poziție cîteva aspecte caracteristice.

- orientarea modelului  $0^{\circ}$

Caracteristica generală a acțiunii curentului de aer pe suprafața acoperișului este sucțiunea cu valori de la 0 la 6,90. Dacă exceptăm valorile marginale extreme putem considera o variație de la 0 la 2,93 a coeficientului aerodinamic caracteristică zonelor acoperișurilor cu sucțiuni.

Se înregistrează și presiuni ce variază de la + 0,102 la + 0,375 în punctele 108, 176, 177, 179, 181, 183, 184. Orientarea modelului  $15^{\circ}$ : Caracteristica generală a acțiunii curentului de aer pe suprafața acoperișului este sucțiunea cu valori de la 0 la 3,857.

Dacă exceptăm valorile marginale extreme putem considera o variație de la 0 la 3,06 a coeficientului aerodinamic caracteristic zonelor acoperișurilor cu sucțiuni. Se înregistrează presiunea + 0,25 în punctul 108, + 0,06 în punctul 153. Orientarea modelului  $30^{\circ}$ : Caracteristica generală a acțiunii curentului de aer pe suprafața acoperișului este sucțiunea cu valori de la 0 la 2,08. Nu se înregistrează presiuni. Orientarea modelului  $45^{\circ}$ : Caracteristica generală a acțiunii curentului de aer este sucțiunea cu valori de la 0 la 1,836. Nu se înregistrează presiuni. Orientarea modelului  $60^{\circ}$ : Caracteristica generală a acțiunii curentului de aer pe suprafața acoperișului este sucțiunea cu valori de la 0 la 3,803. Nu se înregistrează presiuni. Orientarea modelului  $75^{\circ}$ : Caracteristica generală a acțiunii curentului de aer este sucțiunea cu valori de la 0 la 3,195. Nu se înregistrează presiuni. Orientarea modelului  $90^{\circ}$ : Caracteristica generală a acțiunii curentului de aer este sucțiunea cu valori de la 0 la 2,794. Nu se înregistrează presiuni. Pentru celelalte orientări datorită simetriei structurii modelului, rezultatele se pot asimila cu una din orientă-



rile trecute în revistă pînă în prezent.

Coeficienți aerodinamici obținuți, datorită parametrilor realizați în timpul experimentării și totodată datorită preciziei de execuție a modelului, permit transpunerea lor pe construcții reale cu dimensiuni d pînă la 150- 200 m. deschidere pe diagonață. Acest lucru justifică introducerea acestor coeficienți în propunerea de instrucțiuni tehnice prezentată la cap. IX al tezei.

## 6.5. Determinări experimentale pe modelul II.

### 6.5.1. Modelul II suspus experimentării.

Pornindu-se de la forma rețelei de cabluri de paraboloid hiperbolic stabilită anterior (cap. V), s-a realizat un model în care parametrii rețelei sînt următorii (fig. V.2.).

$$a = b = \frac{l}{2} = 1400 \text{ mm}$$

$$f_1 = f_2 = 224 \text{ mm}; l_x = l_y = 200 \text{ mm.}$$

Modelul are în plan forma unui pătrat cu diagonala de 2800 mm

Trebuie precizat că parametrii rețelei de cabluri și anume diagonala și săgețile celor două familii de cabluri sînt la scara 2,8 : 1 față de modelul supus experimentării în tunelul aerodinamic. Rețeaua sub forma de paraboloid hiperbolic are dispusă parabola principală concavă - corespunzătoare cablului principal portant după diagonala aferentă colțurilor înalte, iar parabola principală convexă corespunzătoare cablului principal stabilizator după diagonala aferentă colțurilor joase ale modelului. Ambele sisteme de cabluri formează două familii de parabole patratiche paralele cu aceleași raport,  $l^2 : f = \text{const.}$

În anexa VII.03, sînt indicate valorile Z ale nodurilor rețelei, în sistemul de coordonate XOYZ.

Pentru realizarea rețelei de cabluri s-a adoptat soluția folosirii la model a sîrmei de oțel  $\varnothing 1 \text{ mm}$ , avînd  $\sqrt{\gamma} = 203 \text{ daN/mm}^2$ . Acest lucru a permis să cunoaștem exact parametrii firelor din rețea atît sub raportul rezistenței, cît și în special al modului de elasticitate care este determinat  $E = 2,1 \times 10^6 \text{ daN/cm}^2$ . În aceste condiții se elimină problema pe care o ridică folosirea în rețeaua modelului a unor cabluri cu modulul de elasticitate mai greu de stabilit. În cele ce urmează precizăm că pentru elementele rețelei vom folosi uneori în text și denumirea de cabluri, cu observația că de fapt la model cablurile sînt reprezentate prin sîrmele  $\varnothing 1 \text{ mm}$ . O imagine de ansamblu a modelului încărcat în vederea experimentării este prezentată în fig. VI.9.

Rețeaua este formată din 13 cabluri purtătoare și 13 cabluri stabilizatoare notate de la P1 la P13 și respectiv de la S1, la S13. Cele 35 de noduri de intersecție ale rețelei sînt fixate prin dispozitiv

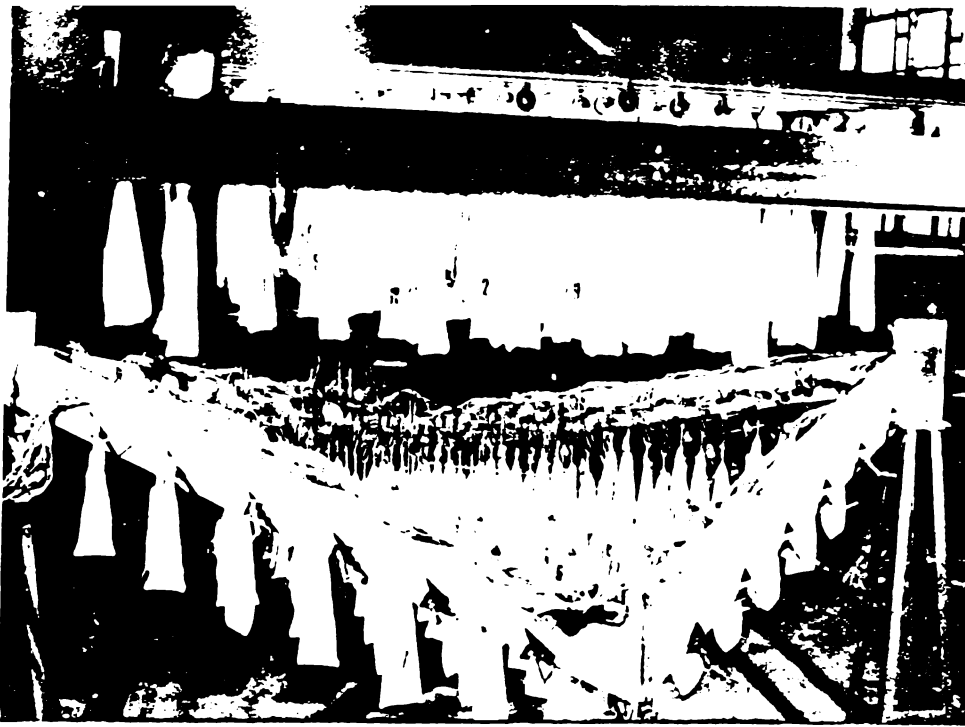


Fig.VI.8.

speciale (fig.VI.9). Toate ochiurile rețelei au în proiecție orizontală dimensiuni identice de 200 x 200 mm. Aceste dispozitive au un rol multiplu. Ele permit fixarea celor 2 cabluri în nod, permit agățarea sarcinilor atât cele corespunzătoare presiunii pe acoperiș cât și sucțiunii și totodată permit să se urmărească deplasările nodurilor rețelei.

Cablurile sînt fixate pe un contur format din cîte 2 profile

[14 asamblate prin sudură. Conturul a fost realizat cu rigiditate sporită, pentru a nu influența prin deformațiile sale comportarea rețelei. Cele 4 elemente de margine au fost executate, asamblate, prin îmbinări cu șuruburi. Fixarea sîrmei  $\varnothing$  1 mm, pe contur a ridicat probleme deosebite. Pentru dispozitivul de blocare a sîrmei, s-a ajuns la concluzia să se folosească un pahar metalic în care să fie turnată pentru blocare compoziție pe bază de zinc.

Tehnologia folosită la blocarea sîrmei în pahar și turnarea compoziției a fost următoarea:

Se taie sîrma la dimensiunea stabilită. Se curăță sîrma (în zona care se va ancora) se spală cu benzină și se decapează într-o soluție de 75 % clorură de zinc, 25 % acid clorhidric. Apoi se introduce în apă fiartă alcalinizată cu bicarbonat de sodiu. Interiorul piesei de blocare urmează aceleași procese de curățire, spălare și tratare arătate pentru sîrmă.

Compoziția se topește într-un creuzet metalic. Se trece apoi sîrma prin piesa de blocare și se îndoaie capătul sîrmei sub forma unui ochet în interiorul paharului de blocare. Se fixează paharul perfect vertical și se toarnă compoziția pe baza de zinc. Paharul de blocare este realizat filetat pe exterior și se cuplează cu o piesă specială care permite corectări ale lungimilor de ordinul a  $\pm$  10 mm, pentru compensarea erorilor de fixare și de tăiere a sîrmelor (fig. VI.9.).

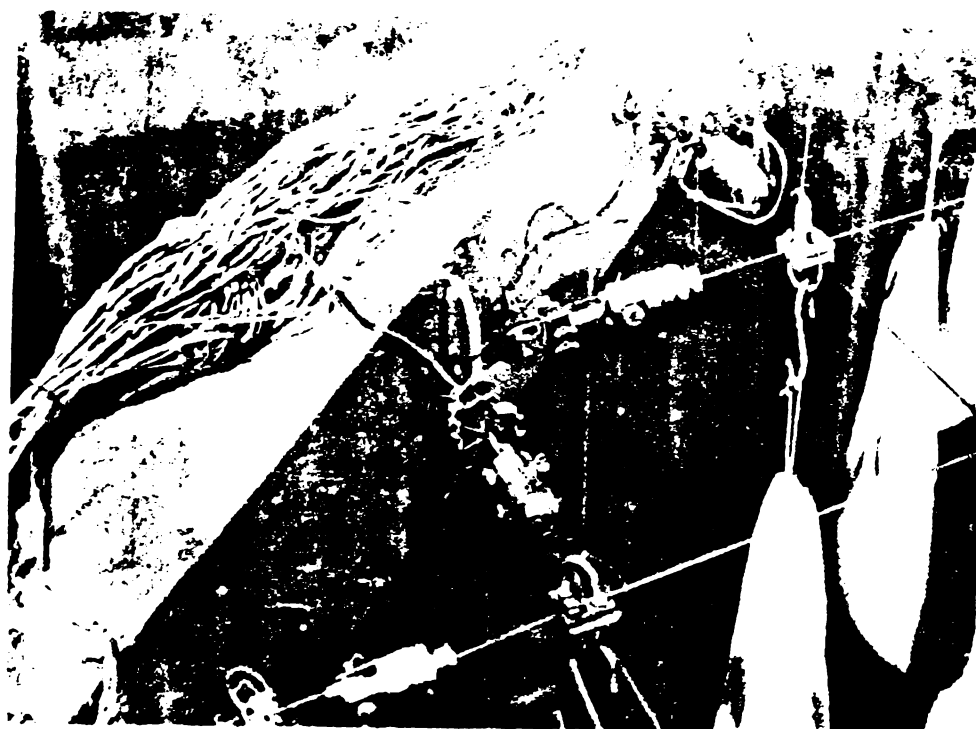


Fig.VI.9.

Intre elementul de fixare pe contur și ansamblul pieselor de blocare și reglare a lungimii sîrmelor s-a interpus o piesă specială (fig.VI.9.), folosită pentru fixarea timbrelor tensometrice, care să permită măsurarea indirectă a eforturilor în rețeaua de cabluri prin tensometrie electrică rezistivă.

Fixarea propriuzisă pe elementul de margine s-a făcut diferit pentru cablurile stabilizatoare și portante. La cablurile portante piesele speciale pentru măsurătorile tensometrice se articulează în poziție fixă la elementul de margine printr-un bulon  $\varnothing 3$  mm. La cablurile stabilizatoare piesele speciale pentru măsurătorile tensometrice se articulează de un bulon  $\varnothing 14$  (fig.VI.9) care se fixează la rîndul lui pe elementul de margine în așa fel încît să permită tensionarea familiei de cabluri stabilizatoare. Buloanele pentru tensionarea cablurilor stabilizatoare, se dispun după tangentele la curbele de atîrnare în punctele de agățare în așa fel încît variația lungimii să se facă după direcția acestei tangente pentru a nu se afecta geometria rețelei.

Deasemenea avînd în vedere că la cablurile portante, din considerente constructive fixarea la elementul de contur se face decalat față de punctele de prindere teoretice pentru a permite trecerea bulonului de strîngere a cablurilor stabilizatoare, poziția de fixare s-a calculat în așa fel încît aceasta să fie pe axul curbei de atîrnare a cablului portant. Considerînd planurile verticale în care se găsesc cablurile portante decalarea va fi de 30 mm. măsurate pe o orizontală care pleacă din punctul teoretic de agățare pe marginea conturului rețelei, iar pe verticală măsurată în acest punct față de aceeași orizontală vom avea valorile "  $\Delta z$  " din tabelul alăturat:

Cablul portant	P1.	P2.	P3.	P4.	P5.	P6.	P7.
Valorile $\Delta Z$ în mm.	1,269	2,640	4,011	5,383	6,754	8,126	9,497

Modelul a fost realizat pe subansamble, care au fost apoi asamblate în laboratorul de construcții metalice a Facultății de Construcții Timișoara.

### 6.5.2. Stabilirea parametrilor de experimentare.

#### 6.5.2.1. Probleme generale.

Scopul experimentărilor este determinarea eforturilor și deplasărilor în rețeaua modelului sub încărcări statice și evidențierea unor aspecte calitative și cantitative sub acțiunea unor încărcări dinamice. În acest scop se pleacă în principiu de la încărcările reale care pot acționa pe un acoperiș de acest tip și se stabilește un raport corespunzător de reducere a acestora în vederea stabilirii încărcărilor efective pe rețeaua modelului. Pentru a stabili un raport optim de reducere se pune problema predimensionării modelului II.

Predimensionarea este necesară și în vederea determinării caracteristicilor geometrice ale rețelei, pentru a ajunge ca în stadiul de nul sub efectul forțelor de pretensionare să avem rețeaua dispusă în suprafața stabilită.

#### 6.5.2.2. Predimensionarea modelului II.

Caracteristicile geometrice ale modelului au fost prezentate la pct. 6.5.1. Se pune problema unui calcul pentru determinarea aproximativă a stării de efort și deplasare teoretică. În acest scop <sup>8-9</sup> folosit metoda aproximativă elaborată de Schleyer (22) prezentată la cap. IV. Acțiunea cablurilor exprimată pe unitatea de lungime este  $F_x = F_y = 0,03925 \text{ cm}^2/\text{m}$ . Pornind de la caracteristicile sîrmei  $\emptyset 1 \text{ mm}$  folosite în rețeaua modelului, avînd  $f = 203 \text{ daN/mm}^2$  și  $A = 0,785 \text{ mm}^2$ , rezultă un efort capabil pe sîrmă a rețelei de cca. 160 daN.

Încărcările pe o construcție reală.

Ne propunem să studiem condiții cât mai generale în stabilirea încărcărilor reale și de aceea ne vom permite aproximarea unor încărcări normale și respectiv de calcul în jurul valorilor precizate de normative, referindu-ne numai la încărcările permanente, din zăpadă și vînt. Redăm aceste încărcări: Încărcările permanente (exceptînd pretensionarea) incluzînd greutatea elementelor structurale, învelitoarea, instalațiile suspendate de structură, se aproximează la o valoare minimă

$$q_p'' = 40,00 \text{ daN/m}^2 \text{ și o valoare maximă } q_p'' = 80,00 \text{ daN/m}^2. p_p = 40,00 \times 1,1 = 44,00 \text{ daN/m}^2, p_p' = 80,00 \times 1,1 = 88,00 \text{ daN/m}^2.$$

Aceste limite de încărcări acoperă în general domeniul unor acoperișuri de tip ușor cu eventualele instalații aferente suspendate. Încărcarea din zăpadă  $q_z'' = 70 \text{ daN/m}^2$ ,  $p_z = 1,4 \times 70 = 98 \text{ daN/m}^2$ . Încărcarea din vânt la nivelul acoperișului  $V = 78,00 \text{ daN/m}^2$ ,  $p_v = 78,00 \times 1,3 = 101,4 \text{ daN/m}^2$ .

Afectarea încărcării din vânt cu coeficienții aerodinamici corespunzători se va face la nivelul încărcărilor pe model.

Încărcările pe model.

Plecînd de la încărcările stabilite pe o construcție reală vom determina încărcările pe model prin reducerea acestora în raportul de circa  $1 : 3,5$ . La acest raport impus, valorile încărcărilor pe model dau eforturi și deplasări în rețeaua de cabluri în limite convenabile pentru precizia determinărilor ce ne propunem să le facem. Prin reducerea valorilor încărcărilor cu acest raport păstrăm de fapt, aspectul calitativ al încărcărilor în sensul că păstrăm proporțiile între încărcările din greutate proprie, zăpadă, vînt în comparație cu cele reale. Încărcările reduse se transpun apoi în încărcări concentrate în nodurile rețelei cunoscînd că avem o medie de 25 noduri pe  $\text{m}^2$  de rețea. Se ajunge astfel pentru principalele tipuri de încărcări la următoarele încărcări concentrate în noduri:

- Încărcări permanente =  $1,04 \text{ daN/nod}$ ; Încărcarea din zăpadă =  $1,12 \text{ daN/nod}$ ; Încărcarea din vînt =  $1,16 \text{ daN/nod}$ .

Precizăm că aceste încărcări în noduri corespund unei încărcări distribuite uniform pe întreg acoperișul de  $26 \text{ daN/m}^2$ ,  $28 \text{ daN/m}^2$  și respectiv  $29 \text{ daN/m}^2$ . Pentru încărcarea permanentă s-a considerat și posibilitatea unei încărcări minime de  $0,52 \text{ daN/nod}$  corespunzătoare încărcării de  $13 \text{ daN/m}^2$ . Încărcările din vînt se vor lua în considerare prin afectarea lor cu coeficienții aerodinamici stabiliți experimental, pentru orientarea dorită a modelului față de curentul de aer. În acest sens a trebuit să fie transpuși coeficienții aerodinamici determinați în cele 362 puncte de pe modelul I, în cele 85 de puncte corespunzătoare nodurilor de intersecție a cablurilor de pe modelul II.

În aceste puncte s-au calculat coeficienții aerodinamici medii pentru zona de influență de  $20 \times 20 \text{ cm}$ , în jurul fiecărui nod din cele 85 de pe modelul II, folosind valorile obținute în cele 362 de puncte de pe modelul I.

Calculul s-a făcut pentru orientările modelului de  $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ, 105^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ, 165^\circ$ . Calculul s-a condus pe calculatorul electronic pe baza unui program (vezi anexa VI.2.)

. . . . . Văbrile rezultate (vezi anexa VI.3) au folosit la calculul

încărcărilor din vînt în nodurile rețelei, încărcările determinîndu-se prin afectarea încărcărilor din vînt pe model corespunzătoare presiunii dinamice de bază considerată, cu acești coeficienți (vezi anexa VI.4.)

### Forțele de pretensionare.

Sub acțiunea forței de pretensionare se obține "stadiul de nul" cînd caracteristicile geometrice ale rețelei de cabluri trebuie să corespundă cu cele prezentate la punctul 6.5.1. Pentru cazul modelului nostru s-au stabilit forțele de pretensionare la valorile:  $H_{x0} = 125 \text{ daN/m}$ ;  $H_{y0} = 125 \text{ daN/m}$ . Forțele de pretensionare sînt raportate la ml. de rețea. Aceasta înseamnă că forța de pretensionare aferentă fiecărui cablu portant și stabilizator este de circa.  $H_0 = 25 \text{ daN/cablu}$ . Cunoșcînd lungimile care trebuie să le aibă cablurile rețelei în stadiul de nul, am determinat lungimile de montaj a cablurilor portante și stabilizatoare, funcție de forțele de pretensionare.

### Calculul aproximativ al rețelei modelului II.

Se consideră gruparea de încărcări cu încărcări permanente și zăpadă de  $54 \text{ daN/m}^2$ , respectiv  $2,16 \text{ daN/nod}$ . Plecînd de la elementele de calcul precizate, obținem pentru componentele orizontale ale eforturilor maxime și respectiv minime raportate la metru liniar de rețea valorile  $H_x^m \approx 243 \text{ daN/m}$  și  $H_y^m \approx 7 \text{ daN/m}$ , la care corespund valori  $H_x \approx 49 \text{ daN/cablu portant}$  și  $H_y = 1,4 \text{ daN/cablu stabilizator}$ .

Pentru variația de săgeată în mijlocul rețelei plecînd de la formula aproximativă stabilită de Schleyer (22) (vezi cap. IV) rezultă:

$$W_{max} = 1,71 \text{ cm}$$

Deci în rețea vor apărea eforturi de la  $1 \text{ daN}$  pînă la circa  $50 \text{ daN}$  sau  $60 \text{ daN}$  și variații de ordinul a  $2 \text{ cm}$ , pentru săgeți.

### 6.5.2.3. Parametrii de experimentare.

Din elementele prezentate la pct. 6.5.2.1. și 6.5.2.2. rezultă că experimentările pe modelul II se pot conduce în limita unor încărcări în nod pînă la circa  $2,16 \text{ daN/nod}$  pentru încărcări distribuite și pînă la circa  $10 \text{ daN}$  pentru încărcări concentrate singulare, în aceste condiții eforturile obținute fiind acceptabile față de eforturile capabile în rețeaua modelului, iar mărimea variației săgeților obținute permit o bună evidențiere a caracterului deplasărilor nodurilor rețelei sub încărcări.

### 6.5.3. Programul de experimentare.

#### Elemente privind încărcările și ipotezele de încărcare.

Încărcările se aplică în nodurile rețelei sub forma unor încărcări concentrate. Pentru încărcările distribuite pe întreg acoperi -

șul se consideră încărcări concentrate corespunzătoare în toate nodurile rețelei. Pentru conciziune ipotezele de încărcare nu se mai explicitează în sensul precizării încărcării din greutate proprie, zăpadă, etc. elementele de plecare fiind precizate la pct. 6.5.2. De fapt scopul principal a fost găsirea unor grupări de încărcări cât mai caracteristice pentru forma rețelei studiate, chiar dacă aceste grupări nu au întotdeauna un corespondent fizic cert.

Pentru a păstra o unitate a prezentării pe parcursul întregii lucrări se va face o numerotare unică a ipotezelor, cu precizarea că pentru simplificarea expunerii prin ipoteză de încărcare s-a denumit atât acțiunea unei singure încărcări, cât și cea corespunzătoare unor grupări de încărcări. Deasemenea în funcție de ipoteză, încărcările experimentale s-au referit fie la determinarea eforturilor și deplasărilor fie numai a unora din acestea, precizări în acest sens fiind făcute pe parcursul prezentării experimentărilor.

#### Încărcări statice - ipoteze de încărcare.

La ipotezele 1 la 8 se aplică încărcări concentrate singulare cu valori 7,525 daN în diverse noduri caracteristice ale rețelei după cum urmează: ipoteza 1/nod 41; ipoteza 2/nod 39; ipoteza 3/nod 21; ipoteza 4/nod 7; ipoteza 5/nod 19; ipoteza 6/nod 28; ipoteza 7/nod 30; ipoteza 8 /nod 43. Ipoteza 9 se aplică încărcarea concentrată singulară de 3,02 daN/în nodul 3.

Ipotezele 10 la 16 se referă la încărcări concentrate aplicate în toate nodurile rețelei simulând încărcări distribuite pe întreg acoperișul după cum urmează: ipoteza 10 - se aplică încărcarea 1,04 daN în toate nodurile rețelei; ipoteza 11 - se aplică încărcarea 1,04 daN în nodurile (1-36) și respectiv încărcări 2,16 în nodurile (37 - 85); ipoteza 12 - se aplică încărcări 2,16 daN în toate nodurile; ipoteza 13 - se aplică încărcări 2,16 daN în nodurile aferente cablurilor S5, S6, S7, S8, S9 în rest fiind încărcări de 1,04 daN; ipoteza 14 - se aplică încărcări 2,16 daN în nodurile aferente cablurilor S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, în rest fiind încărcări 1,04 daN; ipoteza 15; se aplică încărcări 0,52 daN în toate nodurile structurii; ipoteza 16 - se aplică încărcările corespunzătoare la vânt  $90^{\circ}$ ; ipoteza 16a, 16 b, - se aplică încărcările corespunzătoare la vânt  $90^{\circ}$  concomitent cu încărcările 1,04 daN în fiecare nod și respectiv încărcări 0,52 daN în fiecare nod.

Ipotezele 17 și 18 se referă la influența temperaturii cu variații  $\Delta T = + 30^{\circ}\text{C}$  și respectiv  $\Delta T = - 30^{\circ}\text{C}$ .

La toate ipotezele, încărcările se aplică pe rețeaua pretenționată având geometria corespunzătoare stadiului de nul.

### Încărcări dinamice - Ipoteze de încărcare.

Se aplică forțe concentrate  $F = 4,5 \text{ daN}$  lăsate să cadă liber pe o înălțime  $h = 5 \text{ cm}$ , realizând astfel solicitări prin șoc. Aceste forțe se aplică în diferite noduri pentru ipotezele D1 - D4 pe rețeaua în stadiul de nul sub acțiunea forțelor de pretensionare iar pentru ipotezele D5 - D8 pe rețeaua pretensionată încărcată în fiecare nod cu  $1,04 \text{ daN}$  după cum urmează: ipoteza D1 nodul 43; ipoteza D2 nodul 19; ipoteza D3 nodul 41; ipoteza D4 nodul 21; ipoteza D5 nodul 43; ipoteza D6 nodul 19; ipoteza D7 nodul 41; ipoteza D8 nodul 21.

### 6.5.4. Determinarea experimentală a deplasărilor și eforturilor în rețea sub acțiunea încărcărilor statice.

#### 6.5.4.1. Metodologia de experimentare.

Modelul II a fost montat în vederea experimentării în laboratorul de construcții metalice a facultății de construcții din Timișoara. Deasupra sa, s-a montat un cadru metalic independent pe care s-au fixat 85 de role metalice dispuse deasupra fiecărui nod al rețelei modelului. Colțurile modelului au fost aduse strict la cotele din proiect prin introducerea unor plăcuțe metalice sub picioarele sale.

#### Măsurarea eforturilor și deplasărilor.

Pentru măsurarea eforturilor în elementele rețelei s-a adoptat metodologia de măsurare indirectă prin tensometrie electrică rezistivă, prin intercalarea între punctul de fixare și firul propriu zis a unei piese speciale pe care s-au lipit traductoarele tensometrice. Prin montajul realizat s-au putut determina eforturile în toate cele 13 cabluri portante și stabilizatoare, în zona de prindere de elementul marginal. Măsurarea deplasărilor verticale ale nodurilor rețelei s-a făcut atât prin procedeul optic cu o nivelă ZEISS de mare precizie și o riglă spectrală, cât și cu ajutorul fleximetrelelor.

#### Realizarea pretensionării modelului.

Prin pretensionare, modelul se aduce la stadiul de nul, având geometria rețelei cu caracteristicile stabilite la punctul 6.5.1. Forțele de pretensionare și geometria rețelei în stadiul de nul au fost calculate și cu ajutorul programului RETCAB (vezi anexa VII). S-au fixat toate elementele modelului corespunzător fazei premergătoare pretensionării. Se face o prindere provizorie care să permită mișcarea liberă a sîrmelor în nodurile rețelei cu piesele speciale de blocare care nu se strîng. Pretensionarea se face prin strîngerea bulcanelor cablurilor stabilizatoare. Pretensionarea se începe cu cablurile S1, S13 prin strîngerea concomitentă din ambele capete. Pretensionarea



continuă pe grupe de cabluri stabilizoare spre centrul rețelei de cabluri. Ultimul tensionându-se cablul stabilizator S7. Se verifică permanent prin tensemetrie eforturile în fiecare cablu. De asemenea se fac verificări ale coordonatelor Z ale rețelei. După realizarea unei prime faze de pretensionare se aduc corecturile necesare pînă ce rețeaua de cabluri are starea de efort și geometria proprie.

Acest proces este deosebit de dificil și laborios. El a necesitat în medie 7 - 8 ore de lucru efectiv.

Se desprinde concluzia că este de preferat să se asigure reglarea și respectiv posibilitatea de tensionare pe model și a cablurilor portante. Prin aceasta se poate micșora mult timpul necesar pretensionării modelului și aducerii sale în stadiul de nul. De aceea la propunerile de normativ din capitolul IX s-a inclus această recomandare.

#### Realizarea încărcărilor pe model conform ipotezelor de

încărcare. În nodurile rețelei încărcările trebuie aplicate pe verticală în ambele sensuri. S-au folosit 170 săculeți de pînză încărcăți cu nisip. Aceștia s-au fixat sub nodurile rețelei pentru presiuni. Pentru sucțiuni s-au fixat fire  $\varnothing 0,8$  mm la partea superioară a nodului, trecute peste roțile existente deasupra fiecărui nod al rețelei, la celălalt capăt prinzîndu-se săculețul cu nisip. Săculeții cu nisip au fost numerotați de la 1 - 85 la fel ca și nodurile interioare ale rețelei. La ipotezele cu considerarea concomitentă a încărcării permanente și a acțiunii vîntului (16a, 16b) s-au montat săculeți atît pentru presiuni cît și pentru sucțiuni. O imagine de ansamblu a încărcării modelului pentru ipoteza 16. a, este redată în fig. VI.8. Cîntărirea săculeților s-a făcut cu o balanță de precizie pentru a se asigura concordanța cu încărcările stabilite. Pentru forțele concentrate mai mari de 3 daN ( ipotezele 1-9) s-au folosit greutăți metalice etalonate, fixate prin intermediul unei tije metalice.

#### 6.5.4.2. Determinarea experimentală a deplasărilor rețelei.

##### Desfășurarea experimentării.

Determinarea experimentală a deplasărilor verticale ale nodurilor rețelei de cabluri s-a făcut pentru ipotezele nr. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16. b. Pentru fiecare ipoteză în parte s-au măsurat cotele  $Z^0$  și ale nodurilor rețelei în stadiul de nul și cotele  $Z_i^a$  ale nodurilor rețelei după încărcarea rețelei conform ipotezei "a" considerate față de aceeași nivel de referință, considerat chiar poziția de calare a aparatului. Se obțin pentru o ipoteză "a" deplasările fiecărui nod din expresia:

$$W_i^a = Z_i^a - Z_i^0 \quad [cm.]$$

Se consideră W pozitiv pentru deplasări ale nodurilor în

sensul pozitiv al axei Oz deci în jos și respectiv negativ pentru deplasări în sens contrar. Pentru fiecare ipoteză în parte s-au făcut câte 3 măsurători, valorile W obținute în final fiind valori medii ale celor 3 citiri făcute. Precizia măsurătorilor avînd în vedere aparatura folosită se încadrează în limita a circa 0,01 cm. În aceste condiții valorile W rezultate sub această limită nu s-au luat în considerare și nu se evidențiază la rezultatele experimentale.

#### Rezultatele experimentării:

Din prelucrarea valorilor experimentale în conformitate cu precizările de la punctul anterior, au rezultat deplasările W pentru nodurile rețelei la fiecare ipoteză de încărcare considerată. La ipotezele de încărcare pentru care deplasările W sînt simetrice s-au reținut numai rezultatele aferente nodurilor de pe un sfert sau respectiv o jumătate de rețea.

Rezultatele experimentale determinate în acest mod au fost evidențiate în tabelele VI.2-VI.5 (vezi anexa).

#### 6.5.4.3. Determinarea experimentală a eforturilor.

##### 6.5.4.3.1. Desfășurarea experimentării.

Determinarea experimentală a eforturilor în zonele de fixare ale cablurilor rețelei, s-a făcut pentru ipotezele de încărcare nr. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 16.a, 16.b. Eforturile s-au determinat prin tensometrie electrică rezistivă.

##### 6.5.4.3.2. Măsurători tensometrice efectuate.

##### Instalația tensometrică.

Instalația se compune din următoarele părți principale: traductoarele (timbrele) tensometrice; piesele speciale pe care se aplică traductoarele tensometrice (dozele tensometrice); cabluri de măsurare; aparatura de măsurare.

a. Traductoarele tensometrice (TER) sînt fabricație HOTTINGER tip 6/120 LE 11 avînd  $R = 120,0 \pm 0,02 \%$  și  $K = 2,09 \pm 1 \%$  compensate termic și respectiv fabricație R.S.C. Microtechna - tip M120  $R = 120 \pm 0,25 \%$ .

b. Piesele speciale pentru măsurători, pe care în cele ce urmează le vom numi doze tensometrice (fig. VI.9), s-au intercalat între punctul de fixare pe contur și firele din rețea. Partea principală a piesei este o bandă subțire din oțel special, dimensionată pentru ca la forțele ce apar în timpul experimentării tensiunile să fie cît mai mari fără a se depăși zona de valabilitate a legii Hookes. Aceasta pentru a mări precizia măsurătorilor tensometrice. Pe această bandă se aplică cîte 2 traductoare perfect simetric, pe o parte și pe alta, orientate în direcția sturgerii efortului.

Aplicarea traductoarelor s-a făcut după pregătirea zonei prin curățare mecanică prin polizare și frecare cu hîrtie abrazivă și curățirea chimică cu alcool și acetonă. Lipirea s-a făcut cu adeziv X-60 în conformitate cu instrucțiunile de întrebuințare precizate de firma furnizoare. Pentru a se înlătura efectul umidității asupra preciziei măsurătorilor, traductoarele s-au protejat prin acoperirea cu o soluție fabricație S.U.A. - BLH. Barrier H - Waterproofing - PN-218561. Compensatoarele de temperatură (c) s-au aplicat pe același tip de piese speciale, avînd caracteristicile tehnice identice cu grupurile de traductori compensați, piesele rămînînd în timpul experimentărilor nesolicitate și așezate în imediata apropiere a modelului.

c. Cablurile de măsurare care realizează legătura între traductoare și aparatura de măsurare sînt de tip telefonic cu izolație P.V.C., ecranate. Identificarea circuitelor de măsurare a fost mult ușurată de codul de culori pe straturi specifice cablurilor telefonice.

d. Aparatura de măsurare tensometrică s-a amplasat în imediata apropiere a modelului (fig.VI.10)

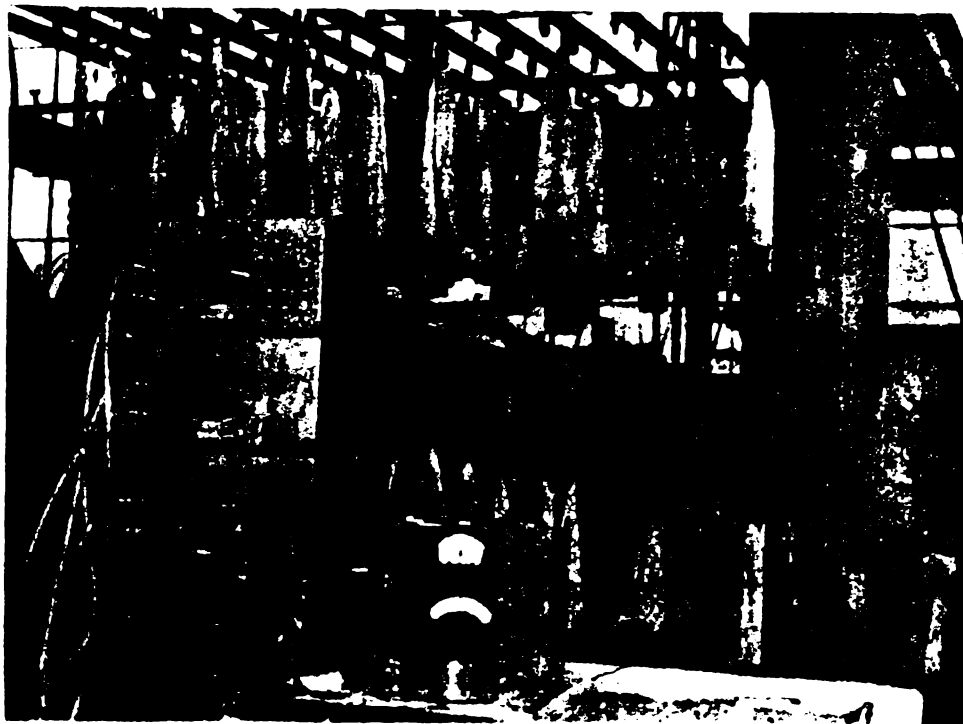


Fig.VI.10

pentru a avea un traseu cît mai scurt pentru cablurile de măsurare. Circuitele de măsurare s-au conectat la unitățile de comutare echilibrare după verificarea continuității și izolației și după etalonarea dezor tensometrice. S-au folosit: 4 unități de comutare tip HUGGENBERGER; 1 punte tensometrică tip T T 1 - Fabr. HUGGENBERGER. Rezolvarea compensării termice a tuturor perechilor de TER activi de pe dozele tensometrice s-a făcut numai cu cinci perechi de TER compensatori (C1, C2, C3, C4, C5). Pentru a permite conectarea oricărei perechi de TER active cu orice pereche

de TER compensatoare, s-au utilizat 3 unități de comutare U1, U2, U3 separate pentru traductoarele active și o unitate de comutare (UC) separată pentru traductoarele compensatoare.

### Etalonarea dozelor tensometrice.

Înainte de montare pe model dozele tensometrice s-au etalonat. Etalonarea are drept scop găsirea unei relații directe între indicațiile aparatului de măsură respectiv a punții tensometrice și valoarea forței de întindere aplicată dozelor tensometrice. În acest fel se elimină erorile <sup>legate</sup> de variabilitatea parametrilor ce intervin în calculul de transpunere a lui în valoarea forței  $F$  corespunzătoare. Pentru precizia măsurătorilor cel puțin la unul din capetele fiecărui cablu s-a montat o doză tensometrică realizată cu traductoare tip HOTTINGER. Etalonarea s-a făcut pentru toate cele 52 de doze tensometrice care au fost montate pe model la capetele cablurilor P1-P13 și respectiv S1-S13.

Dozele tensometrice cu traductoarele montate și racordate la instalația de măsurare, au fost asamblate în șiruri de maxim 8 buc. Șirul s-a fixat la capătul superior de un cadru metalic, iar la partea inferioară s-a montat o tijă metalică specială pe care s-au pus greutateți. S-a încărcat și descărcat șirul cu greutateți de 90 daN de circa 5-6 ori până după încetarea fenomenului de alunecare a timbreilor iar revenirea la zero s-a încadrat în limitele  $\pm 5 \times 10^{-6}$ . La dozele la care timbrele nu s-au încadrat în aceste limite, ele au fost înlocuite refăcându-se apoi montajul. După ce această fază s-a încheiat s-a trecut la etalonarea propriuzisă. Etalonarea s-a făcut în trepte de 0,5 daN până la valoarea de 10 daN, în trepte de 1 daN până la valoarea de 25 daN și în treapta de 5 daN până la valoarea de 70 daN notându-se valorile citite la puntea tensometrică corespunzătoare fiecărei trepte de încărcare. Descărcarea s-a făcut în sens invers cu aceleași trepte notând valorile citite la puntea tensometrică. Pentru fiecare doză s-a luat în considerare corecția datorită poziției sale în șirul în care s-a făcut etalonarea. S-au făcut câte 5 serii de încărcări pentru fiecare etalonare înregistrându-se de fiecare dată valorile citite la puntea tensometrică. S-a calculat o valoare medie corectată a celor 5 măsurători pentru fiecare doză. În acest fel pentru fiecare doză s-a putut stabili o diagramă și un tabel de valori, din care să rezulte valoarea forței  $F$  aplicate funcție de citirile la puntea tensometrică pentru valori  $F = 0 - 70$  daN.

Pentru valorile între citirile corespunzătoare treptelor de încărcare se procedează prin interpolare.

### Măsurătorile tensometrice și interpretarea lor.

Rețeaua modelului după pretensionare se încarcă cu încărcările corespunzătoare fiecări ipoteze în parte. Se fac de fiecare dată înainte de a începe încărcarea cu o nouă ipoteză măsurători tensometrice la toate cele 52 de doze, pentru stabilirea precisă a eforturilor corespunzătoare stării de pretensionare. Măsurătorile se repetă de trei ori obținându-se o valoare medie corectată a acestor măsurători, pe baza cărora se determină eforturile conform tabelelor de etalonare stabilite experimental. După încărcarea modelului la fiecare ipoteză de încărcare se fac câte trei măsurători tensometrice pentru fiecare doză în parte, valoarea medie corectată a acestora determinând pe baza tabelelor de etalonare eforturile la nivelul fiecărei doze.

Menționăm că pentru a mări precizia măsurătorilor, la intervale de circa 48 de ore s-a descărcat întreaga rețea. S-a verificat și corectat echilibrarea și calibrarea instalației de măsurare, s-a refăcut pretensionarea sistemului și s-au continuat experimentările cu alte ipoteze de încărcare. În acest fel erorile datorită duratei experimentărilor au fost în mare parte diminuate.

Deoarece tensometria a fost numai un instrument de lucru în vederea determinării eforturilor nu vom insista asupra detaliilor de calcul, care a fost deosebit de laborios, redând direct rezultatele obținute privind eforturile. Precizia măsurătorilor tensometrice este dificil de stabilit datorită multitudinii de factori ce o influențează. O parte din erori s-au eliminat datorită etalonării dozelor tensometrice.

Eroarea limită în cazul nostru se situează în regim static raportat la domeniul  $100 \cdot 10^{-6}$  la circa 3 % ceea ce dă o precizie bună a măsurătorilor.

### 6.5.4.3.3. Rezultatele experimentării.

Prin procedeele tensometrice arătate, s-a determinat pentru fiecare ipoteză luată în considerare efortul total SX (IJ) la ambele capete ale cablurilor purtătoare și stabilizatoare.

De asemenea, s-au determinat eforturile din pretensionare la ambele capete ale cablurilor purtătoare și stabilizatoare înainte încărcării modelului, la fiecare ipoteză în parte. În acest mod s-a putut determina și variația de efort SD (I,J) la capetele cablurilor pentru fiecare ipoteză de încărcare considerată. Rezultatele experimentale pentru valorile eforturilor sînt sintetizate în tablele VI.6 - VI.15. (vezi anexa).

### 6.5.5. Determinări experimentale sub acțiunea încărcărilor dinamice.

#### 6.5.5.1. Scopul experimentărilor.

S-au studiat oscilațiile rețelei pretensionate de cabluri la modelul II pentru ipotezele de încărcare D1-D8 precizate la punctul 6.5.3. determinând perioada  $T$ , decrementul logaritm  $\delta$  și respectiv coeficientul de amortizare  $b$ . Deasemenea s-a evidențiat o metodă experimentală de determinare a eforturilor în cabluri sub acțiunea încărcărilor dinamice.

#### 6.5.5.2. Metodologia de experimentare.

Instrumentul de lucru a constituit tensometria electrică rezistivă folosind aparatura precizată la pct. 6.5.5.3. Studiul oscilațiilor rețelei prin măsurarea directă a amplitudinilor și a numărului de oscilații pentru un timp, determinat în diversele puncte ale rețelei este foarte greu de realizat.

Deoarece variația deformațiilor determinate la capetele cablurilor urmăresc ca fenomen periodic caracterul oscilațiilor rețelei, s-au determinat și înregistrat experimental aceste deformații. Pe baza diagramelor de variație ale deformațiilor înregistrate experimental, se poate calcula efortul în cabluri precum și valorile  $f, T, \delta, b$ , care caracterizează oscilațiile rețelei, după metodologia expusă în cele ce urmează:

#### g). Determinarea eforturilor în cabluri.

Se determină în primul rând scara grafică cu saltul etalon efectuat pentru fiecare înregistrare în parte sau pentru un grup de înregistrări. Scara grafică este funcție de mai mulți factori.

$$S = F(K, K', \varepsilon_e, L_n, A_m, A_e, K_e) \quad (6.9.)$$

în care:

$S$  - scara grafică;  $K^1$  - factorul tensometric efectiv;  
 $K$  - factor tensometric pentru care este calibrat aparatul;  $\varepsilon_e$  = valoarea saltului etalon;  $L_n$  = Lungimea saltului etalon;  $A_m$  = domeniul de înregistrare;  $A_e$  = domeniul de etalonare;  $K_e$  = factorul de extensie al amplificării. Pentru fiecare ipoteză de încărcare și pentru fiecare doză tensometrică (respectiv grup de 2 TER) se identifică valorile minime  $L I$ , maxime  $L II$  și de nul  $L_0$ , măsurându-se distanța față de o linie de reper considerată de exemplu partea inferioară a hîrtiei de înregistrare. Deformațiile efective rezultă:

$$\begin{aligned} \varepsilon I (\min) &= (L I - L_0) \cdot S \\ \varepsilon II (\max) &= (L II - L_0) \cdot S \end{aligned} \quad (6.10)$$

S-au notat convențional (min) și (max) valorile limită în par-

tea în fericoară și respectiv superioară a diagramelor.

Cunoscând caracteristicile dozelor se pot determina eforturile corespunzătoare încărcărilor dinamice considerate.

b). Determinarea valorilor  $f, T, \gamma, b$ , ale oscilațiilor rețelei.

Se propune o metodă indirectă experimentală bazată pe înregistrările de deformații. Înregistrările efectuate au evidențiat pentru variația deformațiilor oscilații de tip amortizat care se pot exprima aproximativ printr-o relație de tipul:  $y = A_0 \cdot e^{-bt} \cos \omega t$  (6.11)

în care:  $b = \frac{\gamma}{T}$        $T = \frac{2\pi}{\omega}$        $\omega = 2\pi f$

Pe baza marcajului de timp de pe oscilograma înregistrată se poate determina frecvența  $f$  după formula:

$$f = \frac{n}{T} \quad (6.12)$$

în care:  $f = \text{frecvența} [Hz]$

$n = \text{numărul oscilațiilor complete (perioade) în intervalul considerat } t.$

Cunoscând pe  $f$  se determină perioada  $T$ . Perioada  $T$  poate fi determinată direct din înregistrarea oscilației determinând durata (în secunde) a unui ciclu cuprins între două maxime succesive de același sens. Pentru determinarea coeficientului de amortizare  $b$  singura cale este cea experimentală. Obişnuit se măsoară două amplitudini succesive  $Y_n$  și  $Y_{n+1}$  de același sens, care corespund la  $t = t_n$  și  $t = t_{n+1}$  determinând decrementul logaritm al amortizării cu relația,  $\gamma = b T = \ln \frac{Y_n}{Y_{n+1}}$

$$(6.13)$$

Pentru a mări precizia la determinarea valorilor lui  $\gamma$  se folosește formula,

$$\gamma = \frac{\ln 2}{N_0} \quad (6.14)$$

în care  $N_0$  este numărul oscilațiilor complete după care amplitudinea scade la jumătate. Deci se pune problema de a măsura grafic o amplitudine  $Y_i$  și respectiv  $Y_j = \frac{Y_i}{2}$  și a număra oscilațiile complete  $N_0$  între aceste două amplitudini. Cunoscând pe  $\gamma$  și avînd măsurată perioada  $T$  se calculează mărimea coeficientului de amortizare  $b$ . Pe oscilogramă se observă existența a 1-2 amplitudini deosebit de mari a valorilor deformațiilor la aplicarea încărcării dinamice. Acestea trebuie considerate numai la calculul efortului dinamic maxim în cablu. Pentru calculul valorilor  $\gamma$  și  $b$  aceste valori se vor neglija considerînd pentru  $Y_i$  valori din zona în care amplitudinea oscilației se stabilizează, intrînd într-un proces de amortizare normal, deci aproximativ după un timp  $t \approx (2-3) T$ . De asemenea nu ne interesează pentru calculul lui  $T$ , și  $b$ , valoarea efectivă a lui  $\gamma$  lucrînd cu valori relativ măsurate

direct pe oscilograma obținută experimental.

În funcție de tipul oscilației care se imprimă rețelei, se va stabili locul și numărul de puncte de la capetele cablurilor unde se vor înregistra deformațiile prin intermediul dozelor tensometrice. Ideal ar fi efectuarea <sup>de</sup> măsurători la capetele tuturor cablurilor modelului. Deoarece e greu de a extinde rezultatele experimentale din punct de vedere cantitativ pe construcția reală, aceste experimentări dau o imagine asupra comportării calitative a structurii reale.

### 6.5.5.3. Instalația folosită.

Instalația pentru înregistrarea deformațiilor în regim dinamic se compune din următoarele: traductoarele (timbrele) tensometrice; dozele tensometrice; cabluri de măsurare; aparatura de măsurare. La încărcările dinamice s-au efectuat măsurători în patru puncte caracteristice. Dozele tensometrice folosite au avut aplicate traductoare tensometrice (TER) de fabricație HOTTINGER cu aceleași caracteristici ca la încărcările statice. Traductoarele active ale dozelor au fost conectate direct la o punte tensometrică fabricație IEMI, iar în loc de comparatoarele C1-C5 s-au conectat rezistențe de precizie PHILIPS PR 9249 A/12 - 2 x 120Ω

Ieșirea canalelor s-a conectat prin intermediul unor rezistențe de adaptare la patru canale ale unui înregistrator VISICORDER OSCILLOGRAPH model 1508 fabricație S.U.A. Cele patru canale ale punții tensometrice folosită pentru măsurători au fost conectate astfel; canalul II - punctul M 15 - cablul S7; canalul III - punctul M22 - cablul P7; canalul IV - punctul M6 - cablul P5; canalul V - punctul M3 - cablul S5. În fig. VI.11. se pot vedea puntea tensometrică și înregistratorul tip VISICORDER folosit.

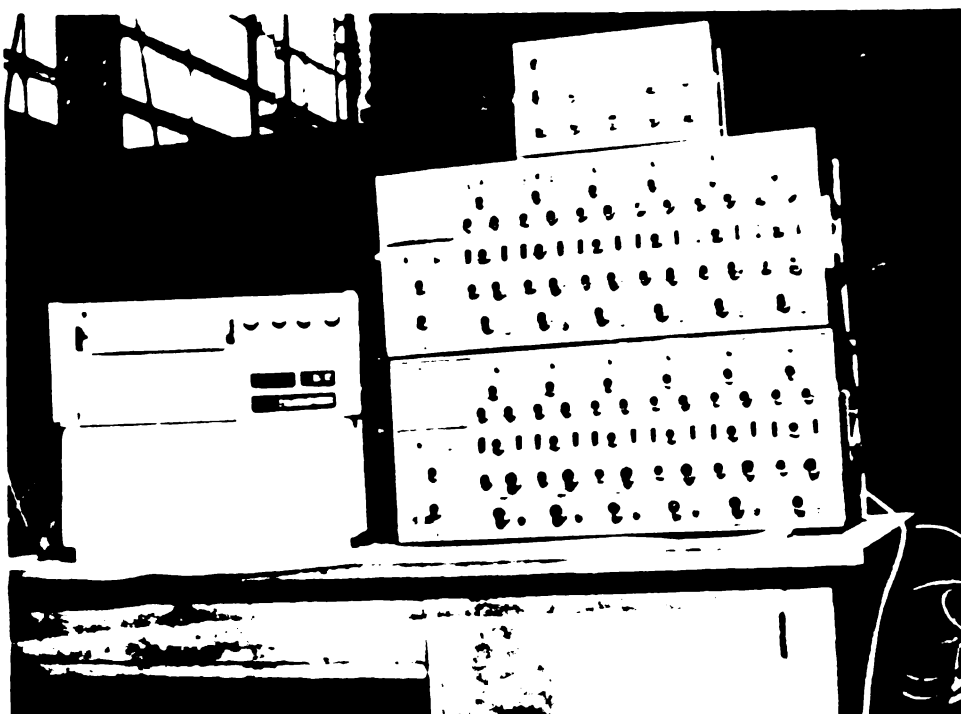


Fig.VI.11



#### 6.5.5.4. Rezultatele experimentale și prelucrarea lor.

Pentru ipotezele D1-D3 s-au făcut înregistrări ale deformațiilor lor la capetele cablurilor S7, P7, S5, P5. Înregistrările s-au făcut pentru o viteză de 25 mm/s și respectiv o viteză de 2,5 mm/s. Etalonarea s-a făcut pentru un salt de  $+ 50 \times 10^{-6}$  mm pe scara Sloo, făcându-se înregistrările corespunzătoare atât la începutul experimentării cât și la sfârșitul acestora. Pe cele patru canale s-au folosit la înregistrări scări diferite pentru a se evidenția mai bine caracterul deformațiilor. S-au obținut 8 x 4 înregistrări pentru cele opt ipoteze D1-D3. Datele experimentale permit determinarea tensiunilor în cabluri corespunzătoare la încărcările dinamice, în conformitate cu metodologia precizată la punctul 6.5.5.2. Neavând efectuat un calcul dinamic care să-l verificăm experimental nu am făcut prelucrarea datelor experimentale în vederea determinării eforturilor în cabluri din încărcări dinamice.

În schimb conform metodologiei de la punctul 6.5.5.2. am determinat perioada oscilațiilor, decrementul logaritmic și factorul de amortizare pentru fiecare ipoteză de încărcare. Rezultatele prelucrării datelor experimentale se găsesc în tabelul de mai jos:

Ipoteza de încărcare.	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
T	0,205	0,192	0,205	0,201	0,235	0,222	0,235	0,227
$\gamma$	0,0082	0,021	0,0107	0,0131	0,040	0,038	0,033	0,0328
b	0,04	0,109	0,052	0,065	0,170	0,171	0,140	0,144

Diagramele de deformații înregistrate în regim dinamic pentru ipotezele D2, D3, D6 sînt redată în fig. VI.12, VI.13, VI.14 (vezi anexa).

#### 6.5.5.5. Concluzii privind experimentările dinamice.

Folosirea tensometriei electrice rezistive permite pe baza metodologiei de experimentare indirecte precizate la pct. 6.5.5.2. determinarea efortului în cabluri sub încărcări dinamice, precum și studiul oscilațiilor rețelei prin determinarea perioadei T și coeficientului de amortizare b. La aplicarea încărcării dinamice prin șoc se produc 1-2 oscilații cu amplitudini pînă la de două ori mai mari decît amplitudinile oscilațiilor imediat următoare. Decrementul logaritmic  $\gamma$  care caracterizează amortizarea oscilației se determină fără considerarea acestor amplitudini plecînd de la<sup>a</sup> doua sau a treia oscilație. Oscilațiile rețelei sînd forța concentrată rămîne suspendată de structură după ce a fost lăsată să cadă liberă de la o anumită înălțime pentru a produce sollicitarea dinamică prin șoc, sînt de tip amortizat, amortizarea fiind mai pronunțată pentru rețeaua încărcată.

CAPITOLUL VII. PROGRAM PENTRU CALCULUL DE ORDINUL UNU SI DOI AL RETELELOR ORTOGONALE PRETENSIONATE DE CABLURI DE TIP PARABOLOID HIPERBOLIC.

7.1. Programul RETCAB

7.1.1. Date generale privind programul.

Pe baza metodei de calcul expusă la cap.V., pentru o rețea de cabluri de tip paraboloid hiperbolic (fig.V .2) s-a elaborat un program de calcul în limbajul FORTRAN - V aplicabil pe calculatoarele FELIX C. 512. Calculul se efectuează sub acțiunea încărcărilor verticale statice, cu considerarea deplasărilor verticale ale nodurilor rețelei și ale punctelor de centur, în conformitate cu precizările de la cap.V.pct.5.3.2.5.

La rezolvarea sistemului de ecuații de condiție s-a folosit biblioteca de programe al calculatorului FELIX, respectiv programul REBAN. Programul permite calculul rețelei de cabluri sub acțiunea forțelor verticale considerate concentrate în nodurile rețelei de cabluri, inclusiv cu luarea în considerare a variației de temperatură, ținând cont de starea de efort existentă în rețea datorită forțelor inițiale de pretensionare.

La aceste ipoteze de încărcare vom considera punctele de fixare pe centur I = 86 - 113 ca nedepasabile, având  $u = v = w = 0$ . Programul rezolvă calculul de ordinul unu într-o primă etapă de calcul. Pentru calculul de ordinul doi în conformitate cu precizările de la cap.V.pct.5.3.2.4.2. programul calculează în cadrul unui proces iterativ pentru fiecare iterație termenii neliniari  $R(I, J)$ , care se consideră ca termeni de corecție ai încărcărilor exterioare. În fiecare etapă a iterației se calculează un nou set de valori pentru deplasări și eforturi. Procesul iterativ se repetă de un număr "i" ori, până când se ajunge ca diferența între deplasările obținute în două etape succesive să fie mai mică decât o valoare, pe care programatorul o consideră suficientă pentru precizia de calcul care se dorește a fi obținută. Este de făcut o precizare importantă și anume, că atunci când se impune să se țină cont și de influența deplasărilor punctelor de fixare pe contur a rețelei, se pot determina aceste deplasări sub acțiunea reacțiunilor calculate în calculul de ordinul unu și doi. Considerarea valorilor termenilor  $Q(I, J) \times W(I, J)$  pentru punctele de fixare pe contur (respectiv 86 - 113), ca valori de corecție ai termenilor liberi ai sistemului ecuațiilor de condiție, permite calculul deplasărilor nodurilor interioare și respectiv a eforturilor în aceste condiții. Procesul iterativ de calcul se poate conduce în condițiile precizate la cap.V.pct.5.3.2.3.

Deși programul RETCAB nu are prevăzut în mod distinct acest calcul, el poate fi ușor completat uzînd de programul iterativ de ordinul doi în care poate fi considerat termenul de corecție dat de deplasarea reazemelor.

### 7.1.2. Parametrii folosiți de program.

Pentru o structură pe cabluri oarecare de tip paraboloid hiperbolic pe contur liniar, calculul se reduce la calculul unei rețele de cabluri avînd 85 noduri interioare de intersecție și 28 puncte de suspenție a cablurilor stabilizatoare și portante pe contur în conformitate cu fig.V.2. În acest sens toate datele referitoare la structura reală vor fi transpuse pe schema de calcul menționată, prin înlocuirea unui grup de cabluri prin cabluri echivalente corespunzătoare.

Notațiile unor parametri folosite în cap.V. au fost modificate la scrierea efectivă a programului de calcul, din rațiuni legate de limbajul de programare ales și de prezentarea generală a programului. Redăm în cele ce urmează lista principalilor parametri folosiți în cadrul programului.

- F1, F2. - valoarea săgeții cablului portant principal și respectiv valoarea săgeții cablului stabilizator principal.
- W1, V1. - valorile semideschiderilor rețelei de cabluri pe diagonalele principale respectiv în direcția axelor  $O'X$  și  $O'Y$ .
- LAMBDA X, LAMBDA Y - valoarea dimensiunilor (în proiecție orizontală) a ochiurilor rețelei de cabluri după direcția axelor  $O'X$  și respectiv  $O'Y$ .
- X(I), Y(I), Z(I) - matricea coordonatelor nodurilor interioare ale rețelei și a punctelor de fixare pe contur.
- DX, DY, DZ - valorile folosite pentru trecerea de la coordonatele în sistemul  $X, O, Y, Z$ , în sistemul  $X, O', Y, Z$ .
- LUNG (I, J) - matricea valorilor lungimilor elementelor de cablu "i.j".
- COSALFA(I, J), COSBETA(I, J.), COSGAMA(I, J.) - matricea valorilor cosinusilor directori ai elementelor "i.j".
- ARIA(I, J.) - matricea ariilor secțiunilor transversale ale elementelor "i.j".
- E.(I, J.) - matricea modulilor de rigiditate ai elementelor "i.j".
- Ho - valoarea componentei orizontale a forței de pretensionare inițială.
- K.12(I, J.) - parametrii care conține influența variației de temperatură în conformitate cu precizările de la cap.V.
- B1(95) - tablou care conține termenii liberi pentru o ipoteză de încărcare în vederea refacerii lor în urma execuției programului REBAN, în cazul calculului de ordinul doi.
- ANG ( 2126) - tablou care cuprinde valorile  $Q$  (I, J.) din matricea

coeficienților ecuațiilor de condiție pentru restaurarea lor după execuția programului REBAN.

- $U(I), V(I), W(I)$ -lista componentelor deplasărilor nodurilor interioare ale rețelei și a punctelor de fixare marginale după cele trei axe de coordonate.
- $S(I, J)$ , matricea valorilor forțelor de pretensionare inițiale în elementele "ij".
- $SD(I, J)$ , matricea cu valorile variației efortului în elementele "ij".
- $R1(I, J)$ , matricea termenilor de corecție neliniari de forma " $R^2_{ij}$ ".
- $M1(I, J), M2(I, J), M3(I, J), M4(I, J)$ , matricele parametrilor  $M1, M2, M3, M4$ , folosite la generarea sistemului ecuațiilor de condiție, în conformitate cu precizările de la cap.V.
- $Q(I, J)$ , matricea valorilor coeficienților necunoscutelor din sistemul ecuațiilor de condiție.
- $LIMITA(I, J)$ , tablou folosit la reținerea numerelor punctelor limitrofe al nodurilor interioare ale rețelei.
- $TAU$ -coeficientul de dilatare (contractie) termică.
- $DELTA T$ -valoarea variației de temperatură.
- $SX(I, J)$ -valorile eforturilor totale în elementele "ij" corespunzătoare la o ipoteză dată.
- $IPS$ -variabilă care identifică ipotezele de încărcare.
- $IPC$ -variabilă care stabilește numărul de iterații în calculul de ordinul doi pentru o ipoteză dată.
- $A$ . (parametru al programului REBAN)-tablou în care este aranjată matricea bandă a coeficienților, Matricea este constituită din termeni nenuli care se găsesc într-o bandă paralelă cu diagonala și din zero-uri în rest. Se generează prin completarea paralelelor la diagonală începând cu partea cea mai din stînga.
- $B$ . (parametru al programului REBAN)-tablou cu dimensiunea  $N$ , în care se găsesc inițial termenii liberi ai sistemului de ecuații. După executarea programului tabloul  $B$  conține soluțiile sistemului.
- $EPS$  (parametru al programului REBAN), limita inferioară sub care pivotul este considerat nul.
- $KOD$  (parametru al programului REBAN), codul de erori și anume:  $KOD=0$  - soluție normală;  $KOD=1$ - pivot nul;  $KOD=2$ - eroare în argumente (lărgimea benzii trebuie să fie impară);  $N$  (parametru al programului REBAN)-dimensiunea matricei;  $M$  (parametru al programului REBAN), lărgimea benzii (numărul de paralele la diagonală matricei.)

Datele inițiale cu care se începe calculul automatizat se pot obține prin metoda aproximativă elaborată de F.K. Schleyer prezentată în capitolul IV.

### 7.1.3. Algoritmul și schema logică de principiu.

Pe baza metodei prezentate la capitolul V, algoritmul rezolvă determinarea automatizată a deplasărilor și eforturilor în structura de cabluri, sub acțiunea forțelor inițiale de pretensionare și a forțelor exterioare verticale care acționează pe structură. Calculul se conduce în două etape și anume: calculul de ordinul unu și calculul iterativ de ordinul doi, cu luarea în considerare a ipotezelor simplificatoare și în condițiile prezentate în cap. V, punctul 5.3.2.5. folosind sistemul de ecuații de condiție (5.34). Redăm în fig. VII.1.a.b. schema logică de principiu pentru calculul static al rețelelor de cabluri de tip paraboloid hiperbolic. În schemă se dau și elemente generale privind cartelele de intrare în program.

#### 7.1.4. Date de intrare în program.

Prezentăm principalele date de intrare în program precizând totodată și tipul de cartelă.

- Cartele tip 1 - conțin în format 7(3 X<sub>1</sub>, -2I4) pe X(I), Y(I),
- Cartelă tip 2 - conține în format 6 Flo.1 pe F1, F2, W1, V1, LAMBDA X, LAMDAY.
- Cartelă tip 3 - conține în format 3 (E 1o.1) pe DX, DY, DZ.
- Cartelă tip 4 - conține în format F 8.4. pe Ho
- Cartele tip 5 - conțin în format 6 (4I3) pe LIMITA(I, J)
- Cartelă tip 6 - conține în format F 6.6, F 4.1 pe TAU și respectiv DELTAT.
- Cartele tip 7 - conțin în format 4 (Flo.5, Flo.0) pe ARIA (I, J) și E (I, J).
- Cartele tip 8 - conțin în format 11 (8 F 1o.3) pe A(I), I = J, K - matricea coeficienților necunoscuților din ecuațiile de condiție pentru calculul coordonatelor nodurilor în stadiul de nul, prelucrată ca să corespundă condițiilor de intrare în program REBAN.
- Cartele tip 9 - conțin în format 11 (8 Flo.3) pe B(M), M = 1,85 matricea termenilor liberi din ecuațiile de condiție pentru calculul coordonatelor nodurilor în stadiul de nul.
- Cartele tip 10 - conțin în format 5 (2o(2X, I 2)) pe A(I), I = J, K - matricea care definește poziția și tipul elementelor Q (I, J), în matricea linie pentru intrarea în programul REBAN.
- Cartele tip 11 - conțin în format (I 2, I3) pe IPS, IPC
- Cartele tip 12 - conțin în format 6 (I6 F5.3, 1) pe B(K), K = 1,85 - matrice conținând valorile încărcărilor exterioare în fiecare nod al rețelei pentru fiecare ipoteză de încărcare.

Se precizează că în funcție de cazul concret la care este aplicat programul, aceste date pot suferi adaptările considerate necesare de cel care folosește efectiv programul.

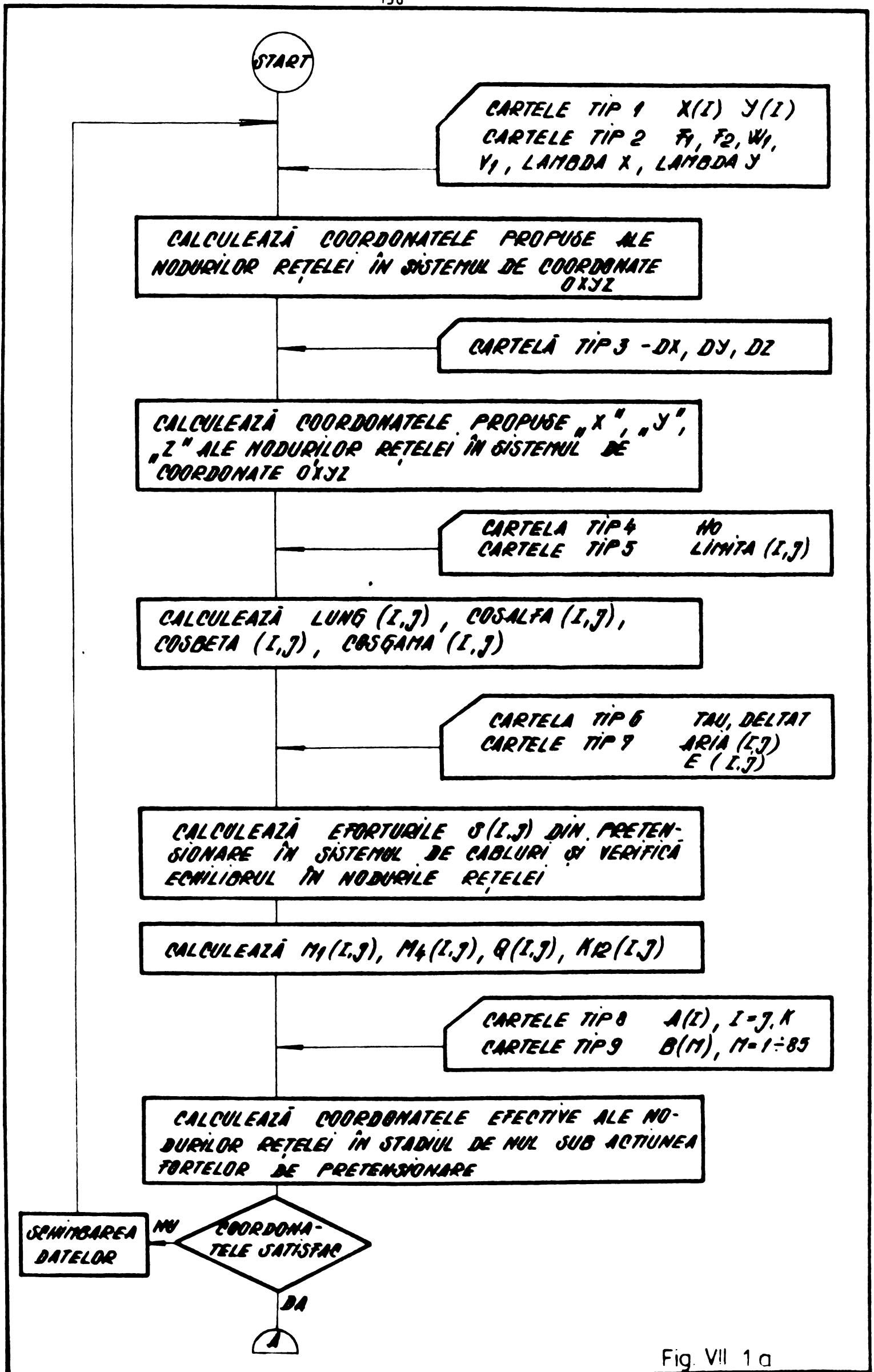


Fig. VII 1 a

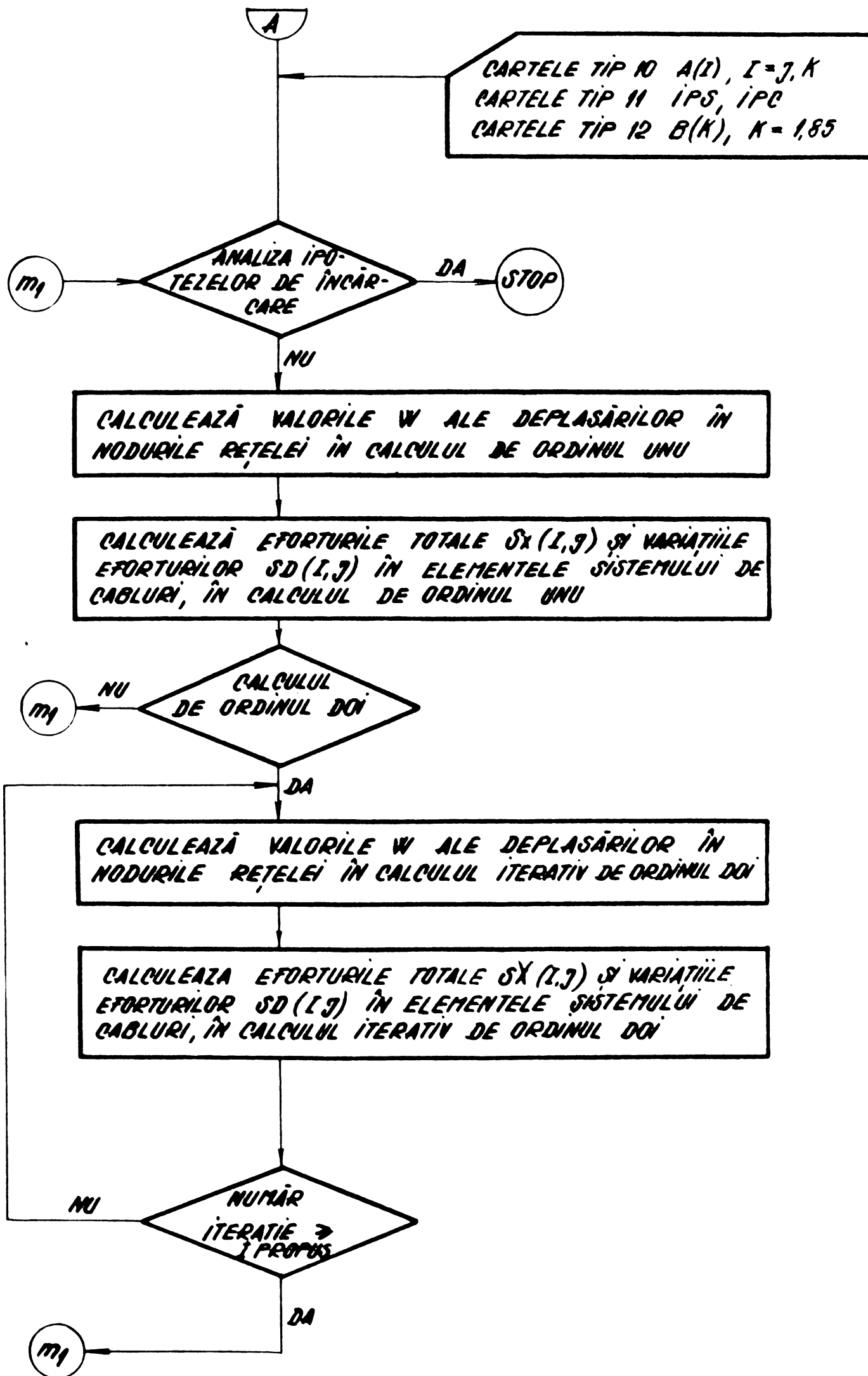


Fig. VII. 1. b.

### 7.1.5. Prezentarea programului RETCAB.

Programul RETCAB este prezentat integral în cadrul anexelor VII. Programul RETCAB a fost folosit pentru calculul rețelei de cabluri la modelul II. De fapt anexele VII cuprind rulările făcute pentru calculul modelului II.

### 7.2. Aplicarea programului la calculul unei rețele de cabluri de tip paraboloid hiperbolic.

Descrierea rețelei considerate. Pentru a putea folosi direct rezultatele experimentale obținute (vezi cap. VI) pentru verificarea programului de calcul propus, s-a calculat direct rețeaua modelului supus experimentării. Deci, caracteristicile rețelei calculate, sînt cele precizate în capitolul VI pentru modelul II.

Ipotezele de încărcare considerate în calcul. Scopul principal al aplicării programului la calculul rețelei modelului II, este verificarea rezultatelor teoretice obținute prin calcul cu cele experimentale și de a testa, astfel performanțele și eventualele minusuri ale programului. De aceea ipotezele de încărcare reiau unele din ipotezele considerate la încercările experimentale ale modelului II, creînd astfel posibilitatea unei comparații directe a rezultatelor teoretice cu cele experimentale. Ipotezele sînt cele prezentate în cap. VI, pct. 6.5.3. pentru încărcările statice <sup>cu precizările</sup> care se fac în cele ce urmează.

În toate ipotezele se consideră structura pretensionată ca punct de plecare în calcul. S-a efectuat un calcul de ordinul unu pentru ipotezele 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18. Deplasările  $W$  și eforturile  $SX (I, J)$  și  $SD (I, J)$  pentru ipoteza 16 a, s-au obținut separat prin considerarea rezultatelor din ipoteza 10 și ipoteza 16, iar pentru ipoteza 16 b, prin considerarea rezultatelor din ipoteza 15 și ipoteza 16. S-a efectuat un calcul de ordinul doi pentru ipoteza 10, care s-a notat pentru identificare în cadrul rulărilor pe calculator ca ipoteza 19.

### Calculul prin aplicarea programului RETCAB.

În cap. VI s-a făcut o predimensionare a rețelei modelului II, prin metoda aproximativă Schleyer. Parametrii stabiliți atunci se folosesc și la calculul cu programul RETCAB al rețelei modelului II. Se impun însă precizări referitoare la calculul coordonatelor nodurilor rețelei sub efectul forțelor de pretensionare. Datorită simetriei sistemului și a faptului că pentru cazul considerat  $H_0^X = H_0^Y = H_0$ , calculul coeficienților sistemului ecuațiilor de condiție pentru determinarea coordonatelor sub efectul forțelor de pretensionare, s-a făcut manual datorită simplității sale.



Coeficienții au fost apoi transferați în matricea din programul REBAN folosit în cadrul programului RETCAB pentru rezolvarea sistemului ecuațiilor de condiție.

În continuare coeficienții ecuațiilor de condiție pentru diversele ipoteze de încărcare sînt calculați în cadrul programului automatizat. În anexe pot fi urmărite programele precum și rezultatele pentru ipotezele de încărcare precizate. Anexa VII.0.A. cuprinde programul RETCAB-1, iar anexele se referă la ipotezele de încărcare de la 1 la 19, numărul anexei corespunzînd cu numărul ipotezei de încărcare (VII.1-VII.19).

Pentru conciziune s-au păstrat în aceste anexe numai listingerile cu programele și rezultatele calculului pe fiecare ipoteză în parte. Pentru fiecare ipoteză s-a indicat în anexă valorile cu semn schimbat ale încărcărilor exterioare  $\Delta P_j^z$  în fiecare nod al structurii, valorile  $W$  ale variației săgeților nodurilor rețelei, precum și eforturile totale  $SX$  și variațiile eforturilor  $SD(I, J)$  în elementele rețelei.

În cazul cînd rezultă și eforturi finale  $SX(I, J)$  negative acestea trebuie considerate ca avînd de fapt valoarea zero, cablul neputînd prelua compresiuni. S-a păstrat în program posibilitatea de calcul și tipărirea valorilor  $SX(I, J)$  negative, pentru a putea funcționa de mărirea acestui efort negativ virtual să intervenim mărind forța de pretensionare inițială considerată. Valoarea forței de pretensionare trebuie să asigure eforturi de întindere în toate cablurile și pentru toate ipotezele de încărcare.

## CAPITOLUL VIII. ASPECTE PRIVIND METODA DE CALCUL ȘI PROGRAMUL ELABORAT ÎN LEGATURA CU REZULTATELE EXPERIMENTALE.

### 8.1. Probleme generale.

După cum s-a arătat, pentru a putea folosi direct rezultatele experimentarilor efectuate pe modelul II (cap. VI) pentru verificarea programului RETCAB - 1, s-a calculat cu acest program rețeaua modelului II. Astfel oă dispunem de date teoretice și experimentale suficiente pentru a testa performanțele programului RETCAB-1 sub aspectul încadrării rezultatelor teoretice față de rezultatele experimentale. În acest sens s-au verificat atît valorile deplasărilor verticale  $W$ , cît și variațiile  $SD(I, J)$  ale eforturilor în elementele de cablu portant și stabilizator. De asemenea s-au verificat diferențele între rezultatele calculului de ordinul I și ordinul II, calcul efectuat cu programul RETCAB-1. Compararea rezultatelor teoretice cu cele experimentale ce se prezintă la

punctul 8.2. și 8.3. se fac pentru rezultatele calculului de ordinul unu.

### 8.2. Compararea rezultatelor teoretice cu cele experimentale pentru deplasările W.

Compararea rezultatelor teoretice obținute prin folosirea programului RETCAB-1 cu cele experimentale pentru deplasările verticale W ale nodurilor rețelei s-a făcut pentru ipotezele de încărcare: 1,2, 3,4,5,6,7,8,10,11,12,13,14,16 b, și s-au reprezentat grafic în figurile VIII.1 - VIII.9. Graficele prezintă variația valorilor experimentale față de valorile teoretice pentru deplasările verticale, W, limitele de variație fiind exprimate în procente.

Datele care s-au folosit la elaborarea graficelor sînt precizate la capitolul VI tabelele VI.2. la VI.5. pentru valorile experimentale și în capitolul VII ( anexele VII) pentru valorile teoretice pentru fiecare ipoteză de încărcare în parte. Pentru a nu se încărca inutil lucrarea s-a renunțat a se prezenta în detaliu calculul comparativ, rezultatele fiind precizate direct în grafice. Pentru ipotezele de încărcare pentru care deplasările W sînt simetrice s-au evidențiat numai nodurile rețelei de pe un sfert sau respectiv jumătate de rețea. Deasemenea, s-au luat în considerare numai nodurile rețelei în care valorile deplasărilor W sînt semnificative (vezi și precizările de la cap. VI).

Prezentăm în cele ce urmează principalele aspecte care se desprind din graficele comparative pentru fiecare ipoteză considerată.

La ipoteza 1 valorile experimentale sînt în majoritate sub cele teoretice limitele de variație fiind între - 9 % și + 6,3 %.

La ipoteza 2 valorile experimentale sînt în majoritate sub cele teoretice limitele de variație fiind între - 11,1 % și + 2,5%.

La ipoteza 3 valorile experimentale sînt sub cele teoretice cu variații pînă la - 9 %.

La ipoteza 4 valorile experimentale sînt în majoritate sub cele teoretice limitele de variație fiind între - 11,1 % și + 2,5%.

La ipoteza 5 valorile experimentale variază față de cele teoretice în limite de la - 12,2 % la + 8,1 %.

La ipoteza 6 valorile experimentale variază față de cele teoretice în limite de la - 6,2 % la + 11,1 %.

La ipoteza 7 valorile experimentale sînt în majoritate sub cele teoretice în limite de la - 12,7 % la + 5,2 %.

La ipoteza 8 valorile experimentale variază față de cele teoretice în limite de la - 3,7 % la 11,1 %.

La ipoteza 10 - valorile experimentale variază față de cele teoretice în limite de la - 11,7 % la + 5,7 %.

La ipoteza 11 valorile experimentale sînt în majoritate sub cele teoretice limitele de variație fiind între - 7,8 % și + 2,9 %.

La ipoteza 12 valorile experimentale sînt în majoritate sub cele teoretice limitele de variație fiind între - 6,1 % și + 5,2 %.

La ipoteza 13 valorile experimentale sînt în majoritate sub cele teoretice limitele de variație fiind între - 11,2 % și + 1 %

La ipoteza 14 valorile experimentale variază față de cele teoretice în limite de la - 7,8 % la + 3,5 %.

La ipoteza 16 b, valorile experimentale sînt în majoritate sub cele teoretice limitele de variație fiind între - 13,6% și + 4,6 %.

### 8.3. Compararea rezultatelor teoretice cu cele experimentale pentru eforturile din cabluri.

Compararea rezultatelor teoretice obținute prin folosirea programului RETCAB-1 cu cele experimentale pentru variațiile de efort SD (I,J) în cablurile portante și stabilizatoare s-a făcut pentru ipotezele de încărcare 1,2,3,4,5,6,7,10,11,12,13,14,16.a. 16 b, și s-au reprezentat grafic în figurile VIII.10 - VIII.18.

Graficele prezintă variația valorilor experimentale față de valorile teoretice pentru eforturile SD(I,J) în cablurile portante și stabilizatoare, limitele de variație fiind exprimate în procente.

SD(I,J) este de fapt valoarea variației efortului în elementul "i.j" de cablu așa cum a fost definit la cap.VII. Datele care s-au folosit la elaborarea graficelor sînt precizate în cap.VI tabelele VI.6 la VI.15 pentru valorile experimentale și în cap.VII (anexele VII) pentru valorile teoretice pentru fiecare ipoteză de încărcare în parte.

S-a renunțat a se prezenta în detaliu calculul comparativ, rezultatele fiind precizate direct în grafice. Valorile  $S_D(I,J)$  pentru care s-au întocmit graficele sînt cele din elementele "i.j", aferente punctelor de fixare pe centur unde s-au făcut măsurători experimentale în conformitate cu precizările de la cap.VI.

În grafice în funcție de ipoteza de încărcare și de eventuala simetrie a eforturilor s-au considerat numai valorile semnificative cu precizarea valorilor experimentale maxime. Compararea s-a făcut considerînd valorile teoretice cu două cifre semnificative după virgulă, restul neglijîndu-se. Prezentăm în cele ce urmează principalele aspecte care se desprind din graficele comparative pentru fiecare ipoteză considerată.

La ipoteza 1, valorile experimentale sînt sub cele teoretice cu variații pînă la - 13 % pentru cablurile portante și cu variații pînă la - 9% la cablurile stabilizatoare.

La ipoteza 2 valorile experimentale sînt sub cele teoretice cu variații pînă la - 5,5 % pentru cablurile portante și cu variații pînă la - 7,6 % la cablurile stabilizatoare.

La ipoteza 3 - valorile experimentale sînt sub cele teoretice cu variații pînă la - 9,5 % pentru cablurile portante și cu variații pînă la - 10 % pentru cablurile stabilizatoare.

La ipoteza 4 - valorile experimentale sînt sub cele teoretice cu variații pînă la - 7,6 % pentru cablurile portante și cu variații pînă la - 5,7 % pentru cablurile stabilizatoare.

La ipoteza 5 - valorile experimentale variază față de cele teoretice în limite de la - 5,2 % la + 4 % pentru cablurile portante și în limite de la - 5 % la + 1,3 % la cablurile stabilizatoare,

La ipoteza 6 - valorile experimentale variază față de cele teoretice în limite de la - 3,3 % la + 4,3 % pentru cablurile portante și în limite de la - 8,3 % la + 0,4 % la cablurile stabilizatoare.

La ipoteza 7 - valorile experimentale variază față de cele teoretice în limite de la - 6,7 % la + 3,7 % pentru cablurile portante și în limite de la - 6,6 % la + 4,6 % pentru cablurile stabilizatoare.

La ipoteza 10-valorile experimentale variază față de cele teoretice în limite de la - 4,2 % + 2,2% pentru cablurile portante și în limite de la - 2,6 % la + 2,7 % pentru cablurile stabilizatoare.

La ipoteza 11, valorile experimentale sînt în majoritate sub cele teoretice cu variații între - 3,7 % și + 1,5 % pentru cablurile portante și cu variații între - 8,2% și + 1,7 % pentru cablurile stabilizatoare.

La ipoteza 12 - valorile experimentale variază față de cele teoretice în limite de la - 3,1 % la + 2,2 % pentru cablurile portante și în limite de la - 2,7 % la + 3,5 % pentru cablurile stabilizatoare.

La ipoteza 13, valorile experimentale sînt sub cele teoretice cu variații pînă la - 4,5 % pentru cablurile portante și - 5,2 % pentru cablurile stabilizatoare.

La ipoteza 14, valorile experimentale sînt în majoritate sub cele teoretice cu variații pînă la - 4,6 % pentru cablurile portante și cu variații între - 5,2 % și + 0,4 % pentru cablurile stabilizatoare.

La ipoteza 16.a valorile experimentale sînt sub cele teoretice cu variații pînă la - 13,4 % pentru cablurile portante și - 8 % pentru cablurile stabilizatoare.

La ipoteza 16.b, valorile experimentale sînt sub cele teoretice cu variații pînă la - 6,3 % pentru cablurile portante și - 7,3% pentru cablurile stabilizatoare.

### 3.4. Rezultate în calculul de ordinul unu și doi.

În capitolul V și VII s-au prezentat principalele aspecte legate de metoda de calcul și program în ceea ce privește calculul de ordinul unu și ordinul doi.

În cap. VII, s-au precizat ipotezele de încărcare pentru care s-a efectuat un calcul de ordinul unu și cele pentru care s-a efectuat un calcul de ordinul doi.

Rezultatele calculului sînt redată în cap. VII (anexele VII).

Din motive legate de costul rulărilor calculul de ordinul doi s-a efectuat numai pentru ipoteza de încărcare cu sarcini uniform distribuite pe întreg acoperișul respectiv sarcini 1,04 daN în fiecare nod a rețelei.

Procedeul de calcul iterativ de ordinul doi s-a dovedit convergent pentru ipoteza în care s-a făcut calculul (anexa VII.19).

Variația rezultatelor calculului de ordinul doi față de calculul de ordinul unu pentru ipoteza de încărcare  $l_0$  în conformitate cu rezultatele obținute la cap. VII, s-au reprezentat grafic în fig. VIII.19.

Pentru încărcări în conformitate cu ipoteza  $l_0$  pentru deplasările verticale "w" variațiile valorilor calculului de ordinul doi (cap. VII anexa VII.19 - iterația 7) față de valorile calculului de ordinul I (cap. VII anexa VII.10) se înscriu în limite între - 2,3 % și + 2,7 %.

Pentru încărcări în conformitate cu ipoteza  $l_0$  pentru eforturile SD(I,J) variațiile valorilor calculului de ordinul II (cap. VII, anexa VII.19 - iterația 7) față de valorile calculului de ordinul I (cap. VII, anexa VII.10) se înscriu în limite între - 2% și + 1,7 % la cablurile portante și - 1,9 % la + 1,6 % la cablurile stabilizatoare.

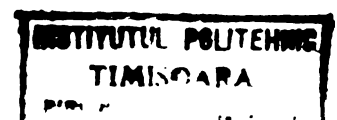
Deci în general pentru sarcini uniform distribuite pe întreaga rețea, calculul de ordinul doi față de calculul de ordinul unu, prezintă diferențe de ordinul a 3% pentru deplasările  $w$  și 2% pentru eforturile SD(I,J). Este de așteptat ca pentru încărcări concentrate singulare și încărcări nesimetrice aceste diferențe să fie mai mari.

### 3.5. Concluzii:

Programul RETCAB - 1 permite calculul unei rețele de cabluri de tip paraboloid hiperbolic sub acțiunea încărcărilor statice în conformitate cu precizările de la cap. VII.

Aplicarea programului la calculul unei rețele de acest tip a permis testarea efectivă a programului pe calculator.

Pentru majoritatea ipotezelor de încărcare au fost efectuate amănunțite încărcări experimentale după cum s-a putut vedea în cap. VI.



După cum reiese din datele comparative prezentate la pct.8.2 și 8.3 rezultatele experimentale variază față de cele teoretice obținute prin aplicarea programului RETCAB-1, în limite de la - 13,6 % la +11,1% pentru deplasările verticale  $W$  și respectiv în limite de la - 13,4 % la + 4,6 % pentru efortul  $SD(I,J.)$  în cabluri. Neglijând valorile singulare extreme apărute la câteva din ipotezele considerate, aceste variații atât pentru deplasări cât și pentru eforturi, se încadrează în limite de maxim  $\pm 9$  %. Aceste limite de variație, arată că programul RETCAB-1 are o precizie suficientă pentru calculele practice în cazul unor structuri reale.

Calculul iterativ de ordinul doi mărește precizia calculului.

Concluzia ce se desprinde din datele prezentate, este că programul RETCAB-1 este un program ce poate fi folosit direct în practica proiectării. Deasemenea programul se înscrie în costuri de rulare rezonabile.

Având în vedere aceste aspecte am inclus acest program în propunerea de instrucțiuni tehnice prezentate la cap. IX.

#### CAP. IX. PROPUNERI PRIVIND INSTRUCȚIUNI TEHNICE PENTRU REALIZAREA STRUCTURILOR USOARE DE ACOPERIS CU REȚELE ORTOGONALE DE CABLURI DE TIP PARABOLOID HIPERBOLIC.

##### 9.1. Obiective propuse și precizări.

Elaborarea " Instrucțiunilor tehnice pentru realizarea structurilor ușoare cu ferme din cabluri" - indicativ Pllo-91, constituie un prim pas important în introducerea pe scară mai largă a acoperișurilor suspendate pe cabluri în țara noastră.

Plecând de la multiplele tipuri de structuri pe cabluri specifice acoperișurilor suspendate, apare logic și necesar continuarea elaborării și la noi în țară a unor instrucțiuni tehnice specifice, pe tipuri de structuri, care să acopere golul existent în momentul de față în acest domeniu. În această idee s-au elaborat și propunerile de instrucțiuni tehnice care fac obiectul prezentului capitol. Pentru a realiza o unitate de prezentare și o continuare a instrucțiunilor Pllo-91, ținând cont de faptul că acestea clarifică și precizează o serie de aspecte tehnice aplicabile și altor tipuri de acoperișuri suspendate, propunerile de instrucțiuni vor urma îndeaproape structura privind capitolele, relațiile, definițiile din instrucțiunile Pllo-91, făcând totodată pentru conciziune, acolo unde este posibil trimiteri directe la acest normativ indicând capitolul și paragraful respectiv.

Propunerile de instrucțiuni, pleacă de la realizările pe plan mondial și de la noi din țară, precum și de la studiile teoretice și experimentale pe care le-am întreprins privitoare la rețelele ortogonale de cabluri de tip paraboloid hiperbolic pe contur liniar rigid

la acoperișuri suspendate avînd proiecția în plan un patrat. Propunerile de instrucțiuni au scopul de a preciza problemele specifice acestor structuri privind elementele constructive de alcătuire, calculul sub acțiunea încărcărilor statice printr-o metodă simplificată și o metodă cu precizie ridicată, inclusiv un program pentru calculul automatizat pe calculator, elemente legate de dimensionare, probleme generale de montaj, execuție, control. Propunerile de instrucțiuni nu tratează calculul dinamic.

Referitor la calculul dinamic, este de remarcă că și un calcul riguros al frecvențelor proprii ale rețelelor în lipsa unor determinări meteorologice precise și a unor cercetări concludente privitoare la efectul dinamic al vîntului pe acoperiș, nu rezolvă problema verificării structurii acoperișului la acțiunea dinamică a vîntului. De aceea deși pare paradoxal, este de preferat unui calcul dinamic laborios, o alegere corespunzătoare a configurației sistemului și o dimensionare rațională a acestuia la încărcări statice, cu stabilirea unor forțe de pretensionare adecvate.

În acest fel se poate asigura o amortizare corespunzătoare a vibrațiilor, în limita unor amplitudini nepericuloase obținîndu-se o rigiditate de ansamblu suficientă în exploatare. Problemele deosebite care se pun la conceperea și executarea modelelor și la realizarea experimentărilor, datorită specificului acestor structuri, necesită după părerea mea reglementări tehnice unitare. De aceea pornind de la elementele practice reșite din încercările experimentale pe model descrise pe larg în cap. VI, în propunerile de instrucțiuni s-au făcut propuneri privind "Recomandări referitoare la execuția modelelor la scară redusă și tehnicile de experimentare pentru structurile ușoare de acoperiș din rețele de cabluri ortogonale pretensionate de tip paraboloid hiperbolic." Pentru o serie de probleme la care se referă propunerile de instrucțiuni au fost tratate pe parcursul tezei: se face atunci cînd e necesar trimiteri directe la paragrafe, tabele, figuri sau anexe, simbolizînd aceste trimiteri cu T. Notarea capitolelor din cadrul propunerilor de instrucțiuni se va face de la 1 la 10 fără a mai simboliza aparținerea la cap. IX al lucrării de față.

## 9.2. Instrucțiuni tehnice pentru realizarea structurilor ușoare de acoperiș cu rețele ortogonale de cabluri de tip paraboloid hiperbolic.

### 1. Generalități.

#### Domeniul de aplicare.

1.1. Prezentele instrucțiuni tehnice se aplică la calculul

sub acțiunea încărcărilor statice și alcătuirea rețelelor ortogonale pretensionate de cabluri de tip paraboloid hiperbolic pe contur liniar rigid din alcătuirea structurilor de acoperișuri suspendate ușoare, avînd proiecția în plan un patrat. Ele se pot folosi cu caracter de recomandare și la alte structuri de acoperiș realizate cu rețele de cabluri de tip paraboloid hiperbolic.

1.2. Domeniul de utilizare recomandat al rețelelor de cabluri de acest tip este pentru deschideri mai mari de 30 m la construcțiile cu destinația precizată la punctul 1.2(P110-81).

#### Alcătuiri de ansamblu.

1.3. Suprafața în care sînt dispuse rețelele de cabluri este cea corespunzătoare unui paraboloid hiperbolic (fig. V.1 - T).

Geometria acoperișului suspendat pe contur liniar avînd proiecția în plan un patrat, se obține dintr-un paraboloid hiperbolic prin limitarea cu două plane secante tangente la parabola principală portantă, paraboloidul hiperbolic avînd parametrii  $a = b$ . Forma generală a acoperișului este prezentată în fig. IX.1.a.

Prin asamblarea mai multor structuri de acest tip se poate ajunge la diverse alcătuiri conf. fig. IX.1.b.c. obținînd acoperirea unor suprafețe pătrate sau dreptunghiulare.

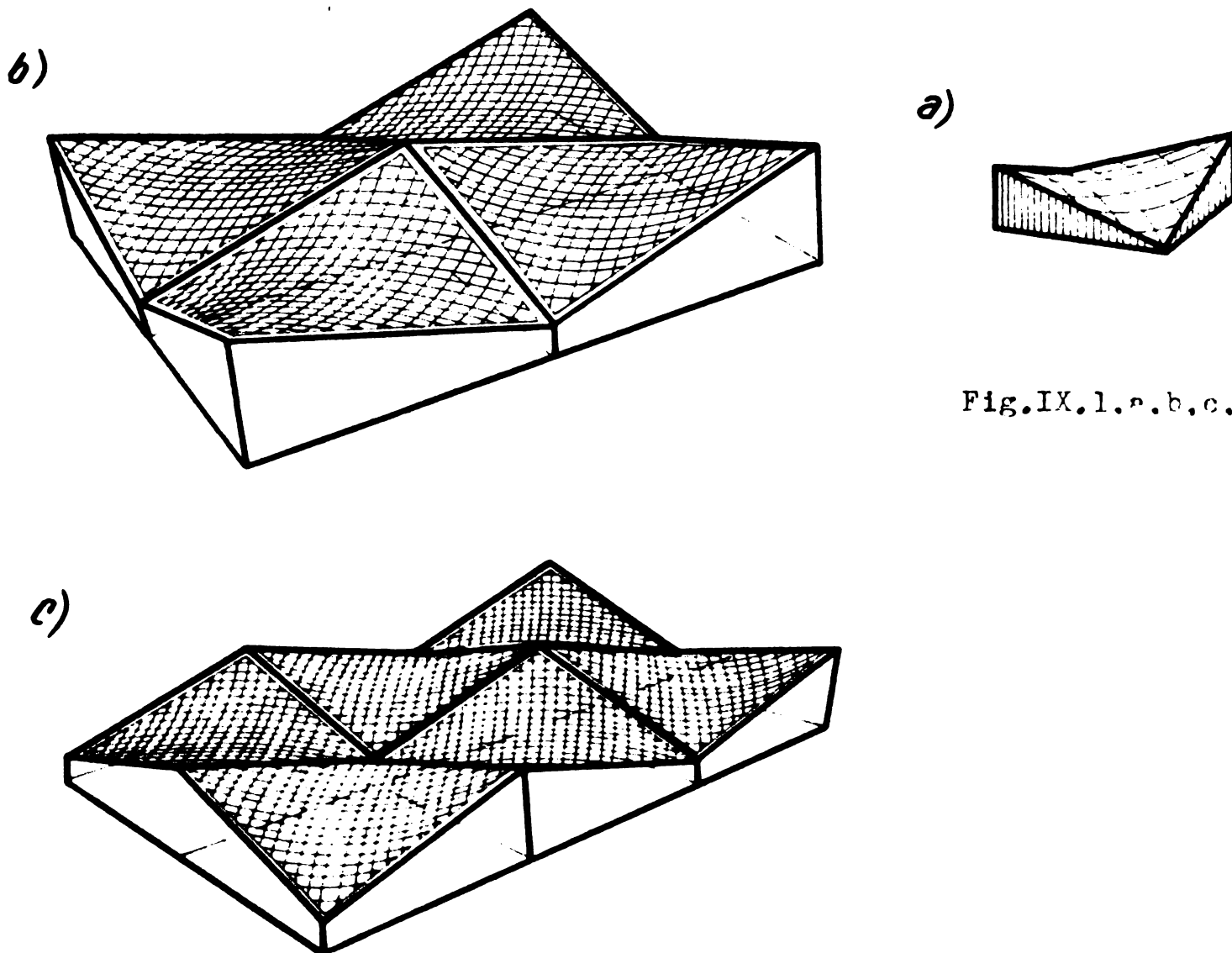


Fig. IX.1.a.b.c.



Rețeaua este alcătuită din două familii de cabluri (fig. I.4.T) paralele dispuse ortogonal, una din familii fiind alcătuită din cablurile purtătoare iar cealaltă din cablurile stabilizatoare. Pretensionarea sistemului se realizează cu ajutorul familiei de cabluri stabilizatoare care se dispun deasupra celor portante, schema stării de efort din pretensionare fiind redată în fig. I.4.T.

Pentru forma patrată în plan<sup>a</sup> construcției, dispunerea familiei de cabluri portante se face paralel cu diagonala aferentă colțurilor ridicate a construcției, cablul care unește aceste colțuri avînd denumirea de cablu principal portant. Dispunerea familiei de cabluri stabilizatoare, se face paralel cu diagonala aferentă colțurilor joase ale construcției, cablul care unește aceste colțuri avînd denumirea de cablu principal stabilizator. În principal familia de cabluri portante are rol să suporte încărcările care generează presiuni pe suprafața acoperișului, iar familia de cabluri stabilizatoare realizează pretensionarea sistemului și suportă încărcările care generează suucțiuni pe suprafața acoperișului.

1.4. Cu rețele de cabluri de tip paraboloid hiperbolic se pot realiza structuri ușoare de acoperiș cu conture de reazem rigide sau flexibile, avînd următoarele alcătuirii:

- sisteme cu arce înclinate de reazem (T, fig. III.4.a.c.)
  - sisteme cu arc central longitudinal (T, fig. III.4.e)
  - sisteme cu contur parțial rigid și parțial flexibil (T-fig. III.4.d).
  - sisteme pe contur liniar fragmentat suprafața rețelei rezultînd din intersecția unor paraboloizi hiperbolici (T-fig. III.4.f)
  - sisteme diverse pe contur flexibil din cabluri.
- Alcătuirile de la punctul 1.4. au caracter de recomandare și nu sînt limitative.

#### Principii generale de concepție.

1.5. Elementele specifice principale care se vor lua în considerație la proiectare sînt:

- eforturile dezvoltate la nivelul acoperișurilor care se transmit la structura marginală de rezemare;
- deplasările mari ale structurii acoperișului care impun măsuri speciale la alcătuirea învelitorii;
- racordările la nivelul conturului între acoperișul flexibil și elementele nedeplasabile de contur.

Rețelele de cabluri ortogonale se stabilizează prin pretensionare.

## 2. Elemente constructive de alcătuire.

### Elementele portante și stabilizatoare ale rețelei.

2.1. Elementele portante și stabilizatoare se pot executa din cabluri, fascicole paralele de cabluri sau cabluri cu sîrme paralele.

Familia de cabluri portante se compune din mai multe cabluri sau grupuri de cabluri, funcție de cablurile utilizate, dimensiunile rețelei și eforturile dezvoltate în cabluri. În familia de cabluri portante, cablurile se dispun paralele.

Familia de cabluri stabilizatoare se compune din mai multe cabluri sau grupuri de cabluri, funcție de cablurile utilizate, și dimensiunile rețelei și forțele inițiale de pretensionare. Familia de cabluri stabilizatoare se dispune deasupra cablurilor portante perpendicular pe acestea. Cablurile portante și stabilizatoare sînt elemente continue între cele două puncte de fixare pe contur. Pasul cablurilor (sau grupurilor de cabluri) portante și stabilizatoare se recomandă a se lua între 1 și 1,5 m, fiind indicat a nu se depăși valori de 3m.

Se recomandă pași egali pentru cablurile stabilizatoare și portante, pentru a obține în cazul rețelelor ortogonale ochiuri patrate.

În absența cablurilor cu sîrme paralele se recomandă utilizarea cablurilor construcție simplă - STAS 1513 - 80.

Starea de efort din cabluri și deplasările rețelei se determină conform indicațiilor din cap. 4 și 5. Lista standardelor referitoare la materialele necesare realizării rețelei se va lua conform anexei 6 (P110-81).

### Noduri

2.2. În fig. III.7. a, b, c. - T sînt date elemente constructive de principiu pentru cîteva tipuri de noduri de intersecție cablu portant-cablu stabilizator.

Toate soluțiile de noduri de intersecție se pot proiecta și aplica cu condiția încercării lor de către un institut de specialitate. Prin proiectare nodurile trebuie să asigure fixarea fără posibilitate de alunecare a cablurilor portante și stabilizatoare.

### Ancoraje.

2.3. La prinderea cablurilor de structura de margine se recomandă ancorajele cu compoziție turnată în conformitate cu prevederile de la pct. 2.3 (P110-81).

În fig. III.6-T - se dau informativ și alte detalii posibile de fixare: cu ochet și cleme (a); cu ochet și matisare (b); cu ochet și tub de oțel, sau aluminiu (c); cu mașon de oțel și pană (d); cu manșon cu filet (e); cu manșon din oțel moale și pană (f).

Ancorajele se vor încerca pe prototip de către un institut de specialitate.

### Structura de rezemare și fundații.

2.4. La nivelul acoperișului forțele dezvoltate în rețea trebuie preluate de structura de reazem. Structurile de reazem trebuie să permită prinderea corespunzătoare a cablurilor, predarea forțelor dezvoltate la construcția de bază și asigurarea unei rigidități corespunzătoare acoperișului.

La proiectarea structurii de margine trebuie să se aibă în vedere posibilitatea realizării detaliilor de arhitectură în mod special cele legate de scurgerea apei de ploaie.

Structurile de rezemare se pot executa din beton armat sau metal. Fundațiile, trebuie să fie dimensionate funcție de natura terenului și sarcinile ce le suportă.

### Invelitoarea.

2.5. Se recomandă utilizarea invelitelor de tip ușor în conformitate cu precizările de la punctul 2.5. (Pllo-81)

În afara acestora în funcție de caracterul construcției se mai pot folosi:

- învelitori din pânză de fire vegetale impregnate,
- învelitori din mase plastice,
- învelitori din plăci rezultate din prelucrarea superioară a lemnului,
- învelitori ușoare din plăci sandwich cu diverse alcătuirii.

### 3. Protecția anticorozivă.

3.1. Protecția anticorozivă se va asigura în conformitate cu precizările de la punctul 3.1. (Pllo-81). Pentru zonele în care cablurile nu sînt accesibile pe parcursul exploatării construcției, se vor stabili măsuri de protecție suplimentară pe bază de studii și încercări efectuate de către un institut de specialitate.

### 4. Calculul rețelelor ortogonale pretensionate de tip paraboloid hiperbolic pe centur liniar rigid.

4.1. Elementele de calcul precizate în prezentele instrucțiuni se referă la calculul rețelelor ortogonale pretensionate de cabluri de tip paraboloid hiperbolic pe centur liniar rigid din alcătuirea acoperișurilor suspendate ușoare, avînd proiecția în plan un patrat sub acțiunea încărcărilor statice. Calculul dinamic nu face obiectul prezentelor instrucțiuni.

4.2. Cabluri conform punctului 4.1. (Pllo-81) se consideră elementele de construcție fără rigiditate la compresiune și încovoiere, avînd rigiditate numai la forțe axiale de întindere.

Calculul static se va efectua în următoarele ipoteze:

- a) - tratarea structurii de cabluri ca un sistem continuu;
- b) - tratarea structurii de cabluri ca un sistem discret de bare articulate în nodurile de intersecție ale acestora, capabile să preia numai eforturi de întindere.

Avînd în vedere restricțiile referitoare la încărcări, relațiile determinate pe baza ipotezelor considerate la punctul 4.2.a. se recomandă la predimensionare, pentru aprecierea caracteristicilor de rezistență și de rigiditate și a stării de efort inițiale în vederea furnizării elementelor de plecare pentru calculul exact în conformitate cu pct.4.2.b. Calculul în conformitate cu punctul 4.2.b., determină starea de deplasare și efort în teoria de calcul de ordinul doi. Acest calcul se recomandă la structurile de acoperiș ale construcțiilor de importanță medie și deosebită în conformitate cu destinația specificată la pct.4.3.(P110-81).

4.3. Se recomandă la proiectare verificarea rezultatelor calculului prin încercări pe model la scară redusă.

#### Evaluarea caracteristicilor de calcul.

4.4. Rețelele specifice structurilor suspendate de acoperiș sînt formate din elemente avînd rigiditate numai la întindere (cabluri). Aceste elemente se realizează din:

- cabluri din oțel (ansamble de sîrmă sau toroane înfășurate în jurul unei inimi centrale);
- cabluri cu sîrme paralele:

Elementele metalice rigide care pot apărea în structură se consideră în conformitate cu prescripțiile tehnice specifice în vigoare.

Calculul elementelor metalice se va efectua pe baza STAS 10.103/ 78.

Calculul rigidității barelor,  $K$ , se efectuează în ipoteza solicitării barelor componente ale structurii acoperișului la eforturi axiale în conformitate cu prevederile de la pct. 4.6.(P110-81) cu respectarea precizărilor privind modulul de elasticitate la tracțiune  $E$ .

4.5. Nodurile de fixare a cablurilor portante și întinzătoare în zonele de intersecție a acestora se realizează prin piese metalice în conformitate cu detaliile specifice tipului de nod folosit.

Nu se admit întreruperi ale cablurilor portante și stabilizatoare în noduri.

Prevederile referitoare la nodurile fixate prin strîngere cu șuruburi, la reducerea dimensiunilor cablurilor ca urmare a alungirii lor, precum și la soluțiile noi de noduri, se vor lua conf. pct.4.7. (P110-81).

4.6. La calculul structurii de rezemare se vor respecta prevederile de la Pct.4.9.(P110-81),

4.7. La calculul rețelelor de cabluri se vor respecta prevederile comune cu fermele pe cabluri precizate la pct.4.10 (P110-81).

4.8. Pentru rețelele de cabluri se consideră următoarele stări limită.

a) - Stări limită ultime caracterizate prin ruperea cel puțin a unui cablu portant al rețelei sau cel puțin al unui cablu stabilizator al rețelei;

b) - Stări limite ale exploatării normale caracterizate prin deplasări statice sau dinamice excesive.

Precizările de la punctul 4.11.b.(P110-81) pentru fermele pe cabluri rămân valabile și pentru rețelele de cabluri.

4.9. Observația de la pct.4.12.(P110-81) referitoare la riscul unor rezultate incorecte la metodele de calcul cu precizie ridicată rămâne valabilă și la rețelele de cabluri.

In acest sens se recomandă verificări rapide.O metodă ce poate fi folosită fiind cea prezentată de N.S. Strelețki ( T.4.5.2.) care se bazează pe considerarea unui cablu singular înlocuitor pentru fiecare familie de cabluri portante și stabilizatoare și tratarea calculului ca atare pe baza teoriei firelor.

#### Încărcări considerate în calcule.

4.10. In conformitate cu prevederile STAS 10101/0-75 și STAS 10101/0A-77 în calcule se vor considera încărcările permanente, temporare cvasipermanente, temporare variabile și excepționale care pot în mod real să acționeze pe structura de acoperiș.

Din cadrul acestor încărcări vom face precizări suplimentare numai privind încărcările permanente și cele din zăpadă, vânt și seism.

#### 4.11.Încărcările permanente se consideră:

- Greutatea elementelor de construcție cu caracter permanent (care se stabilesc în conformitate cu punctul 4.13-P110-81).

- Pretensionarea.

- Valorile forțelor normale de pretensionare se determină pe baza condiției de " nedecuplare " a sistemului de cabluri, în așa fel încât să se asigure o rigiditate corespunzătoare ansamblului structurii de cabluri.

Prin " nedecuplare " a sistemului de cabluri se înțelege că valoarea forțelor de pretensionare trebuie astfel aleasă încât sub acțiunea celor mai defavorabile grupări de încărcări, eforturile în toate cablurile portante și stabilizatoare să fie mai mari decât zero cu

un grad de asigurare acceptabil.

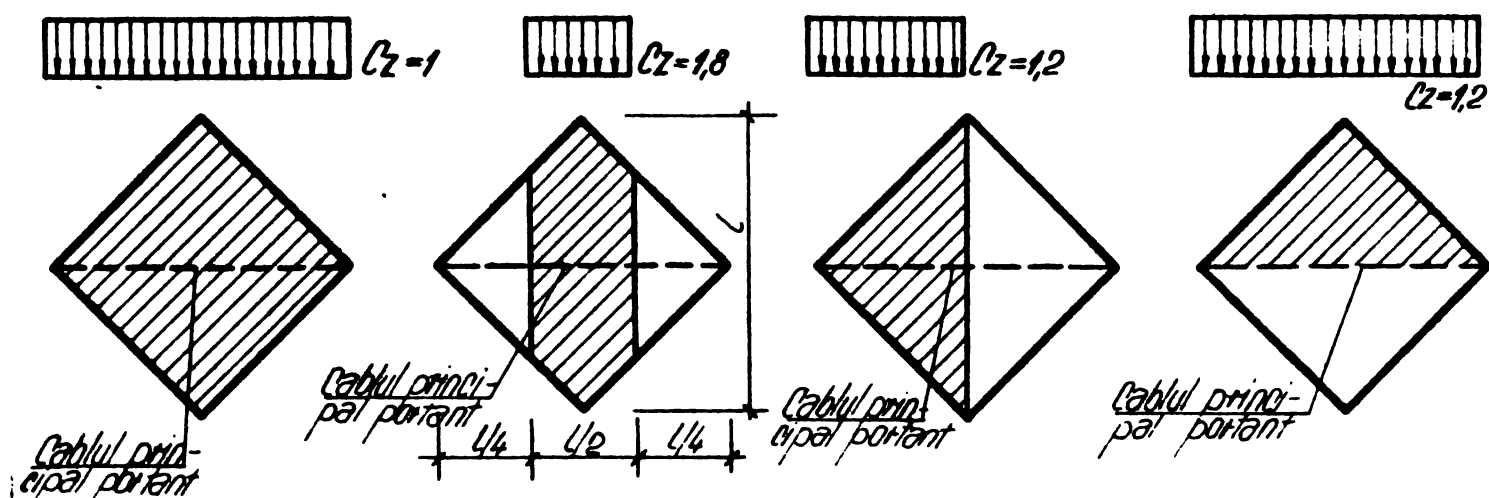
Neputînd admite valoarea zero a efortului în cabluri, va trebui prin proiectare să se stabilească o valoare minimă impusă acestuia. Valoarea minimă impusă a efortului de întindere remanent în ori care din cabluri, sub acțiunea celor mai defavorabile grupări de încărcări, se recomandă a se lua între 15 % și 20 % din valoarea efortului de întindere maxim ce poate apărea în cablul respectiv în exploatare. La stabilirea valorilor procentuale de 15 - 20 % s-a inclus și acoperirea unei pierderi de efort prin relaxarea materialului cablurilor de circa 5 %, Coeficientul acțiunii pentru încărcări din pretensionare se va lua conform prevederilor de la litera e - pct. 4.6.4.1.3, (T).

#### 4.12. Incărcarea din zăpadă.

Se consideră în conformitate cu STAS 10.101/21-78.

Se recomandă încărcări pe modele la scară redusă pentru determinarea schemelor de încărcare și a coeficientului de aglomerare  $c_z$ .

În lipsa acestora pentru acoperișurile pe cabluri de tip paraboloid hiperbolic se indică folosirea schemelor de încărcare din fig. IX.2.



#### 4.13. Acțiunea vîntului.

Se va considera în conformitate cu prevederile STAS 10.101/20-78.

Pentru determinarea coeficienților aerodinamici se recomandă încărcări pe modele la scară redusă.

Pentru acoperișurile pe cabluri de tip paraboloid hiperbolic pe contur liniar avînd proiecția în plan un patrat (avînd raportul 1 : 12,5 pentru cablurile principale portante și stabilizatoare), distribuția încărcărilor din vînt se va determina pe baza coeficienților stabiliți experimental redatî în cap. VI. anexa VI.1. (T).

Evaluarea efectelor dinamice ale vîntului se va efectua pe baza literaturii de specialitate.

4.14. Efectele seismice se determină în conformitate cu prevederile normativului P100-31 și precizările de la punctul 4.16 (P100-31)

## 5. Metoda simplificată de calcul.

5.1. Pentru predimensionare se recomandă un calcul rapid simplificat pe baza metodei și formulelor aproximative determinate de F.K.Schleyer.

Calculul se face pentru încărcări uniform distribuite pe întreg acoperișul considerat cu valoarea lor maximă, determinându-se valorile componentelor orizontale ale eforturilor în cabluri  $H_x$  și  $H_y$  precum și săgeata maximă aproximativă  $W_0$  în mijlocul rețelei.

De asemenea se calculează valorile din efectul temperaturii pentru  $H_x, H_y$  și  $W_0$ .

5.2. Calculul și formulele sînt în conformitate cu precizările de la punctul 4.5.3.(T).

## 5.3. Calculul dinamic.

Calculul dinamic nu face obiectul prezentelor instrucțiuni. Totuși, cu caracter informativ se indică folosirea calculului dinamic prezentat de F.K.Schleyer în conformitate cu precizările de la punctul 4.4.2. (T).

## 6. Metoda de calcul cu precizie ridicată.

### Calculul static.

6.1. Se recomandă calculul automatizat de ordinul unu și doi care tratează rețeaua de cabluri ca un sistem discret. Programul RETCAB de calcul este prezentat în anexa VII.oA(T).

Programul permite calculul rețelei de cabluri sub acțiunea încărcărilor verticale considerate concentrate în nodurile rețelei, inclusiv cu luarea în considerare a variației de temperatură, ținînd cont de starea de efort existentă în rețea datorită forțelor inițiale de pretensionare în conformitate cu precizările de la punctul 7.1.1.(T).

Datele de intrare în program și parametrii folosiți sînt precizați la punctul 7.1.2.(T) și 7.1.4.(T).

6.2. Schema logică de principiu a programului RETCAB este prezentată în fig.VII.1.a.b.(T).

### 6.3. Calculul dinamic.

Calculul dinamic nu face obiectul prezentelor instrucțiuni. Se recomandă determinarea modurilor proprii de vibrație prin utilizarea ipotezei conservativității sistemului mecanic pe baza literaturii de specialitate.

## 7. Dimensionarea.

7.1. Calculul se efectuează cu considerarea combinațiilor defavorabile practic posibile ale diferitelor acțiuni.

Grupările de încărcări se stabilesc pe baza prevederilor din STAS 10101/0-75, STAS 10103/76, STAS 10108/0-78, și STAS 10101/0A-77 în cele două categorii - grupări fundamentale și grupări speciale completat cu tabelul IV.2(T) și cu precizările de la literele a,b,c,d,e, de la punctul 4.6.4.1.3.(T).

### Coefficienții de siguranță.

7.2. În conformitate cu punctul 7.2 (P110-81) la dimensionarea cablurilor considerate ca elemente liniare flexibile componente ale rețelei, se pune condiția ca solicitarea de calcul "S<sup>C</sup>" să fie mai mică sau cel mult egală cu forța de calcul "F<sup>C</sup>".

$$S^C \leq F^C$$

Evaluarea forței de calcul "F<sup>C</sup>" se recomandă să se facă conf. instrucțiunilor P 110-81 cu relația:

$$F^C = \gamma_e \cdot \gamma_c \cdot \frac{F_n}{\gamma_m}$$

dar cu semnificația și valorile coeficienților în conformitate cu precizările de mai jos;

$\gamma_e$  - coeficientul al condițiilor de lucru al elementului

$$(\gamma_e = 0,8 \dots 0,85).$$

$\gamma_c$  = coeficientul condițiilor de lucru al materialului

$$(\gamma_c = 0,75 \dots 0,80)$$

$\gamma_m$  = coeficient al materialului ( $\gamma_m = 1,25 \dots 1,30$ ) cu limitarea rapoartelor  $\frac{\gamma_c}{\gamma_m}$  la valorile:

$$\frac{\gamma_c}{\gamma_m} \leq 0,60 \text{ pentru cabluri zincate.}$$

și

$$\frac{\gamma_c}{\gamma_m} \leq 0,65 \text{ pentru cabluri nezincate.}$$

În cazuri speciale, se pot introduce coeficienți suplimentari ai condițiilor de lucru pe baza unor instrucțiuni speciale și verificări experimentale concludente (punctul 7.2, P110-81).

7.3. Valoarea coeficientului global de siguranță se determină conf. punctului 7.3. (P110-81).

### 8. Recomandări de montaj și de execuție.

8.1. La execuția ancorajelor turnate se vor respecta condițiile tehnologice referitoare la tăierea cablurilor și execuția ancorajului în conformitate cu punctul 8.1.(P110-81).

8.2. La montajul nodurilor se respectă prevederile punctului 8.2.(P110-81).

8.3. La montajul invelitori se respectă prevederile punctului 8.3.(P110-81).



### Structura acoperișului.

3.4. Montajul este precedat de prelucrarea cablurilor conform indicațiilor din proiectul de execuție. Cablurile se taie la lungimea prescrisă în proiect și se pregătesc capetele cablurilor în vederea fixării lor. Se execută ancorajele turnate (atunci când se prevede acest tip).

Se recomandă ca această operație să se facă în ateliere specializate urmînd a fi apoi transportate la locul de montaj. Înainte de începerea montajului propriuzis se va executa tensionarea la sol a tuturor cablurilor ca să se compună rețeaua pînă la 50 % Fr (Fr - forța de rupere a cablurilor), operație care se repetă de 5 ori.

Montajul începe cu fixarea cablurilor purtătoare. Poziția și lungimea cablurilor portante se poate corecta prin dispozitive reglabile de ancorare. Urmează așezarea cablurilor stabilizatoare și fixarea provizorie în nodurile de intersecție cu cablurile purtătoare.

Se reglează geometria rețelei pentru a corespunde cu proiectul pentru faza premergătoare pretensionării. Urmează operația de pretensionare a sistemului de cabluri, care se realizează la deschideri mici cu dispozitivele reglabile cu care sînt ancorate cablurile, sau cu ajutorul preselor hidraulice pentru deschideri mari.

Realizarea pretensionării rețelei de cabluri în vederea stabilizării și aducerea la geometria stadiului de nul (rețea acționată de greutatea proprie și forțele de pretensionare) se poate face în două moduri:

- pe rînd fiecare cablu în parte și concomitent toate cablurile;

Pretensionarea prin punerea sub tensiune concomitentă a tuturor cablurilor rețelei, se realizează prin montarea rețelei de cabluri pe structurile de reazem montate într-o poziție mai ridicată decît cea finală și lăsarea apoi în jos a acestora. Acest procedeu presupune realizarea articulată a structurii de reazem astfel încît să fie posibilă această deplasare și presupune o excatitate deosebită a proiectării și execuției.

Se verifică apoi corespondența geometriei rețelei cu geometria proiectată corespunzătoare stadiului de nul și se aduc dacă e nevoie corectările corespunzătoare. Ultima operație este fixarea definitivă a nodurilor de intersecție a rețelei.

### Abateri limită.

3.5. Abaterile limită admise la execuție se stabilesc conform precizărilor de la punctul 3.5. (P110-91).

## 9. Control, recepție, securitatea muncii, întreținere, verificare periodică.

### 9.1. Control.

Se vor face verificări de către executant, beneficiar și proiectant pe faze de execuție pe toată durata de realizare a structurii acoperișului. Se va da o atenție deosebită la:

- calitatea execuției ancorajelor prin tensionarea la sol a fiecărui cablu cu 1/2 Fr; alunecarea totală a cablului din ancoraj nu va depăși 2 mm (Pl10-81);

- realizarea nodurilor de intersecție conform proiectului;
- controlul stării de efort în cablurile portante și stabilizatoare la pretensionare cu aparatul de determinare a eforturilor în cabluri;

- realizarea stării de efort în cablurile portante și stabilizatoare după montajul învelitorii;

- montarea învelitorii;

### Recepția:

9.2. La recepție se vor respecta precizările de la punctul 9.2. (Pl10-81).

### Măsuri privind tehnica securității muncii.

9.3. Măsurile privind tehnica securității muncii se vor lua conform precizărilor de la punctele 9.3, 9.4, 9.5, 9.6, (Pl10-81).

9.4. În plus se impune elaborarea la proiectare de instrucțiuni specifice privind tehnica securității muncii în funcție de structura concretă proiectată, locul de montaj etc.

### Măsuri de întreținere și exploatare și verificare periodică.

9.5. Măsurile de întreținere și exploatare se stabilesc în conformitate cu precizările de la punctele 9.7 și 9.8 (Pl10-81).

9.6. La proiectare se vor elabora obligatoriu instrucțiuni specifice de întreținere, exploatare și verificare periodică funcție de situația concretă - existentă de la caz la caz. Verificarea periodică cade în sarcina beneficiarului, care este obligat ca cel puțin o dată pe an să controleze starea învelitorii și a structurii acoperișului și să consemneze în acte ce se anexează la cartea construcției constatările și măsurile luate.

### 10. Incercarea pe model la scară redusă.

10.1. În cazul când apar necesare încercările pe model în conformitate cu precizările din prezentele instrucțiuni, acestea se vor desfășura pe baza unui program de experimentare elaborat de proiectant

în colaborare cu un institut de specialitate.

Programul de experimentare va trebui să stabilească parametri de experimentare în așa fel, încât să fie posibilă transpunerea corectă a rezultatelor încercărilor pe model la construcția reală.

10.2. Recomandări referitoare la execuția modelelor la scară redusă și tehnicile de experimentare, pentru structurile ușoare de acoperiș din rețele de cabluri ortogonale pretensionate de tip paraboloid hiperbolic.

1. Se recomandă experimentarea pe două tipuri de modele:

a) - model tip I pe care se determină distribuția încărcărilor din vânt, respectiv coeficienții aerodinamici, precum și aglomerațiile de zăpadă datorită acțiunii vântului pe suprafața acoperișului. Experimentările se efectuează în tunelul aerodinamic.

b) - model tip II - destinat determinării stării de efort și deplasare în rețeaua de cabluri la încărcări statice și dinamice, precum și determinarea unor caracteristici dinamice ale rețelei de cabluri.

## 2. Model tip I.

2.1. Modelul se execută la o scară convenabilă pentru experimentări pornind de la dimensiunile construcției reale ținând cont de dimensiunile camerei de experimentare a tunelului;

Se impune realizarea pentru model a unei valori pentru numărul REYNOLDS mai mare decât 1000 (modelul are în plan o configurație poligonală iar construcția reală are  $RE > 1000$ ). Modelul se execută din baghete flexibile de lemn (de tipul celor folosite la aeromodelo) care pot să urmărească forma suprafeței de paraboloid hiperbolic, asamblarea acestora făcându-se prin înclăiere și rigidizare cu nervuri interioare din placaj de 5 mm.

Prizele de aer se recomandă a se executa din țevă subțire de cupru avînd diametrul interior  $\varnothing 1,5$  mm, montate normal pe suprafața acoperișului. La prizele de aer se fixează tuburi flexibile de cauciuc sau masă plastică cu diametrul interior  $\varnothing 3$  mm, care conduc la aparatele de măsură. Detalii referitoare la un astfel de model se dau în fig. VI.1(T).

2.2. Valoarea vitezelor de experimentare în tunelul aerodinamic se recomandă între 15 m/s și 25 m/s.

Determinarea coeficienților aerodinamici "C" impune măsurarea în fiecare punct a presiunii "p" normală la suprafața acoperișului și determinarea presiunii dinamice  $q$  a curentului de aer ce a provocat această presiune. Tehnicile de măsurare și determinare a acestor parametri experimentali depind de dotarea și caracteristicile

tunelului aerodinamic în care se conduc experimentările.

În lipsa dispozitivelor de înregistrare automată a datelor experimentale la tunel, se recomandă fotografierea indicațiilor aparatelor de măsură și prelucrarea ulterioară a datelor de pe fotografii.

2.3. Experimentările se fac funcție de forma modelului pentru diverse poziții caracteristice ale acestuia față de direcția curentului de aer. În lipsa altor criterii se recomandă minim 5 poziții prin rotiri succesive cu  $30^{\circ}$  a modelului.

Pentru fiecare poziție caracteristică trebuie efectuate cel puțin 3 determinări experimentale a principalelor valori studiate.

2.4. Vizualizarea scurgerilor curentului de aer la nivelul suprafeței modelului se poate face cu gaze colorate introduse în curentul de aer.

2.5. Determinarea aglomerărilor de zăpadă pe model se face cu un material pulverulent corespunzător. Viteza curentului de aer în acest caz se stabilește și funcție de caracteristicile acestui material.

### 3. Model tip II.

3.1. Modelul se execută la o scară convenabilă, funcție de dimensiunile construcției reale de determinările experimentale ce se intenționează a se realiza și de precizia cerută a acestora, urmărind în limita posibilităților să se păstreze la model detaliile constructive reduse la scară ale construcției reale privind nodurile și ancorele. Cablurile se recomandă să se realizeze la model din sârme de oțel cu caracteristici determinate.

Nodurile rețelei trebuie să asigure fixarea corespunzătoare a cablurilor în nod, posibilitatea măsurării deplasărilor și aplicarea prin intermediul lor a încărcărilor pe model. O rezolvare posibilă este dată în fig. VI.9.(T).

Fixarea cablurilor pe contur se recomandă să se facă prin piese reglabile, atât pentru cablurile stabilizatoare cât și portante.

Blocarea cablurilor se recomandă a se face în pahare cu compoziție turnată. O rezolvare posibilă este redată în fig. VI.9.(T).

Conturul de rezemare avînd în vedere că ne propunem studiul rețelei de cabluri, se va realiza cu rigiditate sporită astfel încît practic deformațiile sale să nu afecteze rețeaua.

3.2. Încărcările statice se aplică ca sarcini concentrate în nodurile rețelei, trebuînd să existe posibilitatea ca acestea să acționeze ca presiuni sau sucțiuni în fiecare nod.

3.3. Deplasările nodurilor rețelei se determină prin măsurători optice cu nivele de mare precizie sau cu ajutorul fleximetrelor.

3.4. Eforturile în rețea se măsoară în punctele de fixare a cablurilor pe contur, tehnica de măsurare recomandată fiind tensiometria electrică rezistivă prin folosirea unor doze tensiometrice etalonate în prealabil. O rezolvare posibilă a unei doze tensiometrice este redată în fig. VI.9(T).

3.5. Încărcările dinamice se aplică ca sarcini concentrate în nodurile structurii, efectul dinamic fiind realizat prin căderea liberă a unei greutate de la o înălțime impusă  $h$ .

Dacă se dorește imprimarea unei vibrații anume rețelei aceasta se poate realiza pe bază de dispozitiv cu excentric acționat de un motor electric.

3.6. Eforturile în rețea se pot măsura la încărcări dinamice prin tensiometrie electrică rezistivă cu aparatura indicată la cap. VI.(T). pct. 6.5.5.

3.7. Frecvențele vibrațiilor și coeficientul de amortizare se pot determina indirect prin tensiometrie prin metoda indicată în cap. VI. pct. 6.5.5.(T).

4. Elementele prezentate în prezenta anexă referitoare la execuția modelelor și tehnicile de experimentare au caracter de recomandare și nu sînt limitative.

## CAPITOLUL X. SINTEZA - CONCLUZII.

Prezenta lucrare constituie materializarea studiilor teoretice și experimentale întreprinse de autor, în vederea clarificării și precizării unor aspecte legate de alcătuirea, calculul și execuția structurilor de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate pe cabluri. Aceste probleme se tratează în strînsă legătură cu prevederile reglementărilor tehnice și a dotării tehnice existente în țara noastră, constituind un instrument efectiv de lucru pentru inginerii proiectanți și din execuție. Pentru a avea o imagine de ansamblu asupra multiplelor aspecte tratate, în cele ce urmează se face o succintă trecere în revistă a problematicii fiecărui capitol.

Capitolul I. După ce s-a subliniat actualitatea temei abordate, s-a făcut un scurt istoric al structurilor suspendate, insistîndu-se în mod special asupra acoperișurilor suspendate pe cabluri. Caracteristicile acoperișurilor suspendate pe cabluri, s-au prezentat cu scoaterea în evidență a avantajelor și dezavantajelor lor. Problema

stabilizării acestor structuri s-a concretizat pentru principalele sisteme constructive plecând de la cele două moduri principale de stabilizare: prin lestare și prin pretensionarea sistemului de cabluri. S-au precizat domeniile de folosire precum și aspectele legate de eficiența economică a acoperișurilor pe cabluri, sub raportul execuției a consumurilor de materiale și a costurilor.

Capitolul II. S-a prezentat stadiul actual al clasificării acoperișurilor suspendate și a acoperișurilor suspendate pe cabluri, constatând că în prezent nu există o clasificare generală și atotcuprinzătoare a acestora. O clasificare generală, științifică, este imperios necesară deoarece ar permite o delimitare strictă a diverselor tipuri constructive și o sistematizare clară a acestora în vederea elaborării unor concepte de proiectare și execuție specifice pentru fiecare tip de structură în parte.

În aceste sens se propune o clasificare originală - clasificarea multilaterală interconexă.

Capitolul III. Pe baza clasificării multicriteriale interconexe, s-au evidențiat principalele sisteme constructive cu precizarea elementelor constructive de alcătuire ale acestora. S-a tratat construcția și caracteristicile cablurilor din oțel ca element principal portant al acoperișurilor suspendate, detaliindu-se aspectele legate de alegerea acestora pe bază de criterii științifice cu referire expresă la normativele tehnice din R.S.R. S-au făcut precizări privind alegerea detaliilor de fixare a capetelor cablurilor și a nodurilor de intersecție.

S-au prezentat elemente privind construcțiile de reazem subliniindu-se faptul că o rezolvare necorespunzătoare a acestora, influențează adeseori negativ eficiența economică a acoperișurilor suspendate.

Învelitorile acoperișurilor suspendate au fost prezentate pornind de la cele două mari grupe: învelitori grele și învelitori ușoare.

Execuția acoperișurilor suspendate pe cabluri s-a tratat relevând aspectele specifice acestor structuri și precizând problemele ce se ridică la execuție legat de procedeul de stabilizare folosit.

Capitolul IV. În momentul de față nu există o lucrare care să prezinte ansamblul problemelor de călău și să sintetizeze în mod unitar experiența acumulată în acest domeniu.

De aceea prezentarea calculului structurilor de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate s-a făcut selectiv și critic, pe baza unor criterii unitare, pentru principalele tipuri de acoperișuri

pe cabluri.

Pornind de la considerarea structurilor de cabluri ca sisteme discrete sau continue, s-au detaliat aspecte legate de stabilirea geometriei sistemului sub încărcările inițiale, precum și de stabilirea deplasărilor și eforturilor în sistemul de cabluri sub acțiunea diverselor încărcări statice, inclusiv cu considerarea variațiilor de temperatură și a deplasărilor elementelor de reazem, evidențindu-se de asemenea probleme legate de calculul dinamic. Un accent deosebit s-a pus pe tratarea calculului rețelelor de cabluri pretensionate de tip paraboloid hiperbolic.

Referitor la verificarea siguranței structurilor de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate, s-au prezentat aspecte legate de caracteristicile acțiunilor și materialelor precum și problemele de bază pentru dimensionare, o atenție deosebită dându-se tratării acestor probleme în lumina reglementărilor tehnice din țara noastră.

S-a tratat stabilirea încărcărilor și a grupărilor de încărcări legate de specificul structurilor pe cabluri pentru acoperișuri, cu referire la reglementările tehnice din țara noastră.

S-au făcut precizări și propuneri legate de specificul structurilor de cabluri (exceptând fermele pe cabluri) care se referă la încărcări și gruparea lor, la valorile coeficientului de grupare, la valoarea coeficientului acțiunii pentru încărcări din pretensionare, la valoarea coeficientului  $\gamma_m$  al materialului pentru cabluri, etc. în vederea completării unor date neprecizate, sau precizate insuficient în reglementările tehnice din țara noastră.

Întregul capitol se constituie într-un instrument efectiv de lucru în vederea localizării sub aspectul calculului a unei structuri concrete de cabluri specifice acoperișurilor suspendate.

Capitolul V. S-a prezentat o metodă de calcul de ordinul doi specifică pentru o rețea spațială de cabluri ortogonală pretensionată de tip paraboloid hiperbolic pe contur liniar. În calcul se consideră structura de cabluri ca alcătuită din elemente discrete, capabile să preia numai eforturi axiale de întindere, articulate perfect în nodurile de intersecție. Încărcările se consideră aplicate în nodurile rețelei.

Calculul permite stabilirea geometriei sistemului sub încărcările inițiale, cât și stabilirea deplasărilor sistemului și a eforturilor în cabluri sub acțiunea diverselor încărcări statice, inclusiv cu considerarea variațiilor de temperatură și a deplasărilor elementelor de suspenzie marginale.

Metoda se particularizează pentru cazul de încărcare cu forțe verticale, frecvent întâlnit în practică.

Pentru rezolvarea sistemului de ecuații de condiție se propune o metodă iterativă, în care termenii neliniari sînt separați și considerați ca termeni de corecție ai încărcării exterioare.

Capitolul VI. În acest capitol s-au sintetizat principalele aspecte legate de complexul program de experimentare pe model. Trebuie reliefat volumul deosebit și diversitatea încercărilor experimentale, precum și complexitatea modelelor și tehnicilor de experimentare folosite.

După o succintă tratare teoretică a problemei încercării pe model a acoperișurilor suspendate pe cabluri, se prezintă experimentările efectuate pe două modele distincte în trei etape și anume: determinarea pe modelul I a coeficienților aerodinamici din acțiunea vîntului, determinarea pe modelul II a deplasărilor și eforturilor în rețeaua de cabluri sub acțiunea unor încărcări statice și încercări sub acțiunea unor încărcări dinamice pe modelul II.

Experimentările pe modelul I s-au desfășurat în tunelul aerodinamic al catedrei de aeronautică al Institutului Politehnic din București pe o perioadă de 10 zile rezultînd circa 9750 măsurători elementare înregistrate pe peliculă foto și prelucrate ulterior.

S-au determinat coeficienții aerodinamici în 362 puncte de pe suprafața modelului. Coeficienții aerodinamici obținuți pentru orientările modelului de  $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$  datorită parametrilor realizați în timpul experimentărilor și preciziei de execuție ai modelului permit transpunerea lor pe construcții reale cu deschideri de pînă la 150 - 200 m.

Pentru încărcările din acțiunea vîntului pe modelul II s-au transpus coeficienții aerodinamici determinați în cele 362 puncte de pe modelul I, în cele 85 de puncte corespunzătoare nodurilor de intersecție a cablurilor de pe modelul II, folosind în acest scop calculatorul.

Încercările pe modelul II au stabilit deplasările nodurilor rețelei pentru 15 ipoteze de încărcare, iar starea de eforturi în cablurile rețelei pentru 14 ipoteze de încărcare. Pentru eforturi s-a folosit tehnica de măsurare pe baza tensometriei electrice rezistive. Rezultatele experimentale obținute pe modelul II, au permis testarea programului de calcul prezentat în cadrul lucrării la cap. VII. Determinările experimentale sub acțiunea încărcărilor dinamice s-au făcut pentru 8 ipoteze de încărcare.

S-au studiat oscilațiile rețelei modelului II determinînd perioada  $T$ , decrementul logaritmico  $\gamma$  și coeficientul de amortizare  $b$ . S-a evidențiat de asemenea o metodă experimentală de determinare a



eforturilor în cabluri sub acțiunea încărcărilor dinamice.

Instrumentul de lucru l-a constituit tensometria electrică rezistivă dispunând de o aparatură specială printre care și un înregistrator VISICORDER OSCIOLOGRAF model 1508 fabricație S.U.A. fără care nu s-ar fi putut materializa metoda de experimentare propusă.

Experimentările pe modelul II s-au desfășurat în cadrul laboratorului de construcții metalice - al catedrei de construcții metalice din Timișoara și au necesitat 20 zile.

Capitolul VII. Pe baza metodei de calcul de ordinul doi prezentată la cap.V, s-a elaborat programul de calcul RETCAB în limbajul FORTRAN-V aplicabil pe calculatoarele FELIX - C. 512 pentru o rețea decabluri de tip paraboloid hiperbolic. Programul rezolvă calculul sub acțiunea încărcărilor verticale statice și a variației de temperatură cu considerarea deplasărilor verticale a nodurilor rețelei. Calculul decurge în două etape permițând atât calculul de ordinul unu cât și de ordinul doi. Se precizează principalii parametri folosiți în cadrul programului precum și datele de intrare în program. Cu programul RETCAB, s-a calculat rețeaua de cabluri a modelului II pentru 19 ipoteze de încărcare, rezultatele calculului fiind prezentate în anexe la lucrare. Tot în anexă este prezentat integral programul RETCAB.

Capitolul VIII. Pornind de la rezultatele experimentale obținute pentru deplasări și eforturi pe modelul II și rezultatele calculului cu programul RETCAB, s-au determinat graficele de variație a valorilor experimentale față de cele teoretice atât pentru deplasări cât și pentru eforturi.

Din analiza acestor grafice reiese că rezultatele experimentale variază față de cele determinate prin aplicarea programului RETCAB în limite de la - 13,6 % la + 11,1 % pentru deplasările verticale  $W$  și respectiv în limite de la - 13,4% la + 4,6 % pentru eforturile din cabluri.

Aceste limite de variație atestă că programul RETCAB are o precizie suficientă pentru calculele practice în cazul unor structuri reale și deci poate fi folosit direct în practica proiectării.

Capitolul IX. O bună parte din studiile teoretice și experimentale efectuate de autor s-au materializat în propunerile privind "Instrucțiuni tehnice pentru realizarea structurilor ușoare de acoperiș cu rețele ortogonale de cabluri de tip paraboloid hiperbolic".

Propunerile de instrucțiuni doresc să acopere domeniul rețelilor de cabluri pretensionate de tip paraboloid hiperbolic, cu referire expresă la condițiile din țara noastră.

In propunerile de instrucțiuni se tratează alcătuirile de ansamblu, elementele constructive de alcătuire, protecția anticorozivă, calculul rețelelor pretensionate de tip paraboloid hiperbolic atât cu metode simplificate cât și de mare precizie în calcul de ordinul doi, făcându-se precizări privind încărcările considerate și grupările de încărcări. Se fac recomandări privind montajul și execuția și se prevăd obligații privind recepția, întreținerea în timp și măsurile de tehnica securității muncii. Rigurozitatea științifică cu care au fost elaborate propunerile de instrucțiuni, bazate pe o vastă bibliografie de specialitate precum și pe studii teoretice confirmate prin experimentările făcute de autor, asigură caracterul direct aplicativ al acestora. Experiența câștigată pe parcursul proiectării modelelor și a elaborării programelor experimentale, sub aspectul stabilirii detaliilor de execuție a acestora precum și a tehnicilor de experimentare, s-a sintetizat în "Recomandările referitoare la execuția modelelor la scară redusă și tehnicile de experimentare pentru structurile ușoare de acoperișuri din rețele de cabluri ortogonale pretensionate de tip paraboloid hiperbolic" cuprinse în propunerile de instrucțiuni.

x

x

x

Pe parcursul celor 9 capitole din lucrare s-au prezentat și o serie de probleme care constituie contribuții personale ale autorului la studiul structurilor de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate. În concluzie aș dori să precizez sintetic câteva din aceste contribuții personale:

1. Realizarea unei sinteze a principalelor probleme legate de caracteristicile constructive și sistemele constructive specifice acoperișurilor suspendate pe cabluri, cu precizarea metodelor de stabilizare a acestor structuri și a unor elemente legate de execuție.

2. Elaborarea unei clasificări originale a acoperișurilor suspendate pe cabluri, clasificarea multicriterială interconexă. Clasificarea are la bază 15 criterii. Interconectarea criteriilor de clasificare permite ca pentru un anumit tip de acoperiș să se ia în considerare în mod unitar toate caracteristicile sale. Prin modul în care este concepută această clasificare poate să precizeze locul oricărui acoperiș suspendat pe cabluri, iar pe măsura apariției altor tipuri poate fi completată logic și ușor.

3. S-au precizat criteriile pe baza cărora se poate face o alegere justă a cablurilor din oțel pentru acoperișurile suspendate

cu referire expresă la cablurile fabricate în R.S.R. și la reglementările tehnice existente în țara noastră. Pe baza acestora, se poate asigura la proiectare alegerea tipului optim de cablu, evitându-se specificarea unor elemente de calitate exagerate care nu sînt întotdeauna justificate tehnic și care pot să ducă la o creștere a costurilor.

4. Realizarea unei sinteze a problemelor de calcul specifice structurilor de cabluri pentru aceperisuri suspendate, pe baza unor criterii unitare pornind de la principalele tipuri de aceperisuri pe cabluri, care reprezintă un instrument de lucru în vederea localizării sub aspectul calculului a unui sistem de cabluri dat.

5. S-a tratat verificarea siguranței structurilor de cabluri cu referire la caracteristicile acțiunilor și materialelor și la problemele de dimensionare.

În acest sens s-au făcut precizări și propuneri legate de specificul structurilor de cabluri din alcătuirea aceperisurilor suspendate, referitor la: stabilirea încărcărilor și gruparea lor, valoarea coeficientului acțiunii pentru încărcările din pretenționare, valoarea coeficienților de grupare  $\gamma_g$ , valoarea coeficientului condițiilor de lucru al materialului  $\gamma_c$ , valoarea coeficientului  $\gamma_m$  al materialului pentru cabluri.

Acestea se referă la structurile de cabluri altele decît fermele pe cabluri, la care se aplică instrucțiunile tehnice Pl10-81, și vin să completeze unele date neprecizate sau precizate insuficient în reglementările tehnice din țara noastră. Pe baza acestora la proiectare se pot stabili încărcările și gruparea lor, ținînd cont de aspectele particulare ce le ridică acest tip de structuri.

6. Pentru o rețea spațială de cabluri ortogonale pretenționată de tip paraboloid hiperbolic pe centur liniar, se prezintă o metodă de calcul de ordinul unu și doi, pornind de la teoria generală a calculului unui sistem suspendat spațial tridimensional.

Metoda permite stabilirea geometriei inițiale în stadiul de nul, precum și calculul deplasărilor și eforturilor în sistemul de cabluri, atît sub acțiunea diverselor încărcări statice inclusiv cu considerarea variațiilor de temperatură și a deplasărilor elementelor de suspensie marginale, cît și pentru cazul particular cînd acționează numai încărcări verticale. Rezolvarea sistemului de ecuații neliniare de condiție se face prin calculul iterativ.

7. S-a elaborat un program de calcul - programul RETCAB-care permite calculul de ordinul unu și doi a rețelelor ortogonale pretenționate de cabluri de tip paraboloid hiperbolic în condițiile precizate la cap.VII. Pentru testarea programului s-a calculat o rețea de acest tip cu programul RETCAB pentru 19 ipoteze de încărcare și s-au făcut determinări experimentale pe model la scară redusă. Compararea

rezultatelor experimentale cu cele teoretice, atestă că programul RETCAB are o precizie suficientă pentru calculele practice și poate fi folosit direct în proiectare.

8. S-au determinat experimental în tunelul aerodinamic pe model la scară redusă coeficienți aerodinamici pe suprafața unui acoperiș suspendat de tip paraboloid hiperbolic avînd caracteristicile precizate la cap.VI. Este deosebit de important că datorită parametrilor realizați la experimentare, coeficienți aerodinamici determinați în cele 362 puncte de pe suprafața modelului pot fi transpuși pe construcții reale cu deschideri pînă la 150 -200 m. și deci se pot folosi efectiv la proiectare .

9. La realizarea modelului la scară redusă de acoperiș suspendat pe cabluri pe care s-au determinat deplasările și eforturile în rețea, s-au folosit unele detalii cu caracter original ca de exemplu ansamblul articulată de fixare a cablurilor pe contur și de măsurare format din doza tensometrică, paharul de blocare și piesa specială de cuplare și reglare.

Trebuie subliniat că modelul a fost conceput pentru a se putea face determinări și la încărcări de sucțiune caracteristice pentru acțiunea vîntului pe astfel de structuri. În ceea ce privește tehnica de măsurare prin tensometrie electrică rezistivă la încărcări statice relevă rezolvarea compensării termice a perechilor de TER activi de pe cele 52 doze tensometrice cu numai 5 perechi de TER compensatori, prin folosirea unei scheme adecvate cu 4 unități de comutare tip HUGGENBERGER.

10. S-au realizat determinări experimentale pe model sub acțiunea unor încărcări dinamice.

Studiul oscilațiilor rețelei de cabluri a modelului s-a făcut indirect pe baza diagramelor de variație a deformațiilor înregistrate în regim dinamic la capetele cablurilor, ca instrument de lucru folosind tensometria electrică rezistivă, bazată pe o aparatură de mare precizie în conformitate cu cele precizate în cap.VI. Aparatura și montajul realizat au permis determinarea perioadei  $T$ , a decrementului logaritm  $\gamma$  și coeficientului de amortizare  $b$ , care caracterizează oscilațiile rețelei.

De asemenea folosind același model și aceeași aparatură de măsurare și înregistrare, pe baza aceluiași diagrame înregistrate experimental, s-a precizat o metodă de determinare a eforturilor în cabluri sub acțiunea încărcărilor dinamice.

11. S-au elaborat propuneri privind " Instrucțiuni tehnice pentru realizarea structurilor ușoare de acoperiș cu rețele ortogona-

le de cabluri de tip paraboloid hiperbolic ". Nivelul la care aceste propuneri de instrucțiuni tratează problemele de alcătuire constructivă, de calcul, precum și celelalte aspecte necesare la proiectare și execuție asigură după opinia autorului, caracterul lor direct aplicativ, într-un domeniu neacoperit până în prezent de reglementările tehnice din țara noastră.

12. S-au elaborat, în cadrul propunerilor de instrucțiuni, 'Recomandări referitoare la execuția modelelor la scară redusă și tehnicile de experimentare pentru structurile ușoare de acoperiș din rețele de cabluri ortogonale pretensionate de tip paraboloid hiperbolic", care pune la dispoziția celor interesați experiența dobândită de autor în acest domeniu.

În încheiere îmi exprim convingerea că prezenta lucrare, va constitui prin clasificările și precizările ce le aduce în domeniul atât de vast al structurilor de cabluri din alcătuirea acoperișurilor suspendate, o contribuție la introducerea pe o scară mai largă a acestor structuri moderne în țara noastră, cu toate avantajele tehnico-economice legate de acest lucru.

B I B L I O G R A F I E

1. Nicolae Ceaușescu., - Expunere la Congresul al II-lea al Consiliilor oamenilor muncii din industrie, construcții, transporturi, circulația mărfurilor și finanțe - 24 iunie 1981.  
Ed. Politică, București, 1981.
2. x x x Programul - Directivă de cercetare științifică, dezvoltare tehnologică și de introducere a progresului tehnic în perioada 1981 - 1990 și direcțiile principale până în anul 2000.-  
Ed. Politică, București, 1979.
3. Avent R.R., - Nonlinear Field Analysis of Structural Nets. Journal of the Structural Division, nr. ST 3, mai 1969,
4. Aniscenko A., - Arhitektura soorujenii s visiacimi pokrîtiiami.  
Kiev, Ed. Budivelnik, 1970,
5. Bandel H.K., - Das orthogonale Seilnetz hyperbolisch - parabolischer Form unter vertikalen Lastzuständen und Temperaturänderung. Der Bauingenieur, 34.1959. Heft 10.,
6. Belenia E.I., - Predvaritelno-napriajennije nesuşcie metaliceskie konstrukcii, Moscova, Stroiizdat, 1975.
7. Bouillette J.P., - Structure gonflable avec rêsille en cables d'acier réalisée a Buc ( Yvelines - France),  
Acier, Stahl, Steel, nr.10.1973,
8. Brotton D., Williamson N., Millar M., - The Solution of suspension Bridge Problems by Digital Computers. The Structural Engineer, nr.4, apr.1963.
9. x x x Cable - suspended roof construction state of - the - art. Subcommittee on cable - suspended Structures of the Task Committee on Special Structures, of the Committee on Metals, of the Structural Division. Journal of the Structural Division, nr.ST.6, iun. 1971.
10. Clarke D. - Design of counterstressed cable structures, Journal of the Structural Division nr.St.11.1980.
11. Coles V., - Georgescu D., - Montarea construcțiilor metalice.  
Ed. Tehnică, București, 1965.
12. Cornelius W., - Die Statische Berechnung eines seilverspannten Daches am Beispiel des U S - Pavillons auf der Weltausstellung in Brüssel, Der Stahlbau 27.1959.
13. Czitary E., - Seilschwebbahnen. Springer Verlag. Viena, 1951,
14. Dalban C., Juncan N., - Varga A., - Construcții metalice.  
Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1976.

15. Dean D., Ugarte C., - Analysis of Structural Nets. International Association of Bridge and Structural Engineers (IABSE) vol. 23. 1963.
16. Dmitriev L., Kasilov A., - Vantovîe pokrîtia. Ed. Budiivelnic, Kiev, 1968,
17. Drăgan C. + colectiv., - Funiculare forestiere. Ed. Ceres, Bucureşti, 1971.
18. Eras G., - Elze H., - Berechnung verfahren für vorgespannte - doppeltgekrümmte Seilnetzwerke. Bauplanung - Bautechnik 15, 1961,
19. Eras G., - Elze H., - Cable Networks Their Calculation and Statistically Advantageous Shape. Proceedings (IASS) Colloquium on Hanging Roofs, Paris, July. 1962.
20. Francis A.J., - Analysis of Suspension Cable Behaviour The Engineer. (England) vol. 219, June 1965.
21. Francis A.J. - Single Cables Subjected to Loads. Civil Engineering Transactions (Australia) vol. CE 7, nr. 2 oct. 1965,
22. Frei Otto., - Schleyer F.K., - Tentovîe şi vantovîe Stroiţelnîe konstrukţii (trad. din germană) - Moscova, Stroiizdat, 1970,
23. Frei Otto - Visiacie pokrîtia (trad. din germană), Moscova Stroiizdat, 1960,
24. Gheorghiu A., Statica construcţiilor - III - Bucureşti. Ed.-Tehnică, 1980,
25. Ghiocel D., Lungu D., - Acţiunea vîntului, zăpezii şi variaţiilor de temperatură în construcţii. Bucureşti, Ed. Tehnică, 1972.
26. Goldstein A., - Alegerea cablurilor de oţel pentru elemente de construcţii suspendate şi cu tiranţi, Promîslennoe stroitelstvo i ingenernîe soorujenia (U.R.S.S.) nr. 2, mart.-apr. 1968.
27. Gruendig L., Schek H.L. - Analytical form finding and analysis of prestressed cable net works. Conference on Tension Roof Structures. London, 1974.
28. Hagiescu S., - Structuri suspendate pe cabluri - acoperişuri (sinteză documentară) - CDCAS, 1972,
29. Hagiescu S., - Calculul de ordinul doi al fermelor plane din cabluri. Teză de doctorat, 1974.
30. Hârath Z.K. - Das hängende Dach des Budapest. Weinmuseums. Der Stahlbau, 32. 1963.
31. Howard H.S., - Suspended Structures Concepts. United States Steel Corporation. Publication, Pittsburgh, 1966,

32. Ivanov M. Fileakin A., - Referitor la calculul unui fir neextensibil cu mai multe deschideri. *Stroitelnaia mehanika i rasciot Soorujeni*, (U.R.S.S.) nr.1, ian.1970,
33. x x x Instrucțiuni tehnice pentru realizarea structurilor ușoare cu ferme din cabluri - Indicativ P110-81,
34. x x x Instrucția po proiectivaniu predvaritelino-napriajenih stalnih konstrukții. *Gostroiizdat*,
35. Jawerth D., Schulz M., - Die Dachkonstruktion der Sporthalle "Victor Hugo" in Bordeaux. *Der Stahlbau*, nr.11.1967,
36. Jawerth D., - Hangar d'avions à Mehrabsel près de Teheran (Iran) - Acier, Stahl, Steel. nr.6, 1964,
37. Jawerth D., - Some Counterstressed Dual - Cable Structures. *Proceedings, IASS, Colloquium Paris, July 1962*,
38. Johnson D., Brotton D.M., - A Finite Deflection Analysis for Space Structures, Ed. R.M. Davies, John Wiley and Sons Inc. New York, N.Y. 1967.
39. Kaciurin V.K. - Teoria visiacih sistem. *Staticheski rasciot*, Moscova, *Gostroiizdat*, 1962,
40. Kirsanov N.M. - Alibom construcții visiacih pokrîtii. Moscova, *Visaia Skola*, 1965,
41. Kirsanov N.M., - Visiacie konstrukții. Moscova, *Stroiizdat*, 1968,
42. Klöppel K. Thiele F., - Modellversuche im Windkanal zur Bemessung von Brücken gegen die Gefahr Winderregter Schwingungen. *Der Stahlbau*, nr. 12, dec. 1967,
43. Köning G., - Zur Beurteilung der Sicherheit von Hängedächern aus Spannbeton, Darmstadt 1972,
44. Kosenko I.S., *Visiacie konstrukții pokrîtii*. Moscova, *Gostroiizdat* 1966,
45. Krishna P., Sparkes S., - Analysis of Prestensioned Cable Systems. *Proceedings, The Institution of Civil Engineers*, London, vol.39, ian.1968,
46. Leonhardt F., Egger H., Hang E., - Der deutsche Pavilion auf der Expo '67 Montreal - eine vorgespannte Seilnetzkonstruktion *Der Stahlbau* nr.4, 1968 și nr.5, 1968,
47. Leonhardt F., Schlaich J., - Vorgespannte Seilnetzkonstruktionen Das Olympiadach in München. *Der Stahlbau*, nr.4, nr.5, nr.12, 1973,



48. Lileev L.F., Selezneva E.H., - Metodî rasciota prostranstvenih vantovih sistem. Cosstroizdat, 1965,
49. Lopatto A., - V.G. Suhov - vîdaiusciisia ruski injiner, Izd. Akademii nauk. S.S.S.R. - 1951,
50. x x x La Pavillon allemand à L' Exposition Universelle de Montreal 1967, Acier - Stahl - Steel nr.7-8, 1967,
51. Majowiecki M., - Les tensostructures de l'agence Fiat à San Giovanni in Persiceto ( Bologne - Italie), Acier - Stahl - Steel , nr.12,1972,
52. Majowiecki M., - Eglise à Rutigliano ( Bari-Italie), Acier - Stahl- Steel - nr.4.1976,
53. Majowiecki M., Tironi G., - Structures spatiales légères. Etablissement des projets avec emploi de calculatrices électroniques interactives. Acier - Stahl - Steel nr.10,1976,
54. Mateescu D., - Caraba I., - Construcții metalice. București Ed. Tehnică, 1980,
55. Mateescu D., + colectiv., - Construcții metalice ușoare pentru susținerea acoperişurilor de hale cu deschidere foarte mare - Studiu documentar privind soluții de învelitori la acoperişuri suspendate I.P. "Traian Vuia" - Timișoara, Contract nr.15.417 /1972,
56. Matildi P., Mauro A., Luigi DePoi, Moletta F., - Indagine Sperimentale Sulle travate piane di funi ad elementi di collegamento verticali. Costruzioni metaliche nr.5,1973,
57. Mateev M., - Două săli cu acoperiş suspendat. Arhitectura ( R.S.R.) nr,4, 1971,
58. Mauro A. Luigi DePoi., - Sul calcolo degli orditi Spaziali di funi dotati di nodi semplici di elementi nodali rigidi, Costruzioni metaliche , nr.1,1973,
59. Mauro A., Luigi DePoi., - Sulla determinazione del regime statico e deformativo delle tensostrutture in fase di pura pretensione a sotto carico (il procedimento dei corpi rigidi fittizi). Costruzioni metalliche nr.3,1973
60. Mc.Daniels W., - An Analysis of Galloping Electric Transmission Lines. Transactions, American Institute of Electrical Engineers, vol.79, aug.1960,
61. Michalos J., - Birnstiel C., - Movements of Cable Due to Changes in Loading - Transactions ASCE, vol.127, part.II, 1962,

62. Mock E., - The architecture of bridges. Museum of modern art. 1949,
63. Moisescu A., Săftoiu E., - Betonul în arhitectură, București, 1964,
64. Mollmann H., Mortensen P.L., - The analysis of prestressed suspended roofs ( cable nets). International Conference on Space Structures 1966. Department of Civil Engineering, University of Surrey.
65. Mollmann H., - Suspension Structures, Akademisk Forlag Denmark 1965,
66. x x x Manual pentru calculul construcțiilor. Ed. Tehnică, București, 1977,
67. Neumann E.R., - Die Ausführung des freitragenden Hangedaches für die Raleigh - Arena in U.S.A. Der Stahlbau, 1953,
68. Nitsiotas G., - Despre alcătuirea și calculul construcțiilor portante static determinate; cu legături din cabluri. Bauingenieur ( R.F.G. ), nov. 1967.
69. O'Brien W., - Francis A.J., - Cable Movements under Two-Dimensional Loads; Journal of the Structural Division, vol. 90, nr. ST. 3 iun. 1964,
70. Pirner M., - Modelova mere ni deformaci predpjatych zavesenych strech staticky a dinamicky zatizeny ch, Inzenyrske Stavby ( R.S.C. ) nr. 9, 1963,
71. Ping-Chun Wang - Metode numerice și matriciale în mecanica construcțiilor. București, Ed. Tehnică, 1970.
72. Postulka J., - Hanging Roofs in Czechoslovakia, Hanging Roofs. Amsterdam, North, - Holland Publishing Company 1963,
73. PremKrishna., Tej Agarwal - Studi. of suspended roof <sup>model.</sup> journal of the Structural Division , vol. 97, iunie 1971.
74. Pris R., - Etudes aèrodynamicque - Tour de refrigeration. Hyperbolique. Annales de l'Institut technique du batiment et des Travaux publics, febr. 1962, nr. 134.
75. Pugsley A., The Theory of Suspension Bridges. Ed. Edward Arnold, London , England, 1968.
76. Rabinovici J.M., - Viskiacie pokrítia. Trudî sovescenia po issledovanii i vnedrenii visiacih pokrítii. Moscova , Gosstroizdat, 1962,

77. Rjanițin A.P., - Statika i dinamika polgoi uprugoi niti, Moscova, Gostroiizdat, 1962.
78. Roland C., - Frei Otto - Spannweiten, Ideen und Versuche zum Leichtbau, Berlin, Verlag, Ullstein, 1965.
79. Romaro G., - Couverture sur câbles d' une halle du complexe "Estramed" à Pomezia (Italia).  
Acier - Stahl - Steel , nr.3, 1976.
80. Rudolph P., - Entwicklung von vorgespannten räumlichen Seil-  
Stabtragwerken. Teză doctorat, Berlin, 1970.
81. Rühle H., Akkermann G., Bekman, Prostranstvenie pokrîtia.  
(kôstrucții i metodî vozvedeniia). (traducere din germană), Moscova, Stroiizdat , 1974.
82. x x x Rezervor de apă potabilă de 345.000 m<sup>3</sup>, construit la  
Durban - Africa de Sud, Civil Engineering (Anglia).  
nr. 769., p.854-857.
83. Sarger R., - Etude théorique de construction en toitures suspendues et voiles prétendues. Hanging roofs. Proceedings of  
the IASS colloquium. Paris. 1962,
84. Sarger R., - Conceptions, calculs et essais de la courverture de  
pavillon de la France a l'exposition de Brûxelles.  
- Etudes et Réalisations, 1959, S.7-20.
85. Sances M., - Arcas ., - Obolociki - jelezobetonnie obolociki i  
sk ladki , ih formî visiacie sistemî pokrîtii, Moscova,  
Stroiizdat, 1964,
86. Scalzi J.B., - Podolny W., Teng W., - Design fundamentals of  
Cable Roof Structures, United States Steel Corp.  
Pittsburgh, Pa. oct. 1969.
87. Schleyer F.K., - Über die Berechnung von Seilnetzen. Dissertation,  
Technische Universität, Berlin , 1960.
88. Schneider H., - Die neue Madison Square Garden Arena, Der Stahl-  
bau nr.5, 1969.
89. Shore S., - Bathish G.N., - Membrane Analysis of Cable Roofs.  
Space Structures, ed. R.M. Davies, John Wiley and Sons.  
Inc. New York, 1967.
90. Siev A., - Eidelman, - Shapes of suspended Roofs. Proceedings,  
IASS, Paris, July 1962,
91. Siev A., - Eidelman., - Stress analysis of prestressed suspended  
roofs. Proc. ASCE, nr. ST.4 aug. 1964.
92. Siev A., - Prestressed suspended Roofs Bounded by Main Cables.  
Publications IABSE, vol.27. 1967.

93. Simpson W.E. - Cable suspended Roof for San Antonio Assembly Building-Civil Engineering nr.11, nov. 1969,
94. Sobotka Z., - Viskiacie pokrítia, Moscova,Stroizdat,1964.
95. Sofronie R., - Stabilitatea dinamică a acoperişurilor pe cable Teză-de doctorat .Institutul de Construcţii Bucureşti, 1969.
96. Speranski B.A. - Resetciatîe metaliceskie predvaritelino napri-aj emîe konstrukcii,Stroizdat, 1970,
97. Stoica C., Cristea N., - Meteorologie generală.  
Ed.II - Bucureşti.  
Ed.Tehnică, 1971.
98. Streletski N.S., - Metaliceskie konstrukcii - spetialnii kurs. Moscova Stroizdat, 1965.
99. Thornton C.H., - Birnstiel C. - Three - Dimensional suspension Structures " Journal of the structural Division " nr.ST.2  
apr,1967.
100. Tsuboi<sup>Y</sup>.Kawaguchi H., - Probleme beim Entwurfeiner Hangedach konstruktion anhand des Beispiels der Schwimmhalle für die Olympischen Spiele 1964, in Tokio.Der Stahlbau,nr.3 1966.
- 101.. Tsuboi Y., - Large span shell structures in Japan, Large Span Shells,IASS, Congress, Leningrad, 1966, vol.I.
102. x x x AISI Comitee on Building Research and Technology - Tentative Criteria for Structural Applications of Steel Cables for Buldings.American,Iron And Steel Institute, New York N.Y.1966.
103. x x x The Task Comittee on Wind Forces of the Comittee on Loads and Stress of the structural Division,ASCE-Wind Forces on structures,Transactions ASCE - vol.126,Part. II, nr.3269,1961.
104. x x x Une valière d'un nouveau type.Acier - Stahl - Steel nr.2 1966.
105. x x x Viskiacie pokrítia crugovovo ocertania v plane - truda instituta, výpusk 2 - pod redakciiei I.G. Liudkovskovo, Moscova, Gossroizdat, 1962.
106. Zaharia L., - Acoperişurile suspendate pe cabluri, o soluţie modernă şi eficientă de acoperire a construcţiilor cu deschideri mari.Sesiune comunicări ştiinţifice şi tehnice Deva; - iulie 1973.
107. Zetlin L. , Suspension Roofs,Structural Engineering Handbook New York, 1968.

108. Zetlin L., - Elimination of Flutter in Suspension Roofs. Excerpts from Hanging Roofs, Booklet 2319, Bethlehem Steel Corp.
109. Zetlin L., - Basic Design Principles of Cable Roofs, Including, Statics, Dynamics and Systems. Cable Roofs Structures, Booklet 2318, Bethlehem Steel Corp.

Tabelul VI.1

x [mm]	z [mm]
5	-0,008
10	-0,032
15	-0,072
20	-0,128
25	-0,200
30	-0,288
35	-0,392
40	-0,512
45	-0,648
50	-0,800
55	-0,968
60	-1,152
65	-1,352
70	-1,568
75	-1,800
80	-2,048
85	-2,312
90	-2,592
95	-2,888
100	-3,200
105	-3,528
110	-3,872
115	-4,232
120	-4,608
125	-5,000
130	-5,408
135	-5,832
140	-6,272
145	-6,728
150	-7,200
155	-7,688
160	-8,192
165	-8,712
170	-9,248

x [mm]	z [mm]
175	-9,800
180	-10,368
185	-10,952
190	-11,552
195	-12,168
200	-12,800
205	-13,448
210	-14,112
215	-14,792
220	-15,488
225	-16,200
230	-16,928
235	-17,672
240	-18,432
245	-19,208
250	-20,000
255	-20,808
260	-21,632
265	-22,472
270	-23,328
275	-24,200
280	-25,088
285	-25,992
290	-26,912
295	-27,848
300	-28,800
305	-29,768
310	-30,752
315	-31,752
320	-32,768
325	-33,800
330	-34,848
335	-35,912
340	-35,992

x [mm]	z [mm]
345	-38,088
350	-39,200
355	-40,328
360	-41,472
365	-42,632
370	-43,808
375	-45,000
380	-46,208
385	-47,432
390	-48,672
395	-49,928
400	-51,200
405	-52,488
410	-53,792
415	-55,112
420	-56,448
425	-57,800
430	-59,168
435	-60,552
440	-61,952
445	-63,368
450	-64,800
455	-66,248
460	-67,712
465	-69,192
470	-70,688
475	-72,200
480	-73,728
485	-75,272
490	-76,832
495	-78,408
500	-80,000

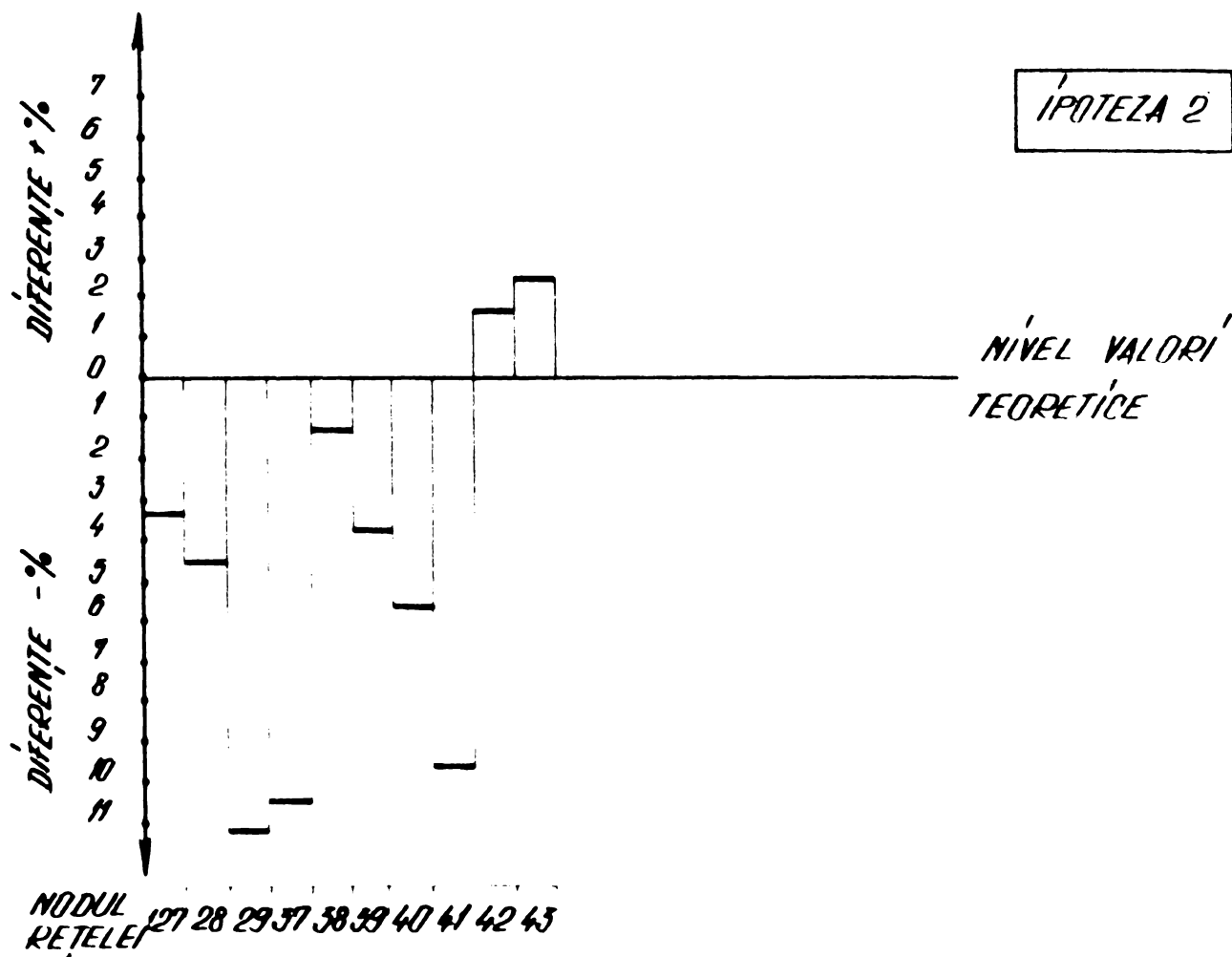
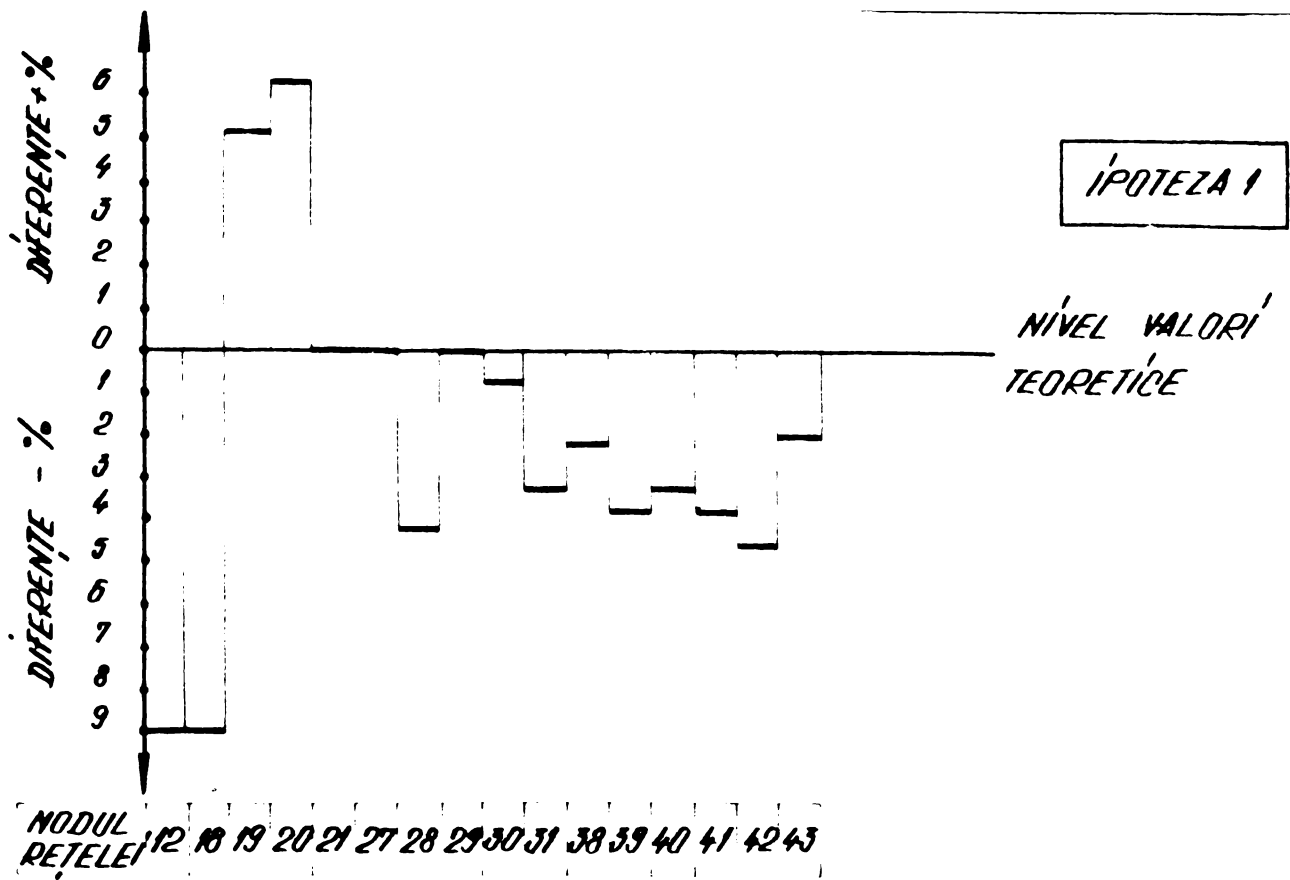


Fig VIII. 1. VARIATIĂ VALORILOR EXPERIMENTALE FATĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU DEPLASĂRILE VERTICALE W

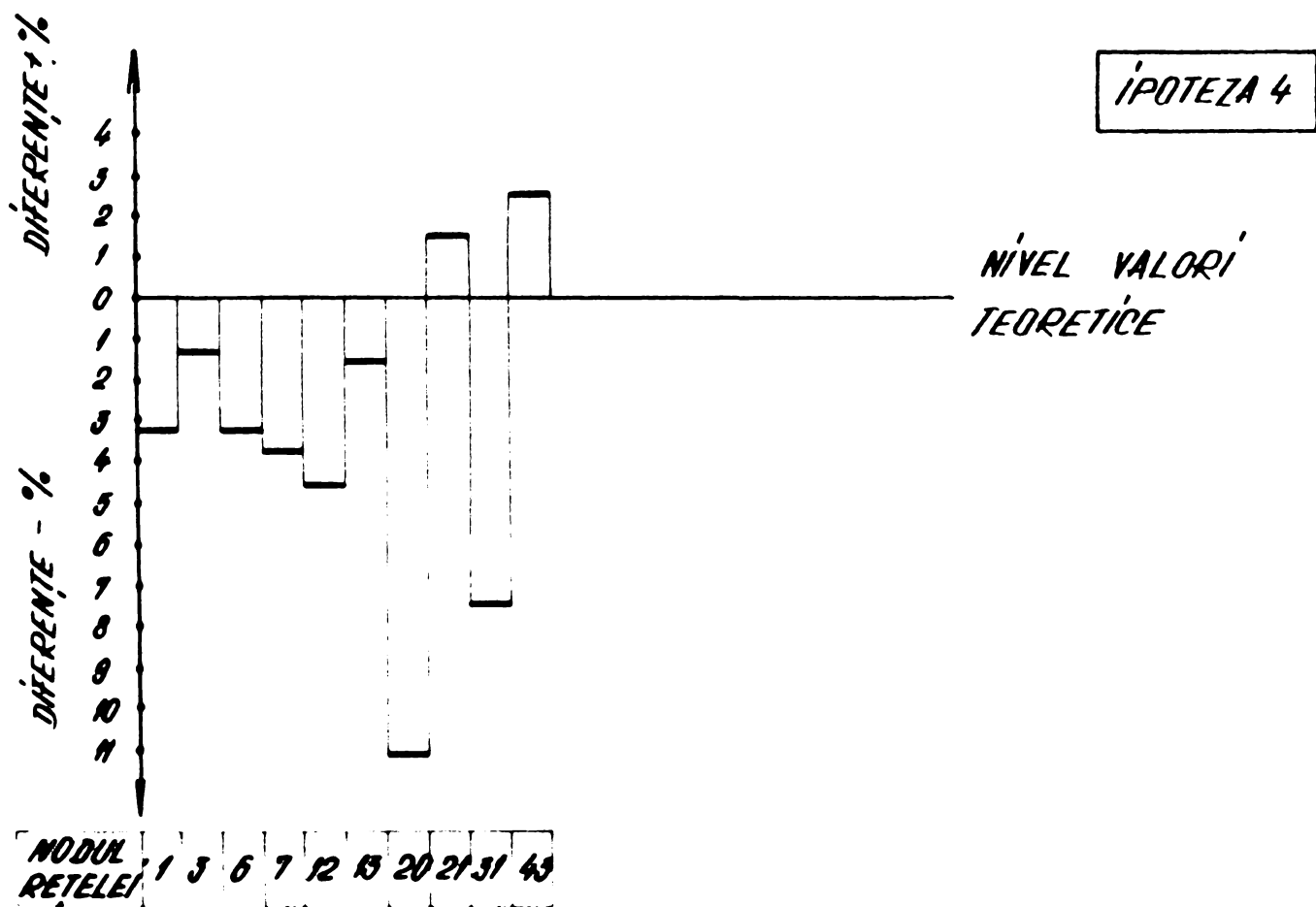
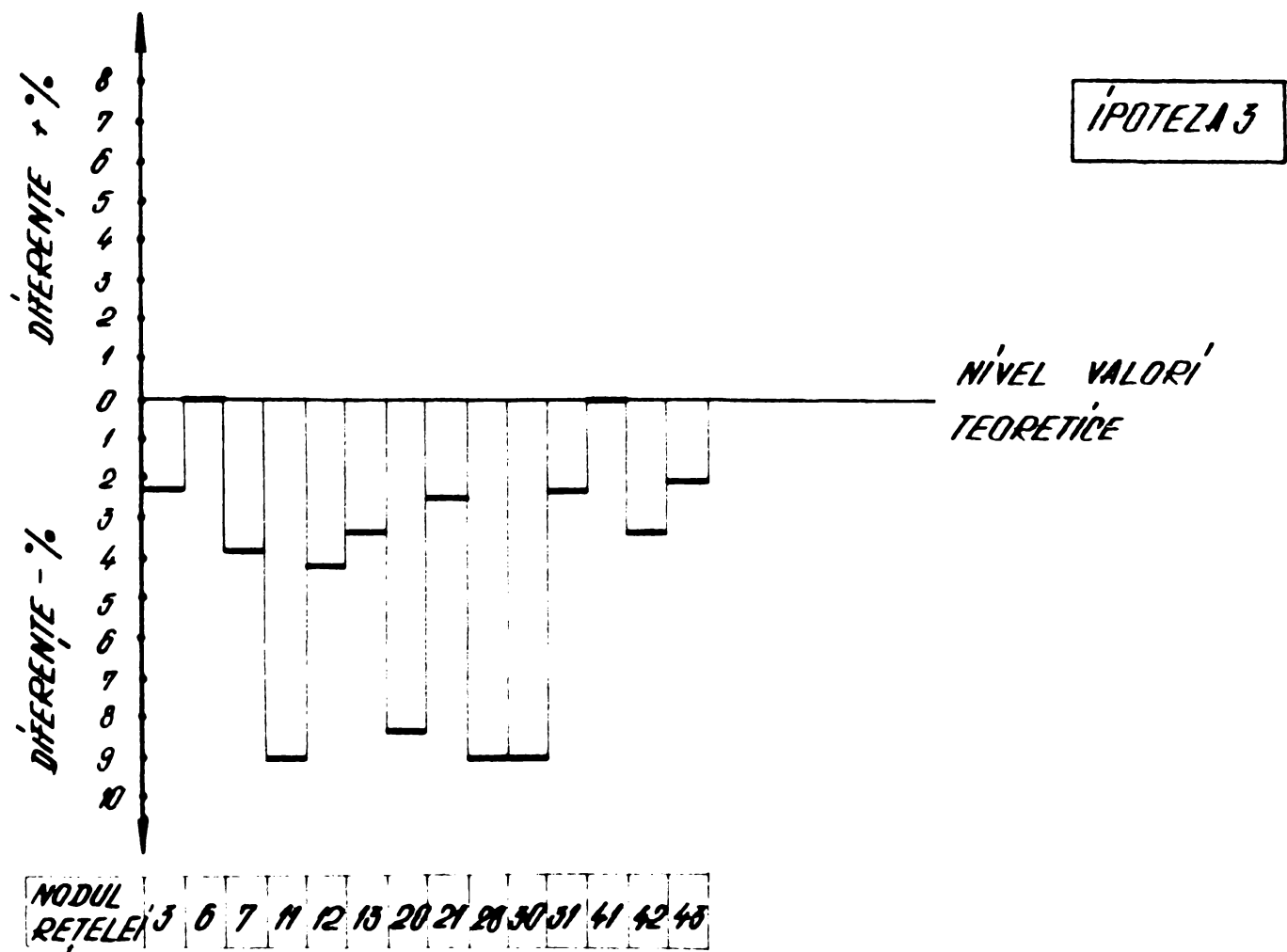


Fig. VIII. 2 VARIATIJA VALORILOR EXPERIMENTALE FATĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU DEPLASĂRILE VERTICALE W.



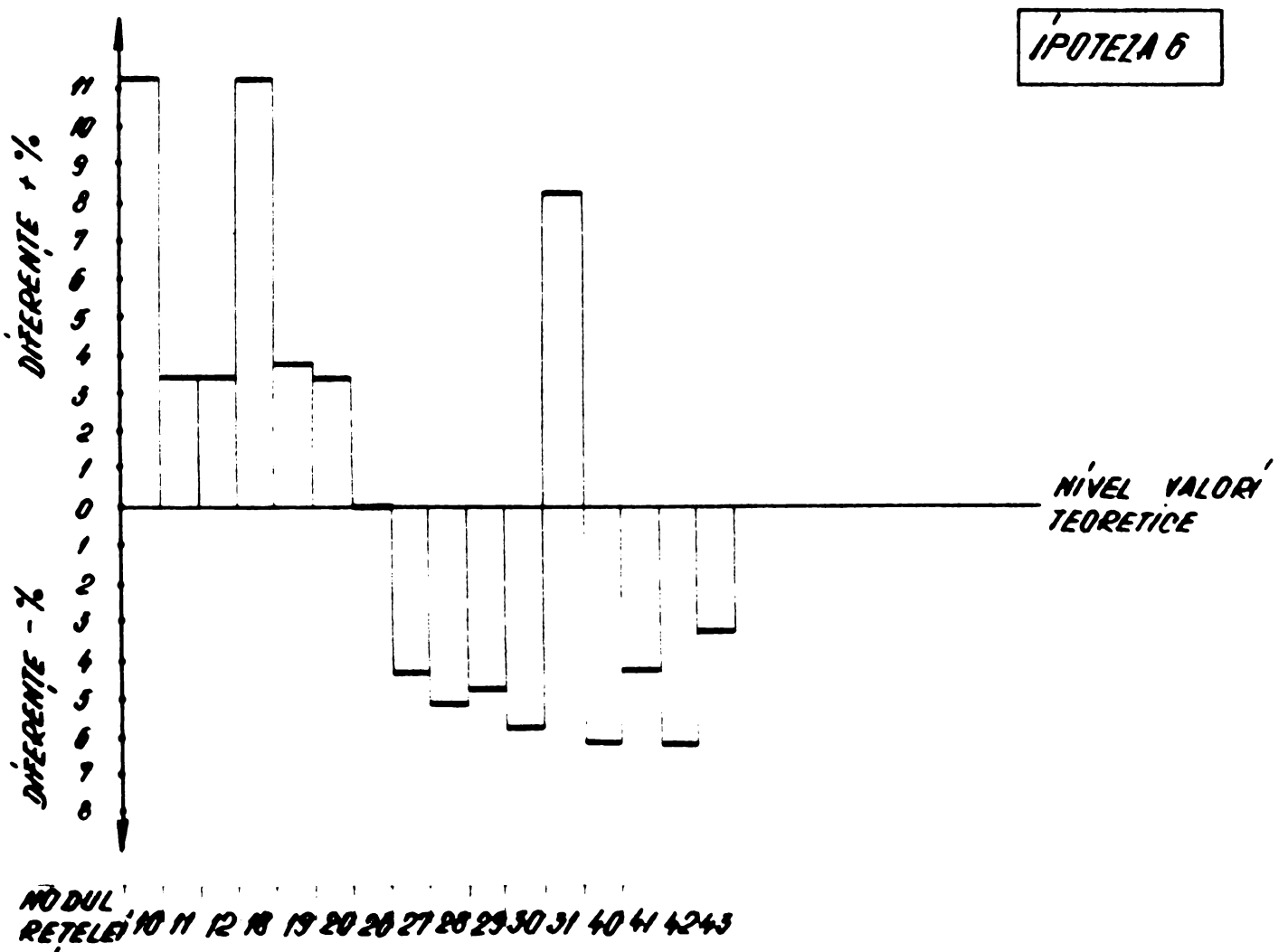
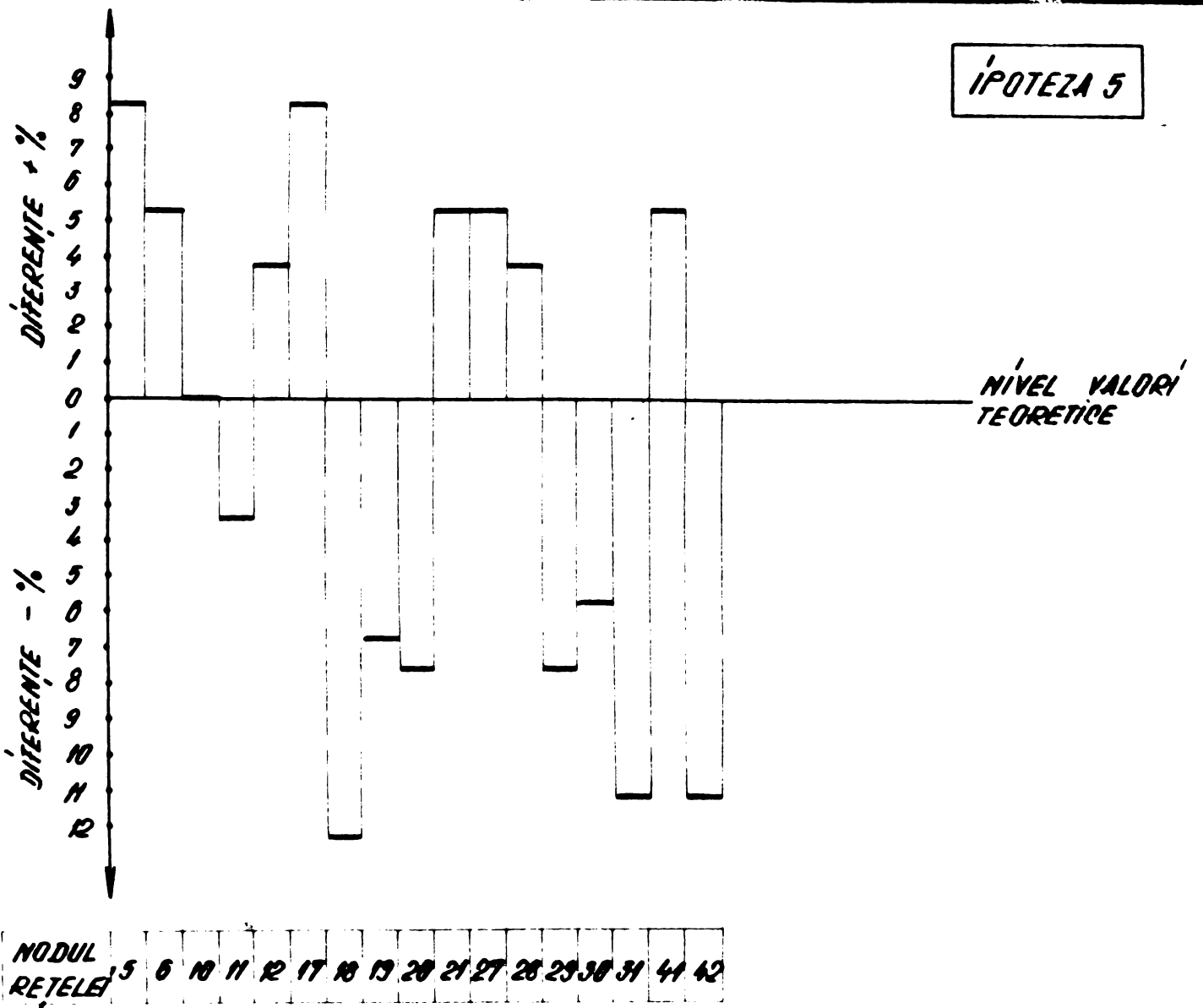


Fig VII. 3 VARIATIĂ VALORILOR EXPERIMENTALE FATĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU DEPLASĂRILE VERTICALE W.

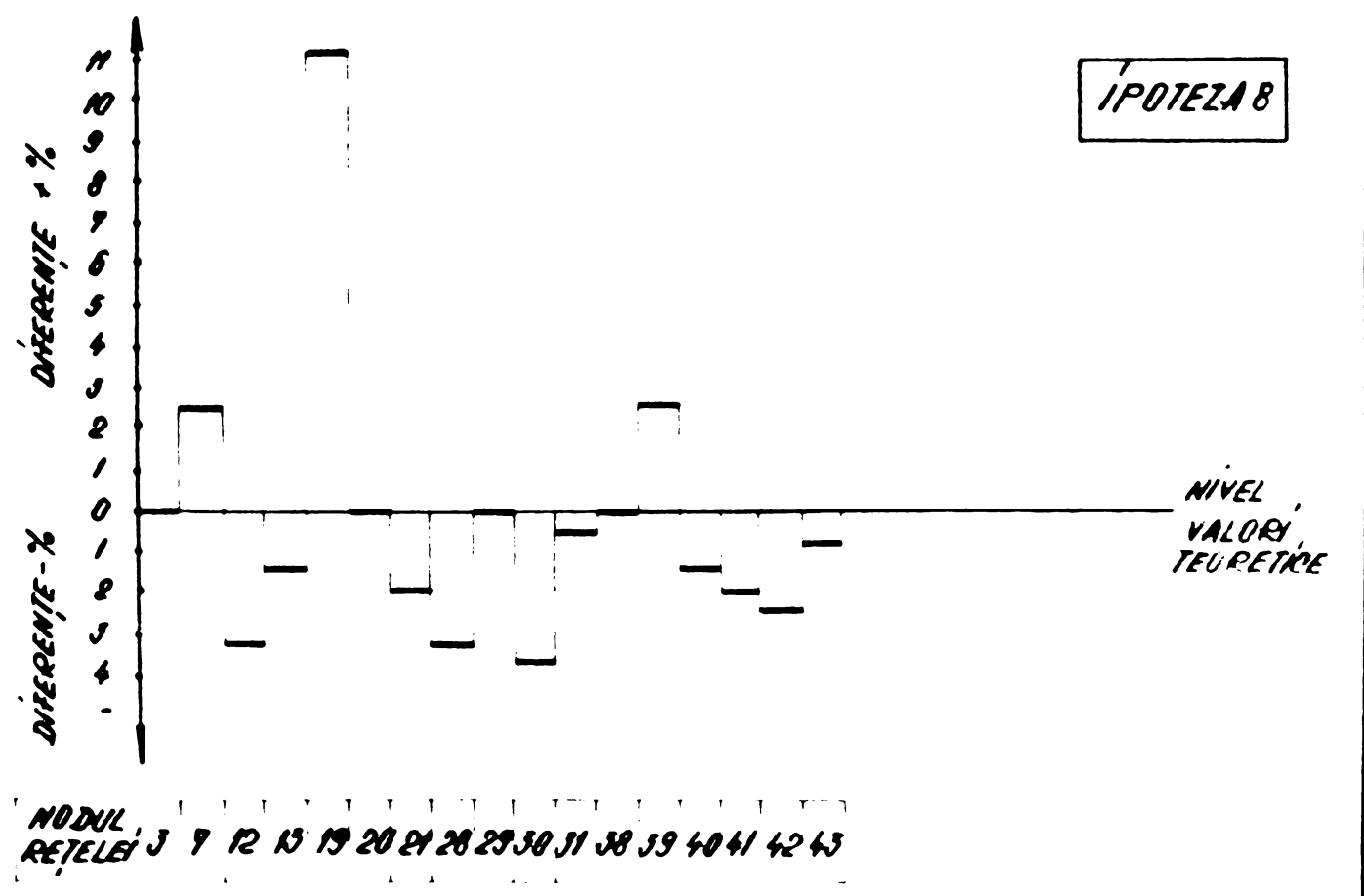
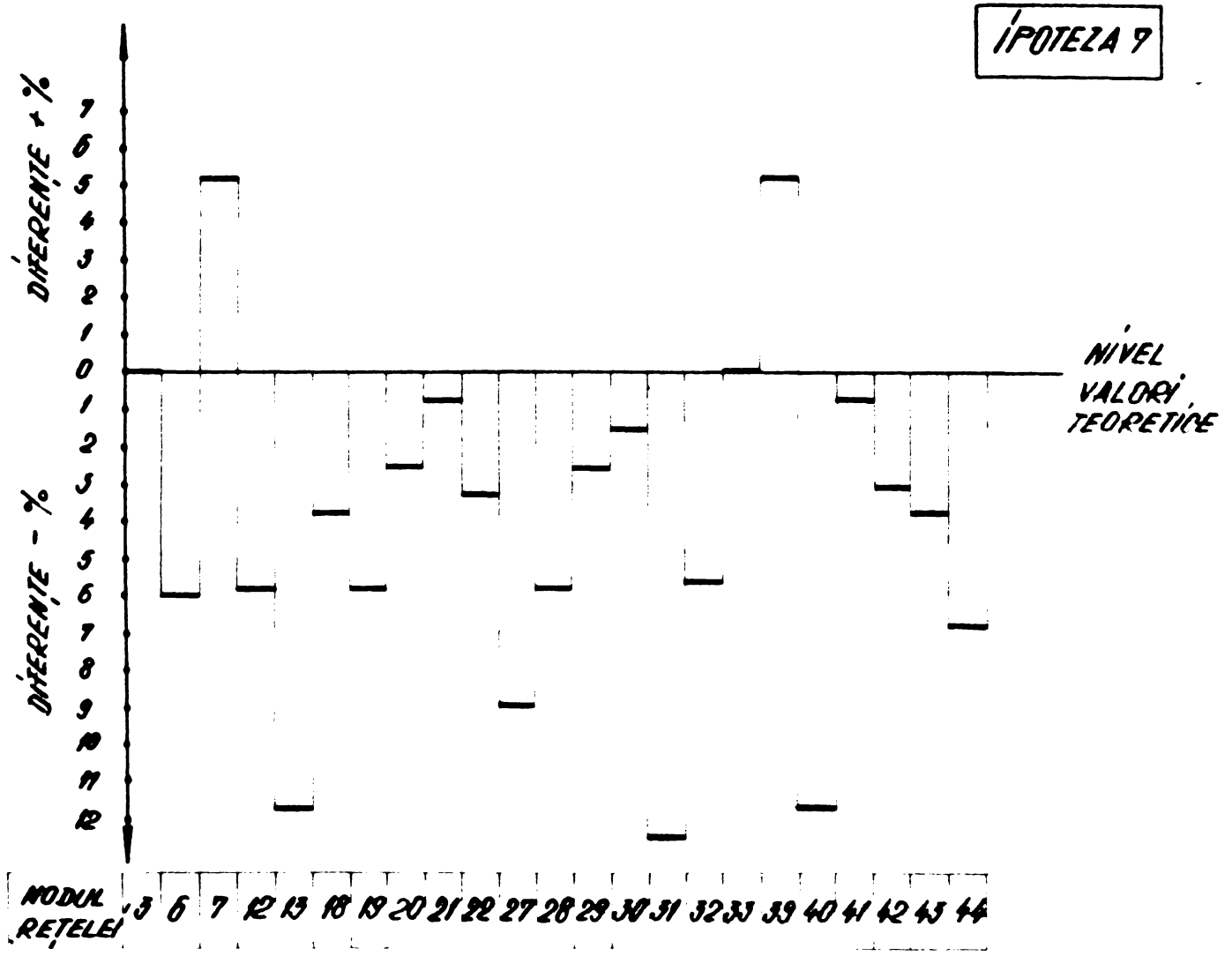


Fig. VIII. 4 VARIATIĂ VALORILOR EXPERIMENTALE FATĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU DEPLASĂRILE VERTICALE W.

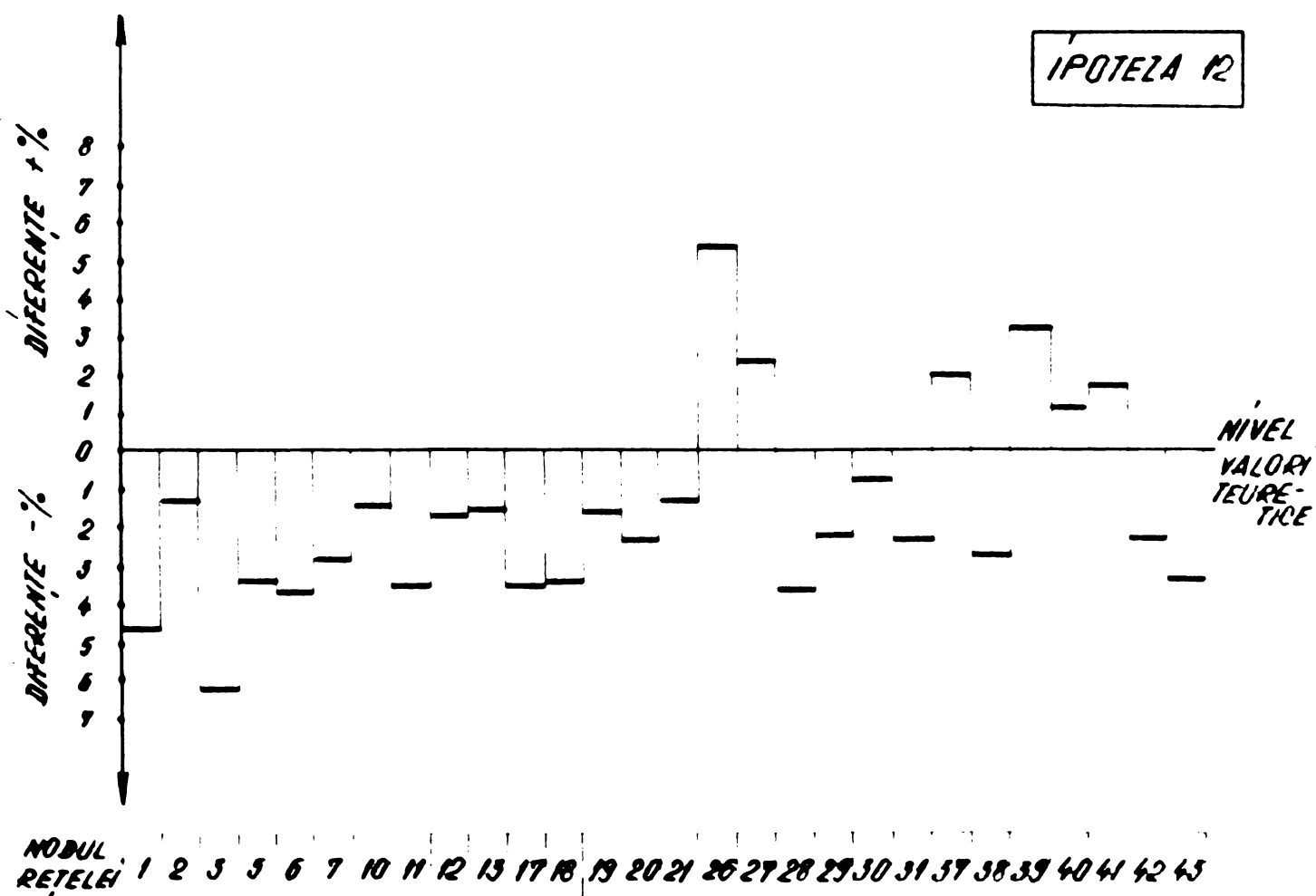
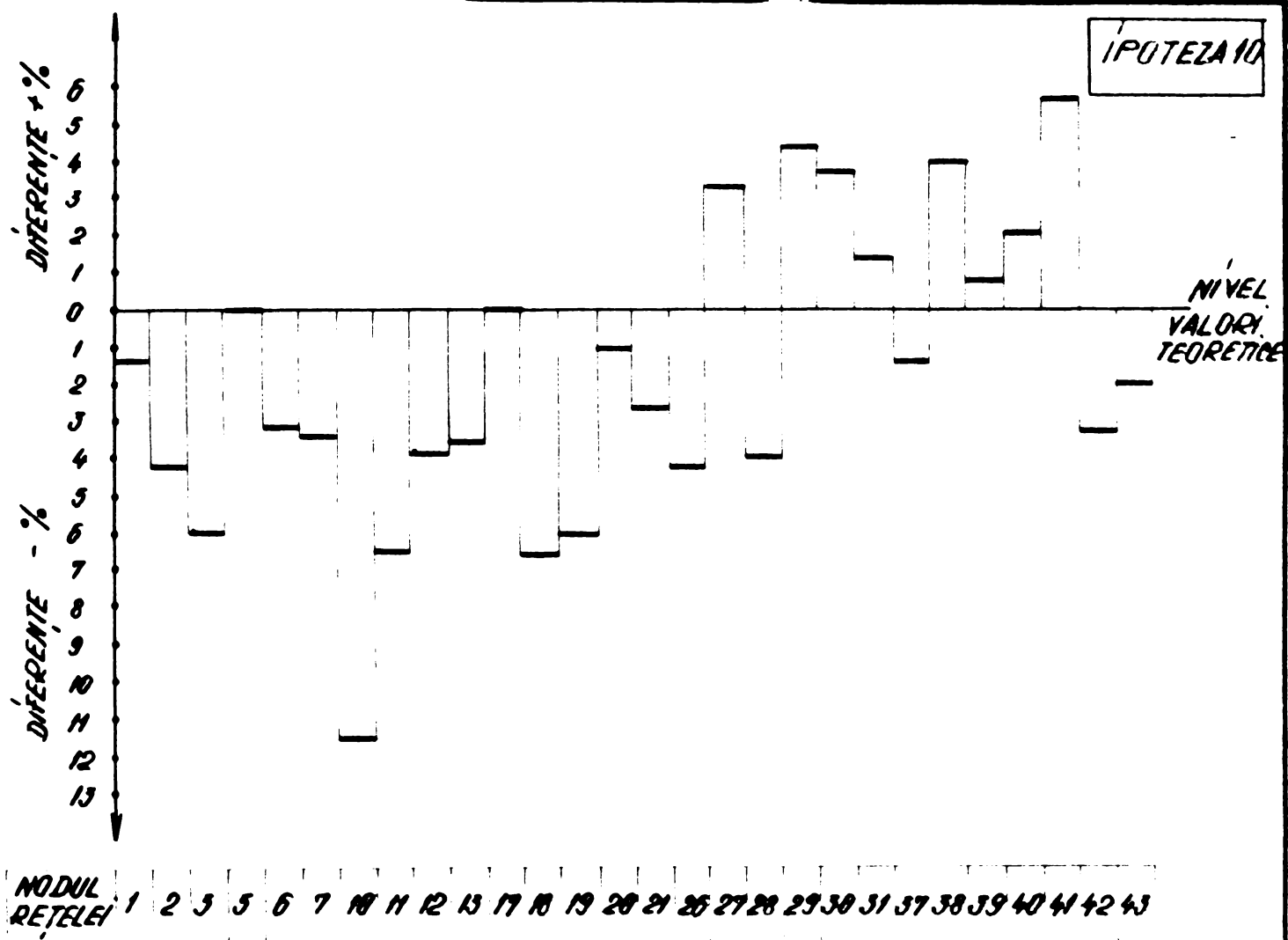


Fig. VIII. 5 VARIATIA VALORILOR EXPERIMENTALE FATĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU DEPLASĂRILE VERTICALE W.

IPOTEZA II

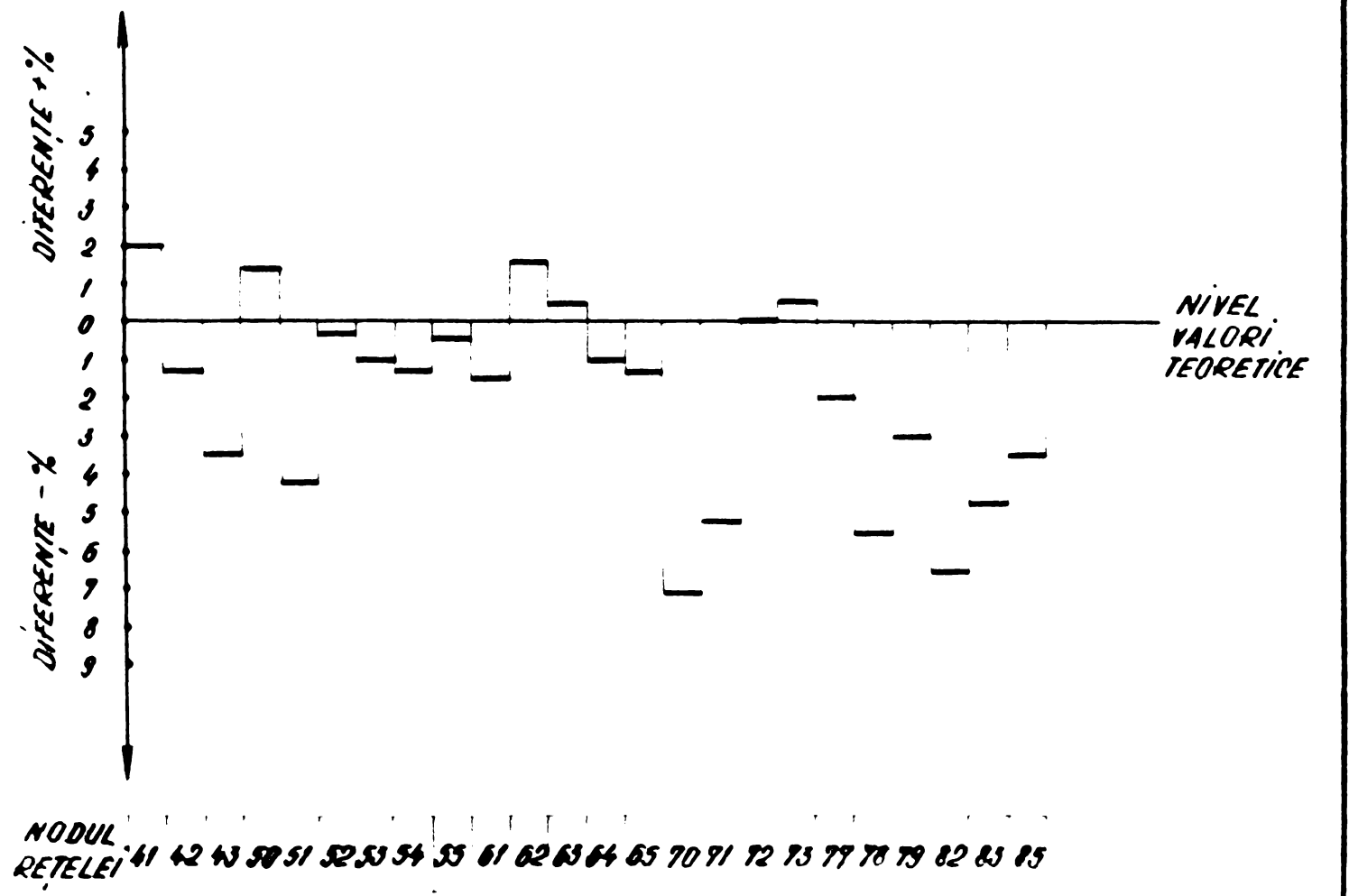
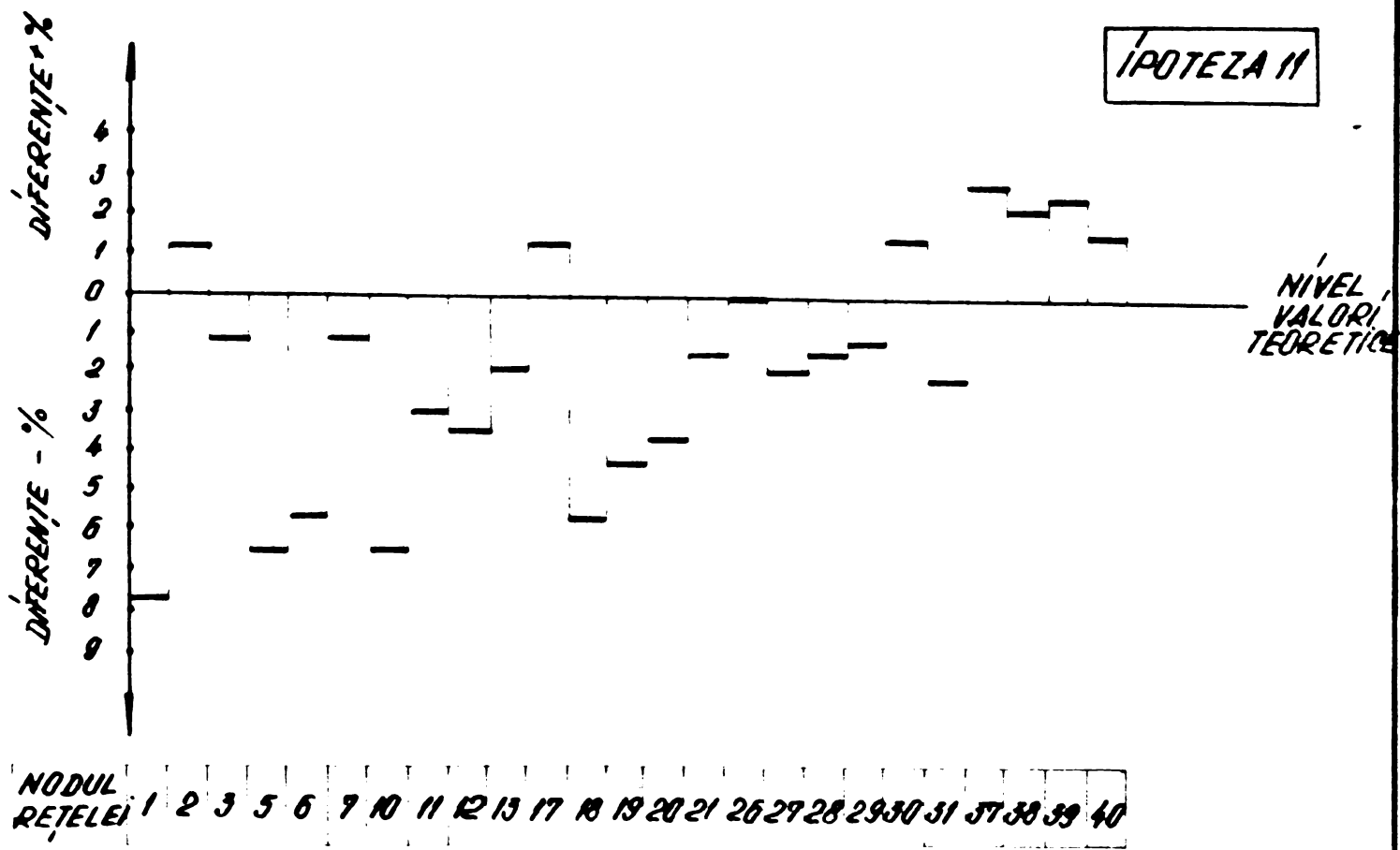
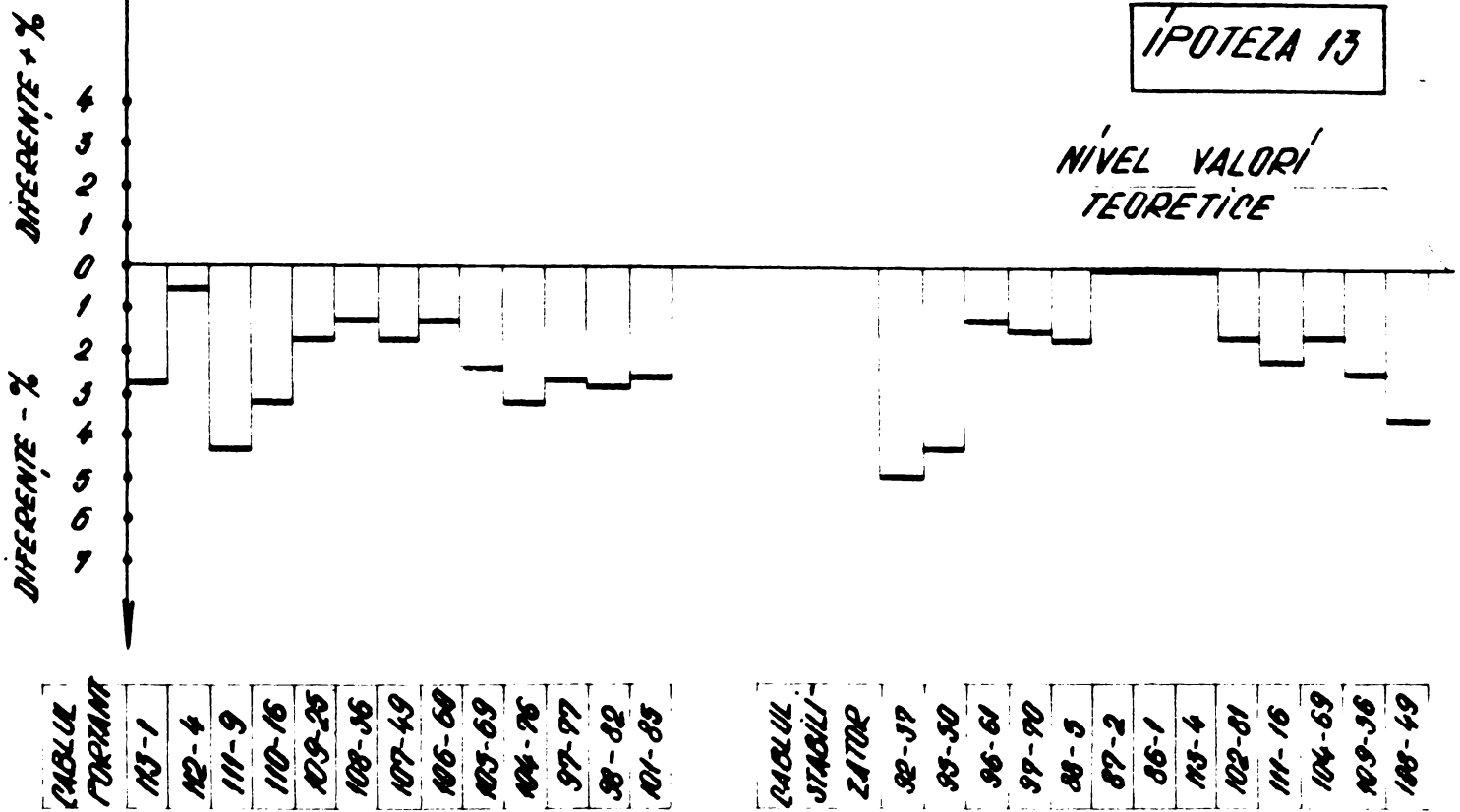


Fig. VIII. 6 VARIATIA VALORILOR EXPERIMENTALE FATĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU DEPLASĂRILE VERTICALE W

**IPOTEZA 13**



**VARIATIĂ VALORILOR EXPERIMENTALE FATĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU EFORTURILE SD (I, J)**

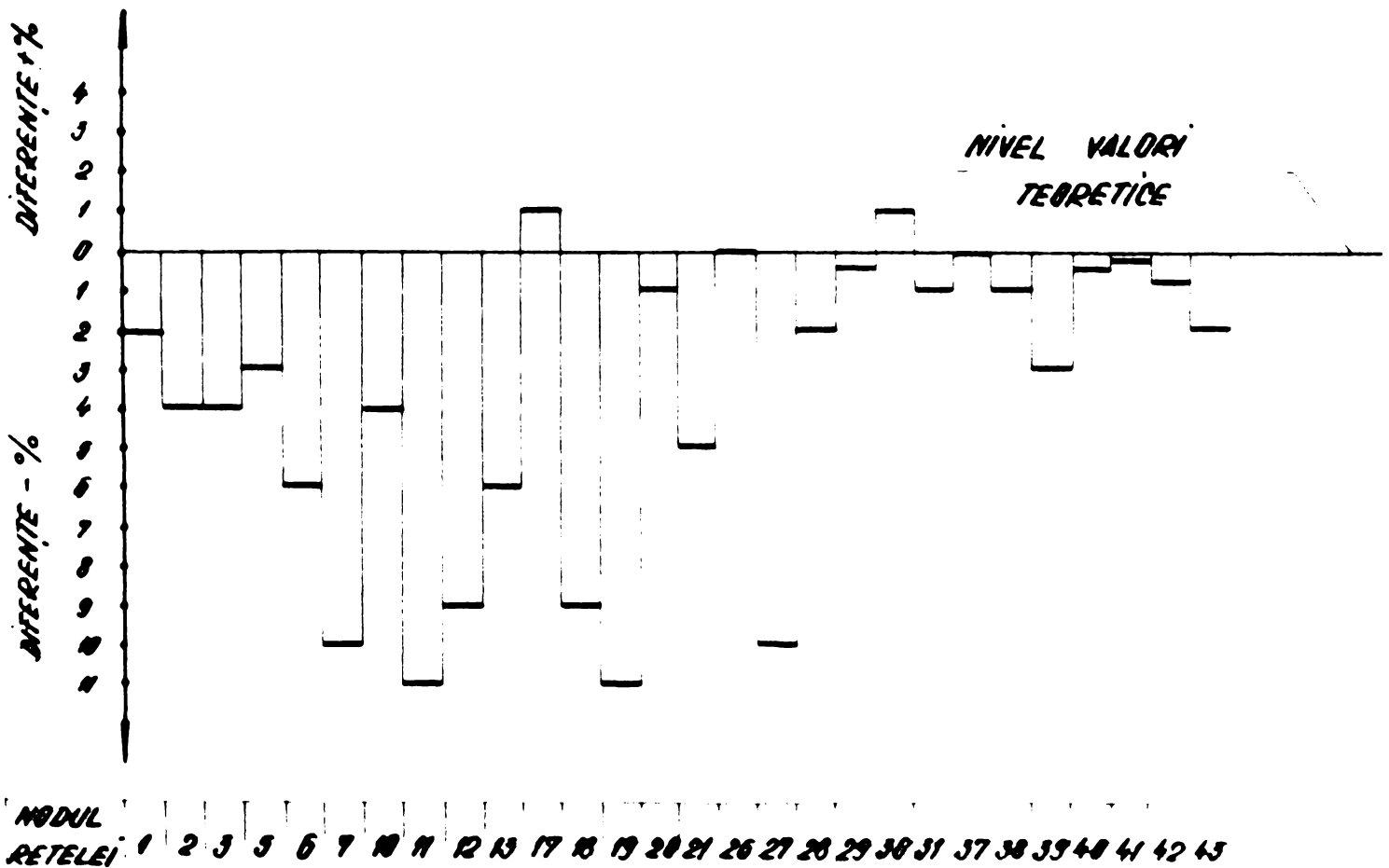


Fig. VIII. 7 **VARIATIĂ VALORILOR EXPERIMENTALE FATĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU DEPLASĂRILE VERTICALE W.**

IPOTEZA 14

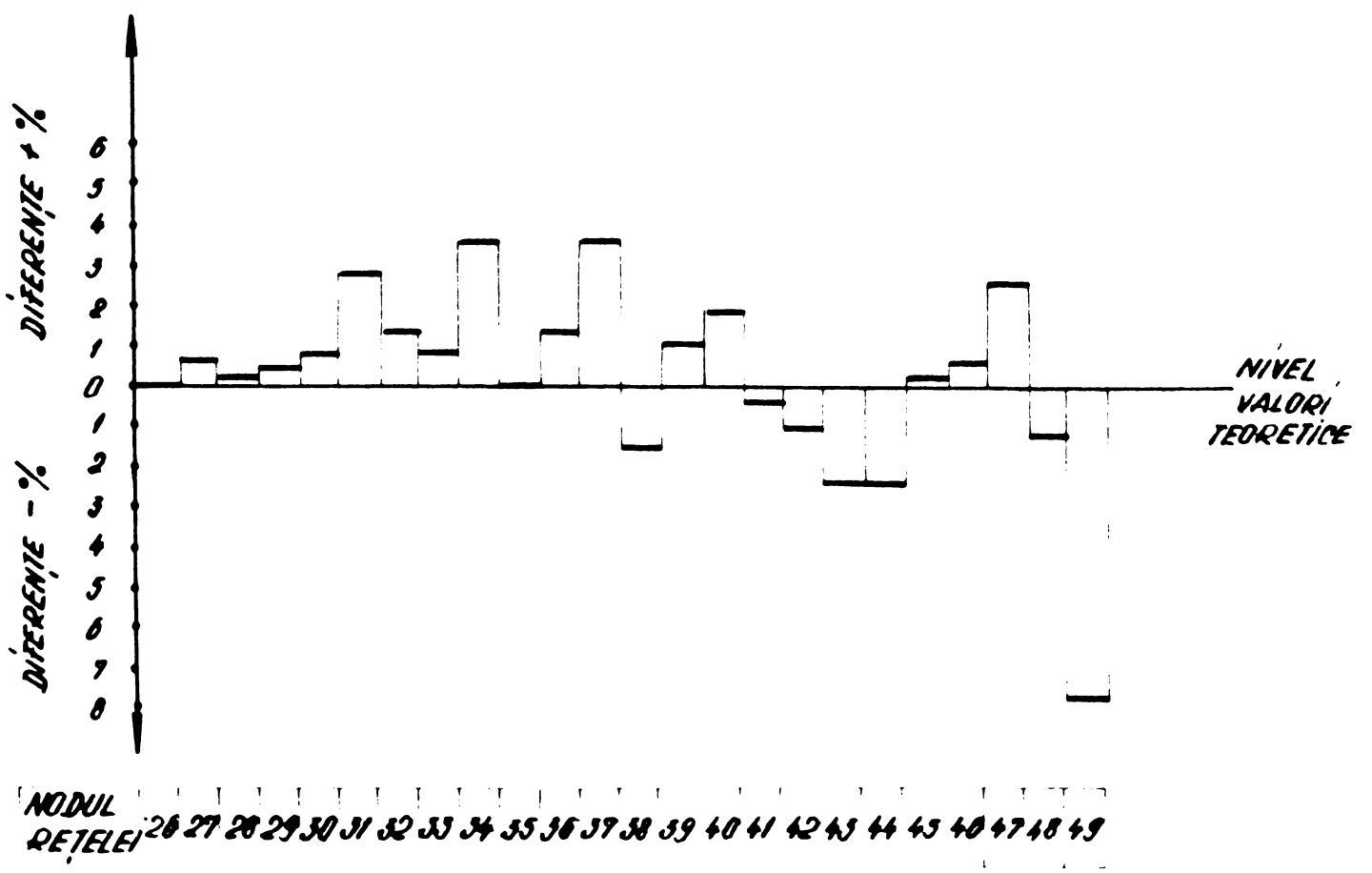
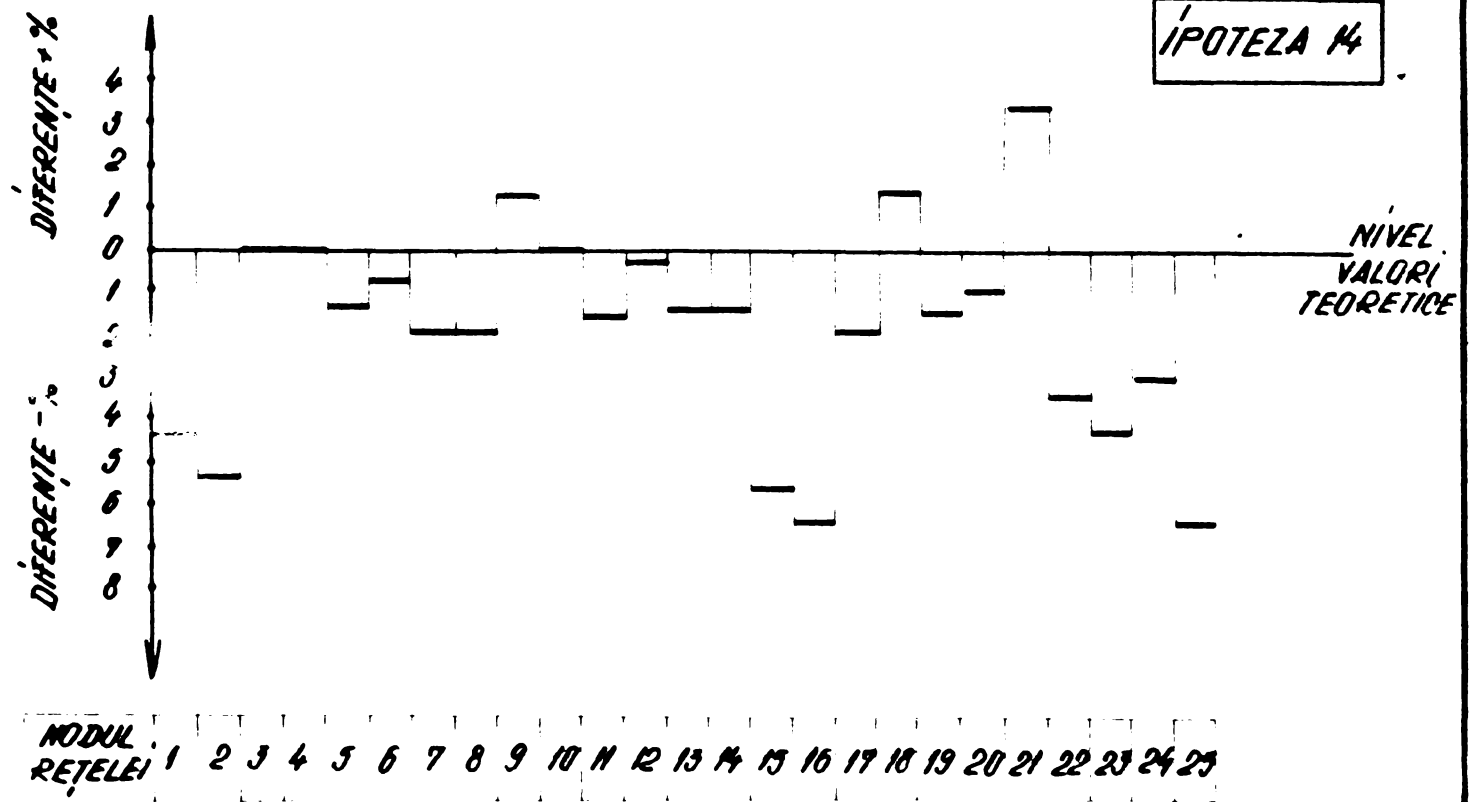
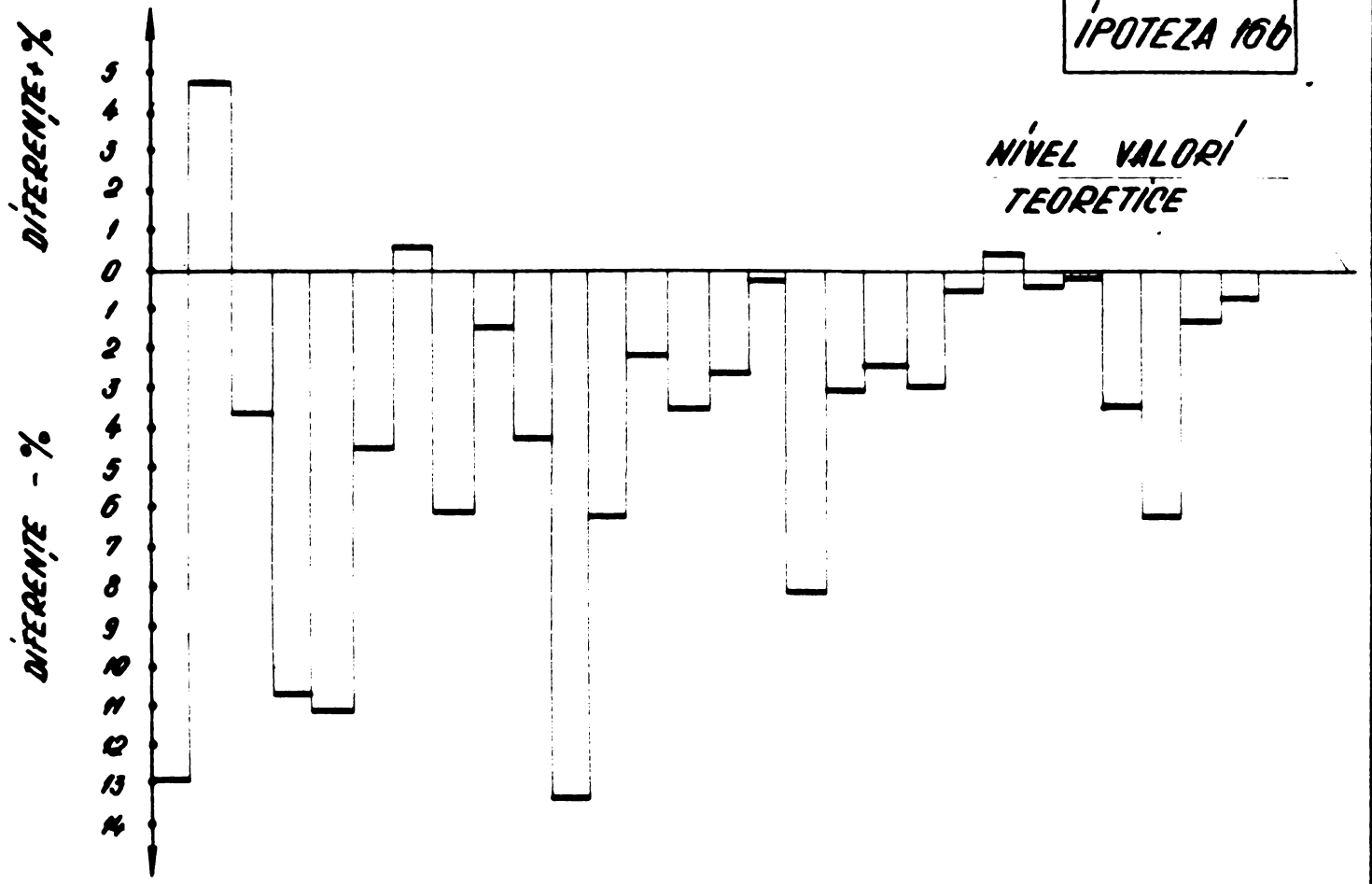
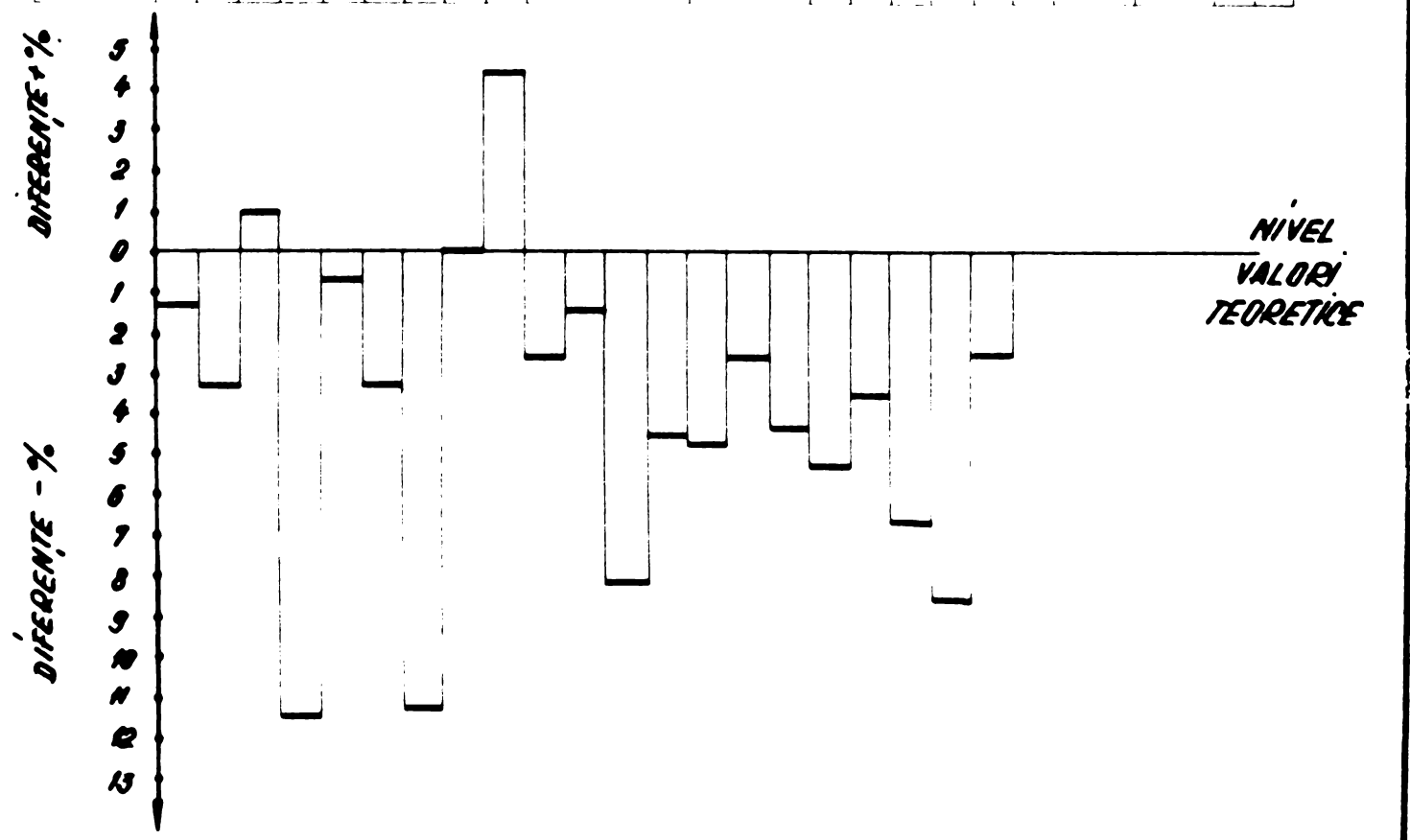


Fig. VIII. 8 VARIATIĂ VALORILOR EXPERIMENTALE FAȚĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU DEPLASĂRILE VERTICALE W.

IPOTEZA 16b



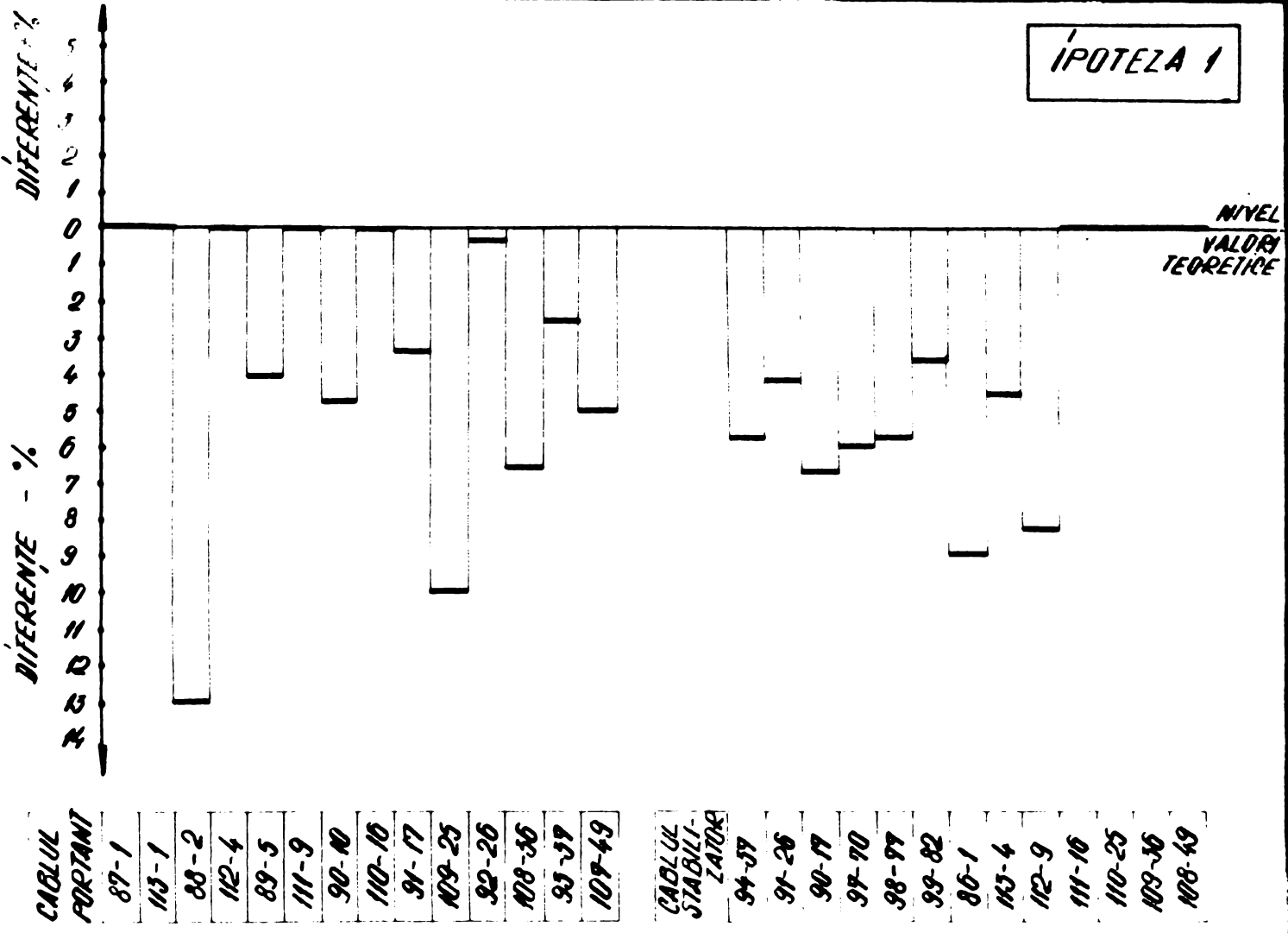
NODUL REȚELEI: 1 2 3 5 6 7 10 11 12 13 17 18 19 20 21 26 27 28 29 30 31 37 38 39 40 41 42 43



NODUL REȚELEI: 50 51 52 53 54 55 61 62 63 64 65 70 71 72 73 77 78 79 82 83 85

Fig. VIII. 9. VARIATIĂ VALORILOR EXPERIMENTALE FATĂ DE VALORILE TEORETICE PTR. DEPLASĂRILE VERTICALE W

IPOTEZA 1



IPOTEZA 2

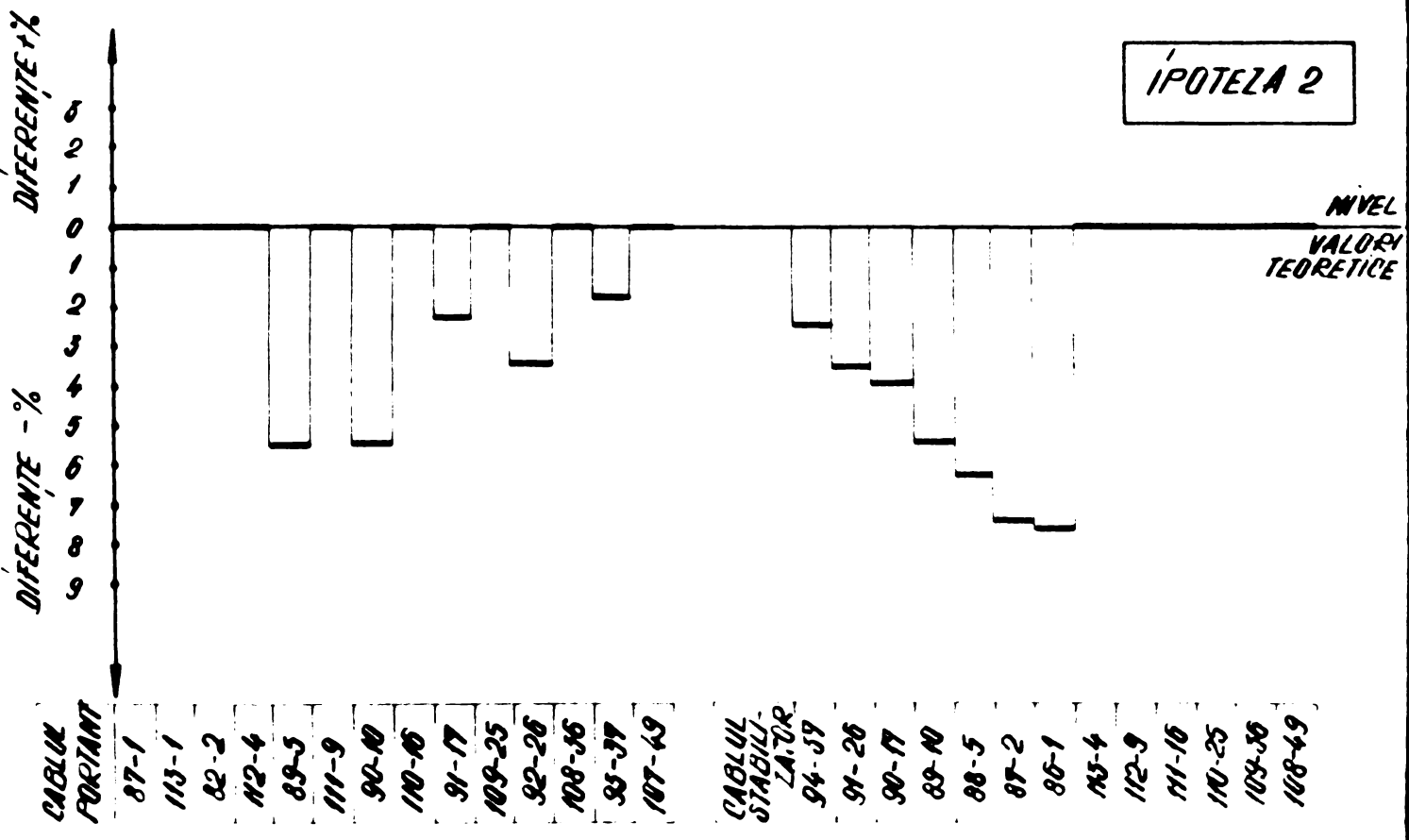


Fig. VIII. 10. VARIATIĂ VALORILOR EXPERIMENTALE FAȚĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU EFORTURILE SD (I, J)



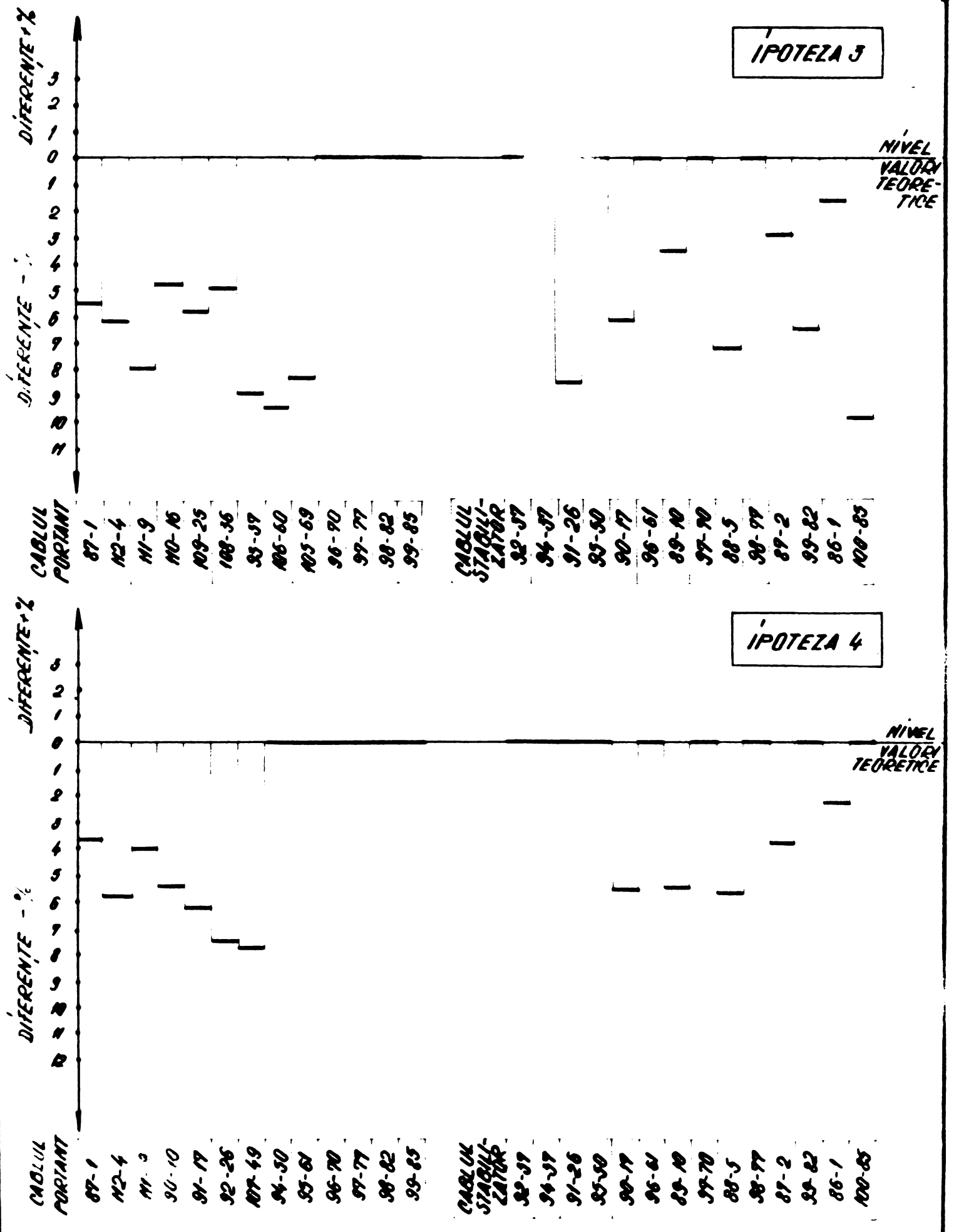


Fig VIII. 11 VARIATIĂ VALORILOR EXPERIMENTALE FAȚĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU EFORTURILE SD (I, 7)

IPOTEZA 5

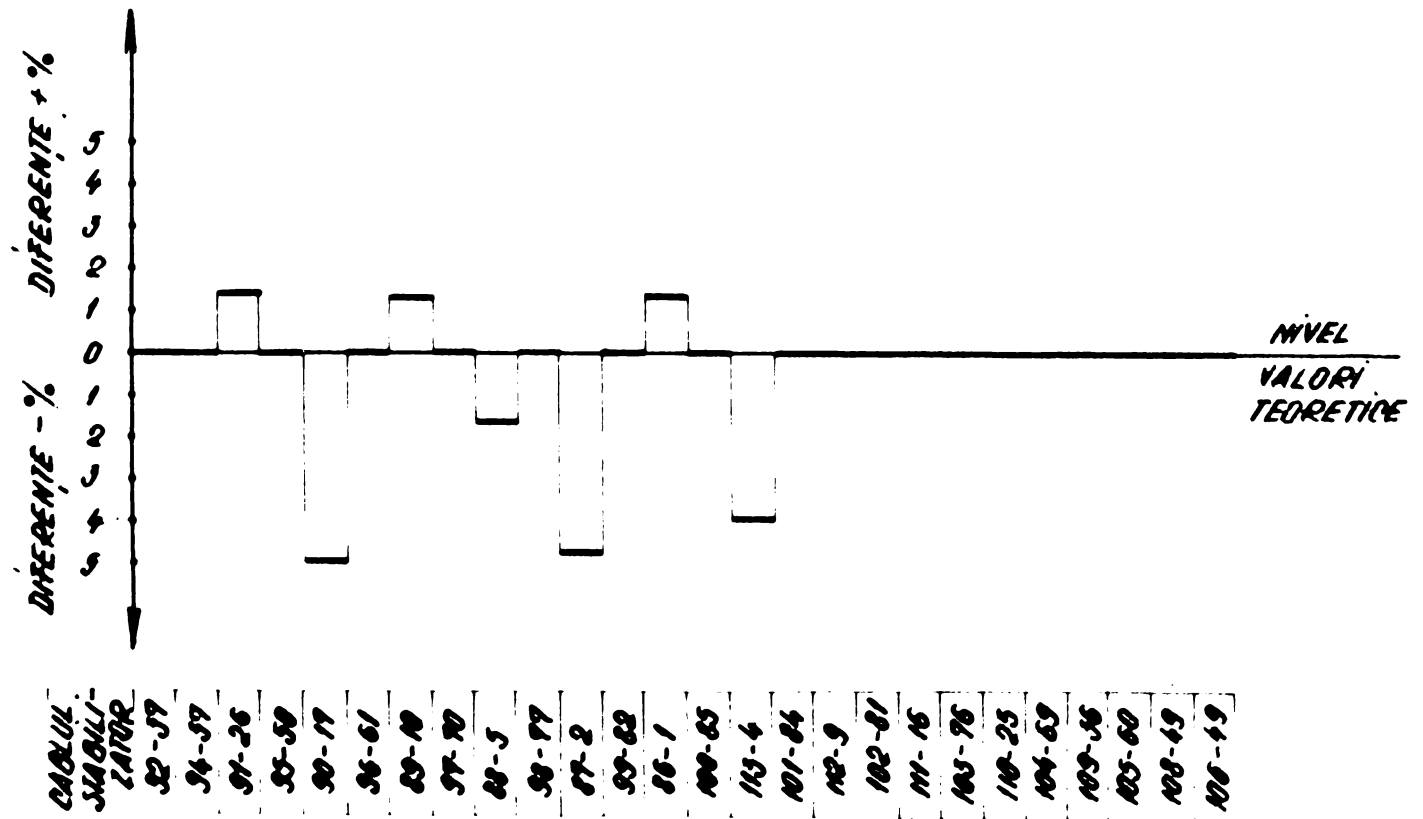
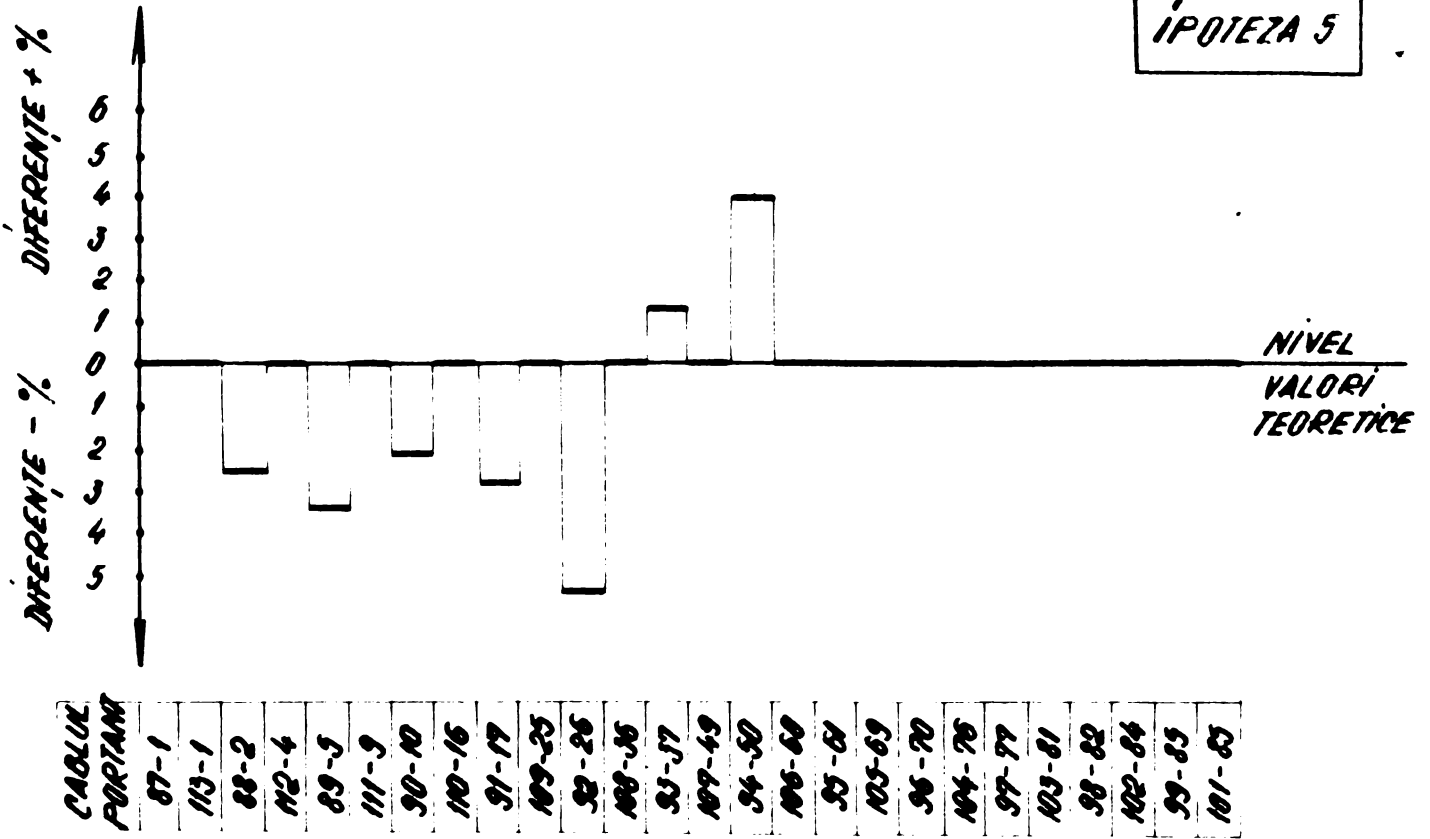


Fig. VIII. 12 VARIATIA VALORILOR EXPERIMENTALE FATĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU EFORTURILE SD (1,2)

IPOTEZA 6

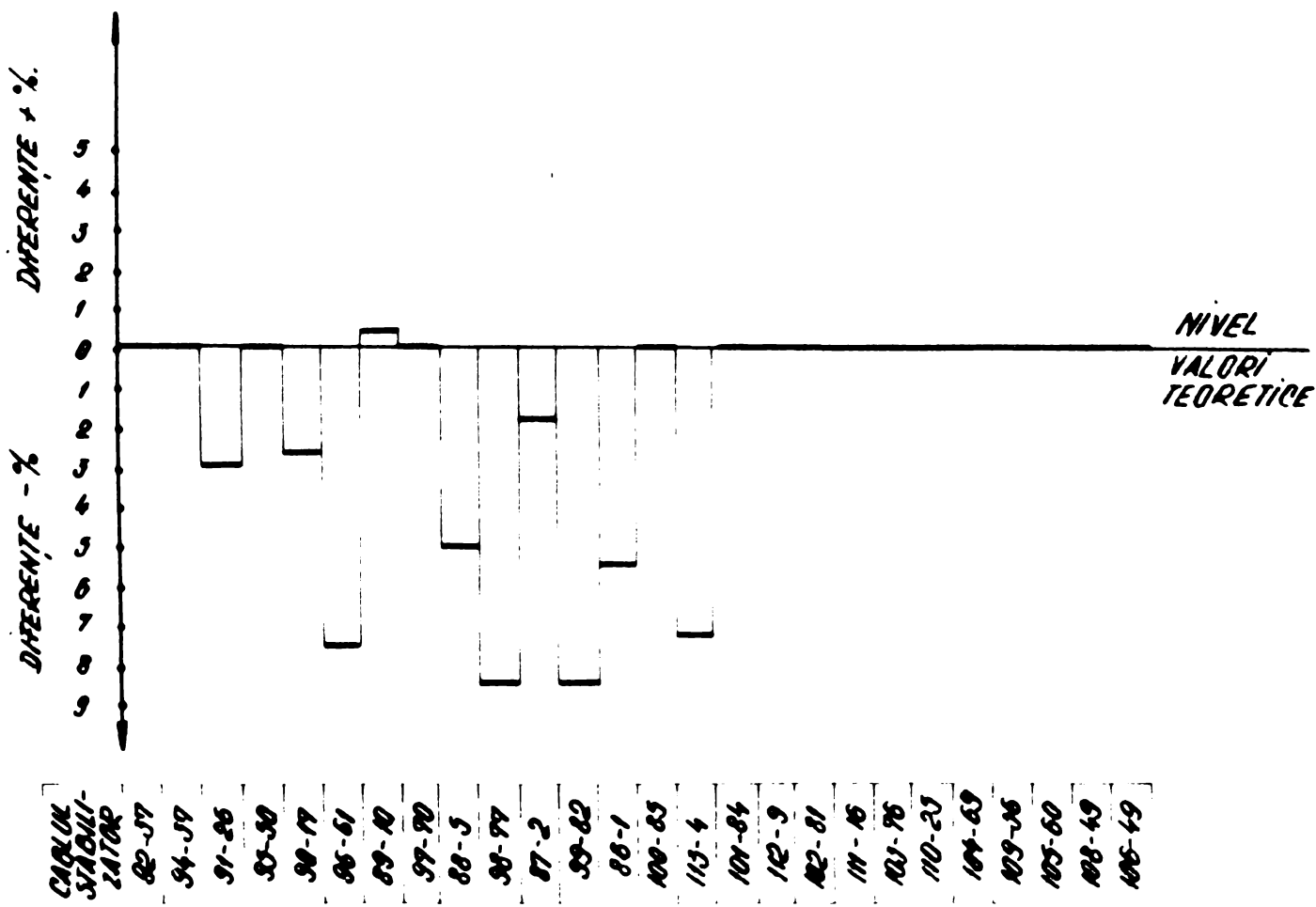
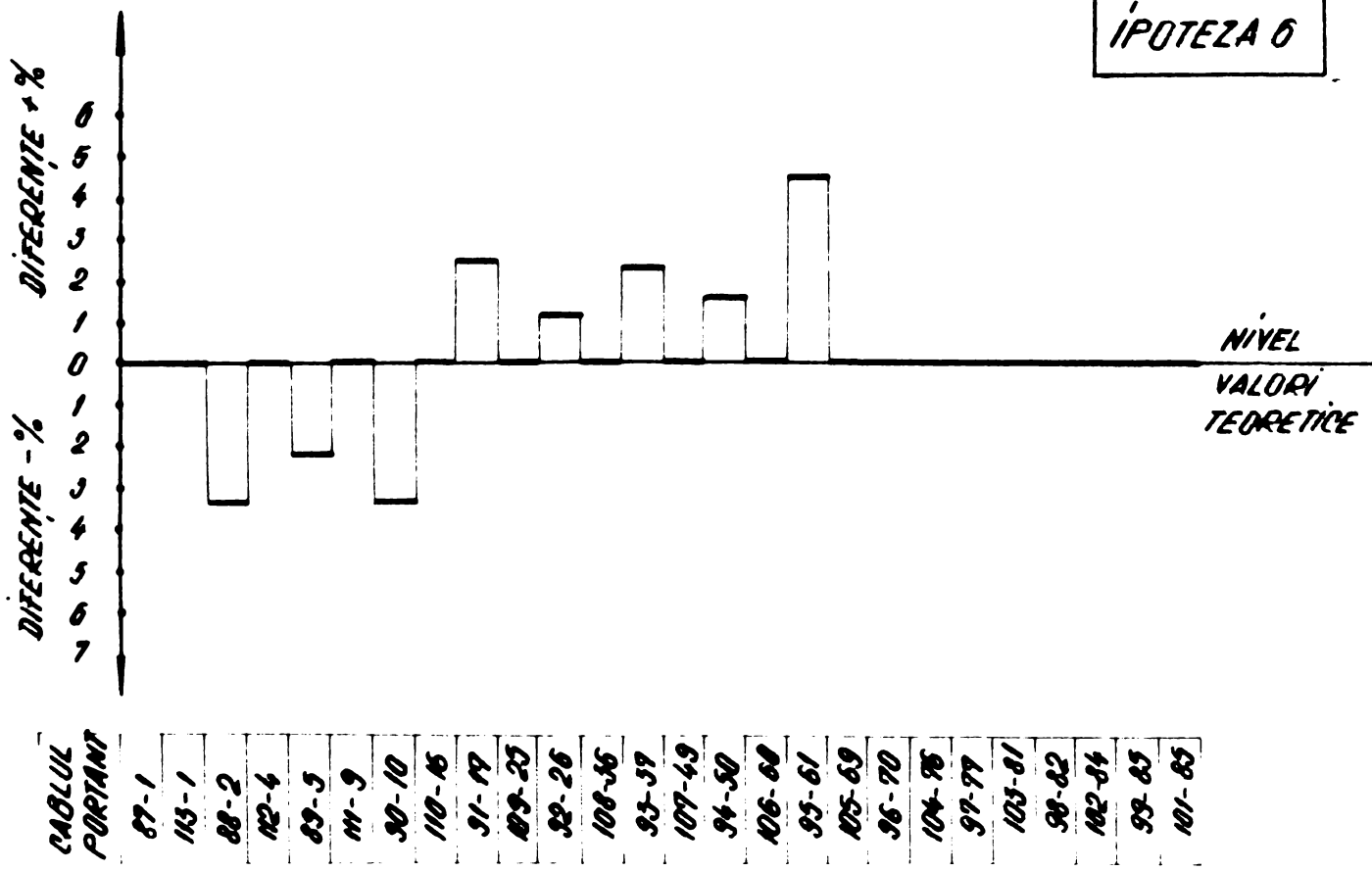


Fig. VIII. 13. VARIATIĂ VALORILOR EXPERIMENTALE FATĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU EFORTURILE SD (I, J)

IPOTEZA 7

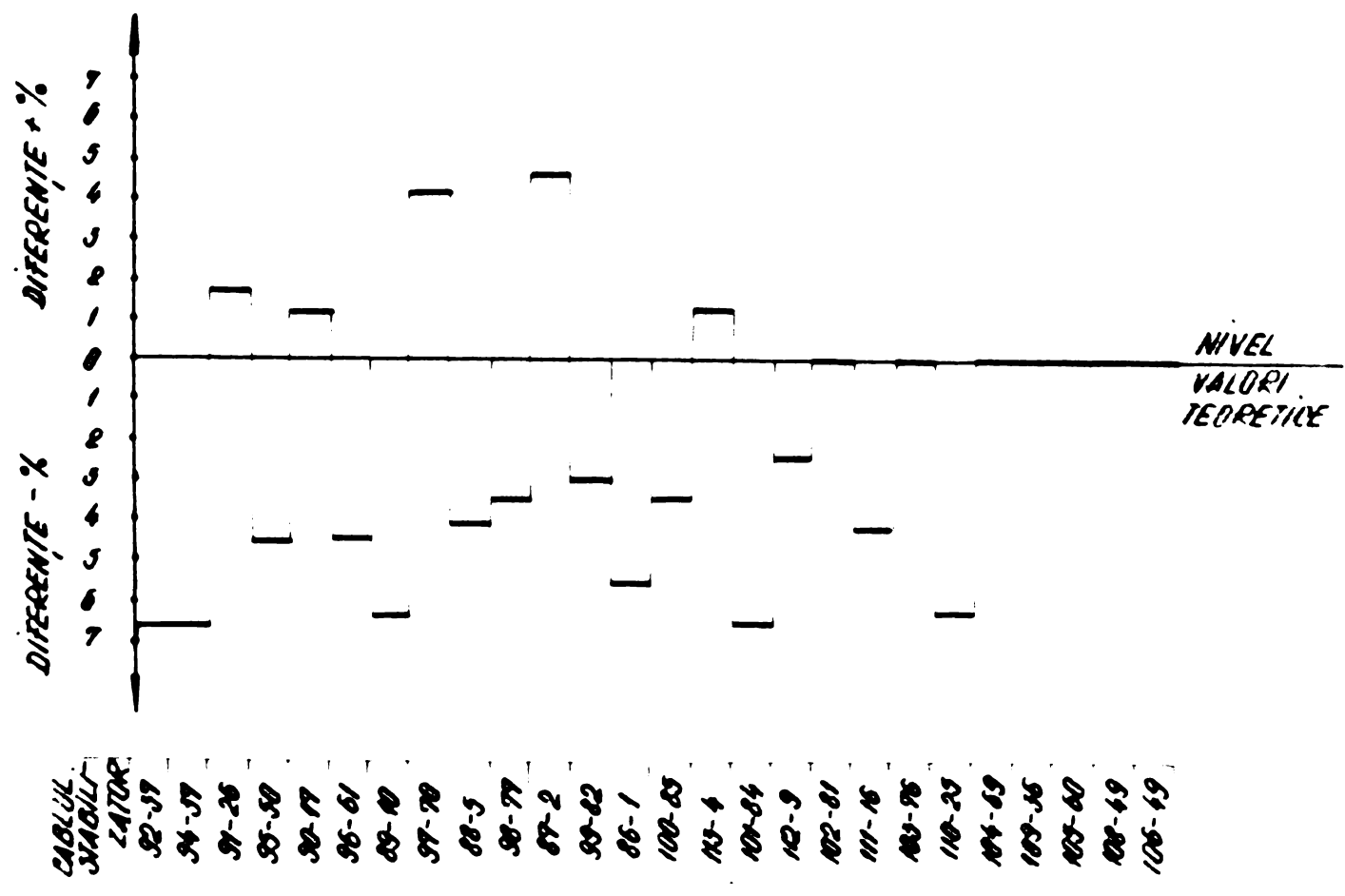
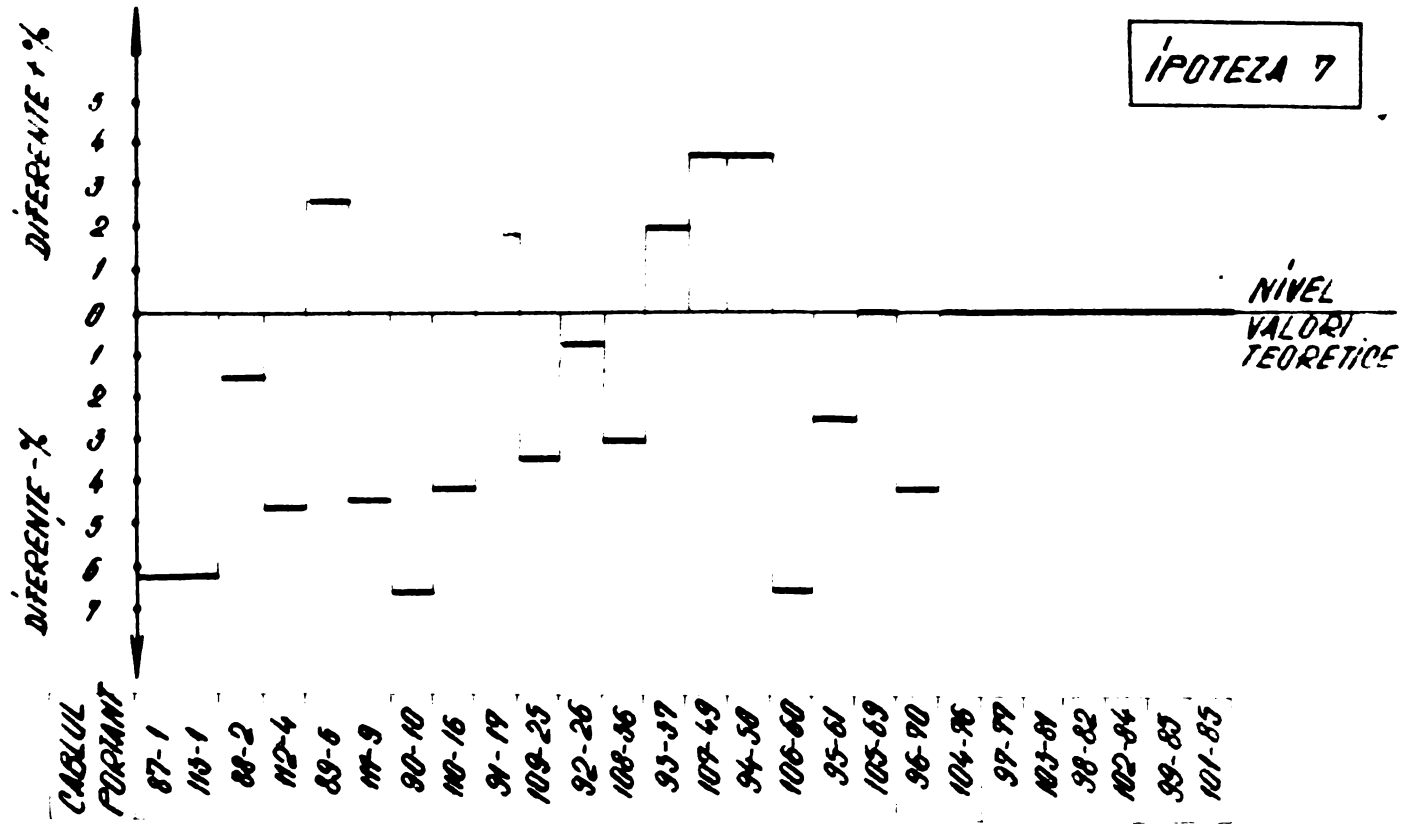


Fig. VIII. 14. VARIATIĂ VALORILOR EXPERIMENTALE FAȚĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU EFORTURILE SD (I, J)

DIFERENȚE - %

DIFERENȚE + %

CABLUL  
PORTANT

CABLUL  
STABILIZATOR

87-1  
113-1  
88-2  
112-4  
89-5  
111-9  
90-10  
110-16  
91-19  
109-23  
92-26  
108-36  
93-37  
107-49

92-37  
94-37  
91-26  
95-58  
90-77  
96-61  
89-10  
97-90  
88-5  
98-77  
87-2  
99-82  
86-1  
100-85

CABLUL  
STABILIZATOR

CABLUL  
STABILIZATOR

92-37  
94-37  
91-26  
95-58  
90-77  
96-61  
89-10  
97-90  
88-5  
98-77  
87-2  
99-82  
86-1  
100-85

IPOTEZA 10

IPOTEZA 11

NIVEL VALORI  
TEORETICE

NIVEL VALORI  
TEORETICE

Fig. VIII. 15. VARIATIĂ VALORILOR EXPERIMENTALE FAȚĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU EFORTURILE SD (I.S.)

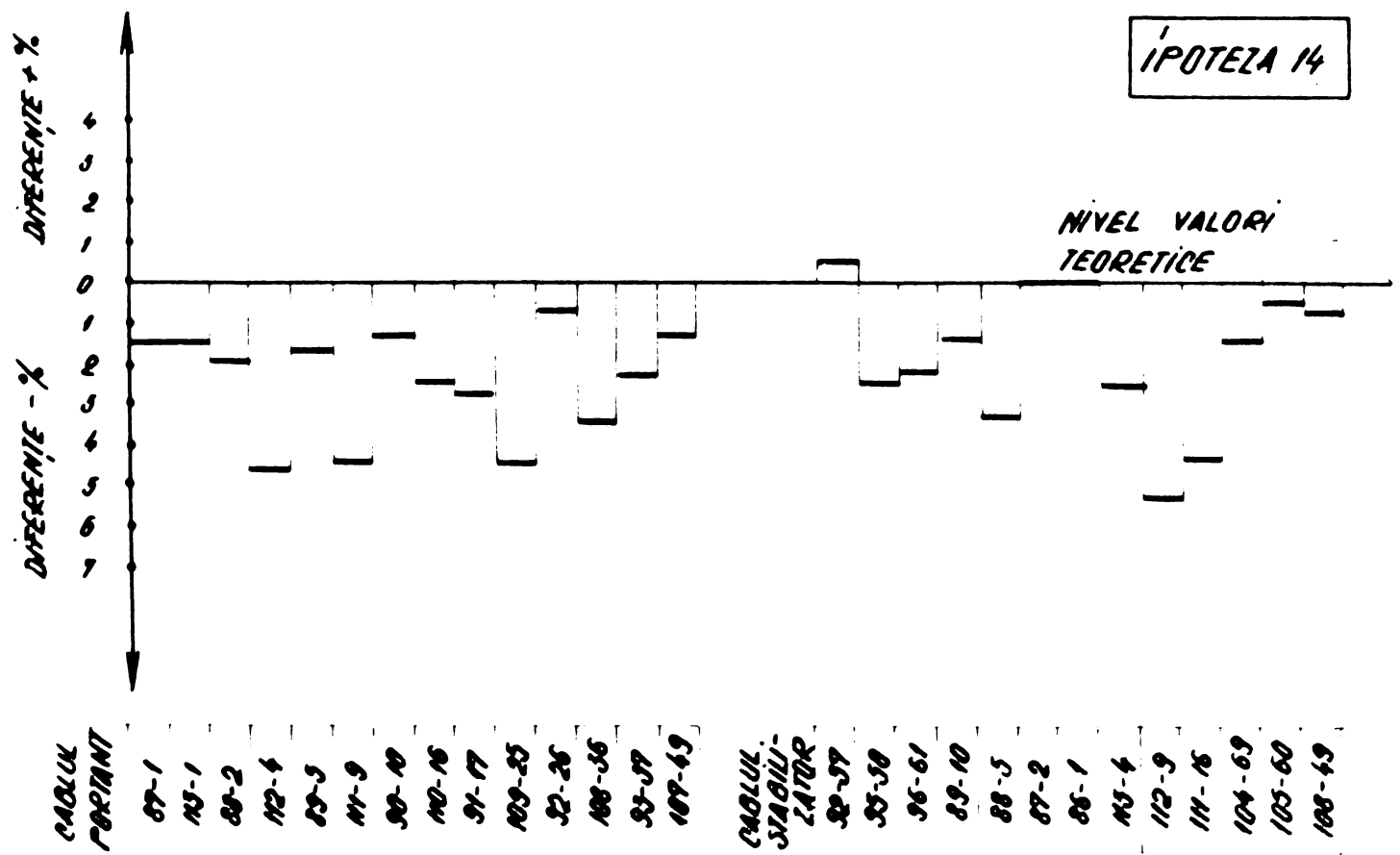
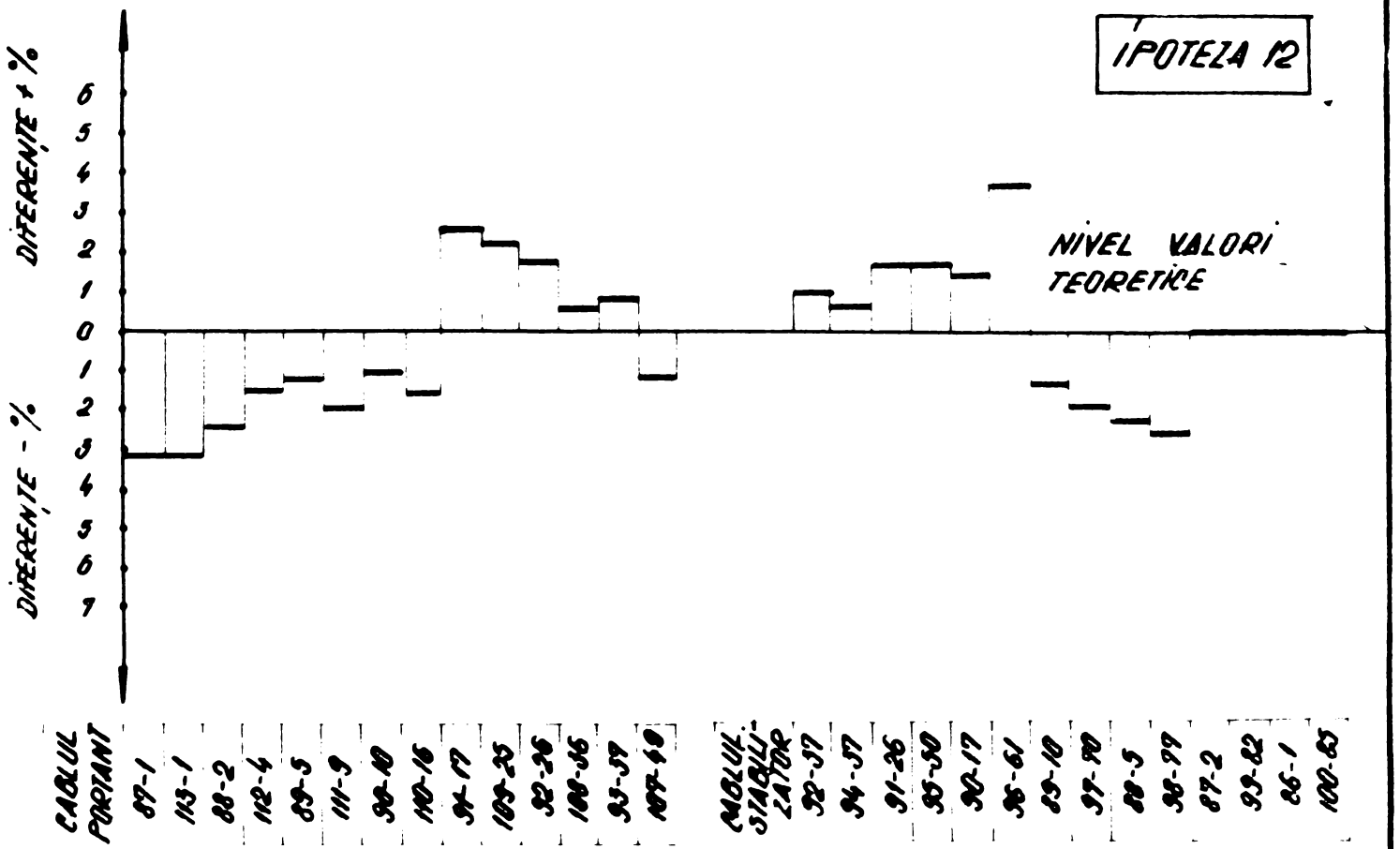
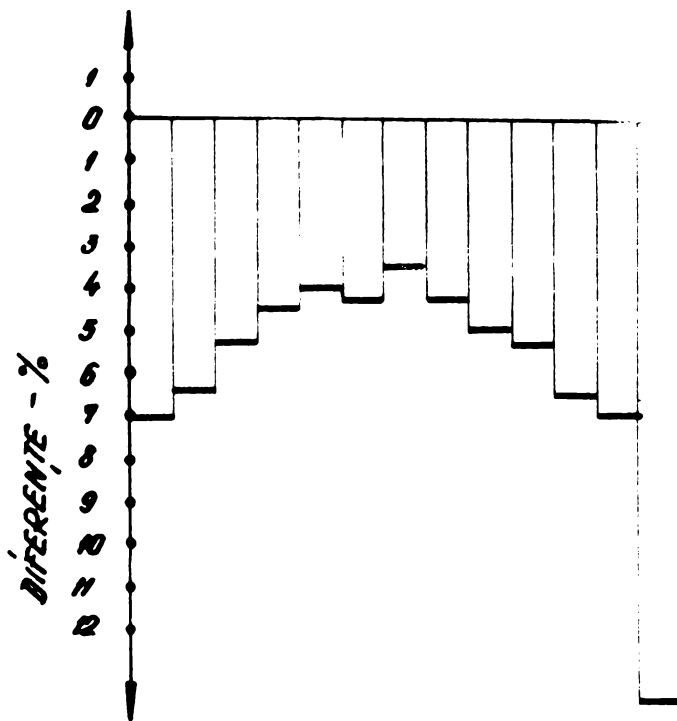


Fig VIII. 16. **VARIAȚIA VALORILOR EXPERIMENTALE FATĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU EFORTURILE SD (L, J)**

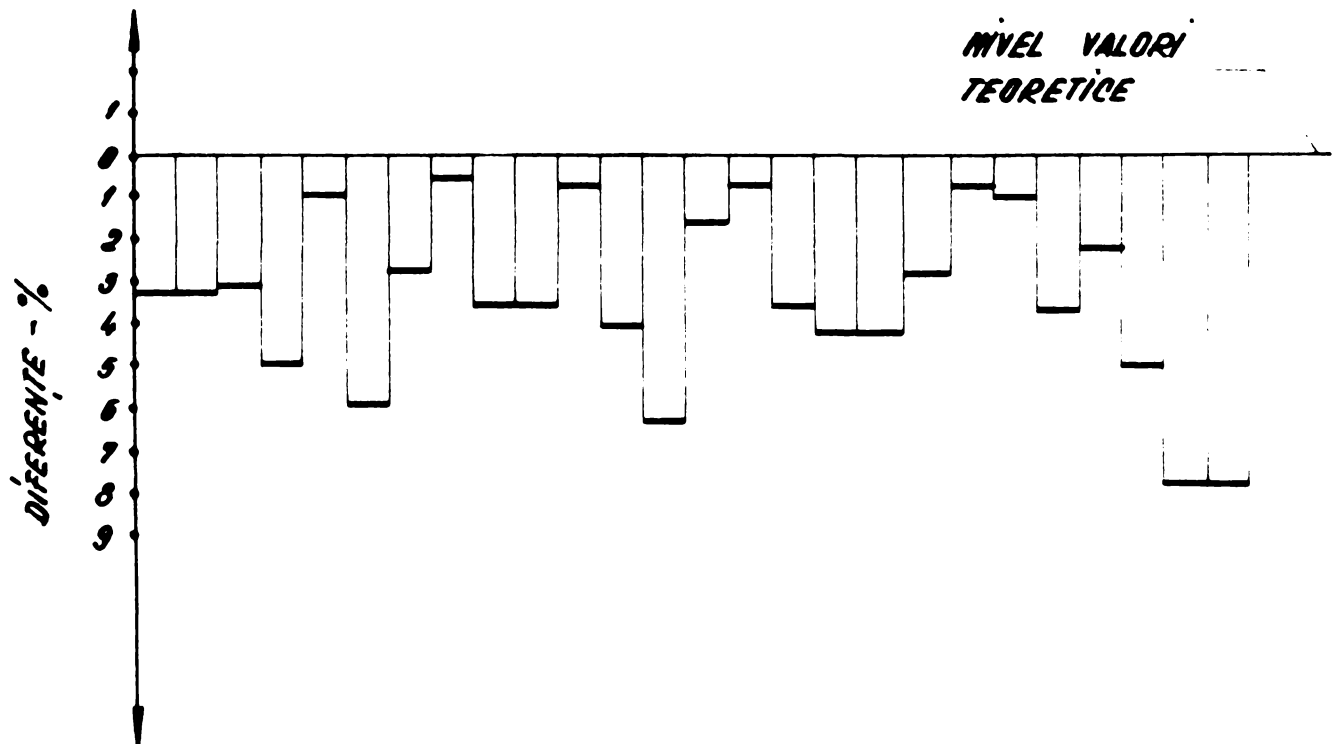
IPOTEZA 168

NIVEL VALORI  
TEORETICE



CABLUL TURBATOR
103-1
102-4
111-9
100-16
91-17
108-36
33-37
106-60
95-81
104-76
103-81
98-82
99-83

NIVEL VALORI  
TEORETICE



CABLUL STABILIZATOR
92-57
94-57
91-26
93-58
90-17
96-81
89-10
97-70
88-9
98-77
87-8
99-82
88-1
100-80
10-4
101-84
100-9
102-81
11-16
103-76
110-25
104-89
103-36
105-88
108-49
106-49

Fig. VIII. 17. **VARIATIĂ VALORILOR EXPERIMENTALE FATĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU EFORTURILE SD(I, J)**

IPOTEZA 16b

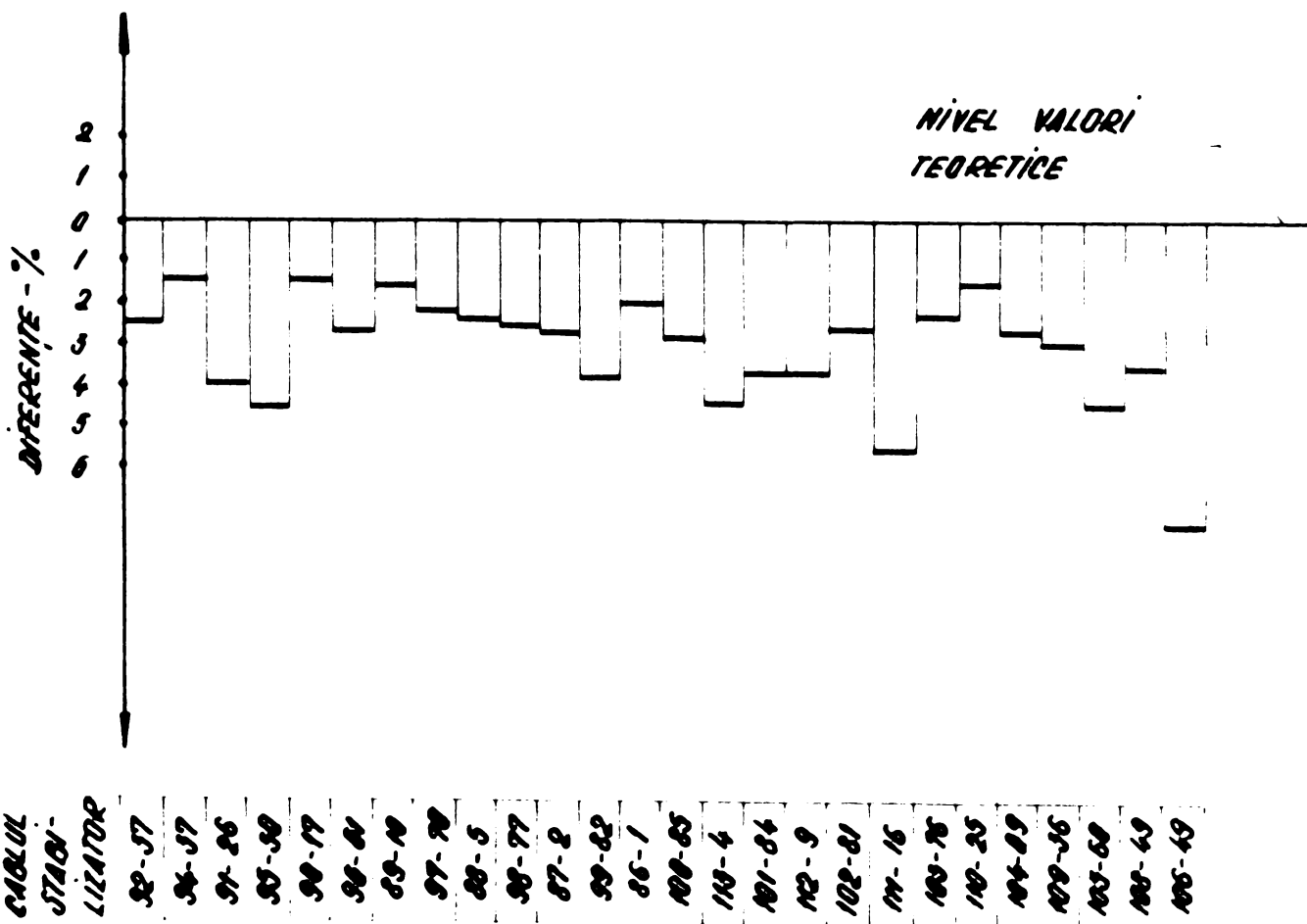
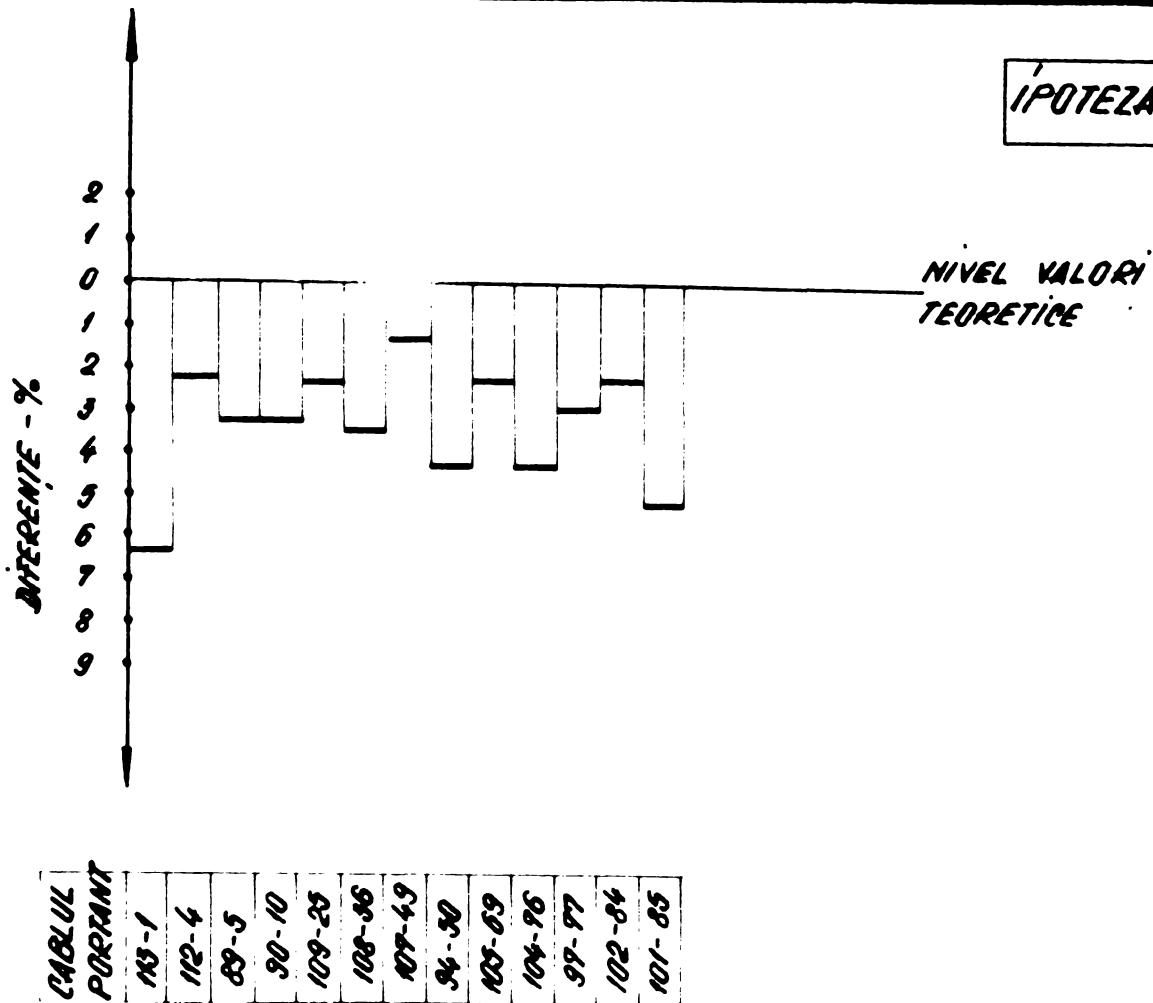
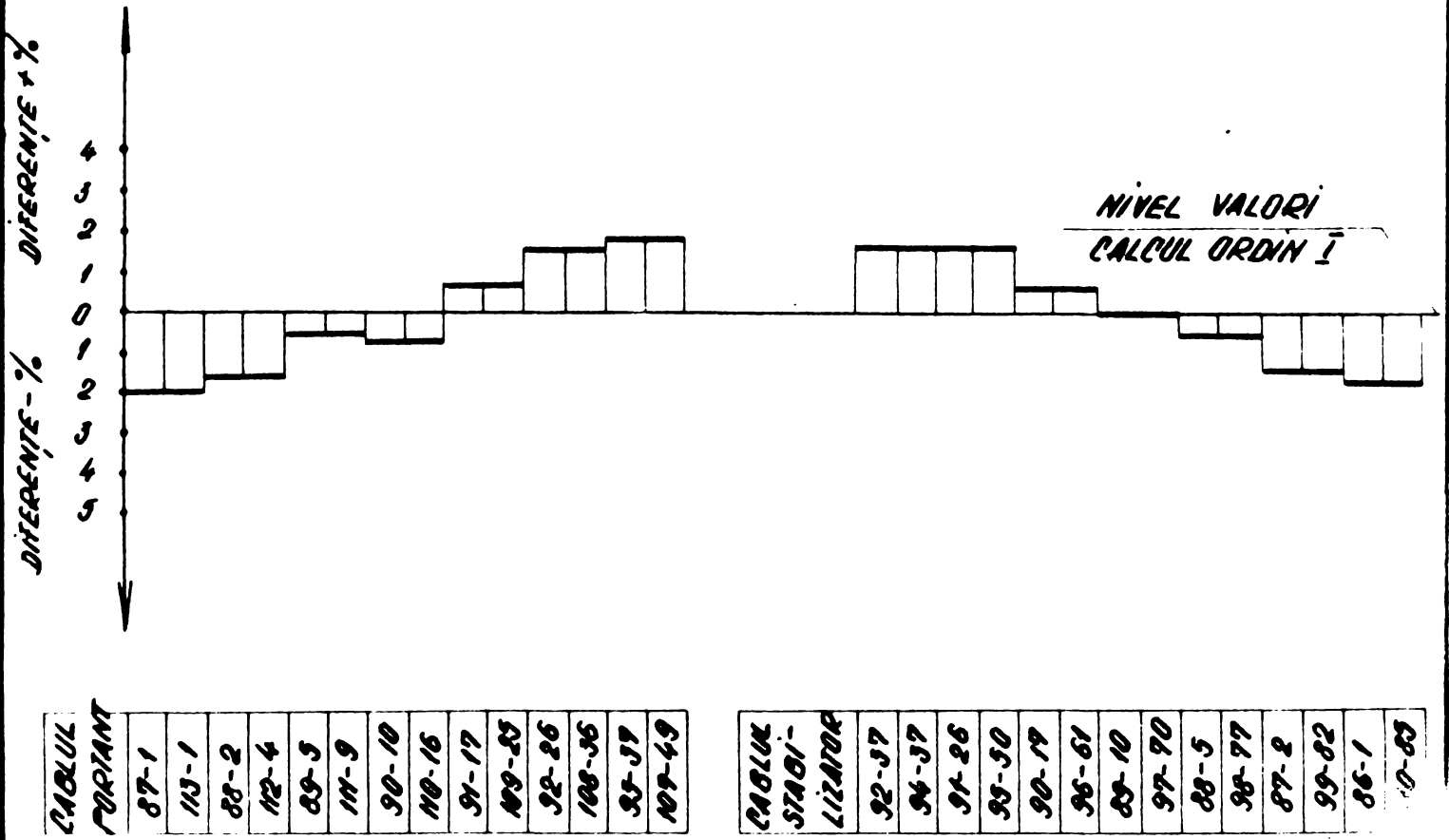
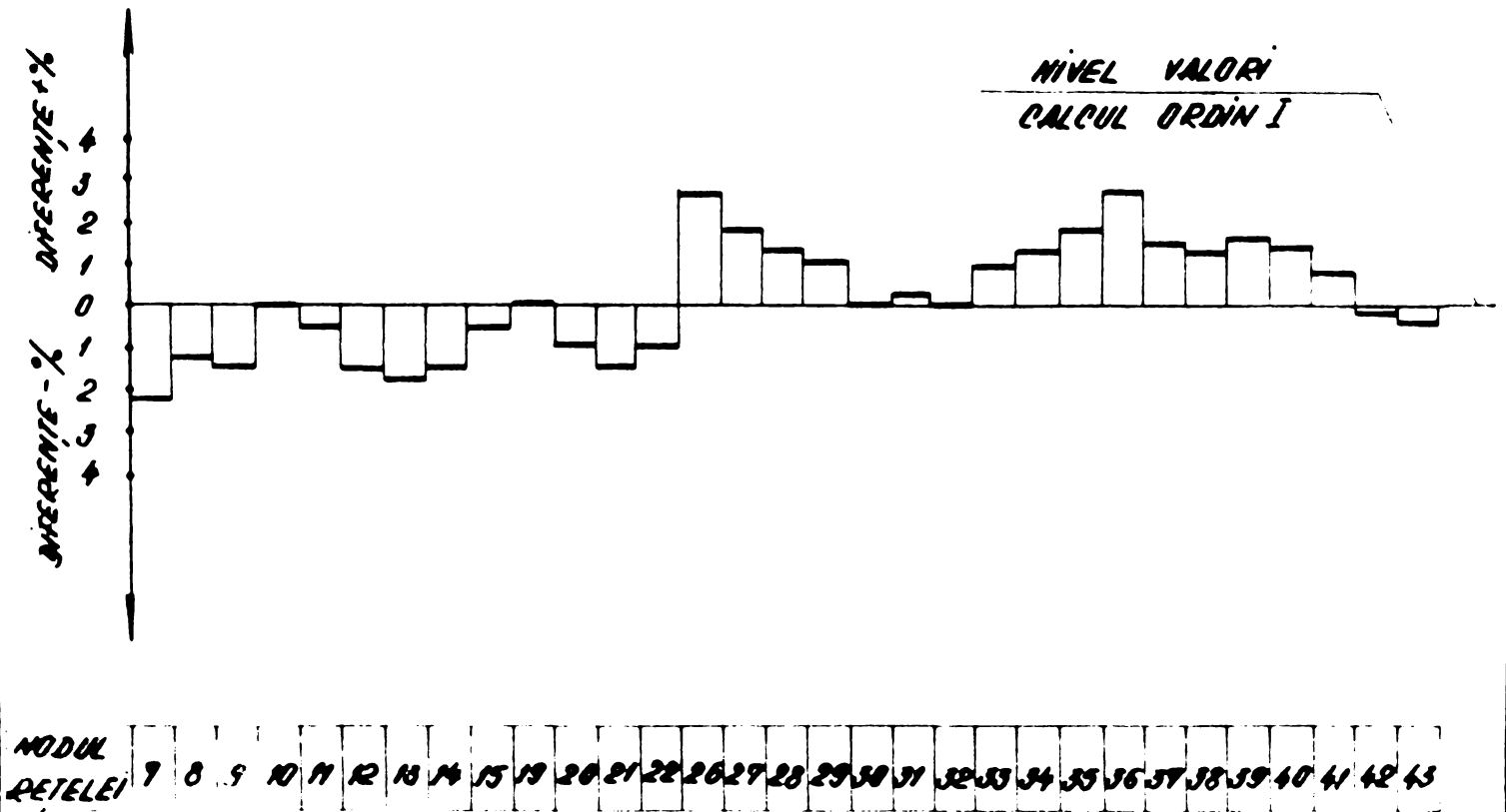


Fig. VIII.18 VARIATIĂ VALORILOR EXPERIMENTALE FAȚĂ DE VALORILE TEORETICE PENTRU EFORTURILE SD(I, J)





VARIAȚIA VALORILOR EFORTULUI SD(I,J) ÎN CALCULUL DE ORDINUL DOI FATĂ DE CALCULUL DE ORDINUL UNU



VARIAȚIA VALORILOR DEPLASĂRILOR W ÎN CALCULUL DE ORDINUL DOI FATĂ DE CALCULUL DE ORDINUL UNU