

UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ
Catedra de Organe de Mașini și Mecanisme

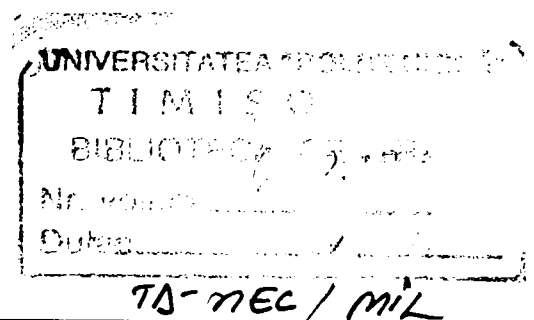
Ing. Elena-Rodica MILITARU

ARCURI ELICOIDALE
CU
GEOMETRIE VARIABILĂ

Teza de doctorat

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA „POLITEHNICA”
TIMIȘOARA

Conducător științific:



Prof. Dr. Ing. Nicolae GHEORGHIU

Prof. Dr. Ing. Octavian GLIGOR

2001

CUPRINS

| | |
|--|-----|
| 1. Stadiul actual privind construcția și utilizarea arcurilor elicoidale pentru suspensiile autovehiculelor rutiere | |
| 1.1 Considerații generale..... | 1 |
| 1.2 Caracteristica elastică a suspensiei..... | 4 |
| 1.3 Suspensii cu arcuri elicoidale..... | 5 |
| 2. Particularități constructiv-funcționale ale arcurilor elicoidale cu geometrie variabilă | |
| 2.1 Clasificarea arcurilor..... | 10 |
| 2.2 Parametrii funcționali ai arcurilor..... | 11 |
| 2.3 Arcuri elicoidale cu geometrie variabilă..... | 18 |
| 2.4 Materiale pentru arcuri elicoidale..... | 22 |
| 2.5 Tehnologia de fabricație a sârmei (barei) de secțiune variabilă și a arcurilor elicoidale..... | 23 |
| 3. Bazele teoretice ale construcției și funcționării arcurilor elicoidale cu geometrie variabilă | |
| 3.1 Rigiditatea principalelor tipuri de arcuri profilate..... | 32 |
| 3.2 Teoria așezării spirelor arcurilor elicoidale de compresiune..... | 34 |
| 3.3 Solicitățile arcurilor elicoidale de compresiune cu caracteristică progresivă și cu diametrul sârmei variabil..... | 43 |
| 3.4 Construirea caracteristicii arcurilor profilate..... | 48 |
| 3.5 Proiectarea arcurilor elicoidale pentru realizarea unei caracteristici date..... | 56 |
| 4. Optimizarea calculului arcurilor elicoidale de compresiune cu geometrie variabilă | |
| 4.1 Itinerar de proiectare și verificare..... | 74 |
| 4.2 Modelarea arcurilor elicoidale cu geometrie variabilă și simularea comportamentului lor sub sarcină..... | 88 |
| 5. Instalații experimentale și metodică de cercetare. Rezultate experimentale | |
| 5.1 Instalații de încercare a arcurilor elicoidale de compresiune..... | 95 |
| 5.2 Metodică de cercetare..... | 102 |
| 5.3 Rezultate experimentale..... | 105 |
| 5.4 Studiul comparativ al dimensiunilor și caracteristicilor arcurilor..... | 108 |
| 5.5 Ecuația domeniului progresiv al caracteristicii elastice..... | 121 |
| 5.6 Indicele arcului, factorul de corecție a tensiunii și rigiditatea elementului de spirală..... | 122 |
| 6. Concluzii. Contribuții | 125 |
| Bibliografie | 128 |
| Anexa I | 134 |
| Anexa II | 138 |
| Anexa III | 149 |

1. STADIUL ACTUAL PRIVIND CONSTRUCȚIA ȘI UTILIZAREA ARCURILOR ELICOIDALE PENTRU SUSPENSILE AUTOVEHICULELOR RUTIERE

1.1 Considerații generale

Viteza de deplasare a autovehiculului pe drumuri cu suprafața neregulată nu este limitată, de obicei, de puterea motorului ci de calitatea suspensiei. Suspensia unui autovehicul este formată din ansamblul dispozitivelor elastice dispuse între roți și structura autoportantă (caroseria), având drept scop protecția tuturor componentelor autovehiculului față de acțiunea sarcinilor dinamice ce se transmit de la sol; stabilitatea și ținuta de drum a autovehiculului; confortabilitatea pasagerilor și protecția mărfurilor transportate.

Calitatea suspensiei este un parametru de importanță majoră, deoarece fără asigurarea ei autovehiculul pierde din valoare, chiar dacă performanțele dinamice ale acestuia sunt bune, ele neputând fi atinse decât în cazul circulației pe drumuri foarte bune. O atenție deosebită trebuie acordată calității suspensiei și în cazul exploatării autovehiculelor pe drumuri de calitate, deoarece suspensia influențează stabilitatea, iar aceasta influențează, la rândul ei, siguranța și confortul conducătorului, respectiv pasagerilor.

Confortabilitatea autovehiculului este performanța acestuia caracterizată prin capacitatea de a circula timp îndelungat cu viteze de exploatare fără ca pasagerii să aibă senzații neplăcute sau să obosească și fără ca marfa transportată să se deterioreze.

Problema confortabilității nu este o problemă specifică numai autoturismelor și autobuzelor; confortabilitatea determină, în mare măsură, viteza de deplasare a autocamioanelor, deci și productivitatea acestora. Practica a confirmat că asupra consumului de anvelope, calitatea suspensiei are o influență însemnată.

Condițiile principale pe care trebuie să le îndeplinească suspensia autovehiculelor pot fi formulate astfel: caracteristică elastică corespunzătoare, care asigură o bună confortabilitate, mișcări mici de ruluu, inexistența loviturilor în tamponul limitator și stabilitatea autovehiculului; cinematică corespunzătoare a roților comandate, necesară în vederea micșorării uzurii anvelopelor; obținerea unei cinematici corecte a direcției și îmbunătățirea ținutei de drum; transmiterea forțelor longitudinale și transversale (în planul orizontal) de la trenul de rulare la caroserie și a momentelor reactive, dacă această funcție nu este îndeplinită de dispozitive speciale; amortizarea efectivă a vibrațiilor caroseriei și a roților; posibilitatea dispunerii raționale în cadrul schemei generale a autovehiculului; durabilitate corespunzătoare a elementelor suspensiei; greutate minimă, ceea ce contribuie la micșorarea greutății părților suspendate ale autovehiculului.

Îndeplinirea acestor deziderate depinde de tipul și construcția elementelor componente ale suspensiei.

Suspensia autovehiculului se subdivide în trei elemente principale: elementul elastic, elementul de amortizare și elementul de ghidare.

Elementul elastic servește pentru micșorarea sarcinilor dinamice, rezultate în special, în urma acțiunii componentelor verticale ale forței de interacțiune dintre roți și cale, asigurând prin aceasta confortul necesar. În unele cazuri, elementul elastic poate transmite și alte componente ale forței de interacțiune. Uneori în suspensia automobilului se introduc elemente elastice suplimentare (așa numitele stabilizatoare) care au rolul de a micșora sau anihila influența mișcărilor de ruluu ce apar la viraje.

Elementul de ghidare transmite componentele longitudinale și transversale ale forței de interacțiune, precum și momentele acestor forțe și determină caracterul mișcării (cinematica) roților față de structura autoportantă (caroseria) autovehiculului.

Elementul de amortizare (amortizorul), împreună cu frecarea din suspensie, generează forțele de rezistență care amortizează vibrațiile caroseriei și ale roților.

Funcțiile celor trei elemente principale ale suspensiei pot fi îndeplinite de unul și același element sau de elemente diferite. Astfel, la multe autocamioane și autobuze, arcurile lamelare longitudinale servesc nu numai ca element elastic, ci determină și cinematica roților, transmit toate tipurile de forțe și contribuie la amortizarea vibrațiilor, datorită frecării dintre lamele și din articulații.

Tipul suspensiei este determinat de construcția elementului elastic și

a elementului de ghidare. După tipul elementului de ghidare, suspensiile se clasifică în suspensii cu axă rigidă și suspensii independente.

Particularitatea suspensiei cu axă rigidă constă în existența legăturii rigide între roțile din stânga și din dreapta, având caracteristic faptul că deplasarea unei roți în planul transversal se transmite și celeilalte. Deservirea în exploatare a acestui tip de suspensie este simplă. Suspensia cu axă rigidă prezintă însă și o serie de dezavantaje: apariția unor efecte giroscopice care, începând de la o anumită viteză, introduc vibrații periculoase la roțile comandate; greutatea mărită a părților nesuspendate (în special în cazul roților motoare); modificarea unghiului de înclinare a roților comandate; erori în cinematica mecanismului de direcție etc.

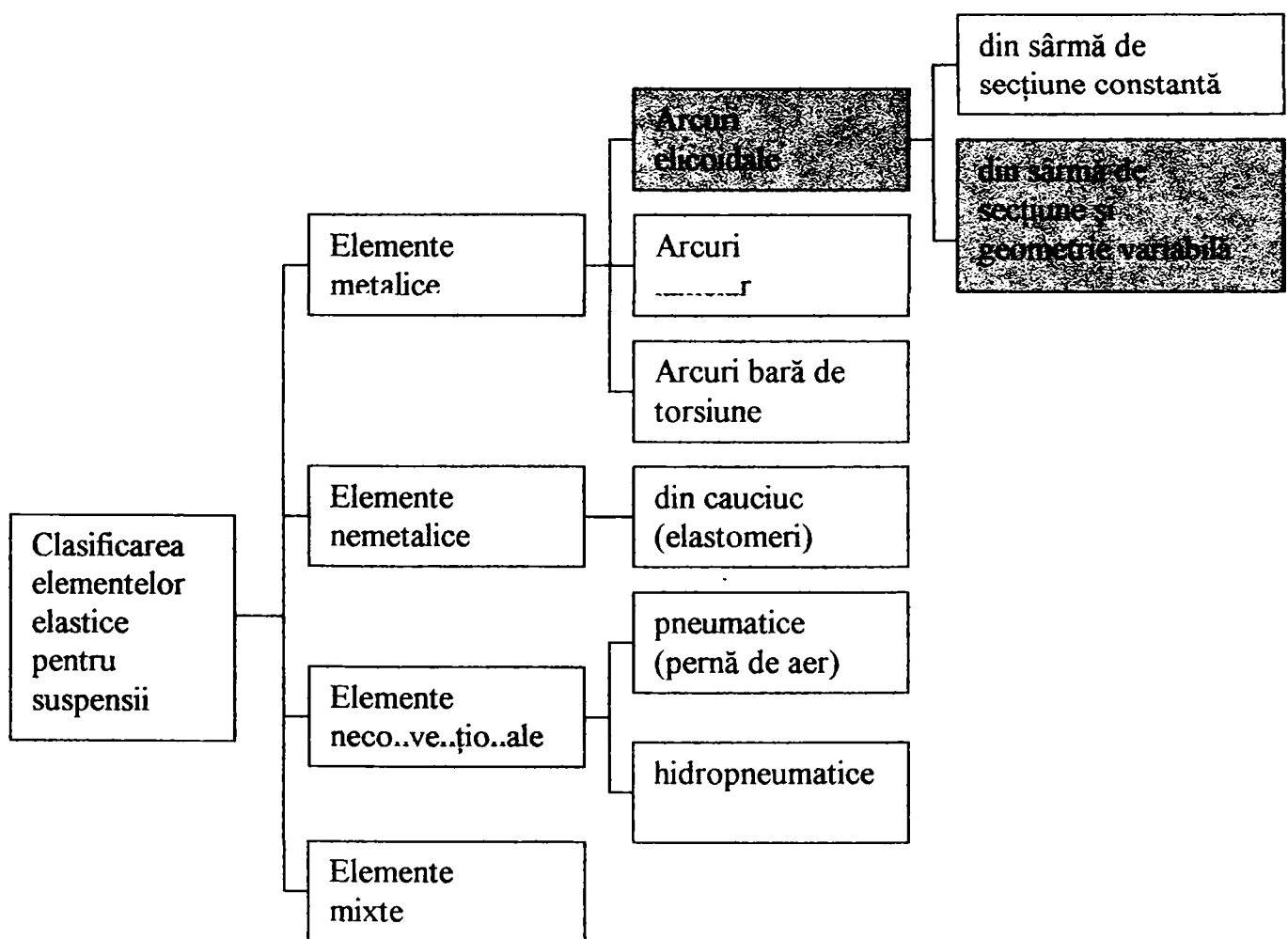


Fig. 1.1

Suspensia independentă înlătură legătura nemijlocită dintre roțile autovehiculului. În funcție de planul în care se deplasează roata la ridicarea verticală a acesteia, suspensiile independente se clasifică în suspensii cu deplasarea roților în: planul transversal, planul longitudinal sau în ambele plane simultan. La suspensia independentă, roata poate fi legată de

structura autoportantă cu un singur braț sau cu două brațe; legătura poate fi telescopică, când roata se deplasează în plan vertical. Suspensiile independente (cu element de ghidare corect construit) micșorează sensibil momentul girosopic al roților comandate și înlătură tendința de vibrare a roților din față, ceea ce asigură o bună ținută de drum la viteze mari de circulație. Suspensiile independente, comparativ cu suspensiile cu axă rigidă, au avantajul că permit micșorarea vibrațiilor de ruluu ale caroseriei, asigurând îmbunătățirea conducerii și stabilității, precum și o greutate diminuată a părților nesuspendate.

În prezent, la autoturisme se întrebuintează pe scară largă suspensia independentă pentru roțile din față și suspensia cu axă rigidă pentru puntea spate, iar la unele tipuri suspensia independentă se folosește și la puntea spate.

După tipul elementului elastic, suspensiile se clasifică conform figurii 1.1, cu mențiunea că suspensia mixtă rezultă prin combinarea a două sau mai multe elemente elastice.

1.2 Caracteristica elastică a suspensiei

Elementul elastic al suspensiei se apreciază cu ajutorul caracteristicii elastice (fig.1.2), care reprezintă dependența dintre sarcina verticală pe roată și deformația suspensiei, măsurată nemijlocit deasupra axei roții.

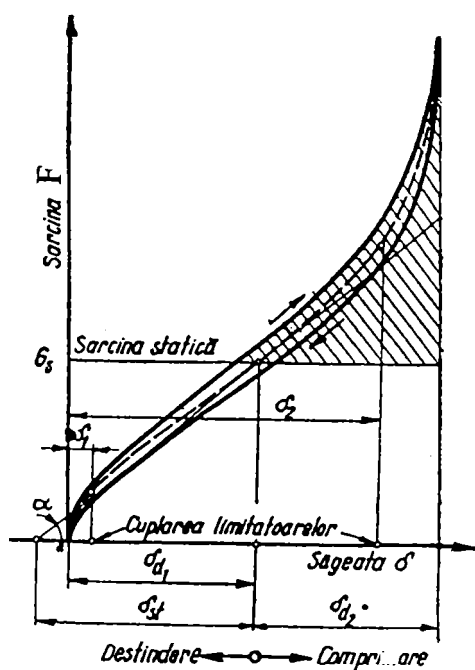


Fig. 1.2

Parametrii care caracterizează elementul elastic al suspensiei sunt: săgeata statică efectivă δ_{st} , săgețile dinamice δ_{d1} (până la limitatorul inferior) și δ_{d2} (până la limitatorul superior), rigiditatea suspensiei k_s , coeficientul dinamic K_d și forțele de frecare. Săgeata statică reprezintă deformația suspensiei corespunzătoare sarcinii statice (greutatea susținută ce revine suspensiei în cazul autovehiculului încărcat la sarcina maximă admisă).

Pentru determinarea lui δ_{st} este necesar să se ducă o tangentă la curba medie a caracteristicii (v.fig.1.2-curba cu linie întreruptă) în punctul corespunzător sarcinii statice.

În cazul general, caracteristica elastică a suspensiei este neliniară și prin urmare rigiditatea devine variabilă: $k_s = dP/d\delta$. Legătura dintre săgeata statică și rigiditatea suspensiei la sarcina statică este dată de relația:

$$\delta_{st} = \frac{G_s}{k_s} \quad (1.1)$$

în care G_s este sarcina ce revine unei roți.

Coefficientul dinamic reprezintă raportul dintre sarcina maximă ce se transmite prin suspensie P_{max} și sarcina statică G_s ;

$$K_d = \frac{P_{max}}{G_s} \quad (1.2)$$

Caracteristica elastică a suspensiei are forma optimă dacă asigură valorile necesare săgeții statice și coeficientului dinamic. Aceste condiții pot fi îndeplinite numai printr-o caracteristică elastică neliniară. Studiind influența caracteristicilor neliniare ale suspensiei și amortizării asupra confortabilității, M. Mitschke [D₃] ajunge la concluzia că numai combinând caracteristica neliniară progresivă a suspensiei cu o amortizare neliniară se realizează un confort optim.

Pentru a obține o caracteristică elastică favorabilă când elementul elastic de bază prezintă o caracteristică liniară este necesar să se apeleze la combinații cu elemente elastice suplimentare.

Elementul elastic suplimentar poate fi întrebuințat fie pentru mărirea coeficientului dinamic, fie pentru limitarea domeniului de variație a săgeții statice la autovehiculele cu sarcină utilă însemnată. Caracteristica suspensiei poate fi îmbunătățită și mai mult prin întrebuințarea elementelor elastice nemetalice.

1.3 Suspensii cu arcuri elicoidale

O suspensie modernă larg răspândită este suspensia cu două brațe oscilante, inegale ca lungime, care permite deplasarea roților în planul transversal. Elementul elastic cel mai folosit este arcul elicoidal, combinat cu amortizoare hidraulice telescopice. Arcul elicoidal asigură o economie însemnată în greutate față de arcul lamelar și permite obținerea unei dispuneri compacte a elementelor suspensiei. La viraje, roata rămâne

perpendiculară pe calea de rulare. O astfel de suspensie față este prezentată în figura 1.3 unde amortizorul 4 este montat în interiorul arcului 3.

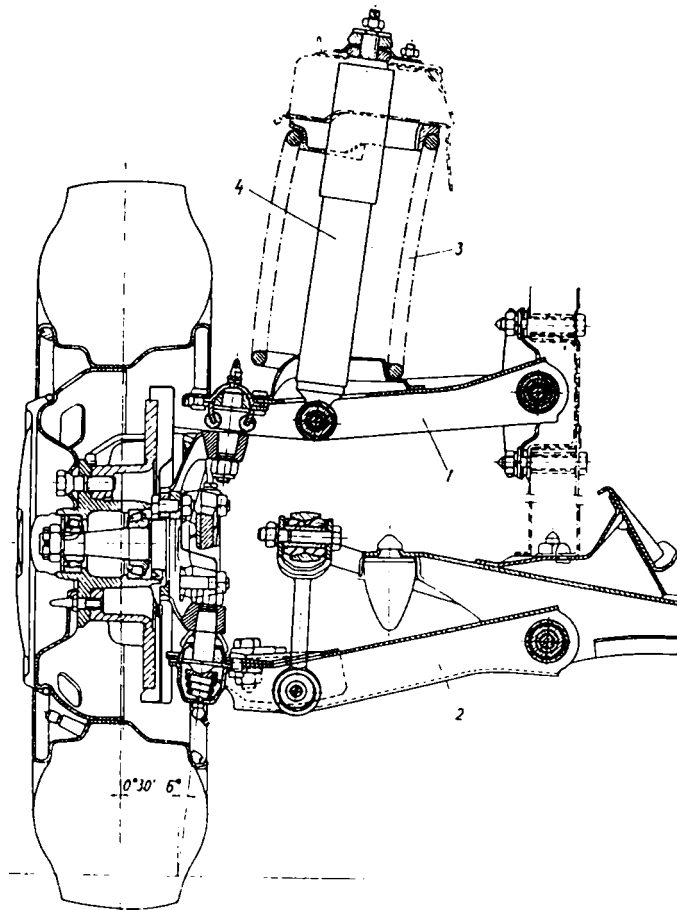


Fig.1.3

La suspensia spate din figura 1.4, elementul elastic este format din arcuri elicoidale cu amortizoare telescopice, dispuse concentric.

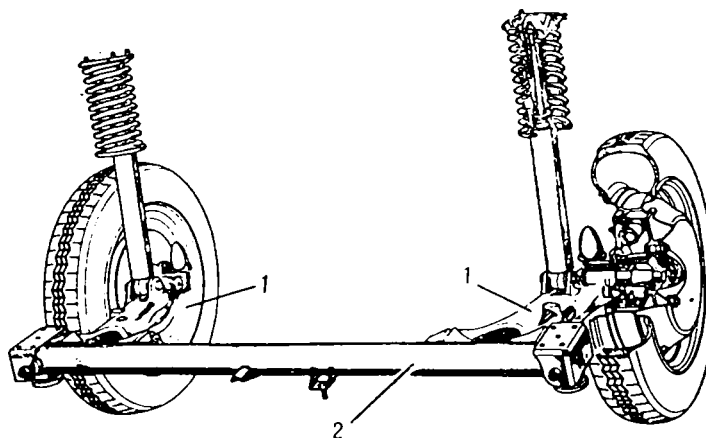


Fig. 1.4

Caracteristica elastică progresivă a suspensiei cu arcuri elicoidale se poate realiza în diverse moduri:

-Prin suspensii mixte, combinând un arc elicoidal cilindric cu un arc cav de cauciuc (figura 1.5), burduf pneumatic sau membrană elastică (figura 1.6 a și b); se cunosc și alte forme constructive ale elementului pneumatic. Caracteristica suspensiei devine progresivă odată cu acționarea arcului auxiliar de cauciuc.

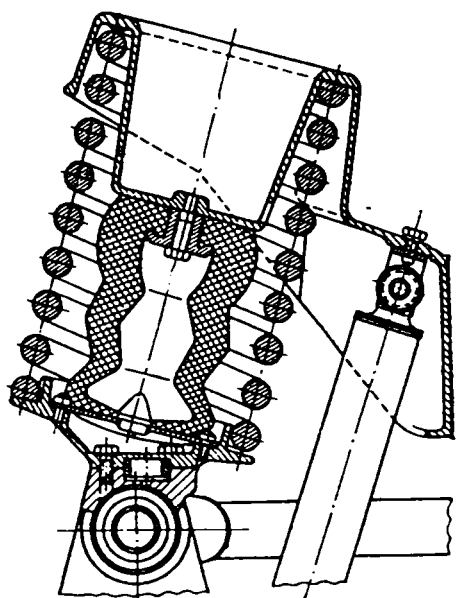
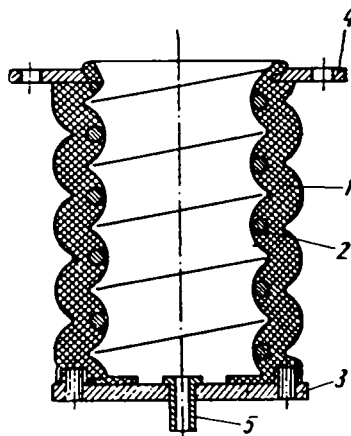
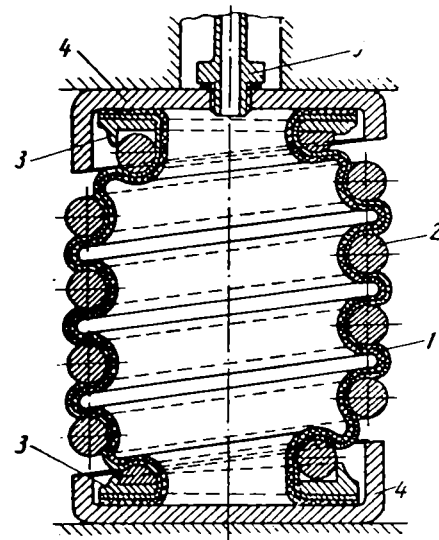


Fig. 1.5



a)



b)

-Printr-un arc elicoidal cilindric cu pas variabil sau arc elicoidal conic, ambele din sârmă de secțiune constantă (dezavantaj: crește înălțimea arcului și consumul de oțel de calitate superioară);

-Prin utilizarea unor *arcuri elicoidale cu geometrie variabilă*, adică arcuri din sârmă profilată, înfășurată după o suprafață directoare cilindrică sau profilată, cu pas constant sau variabil.

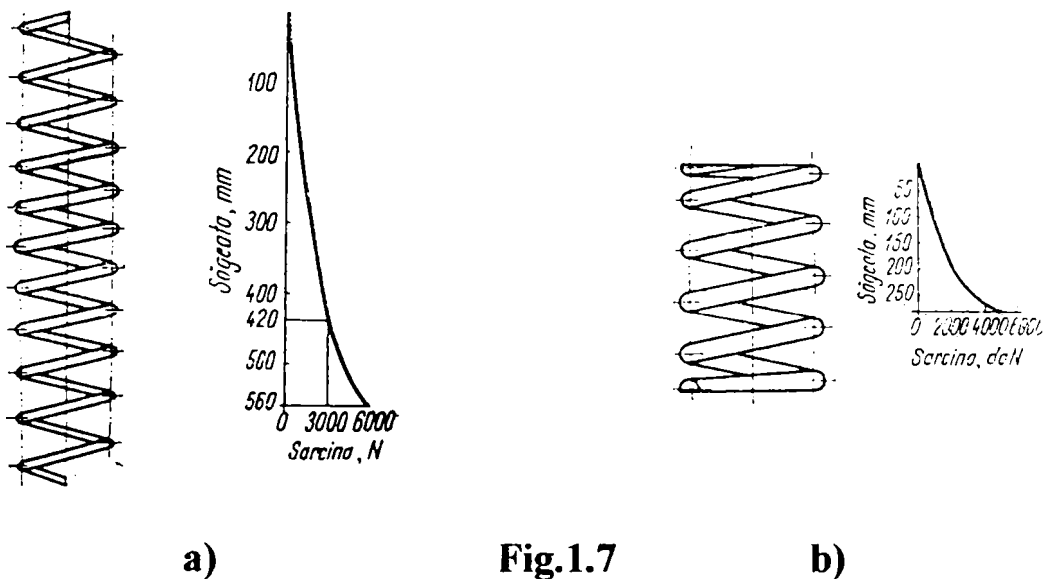
Acestea reprezintă cea mai nouă categorie de arcuri elicoidale utilizate avantajos acolo unde dispunem de spațiu mic la curse necesare, relativ mari: suspensii de autovehicule și sau aparate/sisteme de tamponare.

La comprimarea arcului, o dată cu creșterea sarcinii, se blochează tot mai multe spire prin așezarea pe suprafața de reazem sau în contact reciproc: caracteristica este liniară pe primul domeniu când lucrează toate spirele, devine progresivă pe măsura blocării (așezării) spirelor din sârmă de secțiune variabilă (domeniul al doilea) și redevine liniară după așezarea tuturor spirelor cu $d \neq \text{const.}$, când rămân în funcțiune doar spirele cu

$d = \text{const.}$ Pe porțiunea progresivă a caracteristicii, rigiditatea arcului nu mai este constantă, ci variază liniar.

Arcul poate fi construit astfel încât la sarcina instantanee care blochează spirele respective, să nu se depășească tensiunea admisibilă. Se obține astfel o bună utilizare a materialului și o greutate redusă. Săgeata mare la o înălțime în stare liberă redusă vine în întâmpinarea constructorilor la tendințele actuale de construcție joasă ale autovehiculelor.

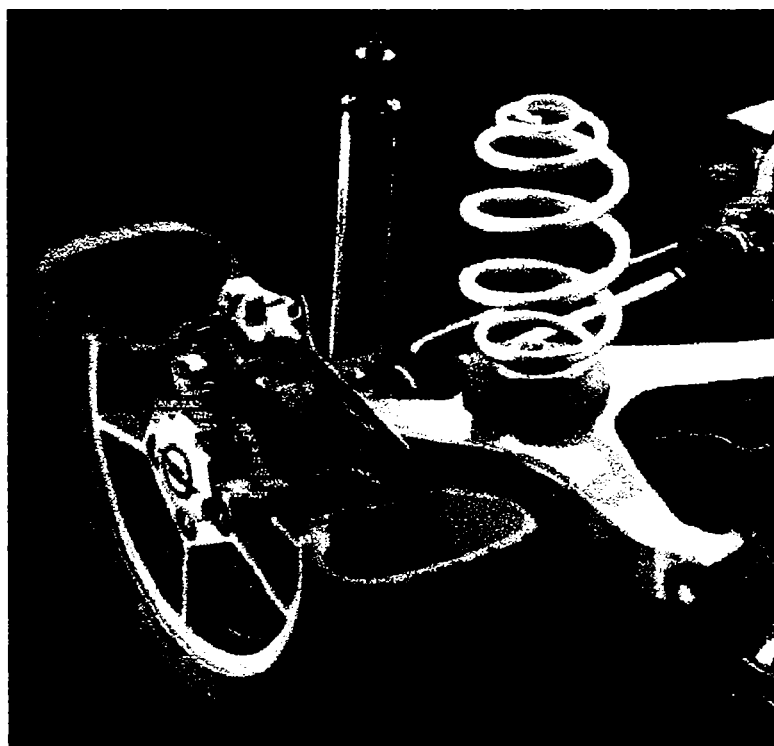
În figura 1.7a se prezintă un arc elicoidal executat din sârmă conică, a cărui caracteristică este mai bună decât a unui arc elicoidal combinat cu un arc cav de cauciuc, iar în figura 1.7b un arc elicoidal din sârmă conică și cu pas variabil, cu o caracteristică favorabilă.



Primul producător în domeniul arcurilor elicoidale cu geometrie variabilă este firma germană „AHLE”: în 1960 a început fabricarea acestei noi clase de arcuri, din 1970 a început testarea lor în industria automobilistică, iar din 1979, diverse forme de arcuri cu geometrie variabilă și caracteristică progresivă echiipează mărci de prestigiu de automobile. Printre firmele producătoare se pot cita: „BRÜNINGHAUS-KRUPP” și „ACIER-ALEVARD”. Se cunoaște dotarea cu astfel de arcuri a suspensiilor spate sau față a unui număr tot mai mare de autoturisme printre care și cele realizate în ultimul timp de firme consacrate ca: „OPEL”, „FORD”, „VOLKSWAGEN” și „DAEWOO”.

În literatura de specialitate se fac foarte puține referiri asupra arcurilor elicoidale cu geometrie variabilă; calculul de proiectare și tehnologia de execuție a acestora sunt protejate prin brevete.

Despre noua clasă de arcuri, s-au solicitat firmei producătoare „AHLE” unele precizări. În răspunsul său, firma specifică că nu poate oferi informații suplimentare, altele decât cele conținute în prospect (scrisoarea de răspuns în Anexa II). Datele din prospect sunt sumare, fără indicații legate de calcul sau caracteristică elastică.

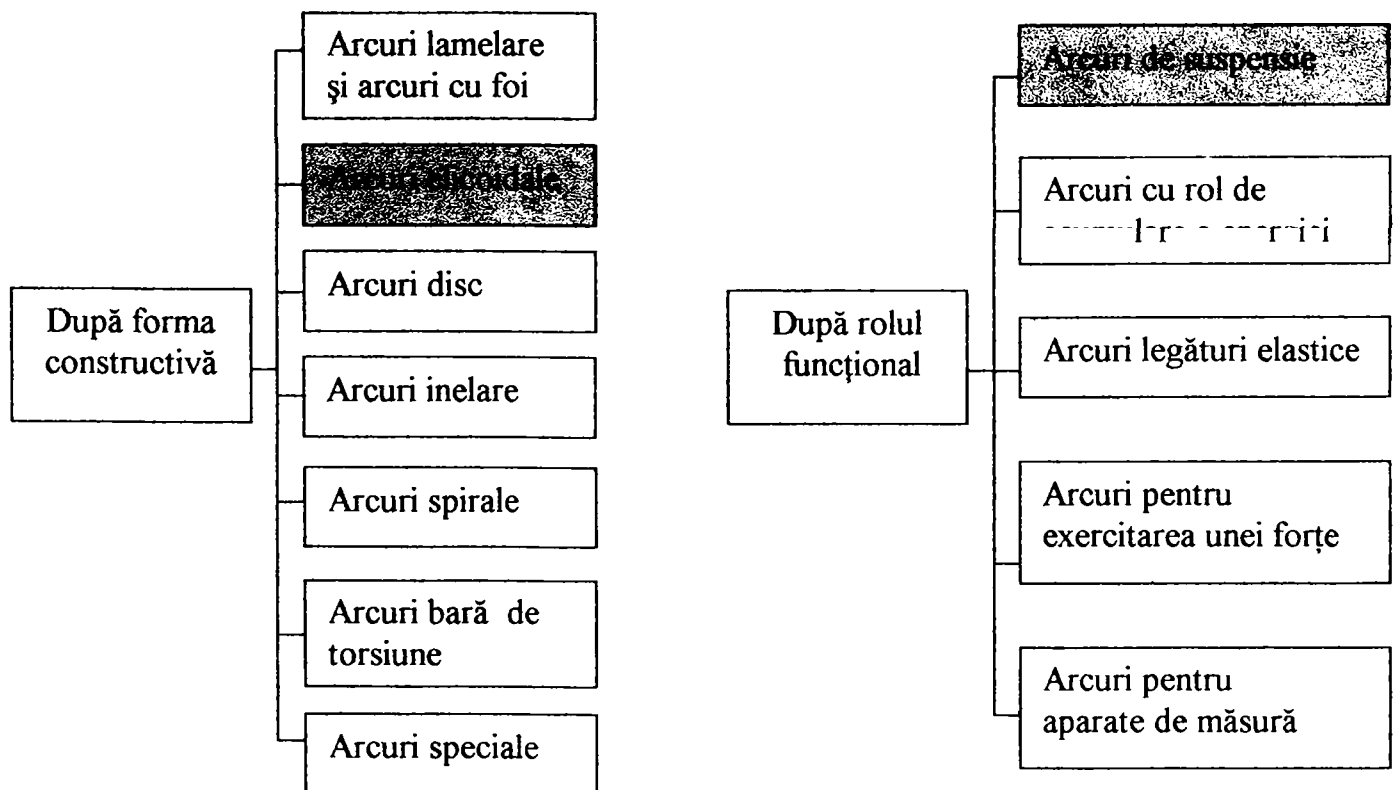


2. PARTICULARITĂȚI CONSTRUCTIV FUNCȚIONALE ALE ARCURILOR ELICOIDALE CU GEOMETRIE VARIABILĂ

2.1 Clasificarea arcurilor

Arcul este un organ de mașină care, prin forma sa constructivă și datorită proprietăților elastice ale materialului din care este confecționat, transformă, prin deformarea lui elastică, lucrul mecanic în energie acumulată în câmpul forțelor elastice, fiind capabil să retransforme integral sau parțial această energie în lucru mecanic.

CLASIFICAREA ARCURILOR



2.1.1 Arcuri elicoidale

Înfășurând după o elice cu pasul constant sau variabil o sârmă (bară), de secțiune constantă sau variabilă pe lungime, se obține un arc elicoidal. Acestea se pot clasifica astfel [P₃]:

După felul sarcinii:

1. Arcuri de tracțiune, care preiau o sarcină longitudinală, axială, care întinde arcul.

2. Arcuri de compresiune, care preiau o sarcină longitudinală, axială, care comprimă arcul;

3. Arcuri de răsucire care preiau sarcini ce se reduc la cupluri de forțe acționând în plan perpendicular pe axa arcului;

4. Arcuri care preiau o sarcină combinată.

După forma suprafeței directoare a elicei medii:

1. Arcuri cilindrice, înfășurate pe un dorn cu secțiune transversală circulară, de obicei axa spirelor acestor arcuri este o elice cu pas constant;

2. Arcuri prismatice, înfășurate pe un dorn prismatic special;

3. Arcuri profilate:

a) arcuri conice cu pas constant sau cu pantă constantă a spirelor;

b) arcuri paraboloidale la care axa spirelor este dispusă pe suprafața unui paraboloid și au un unghi de pantă constant;

c) arcuri speciale (dublu profilate, cu sau fără porțiuni intermediară cilindrică, etc.).

Arcurile elicoidale enumerate mai sus pot fi executate din sârmă (bară) cu secțiune transversală circulară, pătrată sau dreptunghiulară.

2.2 Parametrii funcționali ai arcurilor

Comportamentul arcurilor, derivat din analiza dependenței sarcină-deformație, se evaluează prin intermediul unor parametri fizici calitativi identici, independent de soluția constructivă.

a) *Caracteristica arcului* este constituită de dependența (exprimată grafic sau analitic) dintre sarcină și deformație, dacă se acceptă pentru sarcină semnificația de forță generalizată, iar pentru deformație cea de deplasare generalizată.

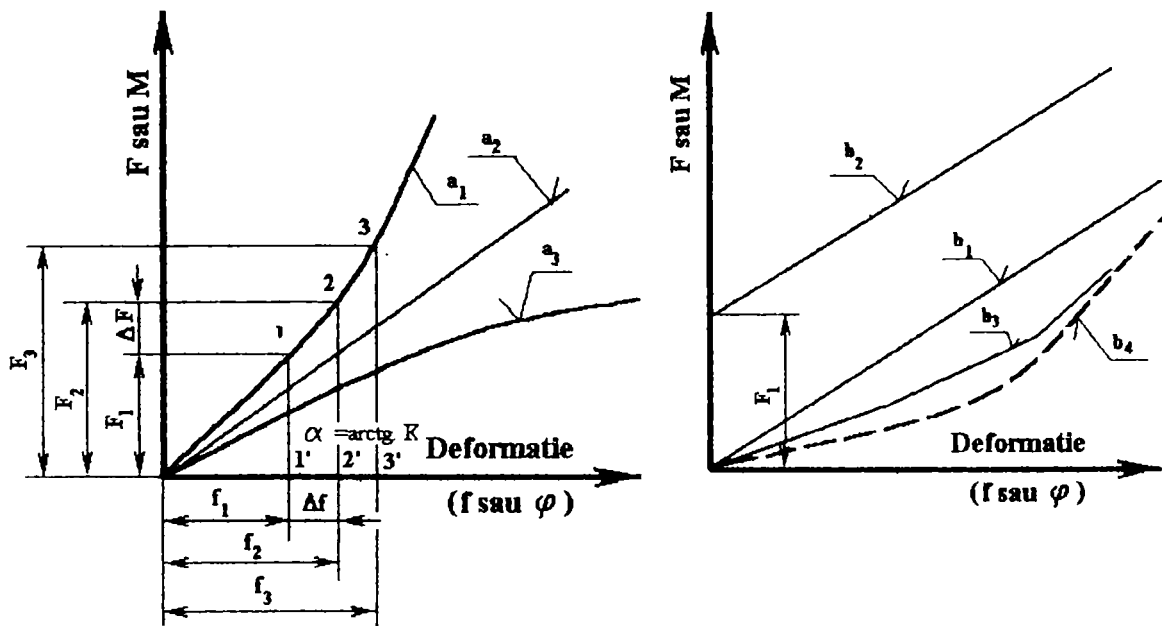


Fig.2.1 Tipuri de caracteristici sarcină-deformație

Caracteristica arcului poate fi:

- liniară pe tot domeniul ($a_2, b_{1,2}$)
- liniară pe porțiuni, dar cu pantă variabilă (b_3)
- neliniară - progresivă (a_1) sau regresivă (a_3)
- mixtilinie (b_4)

b) *Rigiditatea sau constanta elastică* a arcului reprezintă sarcina corespunzătoare deformației unitare (valoarea inversă a rigidității se numește elasticitatea (sensibilitatea) arcului).

$$K_f = \lim_{\Delta f \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta f} = \frac{dF}{df} \quad \text{sau} \quad K_\varphi = \lim_{\Delta \varphi \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta \varphi} = \frac{dM}{d\varphi} \quad [\text{N/mm}] \quad (2.1)$$

Deformația arcurilor elicoidale de compresiune este de tip săgeată și se notează în continuare rigiditatea acestora cu K .

c) *Energia acumulată* de arc într-un interval de deformație dat este proporțională cu aria mărginită de caracteristica sarcină-deformație și axa absciselor:

$$W = \int_{f_1}^{f_2} F df \quad \text{sau} \quad W = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M d\varphi \quad [\text{J}] \quad (2.2)$$

d) *Factorul de utilizare a volumului de material* reprezintă eficiența procesului de acumulare a energiei în funcție de volumul de material supus solicitării:

$$\eta_W = \frac{W}{V} \frac{2E}{\sigma_{\max}^2} \quad \text{sau} \quad \eta_W = \frac{W}{V} \frac{2G}{\tau_{\max}^2} \quad [-] \quad (2.3)$$

e) *Randamentul arcului* reprezintă raportul dintre energia W_u restituită la descărcarea arcului și energia acumulată:

$$\eta_a = \frac{W_u}{W} \quad [-] \quad (2.4)$$

f) *Coeeficientul de amortizare* este raportul dintre energia disipată prin frecare și energia totală de încărcare și descărcare:

$$\delta = \frac{W - W_u}{W + W_u} = \frac{1 - \eta_a}{1 + \eta_a} \quad [-] \quad (2.5)$$

2.3 Arcuri elicoidale cu geometrie variabilă

2.3.1 Considerații generale

În foarte multe aplicații când arcul servește ca legătură elastică se ivește necesitatea ca acesta să aibă caracteristica variabilă. Profilul respectiv al caracteristicii se poate realiza în mai multe alternative:

1. Prin grupări serie-paralel, cu acțiune succesivă a mai multor arcuri elicoidale de rigiditate constantă;

2. Prin modificarea macrogeometriei arcului privitoare la:

a) *unghiul de pantă al elicei* (pas variabil pe înălțime); pentru arcurile cilindrice elicoidale cu pas variabil caracteristica este neliniară progresivă și se poate calcula rigiditatea pentru fiecare pas;

b) *suprafața directoare* (alta decât cea cilindrică)

c) *secțiunea barei* (variabilă continuu sau în trepte).

2.3.2 Arcuri elicoidale profilate din sârmă de secțiune constantă

Pentru cazul diametrului de înfășurare variabil, *suprafața directoare* a elicei poate fi :

-paraboloidală;

-conică, cu pas constant, caz în care unghiul de înclinare a sârmei pe un plan perpendicular pe axa conului crește constant de la bază la vârf, sau

poate fi cu pas variabil, când acest unghi de pantă se păstrează constant;

-hiperbolooidală;

-combinații ale suprafețelor directoare amintite.

Arcurile elicoidale profilate prezintă o particularitate funcțională remarcabilă: la creșterea sarcinii exterioare peste un anumit nivel, spirele cu rază maximă sau de rigiditate minimă ajung succesiv în contact direct sau în contact cu suprafața de reazem.

Ca urmare, în procesul de deformare a arcului profilat se disting două etape:

- funcționare liberă, când participă toate spirele active și caracteristica poate fi liniară (arcul rezemat pe spirele de capăt funcționează fără a se realiza contactul între spire);

- funcționare limitată la suprafața de reazem sau funcționare în stare parțial blocată, pentru care numărul spirelor active scade odată cu creșterea sarcinii, iar caracteristica devine pronunțat neliniară progresivă (sub acțiunea sarcinii, spirele se deformează, până ce fac succesiv contact cu suprafața de reazem sau se sprijină unele pe altele);

În cele ce urmează se analizează principalele categorii de arcuri profilate:

a) Arcuri conice cu unghi de pantă constant (fig.2.2):

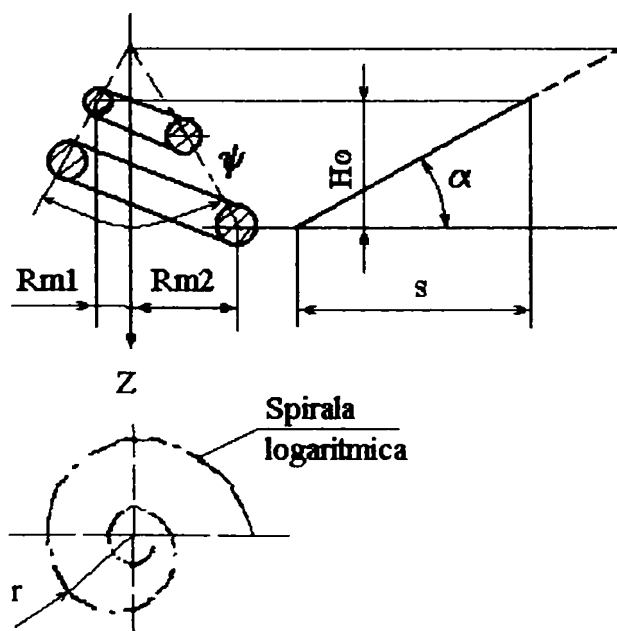


Fig.2.2

Suprafața directoare în acest caz este conică. Desfășurata axei spirelor arcului este o dreaptă. Se demonstrează [P₃] că proiecția în plan a axei spirelor are forma unei spirale logaritmice, a cărei ecuație în plan este:

$$r = r_1 e^{m\varphi} \quad (2.6)$$

unde
$$m \cong \operatorname{tg} \alpha \operatorname{ctg} \frac{\psi}{2} \quad (2.7)$$

ψ fiind unghiul la vârf al conului director. Înălțimea liberă a arcului va fi:

$$H_0 = (r_2 - r_1) \operatorname{ctg} \frac{\psi}{2} \quad (2.8)$$

unde r_1 reprezintă raza minimă a arcului, iar r_2 raza maximă.

Pasul arcului variază în funcție de unghiul φ :

$$p = r_1 e^{m\varphi} (e^{2\pi m} - 1) \operatorname{ctg} \frac{\psi}{2} \quad (2.9)$$

Lungimea totală S a arcului de spirală în plan, pe porțiunea de la $\varphi = 0$ la $\varphi = 2\pi n$ (adică de la r_1 la r_2) devine:

$$S = A(r_2 - r_1) \quad (2.10)$$

în care

$$A = \operatorname{ctg} \alpha \operatorname{ctg} \frac{\psi}{2} \quad (2.11)$$

Lungimea sârmei pentru spirele active ale arcului:

$$l = \frac{S}{\cos \alpha} \quad (2.12)$$

b) Arcuri conice cu pas constant (fig.2.3):

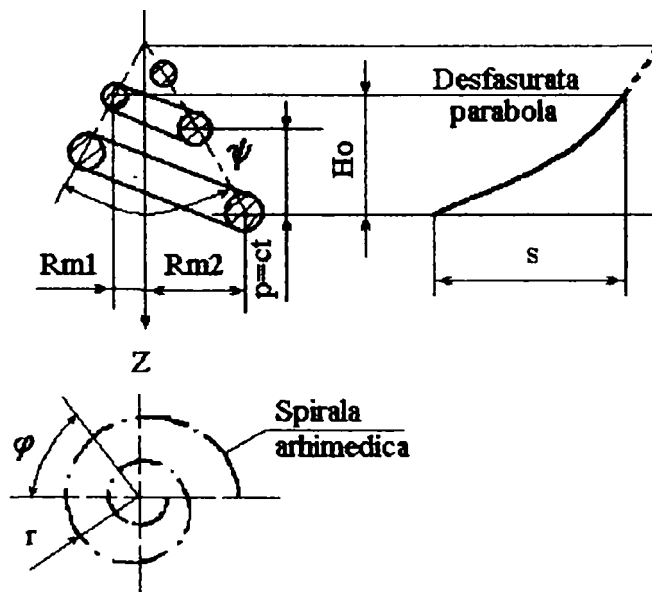


Fig.2.3

Suprafața directoare este o suprafață conică. Desfășurata axei spirelor arcului, când unghiul de pantă este mic, este aproximativ o parabolă de gradul doi.

Se demonstrează [P₃] că proiecția în plan a axei spirelor este o spirală arhimedică:

$$r = r_1 + t \varphi \quad (2.13)$$

unde

$$t = \frac{p \operatorname{tg}(\psi/2)}{2\pi} = \frac{r_2 - r_1}{2\pi n} \quad (2.14)$$

Simbolurile au aceeași semnificație ca în cazul arcurilor conice cu unghi de pantă constant.

Lungimea totală a arcului de spirală arhimedică în plan, pe porțiunea de la $\varphi = 0$ până la $\varphi = 2\pi n$ (adică de la r_1 la r_2) va fi:

$$S \approx (r_2 + r_1)\pi n \quad (2.15)$$

căreia îi corespunde lungimea sârmei pentru spirele active:

$$l \approx \frac{S}{\cos \alpha_m} \quad (2.16)$$

α_m reprezintă unghiul mediu de pantă al elicei.

c) Arcurile paraboloidale (fig.2.4):

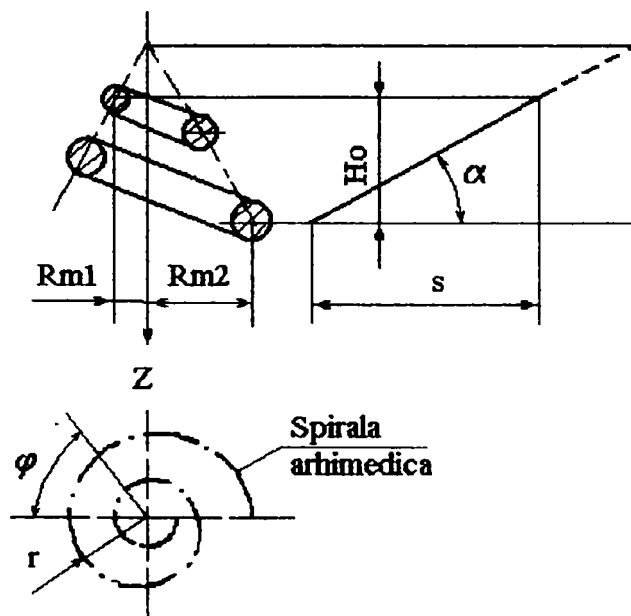


Fig. 2.4

Suprafața directoare este în acest caz un paraboloid de rotație. Proiecția axei spirelor în plan are formă unei spirale arhimedice [P₃]:

$$r = r_1 + t \varphi$$

în care:

$$t = \frac{r_2 - r_1}{2\pi n} \quad (2.17)$$

Unghiul de panta α al spirelor este constant. Pasul arcului este variabil:

$$p = 2\pi(r + \pi t) \operatorname{tg} \alpha \quad (2.18)$$

și crește odată cu creșterea razei r .

Lungimea arcului S_φ al spiralei arhimedice pe porțiunea în care unghiul polar variază de la 0 la φ (adică de la r_1 la r) va fi:

$$S_\varphi \approx \frac{r + r_1}{2} \varphi \quad (2.19)$$

Lungimea totală a arcului de spirală arhimedică S din plan:

$$S \approx (r_2 + r_1) \pi n$$

Lungimea sârmei pentru spirele active ale arcului devine:

$$l = \frac{S}{\cos \alpha}$$

2.3.3 Arcuri elicoidale din sârmă de secțiune variabilă

Relativ recent au apărut arcurile elicoidale confecționate din sârmă (bară) de secțiune circulară continuu variabilă la una sau la ambele extremități. În principiu, un asemenea arc are pasul constant sau variabil iar suprafața directoare a elicei este de formă cilindrică, paraboloidală, conică, sau una din combinațiile lor posibile.

Conform caracteristici sarcină-deformație prezentată în figura 2.5, funcționarea unui astfel de arc prezintă următoarele faze :

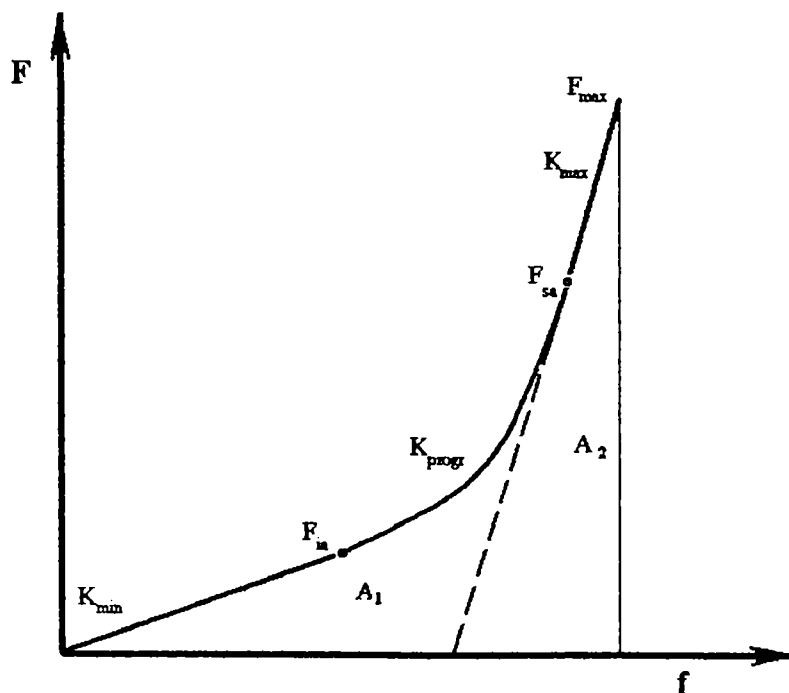


Fig.2.5

TD-MEC/MIL

- la sarcini axiale centrice reduse ca intensitate, participă toate spirele active iar caracteristica este pronunțat liniară;

- o dată cu creșterea încărcării spirele cu secțiunea barei variabilă se așează succesiv iar caracteristica devine neliniară progresivă;

- după așezarea tuturor spirelor de secțiune variabilă caracteristica arcului redevine liniară.

Arcurile elicoidale cu geometrie variabilă care fac obiectul prezentei teze sunt arcurile cilindrice și profilate din sârmă de secțiune variabilă.

Unul din marii producători în domeniu este firma germană „AHLE”; principalele tipuri de arcuri fabricate [1p] sunt următoarele:

-Arc elicoidal cilindric cu diametrul exterior constant (fig. 2.6):

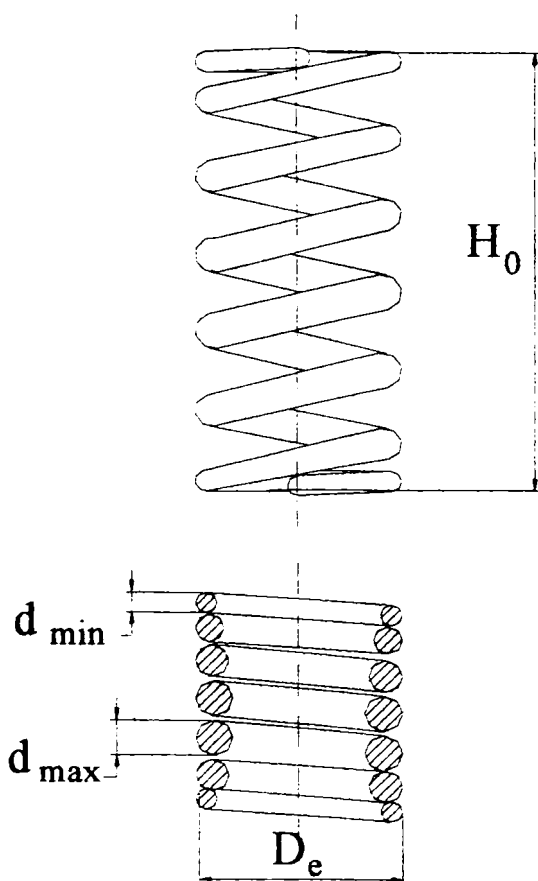


Fig.2.6

Este compus dintr-o porțiune mediană cilindrică din sârmă de diametru constant și două arcuri extreme din sârmă de diametru variabil. Față de un arc din sârmă de diametru constant, acesta are greutatea și lungimea în stare blocată (spiră pe spiră) mai mică. Ca dezavantaj se menționează că suprapunerea spirelor corespunzătoare caracteristicii progresive duc la apariția zgomotelor și la aplatizarea sârmei de arc pe linia de contact. Arcul poate fi construit cu toate spirele progresive la o extremitate, dar experiența a arătat că zgomotul crește.

O altă variantă constructivă poate fi cu diametrul interior constant.

Dezavantajele menționate și cerința de a încadra arcul într-un gabarit dat au dus la elaborarea unor arcuri care în afara diametrului variabil al sârmei au și diametrul de înfășurare variabil.

-Arc dublu profilat (fig. 2.7):

Capetele arcului pot fi închise sau deschise.

Printre avantajele se pot menționa: funcționare fără zgomot, siguranță

la flambaj; înălțimea arcului în stare blocată este foarte mică: $H_b = 2,5d_{\max}$; greutate mică din cauza diametrului variabil al sârmei și al spirelor.

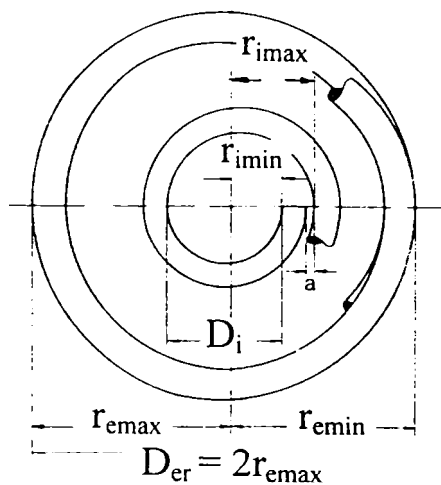
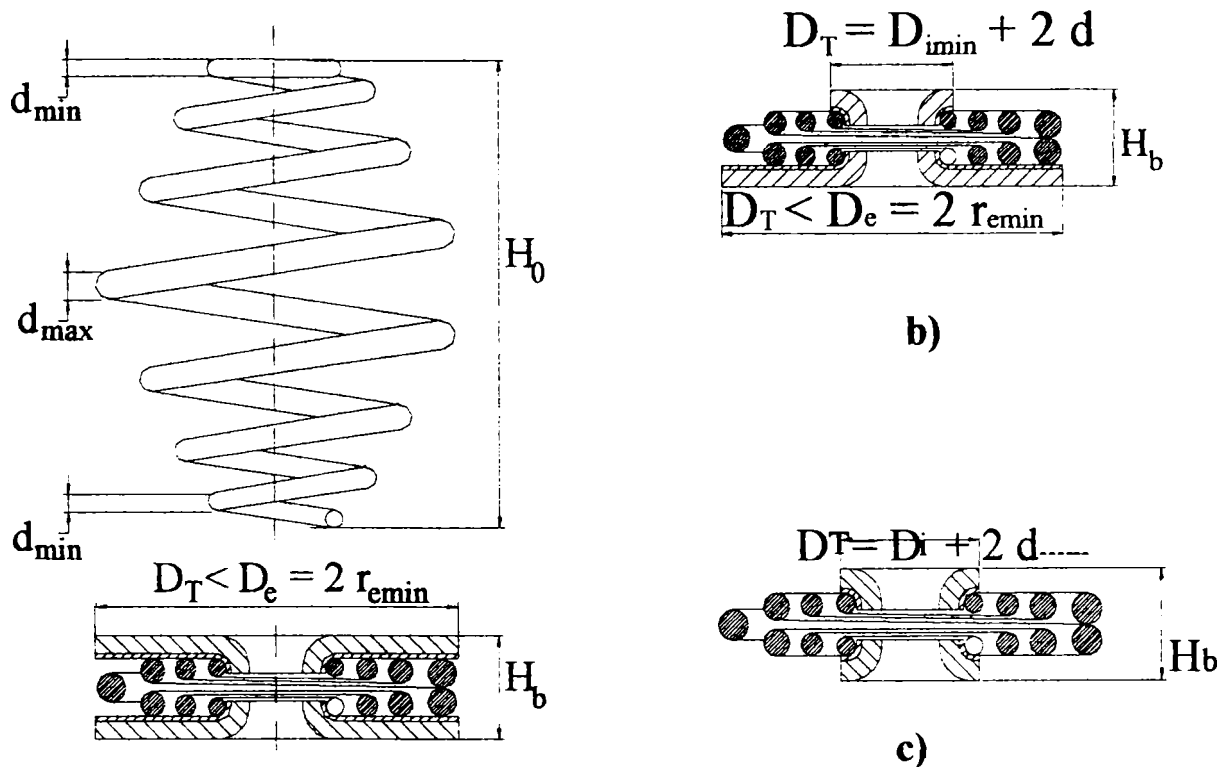


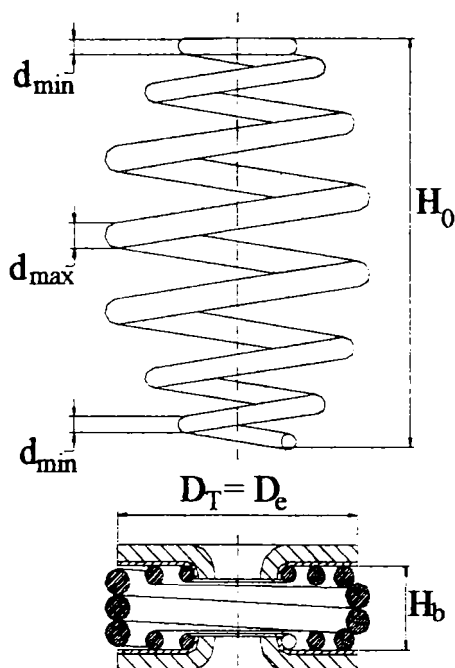
Fig. 2.7 a)

mare iar la celălalt capăt un taler de diametru mic, conservă avantajele menționate dar, față de arcul din figura 2.7 a, prezintă următoarele dezavantaje: solicitări suplimentare de încovoiere la unghiuri de pantă mari în jumătatea de arc cu taler mic, diametrul exterior și diametrul sârmei mai mari, raportul diametrelor d_{\max}/d_{\min} mare, greutate mai mare a arcului, respectare mai puțin riguroasă a caracteristicii progresive. La arcul din figura 2.7 c, diametrul ambelor talere este mic: $D_T = D_i + 2d_{\min}$.

În figura 2.7 a, diametrul D_T al talerelor este cu puțin mai mic decât D_e , diametrul exterior al arcului. Spirele corespunzătoare caracteristicii progresive pot fi distribuite diferit ca număr la extremitățile arcului, pentru a permite folosirea unor talere de diametru diferit (arcul poate fi sau simetric față de punctul de rezemare).

Arcul din figura 2.7 b, care are la un capăt un taler de diametru

-Arc compus dintr-o porțiune mediană cilindrică cu diametrul D_e și $d=d_{\max}$ constante și două arcuri extreme profilate (fig. 2.8):



Față de arcul din figura 2.7 a, are în plus următoarele avantaje: diametrul exterior maxim D_e și diametrul maxim d_{\max} al sârmei sunt mai mici, datorită prezenței porțiunii intermediare cilindrice; se poate face o adaptare continuă între D_e și H_b , înălțimea arcului în stare blocată, prin variația numărului de spire de rigiditate constantă (optimizarea gabaritului). Și în acest caz numărul de spire progresive poate fi distribuit diferit pe cele două extremități. Diametrele D_e și d_{\max} vor fi mai mari iar H_b mai mică. Arcul poate fi executat cu aceeași combinație de talere ca și precedentul.

Fig. 2.8

-Arc conic (fig. 2.9):

Spirele de capăt pot fi închise sau nu. Are cea mai mică înălțime în stare blocată: $H_b=d_{\max}$. Față de arcurile din figura 2.7 și 2.8, are diametrul de înfășurare mai mare; la forma A, raportul diametrelor d_{\max}/d_{\min} este fixat, iar porțiunea progresivă a caracteristicii are pantă lină; greutatea este mai mică datorită numărului mai mare și diametrului mare al sârmei; la forma B, se obține, față de caracteristica impusă, o abatere mai mare datorită numărului mai mic de spire progresive.

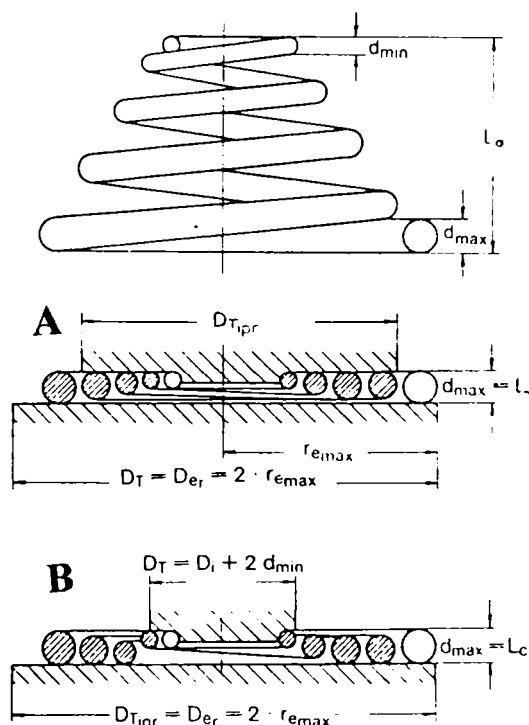


Fig. 2.9

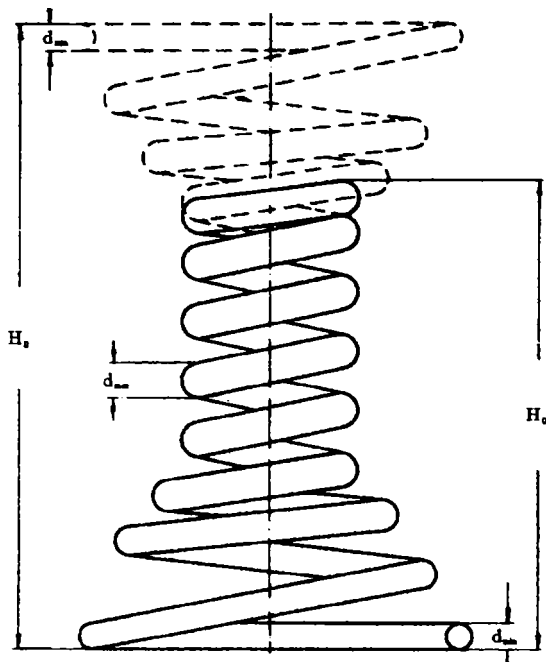
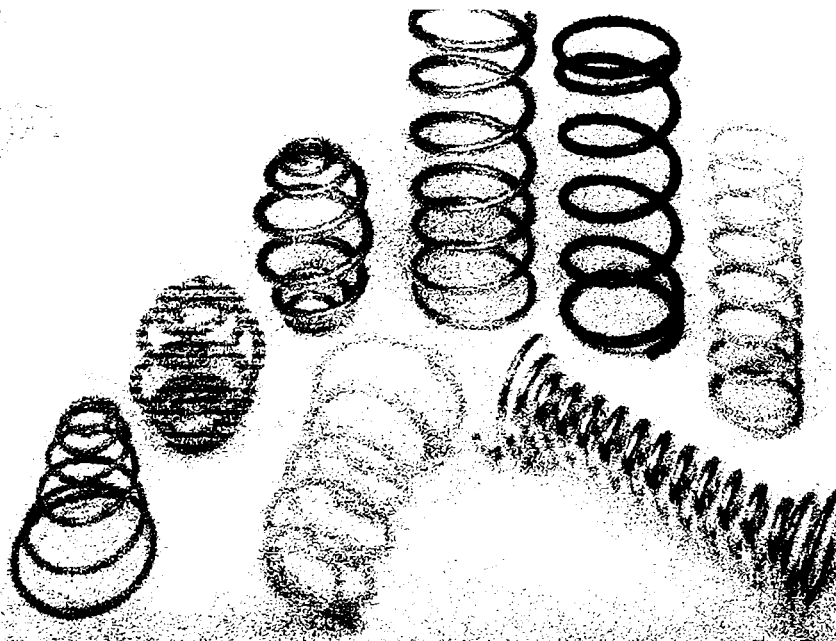


Fig. 2.10

-Arc cu porțiune med. ană cilindrică și arcuri (arc) extreme profilate (fig. 2.10):

Combinăția prezintă siguranță la flambaj și lucrează fără zgomot. Varianta cu arcuri profilate la ambele capete are raportul diametrelor d_{max}/d_{min} relativ redus, iar raportul rigidităților K_{max}/K_{min} foarte mare. Varianta cu un singur arc profilat are raportul diametrelor sârmei mai mare și al rigidităților mai mic; diametrul spirelor este mai mare iar respectarea exactă a caracteristicii este dificilă.

Arcuri tip „AHLE”



2.4 Materiale pentru arcuri elicoidale

Particularitățile funcționale ale arcurilor impun următoarele proprietăți principale pentru materialele din care se confecționează: stabilitate în timp a comportamentului elastic (relaxare redusă), limite ridicate de rezistență statică și la oboseală, reziliență mare.

În anumite situații pot să apară specificații complementare privind proprietățile anticorozive, refractare, de conductibilitate termică și dilatare liniară, magnetice și de conductanță electrică.

La alegerea calității de material trebuie corelate optimal tipul, destinația și importanța arcului cu eventuale restricții referitoare la gabarit, tehnologia de fabricație și costul.

Oțelurile elaborate special pentru arcuri sunt materiale care, prin natura și proporțiile elementelor de aliere, satisfac selectiv majoritatea cerințelor formulate anterior (vezi tabelul 2.1).

Tabelul 2.1

| Marca oțelului | STAS | Nivelul solicitării | Tipuri de arcuri | |
|----------------|-----------|---------------------|---|------------|
| OLC 65A | 795-87 | mediu | elicoidale(S) distribuții cu supape | |
| OLC 66A | 8371-80 | | | |
| OLC 75A | 795-87 | | elicoidale | |
| OLC 85A | | | | |
| OLC 90A | | | | |
| 51 Si 17 A | | | | |
| 60 Si 15A | | | | |
| 56 Si 17 A | | | | |
| 40 Si 17 A | | | | |
| 51 VCr 11A | DIN 17225 | | greu | |
| 50 CrV 4 | | | | |
| 60 CrMnSi 12 A | | elicoidale(S) | | |
| 61 Si 2WA | | | | elicoidale |
| 40 Cr 130 | | | | |
| 12 TiNiCr 180 | 11523-80 | | | |

Pentru autoturismele „DACIA” se folosește și oțel STAS 11500/2-80.

Marca 50 CrV4 DIN 17225, utilizată la arcurile cu geometrie variabilă (suspensia-spate a automobilelor „DAEWOO-CIELO”) este similară cu 51VCr 11A STAS 795-87.

O atenție deosebită trebuie acordată tratamentelor termice administrate, limitându-se la minim decarburările și defectele superficiale.

Tratamente mecanice ca sablarea, ecrusarea cu jet alic, respectiv procedeul de curățire electro-chimică, îndepărtează straturile superficiale de oxizi și ameliorează substanțial comportarea la oboseală.

Emailarea în câmp electrostatic asigură proprietăți anticorozive superioare oțelurilor carbon de calitate și slab aliate la un cost relativ redus.

Nivelul tensiunilor admise este condiționat de tipul și dimensiunile arcului, natura materialului de variația în timp a solicitărilor și mediul de lucru. În consecință valorile informative ale tensiunilor admise se vor recomanda pentru fiecare caz în parte.

2.5 Tehnologia de fabricație a sârmei (barei) de secțiune variabilă și a arcurilor elicoidale

Arcurile elicoidale cu caracteristică progresivă, confecționate din sârmă sau bară de secțiune variabilă, relativ nou apărute, sunt protejate prin brevete. Din acest motiv, în literatura de specialitate se fac foarte puține [U₁] referiri în legătură cu tehnologia de fabricație. În general se subliniază faptul că, diametrul sârmei poate să se modifice liniar, parabolic sau după orice altă lege dorită, la o extremitate sau la ambele extremități ale sârmei.

Documentarea asupra posibilităților de fabricare a acestei sârme, respectiv bare, au dus la stabilirea câtorva posibile itinerarii tehnologice:

- a) Atac chimic controlat;
- b) Strunjirea conică a barei;
- c) Vârfuirea sârmei;
- d) Deformarea plastică;
- e) Laminarea periodică longitudinală.

Dintre procedeele amintite, primele trei au o productivitate redusă și nu se pot aplica seriilor mari de arcuri.

a) Atacul chimic asupra sârmei

Sârma cu diametru constant se introduce într-un vas cu acid pe o adâncime determinată și se extrage cu viteză riguros controlată; urmează

neutralizarea porțiunii atacate chimic și uscarea. Procedul se aplică la fabricarea broșelor pentru finisarea lagărelor din pietre semiprețioase. Pentru arcuri însă, asperitățile sârmei se constituie în tot atâtea amorse de ruptură, de aceea atacul trebuie urmat de rectificare de finisare; suprafața rugoasă se mai poate corecta prin ecrusare cu jet de alicie, după formarea arcului.

b) Strunjirea conică a barei

Ascuțirea sârmei, respectiv barei, se face pe strung, cu riglă de copiat conică. Prin acest procedeu s-a obținut reducerea diametrului pe o lungime de 1,5 m, la S.C. "ELECTROTIMIȘ" S.A. În afară de productivitatea redusă, această tehnologie prezintă același dezavantaj ca și precedenta, adică suprafață cu amorse de ruptură.

c) Vârfuirea sârmei

Procedul se folosește la trefilarea sârmei pentru ascuțirea capătului care se prinde în matriță. Vârfuirea se poate realiza la cald sau la rece (vezi tab. 2.1). Încălzirea capătului barei în vederea ascuțirii acestuia se poate realiza în cuptoare de forjă cu fantă, încălzite cu gaz metan, în instalații electrice cu inducție sau în cuptoare electrice încălzite prin rezistență.

Modalitățile în care se poate realiza vârfluirea se prezintă în tabelul 2.2. și în figura 2.11.

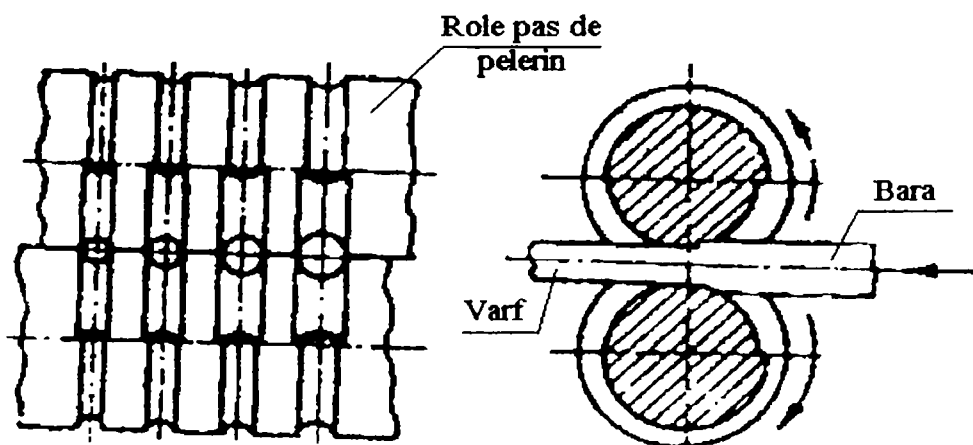


Fig.2.11 Mașină tip pas de pelerin

Pentru fabricarea sârmei de arc, se poate aplica laminarea tip pas de pelerin, puțin productivă însă, mai ales pentru sârmele cu diametrul variabil la ambele extremități. Sunt necesare calcule pentru corelarea lungimii

porțiunii de sârmă cu diametru variabil, a diametrului valțului cu numărul de pași și cu secțiunea calibrului.

Tabelul 2.2

| Nr. crt. | Sortiment | Instalația folosită pentru vârfire | Diametrul produsului vârfit, mm | Felul vârfirei |
|----------|-----------|--|---------------------------------|---------------------|
| 1 | Sârmă | Mașină de vârfit tip pas de pelerin (v. fig. 2.11) | 0,3-25 | La rece sau la cald |
| 2 | Bară | Mașină de vârfit tip pas de pelerin (v. fig. 2.11) | 5-25 | La cald sau la rece |
| | | Ciocane de forjare cu forța 1500-3000 N | 10-50 | La cald |
| | | Mașini de forjare rotative | 8-100 | La rece |
| | | Mașini de forjare vibratoare | 10-70 | La rece sau la cald |
| | | Strunjire | peste 30 | - |

Operația de vârfire se execută în condiții de lubrifiere și este urmată de operația de decapare (pentru îndepărtarea țunderului format pe suprafața semifabricatelor în cursul prelucrării lor la cald).

Procedeele de deformare plastică și laminare periodică longitudinală se pot aplica producției de serie a arcurilor din sârmă de secțiune variabilă.

d) Deformare plastică

Sârmele cu diametru variabil la unul sau la ambele capete se pot fabrica printr-o tehnologie asemănătoare celei aplicate la laminarea țevelor.

Laminarea la rece a țevelor pe laminoare tip pilger (fig. 2.12 și fig. 2.13) ca și pe laminoare cu role (fig.2.14) prezintă elemente comune prin faptul că ambele se realizează pe dorn într-un calibr de formă variabilă, determinat de profilul adecvat al cilindrilor (în cazul laminării pe laminoare pilger) sau deschiderii variabile a acestuia (în cazul laminoarelor cu role).

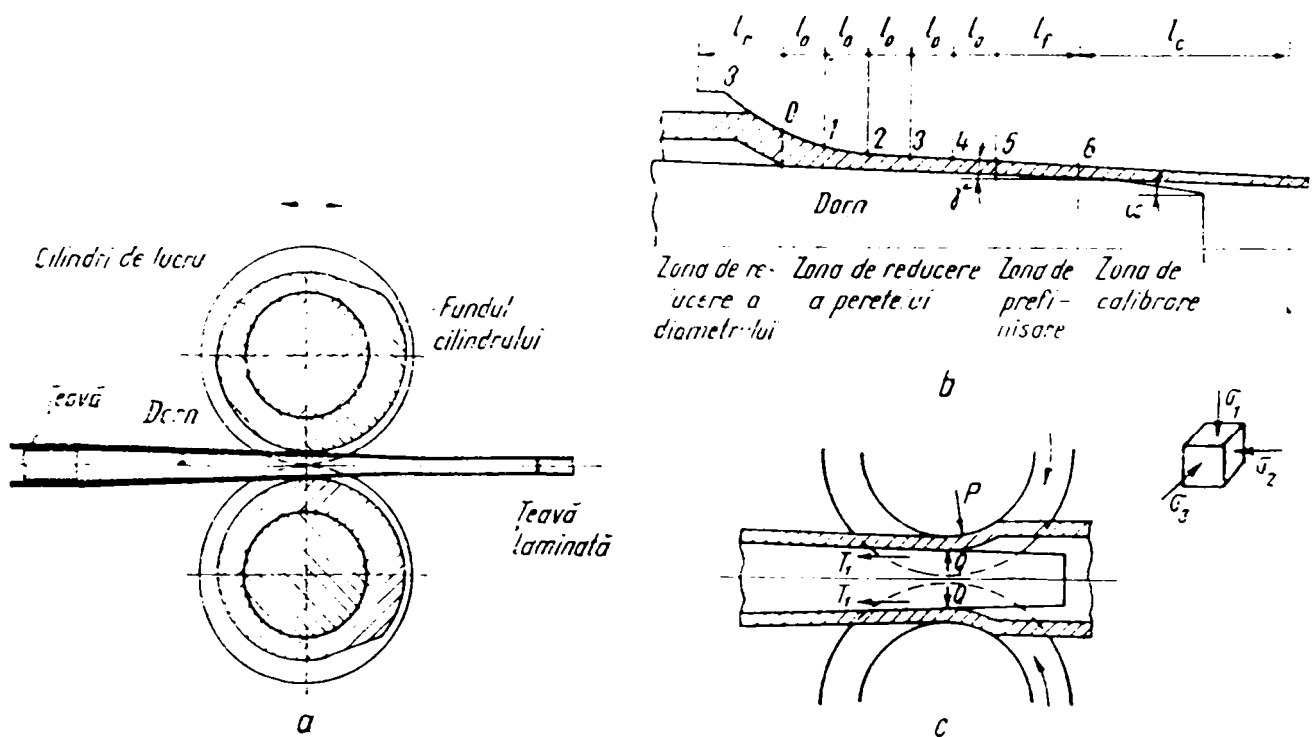


Fig.2.12 Procesul laminării țevelor pe laminoare tip pas de pelerin
a-schema procesului; b-desfășurarea calibrului; c-schema acțiunii forțelor

În ambele cazuri calibrul de lucru este solidarizat cu o căjă, care execută mișcarea de dute-vino. După fiecare asemenea mișcare țeava se rotește cu 90° în cazul laminării pe laminoare pilger și cu 60° în cazul pe laminoarelor cu role.

Tehnologia de fabricație potrivită pentru laminarea sârmei conice (cu diametrul secțiunii transversale descrescător liniar) poate fi cea corespunzătoare figurii 2.14, cu amendamentul că rolele ar trebui să aibă o mișcare comandată pe direcție radială, corelată cu reducerea de diametru dorită și cu lungimea porțiunii pe care sârma este conică.

Itinerar tehnologic pentru fabricarea sârmei profilate este următorul:

- 1-avansul automat al sârmei din colaci;
- 2-îndreptarea sârmei de un tren cu role;
- 3-încălzirea sârmei la trecerea printr-un manșon cu curenți de înaltă frecvență;
- 4-deformarea plastică în scopul obținerii conicității la una sau la ambele extremități ale sârmei;
- 5-debitarea sârmei;
- 6-îndepărtarea bavurii rămase pe porțiunea conică cu trei cuțite în vârtej care fac aceeași mișcare comandată pe direcție radială ca și rolele.

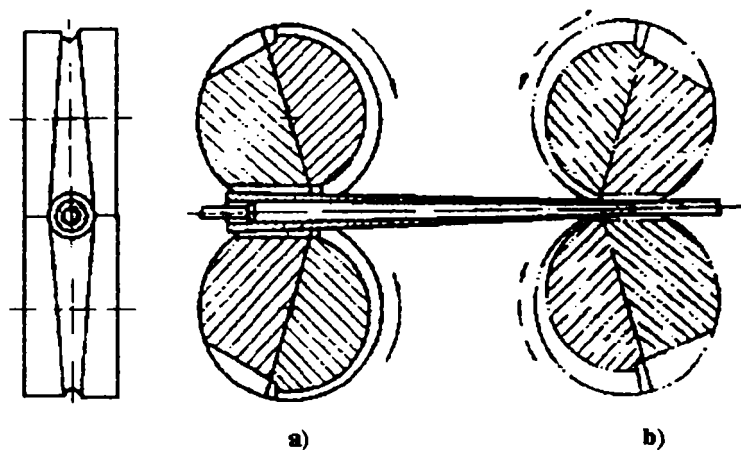


Fig.2.13 Schema procesului laminării la laminorul Rockright:
 a-poziția calibrului înainte de cursa de lucru a cajei (înainte); calibrul este deschis, are loc introducerea semifabricatului (țevii); b-poziția calibrului înainte de cursa în gol (înapoi); calibrul este deschis, are loc rotirea țevii și a dornului.

Barele conice astfel obținute devin semifabricate pentru arcuri.

Procedeul descris prezintă avantajul unui fibraj continuu al sârmei, suprafață netedă, fără amorse de ruptură; stratul modificat termic datorită încălzirii sârmei este îndepărtat prin așchiere.

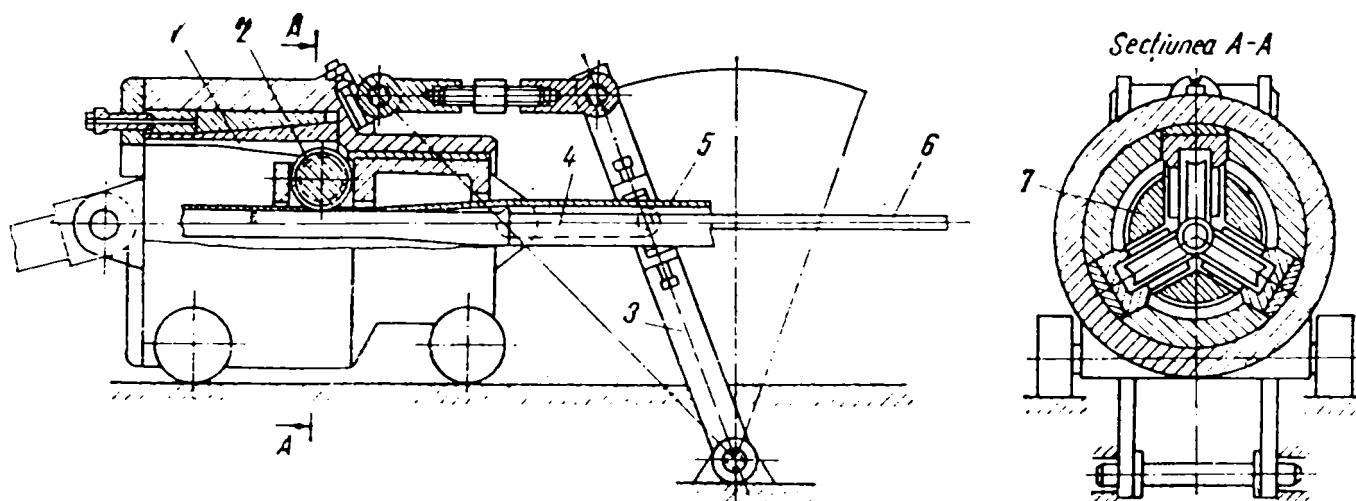


Fig.2.14 Procesul de laminare la rece a țevilor pe laminoare cu role (HPTR):

1-căile de rulare a rolor; 2- role de lucru; 3-pârghii; 4-articulația port-dornului; 5-țeava; 6-dorn; 7-armătura pentru rigidizarea rolor.

Din itinerarul tehnologic propus, se poate elimina faza de încălzire în cazul reducerilor mici ale diametrului sârmei, deci deformări plastice reduse; stratul superficial puternic ecruisat este îndepărtat de același tren de cuțite în vârtej.

O variantă a metodei menționate poate fi cea la care rolele au axa înclinată față de direcția de avans a sârmei; în acest caz rolele dau și mișcarea de avans a semifabricatului.

În țară nu există deocamdată mașini de laminat sârmă cu secțiune variabilă. Se cunoaște existența unor astfel de laminoare la firmele germane "AHLE", "BRÜNINGHAUS-KRUPP" și la firma franceză "ACIER-ALEVARD".

În vederea asimilării în fabricație a arcului care intră în componența suspensiei spate a automobilelor fabricate la "DAEWOO" CRAIOVA, (arc dublu paraboloidal cu porțiune mediană cilindrică) specialiștii de la S.C. "COMPA" Sibiu au stabilit contacte cu firma "AHLE". În urma delegației la firma germană, referitor la tehnologia de fabricație a arcului, pot fi reținute următoarele concluzii și anume:

1. Sârma de arc se livrează în colaci de diametru foarte mare. Evident, materialul este în stare recoaptă. Pentru realizarea conicității, sârma se laminează la rece, direct din colac. După operația de laminare, sârma conică se prelucrează cu trei cuțite care au mișcare de rotație în jurul barei. Cuțitele îndepărtează stratul ecruisat, decarburat și eventualele urme lăsate de role; ele aduc la precizie dimensiunea barei.

2. Bara finisată se înfășoară la rece pe un dorn dublu paraboloidal compus din "n" felii poziționate pe un ax central; după înfășurare axul central se retrage și feliile de dorn cad printre spirele arcului. Se menționează că pasul arcului se poate realiza fie cu dorn de conducere cu spirală frezată pe circumferință, fie cu rolă de ghidare cu rotație liberă pe ax și mișcare de translație.

3. Arcul înfășurat se așează pe un transportor și intră în cuptorul de călire-revenire.

4. După tratament termic, arcul se comprimă pentru creșterea limitei de elasticitate (forțarea arcului).

5. Arcul se ecruissează prin bombardare cu jet de alicie.

6. Vopsirea arcului cu pulberi metalice se face pentru a-i asigura protecția anticorozivă.

7. Sortarea arcurilor în două grupe după câmpul de toleranță la înălțimea arcului în stare liberă (câmpul de toleranță de 10 mm se împarte în două câmpuri de câte 5 mm).

Datorită dificultăților tehnice, până în prezent în țară nu s-a asimilat în fabricație acest tip de arc.

Arcurile elicoidale cilindrice se fabrică cu diametrul exterior constant, deoarece astfel se evită posibilitatea deformării arcului după înfășurare, când se transportă în stare caldă. Un diametru exterior constant oferă posibilitatea utilizării unor prisme de așezare care permit un transport automat fără deformarea arcului.



Semifabricatul se înfășoară în jurul unui dorn. O rolă de ghidare execută pasul dorit. În cazul utilizării sârmelor dublu conice și înfășurării arcurilor cu diametrul exterior constant se utilizează pentru înfășurare dornuri dublu conice secționate. Dacă aceste dornuri devin prea lungi, sau diferența diametrelor sârmei de arc este prea mare, se trece la înfășurarea arcurilor cu diametrul interior constant. Un astfel de arc are nevoie de dispozitivări speciale pentru a-și păstra forma.

Capetele arcului pot fi rectificat plan sau lăsate la diametrul existent al sârmei de arc. Spira de capăt poate fi închisă sau deschisă.

e) Laminarea periodică longitudinală

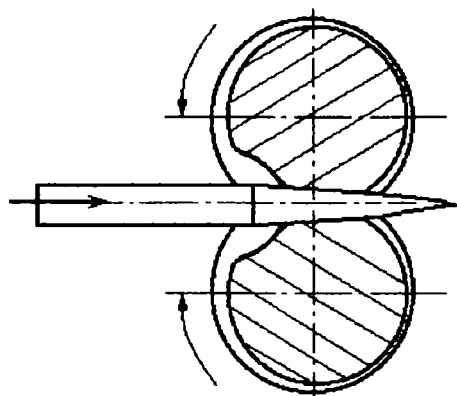
Laminarea periodică longitudinală reprezintă procedeul prin care se obțin laminate cu profil periodic, în scopul apropierii semifabricatului de forma și dimensiunile piesei finite.

Sunt cunoscute trei procedee principale de obținere a profilelor periodice prin laminare longitudinală.

e₁) Laminarea între cilindri, poziția paralelă a axelor lor rămâne neschimbată în procesul de prelucrare a materialului. În acest caz, cilindri se prevăd cu calibre, ale căror formă și secțiune variază pe lungimea lor. Diametrul cilindrilor este astfel ales, încât lungimea circumferinței să fie un multiplu al lungimii semifabricatului care trebuie obținut. În cazul laminării sârmei conice la o singură extremitate, diametrul cilindrilor se corelează cu lungimea porțiunii de sârmă cu secțiune variabilă; pentru

obținerea sârmei cu ambele extremități de secțiune variabilă, se poate utiliza același cilindru, cu două treceri ale sârmei, sau un cilindru de diametru mai mare.

Calibrele care se prevăd pe suprafața cilindrilor se execută sub formă de cavități toroidale închise. Astfel, în timpul rotirii, spațiul dintre cilindri formează un calibrul variabil, ca formă și secțiune, în care se produce laminarea (fig.2.15).



Dacă lungimea produselor este mai mare decât lungimea circumferinței cilindrilor, atunci calibrul, variabil ca formă și secțiune, se strunjește după o elice, a cărei lungime se alege astfel încât să fie un multiplu al lungimii semifabricatului.

F g.2.15

e₂) Laminarea între doi cilindri, poziția paralelă a axelor lor variază în procesul de prelucrare a materialului. În acest caz, calibrele, de formă și secțiune variabilă, se execută cu degajări toroidale, care nu depind de lungimea semifabricatelor laminate. Prin variația distanței dintre axe, se modifică și jocul dintre cilindri, ceea ce provoacă, la rândul său, o alungire diferită a semifabricatului care se laminează.

La realizarea acestui proces este deosebit de important să se asigure un raport constant între viteza periferică a cilindrilor și viteza deplasării lor verticale, deoarece numai astfel este posibilă obținerea unui profil periodic de lungime exactă.

e₃) Laminarea cu deplasarea materialului în pas invers, la care materialul prelucrat se introduce între cilindri, în sens invers sensului de rotire a cilindrilor. În acest caz, cilindrii se prevăd, de asemenea, cu calibre inelare periodice.

Din cele trei procedee de laminare periodică enumerate, cea mai largă aplicare o are primul, când poziția paralelă a axelor cilindrilor rămâne constantă în timpul laminării.

Bara cilindrică cu secțiune variabilă se încadrează în clasa “profil cu perioadă bilaterală simultană fără lățire și fără bavuri”. Aceste profile au, de obicei, raportul dintre secțiunea maximă și minimă cuprins în domeniul 1,7-2,2.

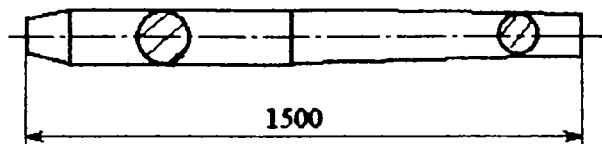
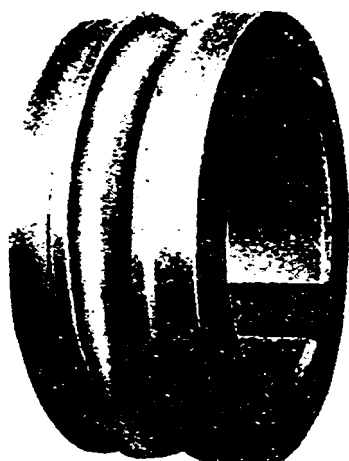


Fig.2.16

figura 2.16, denumit “con alungit”, fabricat prin primul procedeu.

Prelucrarea calibrelor pentru laminarea unor profile periodice, de formă nu prea complicată, cum ar fi bara cilindrică de secțiune variabilă, se face prin strunjirea sau frezarea unor cilindri cu suprafață cilindrică netedă.



A p... o ț...
calibrelor periodice este prelucrarea lor pe inele asamblate; acest procedeu simplifică tehnologia de fabricație și asigură o mare precizie a dimensiunilor acestuia. În caz de uzură prematură sau avariere, procedeul prezintă avantajul înlocuirii doar a perechii respective de inele.

Fig. 2.17

Laminarea periodică longitudinală, față de laminarea specializată a sârmei de secțiune variabilă, prezintă avantajul utilizării mașinilor existente, dar și dezavantajul costului ridicat al cilindrilor, al unei productivități inferioare și consum mare de energie datorită procedurii în sine.

Semifabricatele se încălzesc anterior operației de laminare; după laminare, acestea trebuie finisate prin așchiere, pentru îndepărtarea eventualelor bavuri, a stratului ecrusat și decarburat și pentru aducerea lor la cota finală.

3. BAZELE TEORETICE ALE CONSTRUCȚIEI ȘI FUNCȚIONĂRII ARCURILOR ELICOIDALE CU GEOMETRIE VARIABILĂ

3.1 Rigiditatea principalelor tipuri de arcuri profilate

Arcurile profilate din sârmă cu diametrul constant analizate în cele ce urmează sunt:

- arcurile paraboloidale;
- arcurile conice cu pas constant;
- arcurile conice cu unghi de pantă constant.

Proiecția în plan a axei spirelor are forma unei spirale arhimedice pentru primele două și a unei spirale logaritmice pentru ultimul arc.

Pentru arcurile a căror proiecție are forma unei spirale arhimedice [P₃]:

$$r = r_1 + t\varphi$$

$$\text{în care } t = \frac{r_2 - r_1}{2\pi n}$$

Semnificațiile notațiilor din relațiile anterioare sunt conform figurilor 2.3 și 2.4; n reprezintă numărul de spire.

În acest caz, presupunând că spirele nu au început încă să se așeze (adică $F \leq F_{ia}$), rezultă:

$$f_{arth} = \int_0^l \frac{M\bar{m}}{GI_p} dl = \int_{r_1}^{r_2} \frac{Fr^3 dr}{tGI_p} = \frac{F(r_2^4 - r_1^4)}{4tGI_p} \quad (3.1)$$

sau, înlocuind pe t cu valoarea lui, se obține:

$$f_{\text{arh}} = \frac{\pi F n (r_2 + r_1) (r_2^2 + r_1^2)}{2 G I_p} \quad (3.2)$$

$-f_{\text{arh}}$ este săgeata arcului a cărei proiecție în plan este o spirală arhimedică.

Pentru arcurile a căror proiecție în plan are forma unei spirale logaritmice:

$$r = r_1 e^{m\varphi} \quad \text{se obține:} \quad d\varphi = \frac{dr}{m r_1 e^{m\varphi}} = \frac{dr}{m r} \quad (3.3)$$

$$\text{în care:} \quad m = \frac{1}{2\pi n} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (3.4)$$

(semnificațiile notațiilor din relațiile anterioare sunt conform figurii 2.2.)
de unde, în cazul când $F \leq F_{\text{ia}}$

$$f_{\text{log}} = \int_0^l \frac{M \bar{m}}{G I_p} dl = \int_{r_1}^{r_2} \frac{F r^2 dr}{m G I_p} = \frac{F (r_2^3 - r_1^3)}{3 m G I_p} \quad (3.5)$$

$-f_{\text{log}}$ este săgeata arcului a cărei proiecție în plan este o spirală logaritmică..

În integrala Mohr din relațiile 3.1 și 3.5 se înlocuiesc prin: $\bar{m} = \bar{l} r$ momentul de torsiune al sarcinii unitare; $l = 2\pi n / \cos \alpha \cong 2\pi n$ lungimea barei din care se formează cele n spire active ale arcului; $M = Fr$.

Pentru valori ale sarcinii $F \leq F_{\text{ia}}$, adică înainte de așezarea spirelor, arcurile profilate au o caracteristică liniară independent de faptul că secțiunea sârmei este constantă sau variabilă. Energia potențială W acumulată de aceste arcuri, în timpul deformării, pentru sarcini $F \leq F_{\text{ia}}$ este:

$$W = \frac{F f}{2} \quad (3.6)$$

Pentru $F \geq F_{\text{ia}}$ toate arcurile considerate au o caracteristică neliniară cu rigiditate monoton crescătoare, iar relațiile anterior deduse nu pot fi aplicate.

3.2 Teoria așezării spirelor arcurilor elicoidale de compresiune

3.2.1 Arcuri profilate din sârmă de secțiune constantă

La arcurile de compresiune cilindrice cu un unghi de pantă α , strict constant, spirele vin concomitent în contact, în momentul blocării arcului. Un asemenea arc are o caracteristică liniară.

În general, spirele arcurilor profilate se așează treptat în contact reciproc sau pe suprafața de reazem și caracteristica unui asemenea arc devine neliniară din momentul începerii așezării spirelor. Teoria generală de calcul a arcurilor profilate din sârmă de secțiune constantă și unghi de pantă mic este prezentată amănunțit în [P₃].

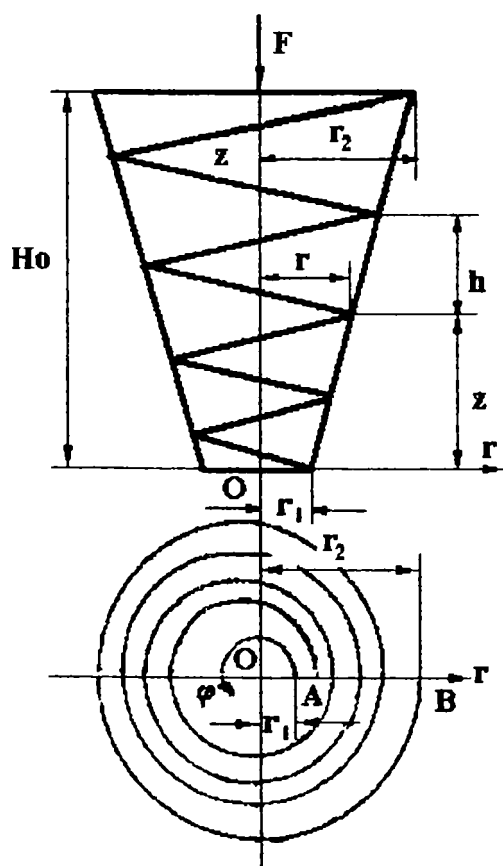


Fig.3.1

În consecință, procesul de deformare al spirelor respective se termină în momentul așezării lor.

Forma spiralei din plan va fi dată de ecuația:

Sunt identificate următoarele ipoteze:
 1. Raza de curbură a spiralei din plan este egală cu raza de curbură a spirelor și că deplasările radiale ale punctelor de pe axa spirelor din timpul comprimării arcului pot fi neglijate, adică se consideră că elementele arcului se deplasează numai în lungul axei sale.

Aceste ipoteze sunt echivalente cu presupunerea că forma spiralei în plan nu se modifică în timpul comprimării arcului.

Se acceptă de asemenea că spirele care au venit în contact cu suprafața de reazem sau cu spirele vecine ale arcului sunt îndedicate a se deforma în timpul încărcării ulterioare.

$$r=r(\varphi) \quad (3.7)$$

valabilă în orice moment al încărcării, iar:

$$r \in [r_1, r_2] \quad (3.8)$$

Ecuția secțiunii meridiane sau a suprafeței directoare a arcului profilat în timpul încărcării, se determină cu funcția:

$$z=z(r) \quad (3.9)$$

care depinde de valoarea sarcinii axiale.

În particular, forma arcului neîncărcat este dată de ecuația:

$$z_0=z_0(r). \quad (3.10)$$

În sistemul de coordonate cilindrice, coordonata z se măsoară de la planul spirei de reazem cu raza minimă r_1 (fig. 3.1).

Unghiul polar φ se măsoară de asemenea de la această rază. Limitele de variație ale unghiului polar sunt: $\varphi \in [0, 2\pi n]$. Coordonata z_0 poate varia între 0 și înălțimea liberă a arcului H_0 : $z_0 \in [0, H_0]$.

În cele ce urmează se acceptă următoarele notații:

- f_{ia} pentru săgeata corespunzătoare începerii așezării spirelor la sarcina F_{ia} ;
- f_{sa} pentru săgeata corespunzătoare așezării tuturor spirelor la sarcina F_{sa} .

Raza r_{cont} a spirei la care are loc așezarea, depinde evident de valoarea sarcinii:

$$r_{cont}=f(F) \quad (3.11)$$

Se întâlnesc următoarele cazuri principale de contact a spirelor:

1. Procesul monoton direct, când așezarea spirelor începe de la raza maximă, după care urmează așezarea tuturor spirelor până la cea cu rază minimă (pentru $F=F_{ia}$; $r_{cont}=r_2$; pentru $F=F_{sa}$, $r_{cont}=r_1$).

2. Procesul monoton invers, când așezarea spirelor începe de la raza minimă și apoi se propagă treptat la toate spirele, până la cea cu rază maximă (pentru $F=F_{ia}$, $r_{cont}=r_1$ și pentru $F=F_{sa}$, $r_{cont}=r_2$).

Ambele procese sunt posibile, totuși primul se întâlnește în cele mai multe cazuri practice.

Între altele, procesul monoton direct se observă la arcurile conice și paraboloidale, a căror proiecție în plan are forma unei spirale arhimedice.

Pentru $r_2-r_1 > nd$, unde d reprezintă diametrul sârmei, spirele, începând cu cea mai mare, vin în contact treptat cu suprafața de rezemare iar pentru $r_2-r_1 < nd$ spirele vin în contact reciproc. Procesul invers este posibil numai în cazul când spirele cu rază mică au un unghi de pantă deosebit de mic; numai într-un asemenea caz aceste spire se așează primele.

Este de asemenea posibilă apariția unor procese nemonotone, de exemplu cazurile când mai întâi se așează spirele intermediare și apoi cele extreme. Astfel se comportă de exemplu unele tipuri de arcuri conice cu unghi de pantă constant al spirelor, a căror proiecție în plan are forma unei spirale logaritmice.

În cazul procesului monoton direct, dacă pasul p al spiralei din plan este în toate secțiunile mai mare decât diametrul d al sârmei:

$p=r(\varphi+2\pi)-r(\varphi) > d$, atunci este posibilă așezarea spirelor pe suprafața de reazem sub forma oricărei suprafețe de rotație, coaxiale cu arcul.

În cazul în care $p < d$, nu se realizează aplatizarea arcului.

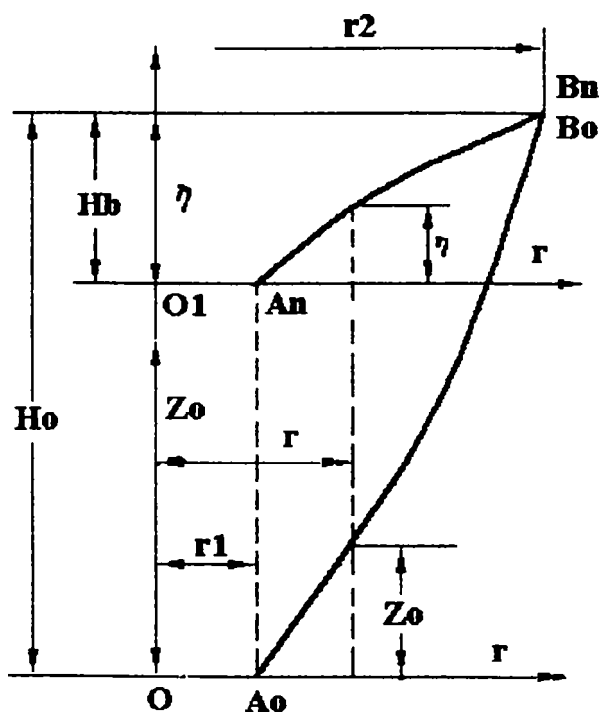


Fig.3.2

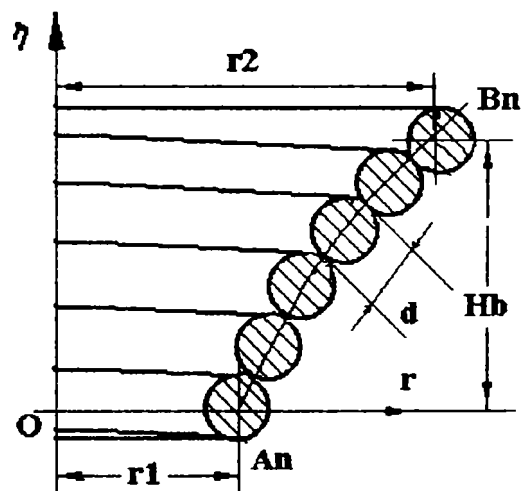


Fig. 3.3

Generatoarea $A_n B_n$ (fig.3.2) a suprafeței de așezare a unui arc profilat se reprezintă prin ecuația:

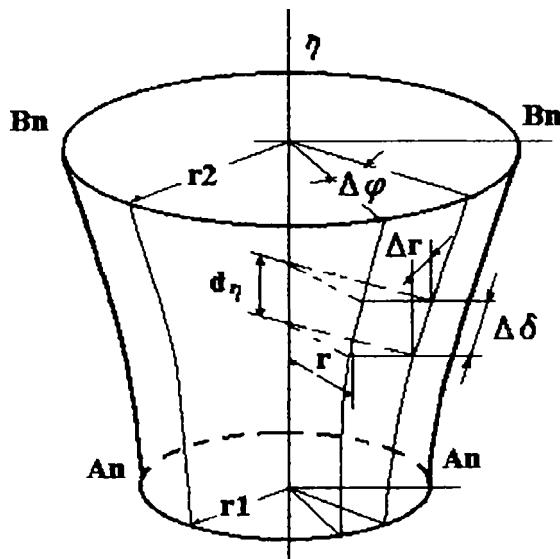
$$\eta = \eta(r) \quad (3.12)$$

considerând în cazul procesului monoton direct, drept origine a ordonatelor, punctul O_1 . În acest caz sunt valabile relațiile:

$$\eta(r_1) = 0; \quad \eta(r_2) = H_b; \quad (3.13)$$

unde H_b este înălțimea arcului profilat în stare blocată. În cazul așezării spirelor în contact reciproc, drept curba $\eta(r)$ trebuie considerată

generatoarea arcului profilat comprimat la maximum, adică curba $A_n B_n$ din figura 3.3.



În acest caz expresia analitică a funcției $\eta(r)$ poate fi stabilită pe baza următoarelor considerații: în cazul creșterii unghiului polar φ cu o cantitate infinit de mică $\Delta\varphi$, axa spirei care se așază se deplasează în lungul generatoarei suprafeței de așezare cu distanța (fig. 3.4):

Fig. 3.4

$$\Delta\delta = \frac{d}{2\pi} \Delta\varphi \quad (3.14)$$

în care d este diametrul sârmei.

Unei creșteri $\Delta\delta$ a arcului de curbă îi corespunde o deplasare în lungul axei η :

$$\Delta\eta = \sqrt{(\Delta\delta)^2 - (\Delta r)^2} = \Delta r \sqrt{\left(\frac{d}{2\pi}\right)^2 \left(\frac{\Delta\varphi}{\Delta r}\right)^2 - 1} \quad (3.15)$$

În acest caz:

$$\eta(r) = \int_{r_1}^{r_2} \Delta r \sqrt{\left(\frac{d}{2\pi}\right)^2 \left(\frac{\Delta\varphi}{\Delta r}\right)^2 - 1} \quad (3.16a)$$

Derivata $\frac{\Delta\varphi}{\Delta r}$, factor în ecuația (3.16a), este determinată de forma spiralei din plan. Pentru un arc cilindric cu pas neuniform funcția η trebuie scrisă în funcție de unghiul polar φ și de pasul arcului complet comprimat, egal cu diametrul sârmei. În acest caz:

$$\eta = \frac{d}{2\pi} \varphi \quad (3.16b)$$

În sfârșit, pentru un arc profilat la care $p > d$ este posibil ca spirele să se așeze pe suprafața de rezemare. În acest caz:

$$\eta = 0 \quad (3.17)$$

Se consideră un element infinitesimal oarecare ds al spirei unui arc profilat. Ținând seama de valoarea mică a unghiului de pantă a spirelor și de creșterea relativ lentă a razei spiralei care reprezintă proiecția arcului, se consideră că:

$$ds = r d\varphi \quad (3.18)$$

În cazul încărcării arcului cu o forță oarecare F , unghiul de pantă inițial α_0 al elementului ds al spirei se micșorează cu cantitatea $\Delta\alpha$:

$$\Delta\alpha = \frac{df}{ds} = \frac{1}{r} \frac{df}{d\varphi} \quad (3.19)$$

în care df este partea din deplasarea axială f a capetelor arcului datorită deformării elementului considerat al spirei.

Deplasarea axială f a capetelor arcului poate fi exprimată prin relația:

$$f = \frac{D_0 l_0}{2} \Delta k \quad (3.20)$$

unde D_0 reprezintă diametrul inițial al cilindrului generator;

l_0 - lungimea inițială a axei părții utile a barei elicoidale;

Δk - variația torsiunii, care în funcție de momentul de torsiune M_t , se exprimă prin dependența:

$$\Delta k = k - k_0 = \frac{M_t}{GI_p} \quad (3.21)$$

Derivând relația (3.20) se obține:

$$\frac{df}{d\varphi} = \frac{Fr^3}{GI_p} \quad (3.22) \quad \text{și ca urmare:} \quad \Delta\alpha = \frac{Fr^2}{GI_p} \quad (3.23)$$

Prin introducerea funcției auxiliare:

$$\xi(r) = \frac{r^3}{GI_p} \frac{d\varphi}{dr} \quad (3.24)$$

săgeata elementară df poate fi exprimată ca fiind:

$$df = F \xi(r) dr \quad (3.25)$$

Se consideră că o dată cu creșterea valorii $\frac{1}{\xi(r)}$ (inversa funcției auxiliare), pentru o valoare dată a razei r , săgeata elementară df scade. Se poate afirma deci că respectiva valoare caracterizează rigiditatea porțiunii ds a spirei, aflată la o distanță egală cu raza r .

Unghiul inițial de pantă al spirelor α_0 poate fi exprimat din ecuația secțiunii meridiane a suprafeței directoare a arcului neîncărcat $z_0(r)$, în modul următor:

$$\alpha_0 = \frac{dz_0}{ds} = \frac{dz_0}{dr} \frac{1}{r} \frac{dr}{d\varphi} \quad (3.26)$$

Eliminând între relațiile (3.24) și (3.26) derivata $\frac{dr}{d\varphi}$ se obține:

$$\alpha_0 = \frac{1}{\xi(r)} \frac{r^2}{GI_p} \frac{dz_0}{dr} \quad (3.27)$$

Unghiul de pantă al aceluiași element al spirei în cazul când acesta coincide cu suprafața de așezare este:

$$\alpha_n = \frac{d\eta}{ds} = \frac{dr}{rd\varphi} \frac{d\eta}{dr} = \frac{1}{\xi(r)} \frac{r^2}{GI_p} \frac{d\eta}{dr} \quad (3.28)$$

Pe de altă parte, în cazul așezării:

$$\alpha_n = \alpha_0 - \Delta\alpha \quad (3.29)$$

Prin urmare, conform expresiilor (3.6), (3.10) și (3.11), pentru $r=r_{\text{cont}}$, este valabilă relația:

$$\left[\frac{1}{\xi(r)} \frac{d(z_0 - r_i)}{dr} \right]_{r=r_{\text{cont}}} = F \quad (3.30)$$

în cazul când $F \in [F_{\text{ia}}; F_{\text{sa}}]$

Se consideră funcția ajutătoare:

$$\zeta(r) = z_0(r) - \eta(r), \quad (3.31)$$

denumită și “funcția de așezare” deoarece ia valori particulare. (Funcția $\zeta(r)$ variază între $\zeta(r_1) = 0$ și $\zeta(r_2) = H_0 - H_b$).

Prin intermediul funcției de așezare (3.31), relația (3.30) ia forma:

$$F = \frac{1}{\xi(r_{\text{cont}})} \left(\frac{d\zeta}{dr} \right)_{r=r_{\text{cont}}} \quad (3.32)$$

Expresia (3.32) este ecuația de bază a așezării spirelor. Ea stabilește relația dintre forța F și raza de contact r_{cont} la care, în momentul respectiv, are loc așezarea spirelor.

Din definiția procesului monoton direct de așezare a spirelor rezultă că $F_{\text{ia}} = F(r_2)$, iar $F_{\text{sa}} = F(r_1)$, în care funcția $F(r)$ este dată de relația (3.32).

În cazul creșterii treptate a sarcinii ($dF > 0$) distanța de la axa arcului până la locul de contact (raza de contact) scade și de aceea caracterul monoton al procesului direct de așezare a spirelor este determinat de condiția:

$$\frac{dF}{dr} = \frac{d}{dr} \left[\frac{1}{\xi(r)} \frac{d\zeta}{dr} \right] < 0 \quad (3.33)$$

În conformitate cu figura 3.2:

$$\left(\frac{d\zeta}{dr} \right)_{r=r_{cont}} = \left[\frac{d(z_0 - \eta)}{dr} \right]_{r=r_2} \geq 0 \quad (3.34)$$

Numai în cazul respectării condițiilor (3.33) și (3.34), stabilite din considerații pur geometrice, este posibil procesul monoton direct de așezare a spirelor.

3.2.2 Arcuri profilate din sârmă de secțiune variabilă

În cele ce urmează se analizează procesul de așezare a spirelor arcurilor elicoidale de compresiune produse de firma germană "AHLE" și prezentate în paragraful 2.3.3. La aceste arcuri atât diametrul sârmei cât și diametrul mediu al spirelor sunt variabile.

Arcul din figura 2.6 este cilindric elicoidal cu diametrul exterior D_e constant și este virtual compus dintr-un grup serie format dintr-un arc median cu diametrul sârmei constant și două arcuri extreme cu diametrul sârmei variabil. La aplicarea sarcinii, spirele corespunzătoare caracteristicii progresive se așează continuu în contact reciproc începând de la cele extreme cu D_{\max} și d_{\min} , care sunt cele mai puțin rigide și deci are loc un proces monoton direct de așezare a spirelor.

Datorită dezavantajelor pe care le prezintă acest tip de arc (suprapunerea spirelor progresive duce la apariția zgomotelor și aplatizarea sârmei de arc pe linia de contact a spirelor), s-a trecut la fabricarea *arcurilor profilate din sârmă cu diametrul variabil*.

Arcul din figura 2.7 a este un grup serie compus din două arcuri paraboloidale; diametrul sârmei variază de la d_{\max} la mijlocul sârmei la d_{\min} la extremități. La fiecare capăt există un taler cu diametrul $D_T < D_e = 2r_{\min}$. La aplicarea sarcinii, toate spirele unei jumătăți de arc se așează una în alta

sub forma unei spirale plane, începând de la cea mai mică rază a spirei, deci are loc un proces monoton invers. Se consideră că spirele care vin în contact cu suprafața de reazem a talerului își pierd complet proprietatea de a se deforma în timpul încărcării ulterioare.

Dacă la același tip de arc se montează la unul din capete un taler mare iar la celălalt capăt un taler mic (vezi fig. 2.7 b), în jumătatea arcului prevăzută cu taler mare va avea loc același proces monoton invers.

Dacă arcului discutat i se montează la ambele capete talere mici (vezi fig. 2.7 c), caracteristica arcului va deveni liniară.

Arcul din figura 2.8 poate fi considerat virtual un grup serie compus dintr-un arc median elicoidal cilindric cu diametrul sârmei $d = \text{const.}$ și două arcuri paraboloidale extreme cu $d \neq \text{const.}$ La aplicarea sarcinii, spirele aferente porțiunii progresive a caracteristicii se așează una în alta începând de la spira cu diametrul cel mai mic, pe ambele talere, deci are loc același proces monoton invers. Sunt cunoscute și variantele constructive cu talere de diametru mic sau combinații ca la arcul din figura 2.7 b,c.

Pentru arcul conic din figura 2.9 a și b, procesul de așezare a spirelor este impus de diametrul talerului corespunzător spirei de rază minimă.

Astfel, la forma A corespunzătoare talerului de diametru mare, la aplicarea sarcinii, spirele se vor așeza una în alta sub formă de spirală începând de la spira de rază minimă, deci are loc procesul monoton invers.

La forma B corespunzătoare talerului de diametru mic, așezarea spirelor începe de la cea cu raza cea mai mare, procesul de așezare fiind monoton direct.

Spirele progresive ale arcului din figura 2.10 se așează conform procesului monoton direct, începând de la cea cu raza maximă.

3.2.3 Concluzii

Pentru studiul procesului de așezare a spirelor, la aceste arcuri profilate se introduce noțiunea de “rigiditate medie a spirei”. Astfel, formula generală a rigidității unui arc elicoidal din sârmă cu diametrul constant:

$$K = \frac{Gd^4}{8D_m^3n}, \quad (3.35)$$

după înlocuirea numărului de spire cu unitatea ($n=1$) și constantei $G/8$ prin A , poate fi adusă la forma:

$$K_m = A \frac{d_{mx}^4}{D_{mx}^3} \quad (3.36)$$

care exprimă rigiditatea medie a unei spire. În relația (3.36) d_{mx} este diametrul mediu al sârmei din care se confecționează spira, iar D_{mx} reprezintă diametrul mediu al spirei respective.

Pentru arcurile descrise anterior care au la capete talere de diametru mic ($D_T = D_i + 2d_{min}$), așezarea spirelor are loc după *procesul monoton direct* (se așează prima spira de rază mare).

Arcurile cu talere de diametru mare ($D_T < D_e = 2r_{cmin}$), se supun *procesului monoton invers* (se așează prima spira de rază mică).

Stabilirea tipului de proces de așezare a spirelor este importantă la calculul diametrului minim al sârmei *arcului profilat*.

Astfel, la procesul monoton direct, când se așează prima spira de diametru maxim D_{mmax} și diametrul sârmei maxim d_{max} , diametrul minim al sârmei d_{min} se calculează cu F_{sa} , adică forța de sfârșit de așezare a spirelor (vezi fig.2.5).

La procesul monoton invers, când se așează prima spira de diametru minim D_{mmin} și diametrul sârmei minim d_{min} , d_{min} se calculează cu F_{ia} , adică forța de început de așezare a spirelor (aceeași fig.2.5).

Diametrul maxim al sârmei d_{max} se calculează cu F_{max} .

În cazul în care d_{min} se calculează cu F_{ia} , raportul d_{max}/d_{min} este mai mare decât pentru d_{min} calculat cu F_{sa} , deoarece în primul caz d_{min} rezultă mai mic. Această concluzie este confirmată în [1p]: arcul conic din figura 2.9 a, la care așezarea spirelor are loc conform procesului monoton invers și deci d_{min} se calculează cu F_{ia} , are raportul d_{max}/d_{min} mai mare decât arcul din figura 2.9 b, la care blocarea spirelor corespunde procesului monoton direct și deci d_{min} se determină cu F_{sa} .

Spirele *arcului elicoidal cilindric* cu diametrul exterior constant (fig.2.6) se așează începând cu spira cu D_{mmax} și d_{min} , deci are loc un *proces monoton direct*, iar d_{min} se calculează cu F_{ia} .

3.3 Sollicitările arcurilor elicoidale de compresiune cu caracteristică progresivă și cu diametrul sârmei variabil

În cazul încărcării unui arc elicoidal cilindric cu o forță axială centrică F și un cuplu T (ambele încărcări fiind normale pe planul suprafețelor frontale ale arcului), spirele sunt sollicitate concomitent la răsucire și forfecare, încovoiere și întindere (sau compresiune), comorm figuri 3.5.

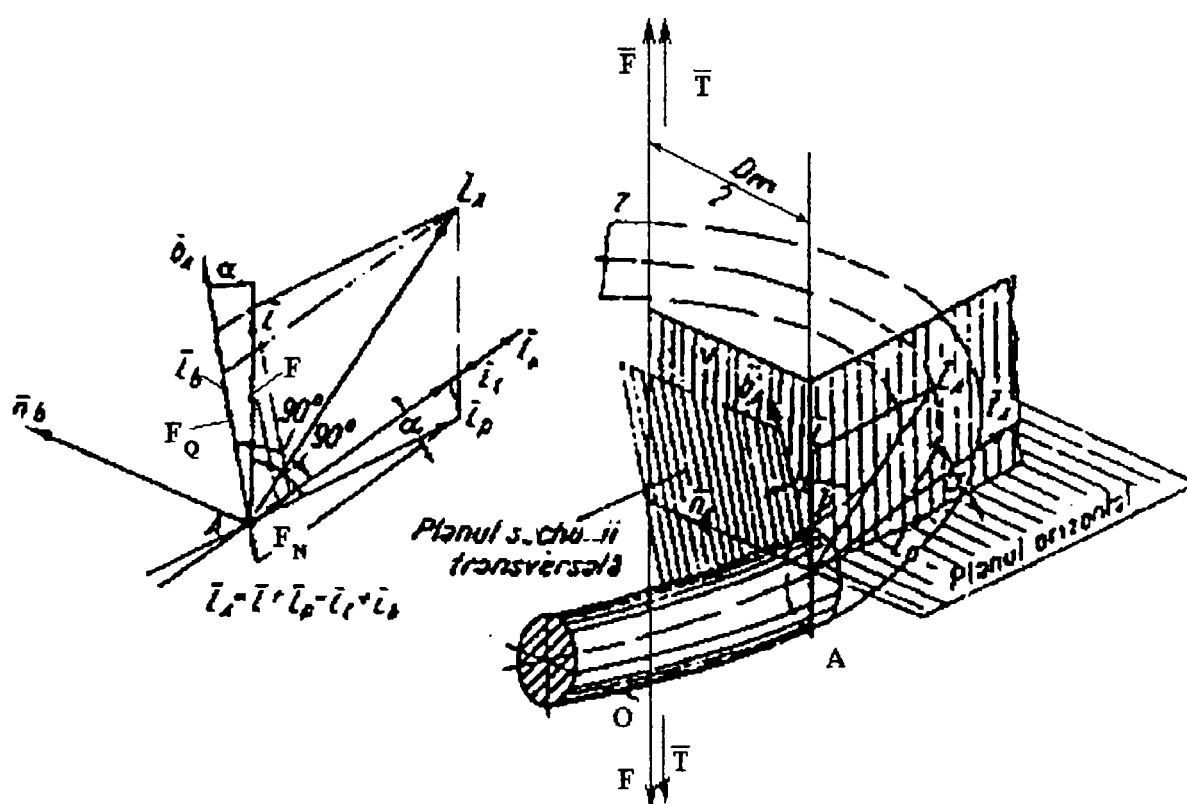


Fig. 3.5

Starea generală de tensiune care apare în secțiunea spirei unui arc profilat din sârmă de secțiune variabilă a fost analizată în $[M_2]$.

Conform convențiilor din rezistența materialelor și neglijând curbura spirelor arcului, prin metoda eforturilor rezultă tensiunile normale și tangențiale dintr-o secțiune transversală a spirei:

$$\sigma_{\max_x} = \sigma_{ix} + \sigma_{tx} = \frac{M_i}{W_{zx}} + \frac{F_N}{A_x} \quad (3.37a)$$

$$\tau_{\max_x} = \tau_{tx} + \tau_{fx} = \frac{M_t}{W_{px}} + K_A \frac{F_Q}{A_x} \quad (3.37b)$$

unde:

$$M_i = T \cos \alpha - \frac{FD_m}{2} \sin \alpha \quad (3.38a)$$

$$M_t = T \sin \alpha + \frac{FD_m}{2} \cos \alpha \quad (3.38b)$$

sunt momentele de încovoiere respectiv torsiune și:

$$F_N = F \sin \alpha \quad (3.39a); \quad F_Q = F \cos \alpha \quad (3.39b)$$

reprezintă forța normală respectiv tăietoare.

Mărimea K_A din relația (3.37b) este coeficientul de formă al secțiunii transversale a spirei (în cazul secțiunii circulare $K_A=1,3$).

Ținând cont de legea de variație a diametrului barei, următoarele mărimi geometrice suferă modificări importante:

$$A_x = \frac{\pi d_x^2}{4} = A \left(\frac{l_x}{l_1} \right)^{\frac{2}{q}} \quad (3.40a)$$

$$\frac{W_{zx}}{2} = W_{px} = \frac{\pi d_x^3}{16} = W_p \left(\frac{l_x}{l_1} \right)^{\frac{3}{q}} \quad (3.40b)$$

unde mărimile d_x , l_x , l_1 rezultă din figura 3.9.

Înlocuind expresiile (3.40a și b) în relațiile (3.37a și b) pentru cazul $q \neq 1$ (variație oarecare a diametrului d_x) rezultă:

$$\sigma_{\max_x} = \frac{M_i}{W_z} \left(\frac{l_1}{l_x} \right)^{\frac{3}{q}} + \frac{F_N}{A} \left(\frac{l_1}{l_x} \right)^{\frac{2}{q}} \quad (3.41a)$$

$$\tau_{\max_x} = \frac{M_t}{W_p} \left(\frac{l_1}{l_x} \right)^{\frac{3}{q}} + K_A \frac{F_Q}{A} \left(\frac{l_1}{l_x} \right)^{\frac{2}{q}} \quad (3.41b)$$

unde secțiunea $A = \frac{\pi d^2}{4}$ și modulele de rezistență $\frac{W_z}{2} = W_p = \frac{\pi d^3}{16}$ s-au raportat la diametrul maxim d .

Întrucât multiplicatorul $\frac{l_1}{l_x} \geq 1$, tensiunile σ_{\max_x} și τ_{\max_x} au valori superioare celor determinate pentru cazul când $d = \text{const}$ și $D_m = \text{const}$. (arcul elicoidal cilindric echivalent cu rigiditate constantă).

Tensiunile variază pe lungimea barei după o lege parabolică invers proporțională cu secțiunea.

Aspectul precedent implică protecția spirelor cu $d_x \neq \text{const.}$, astfel ca acestea să intre la blocare conservând condiția $\sigma_{\max_x} \leq \sigma_a$ și $\tau_{\max_x} \leq \tau_a$.

Cum unghiul de pantă al elicei α are valori reduse ($\alpha = 4 \dots 9^\circ$) se acceptă aproximarea limită $\sin \alpha \approx 0$ și $\cos \alpha \approx 1$. Pe de altă parte, arcurile elicoidale cilindrice (fig.2.6) sunt solicitate preferențial la compresiune ($T=0$).

În aceste condiții relațiile (3.40a și b) se reduc la forma particulară:

$$\sigma_{\max_x} = 0; \quad \tau_{\max_x} = \frac{4FK_A}{\pi d^2} \left(\frac{l_1}{l_x} \right)^{\frac{2}{q}} \left[1 + \frac{2i \left(\frac{l_1}{l_x} \right)^{\frac{1}{q}}}{K_A} \right] \quad (3.42)$$

care evidențiază că ponderea tensiunii de torsiune în raport cu cea de

forfecare este de: $\frac{2i \left(\frac{l_1}{l_x} \right)^{\frac{1}{q}}}{K_A}$ (3.43); unde $i = \frac{D_m}{d}$ (3.44)

Pentru construcțiile uzuale cu $i \in [4; 12]$; $\frac{l_1}{l_x} > 0.5$, $q=1$ (variația liniară a diametrului d_x -bară tronconică) ponderea respectivă este cuprinsă în intervalul 3,38...13,53. Deci și la această clasă de arcuri neglijarea tensiunilor de forfecare este pe deplin justificată.

Curbura spirelor elicoidale modifică semnificativ legea de repartire a tensiunilor normale și tangențiale în secțiunile transversale ale barei.

Factorul de corecție $k = \frac{i+0.5}{i-0.75}$ pentru arcurile cilindrice cu D și $d = \text{const.}$

(relația lui Bergsträsser recomandată și de STAS 7047/1-87) nu mai are o

valoare constantă întrucât indicele arcului $i_x = \frac{D_{mx}}{d_x} \neq \text{const.}$ În acest caz,

expresia factorului de corecție devine: $k_x = \frac{i_x + 0.5}{i_x - 0.75}$ și ca urmare

tensiunea efectivă este: $\tau_{ef_x} = k_x \tau_{\max_x}$ (3.45)

Raționamentele anterioare justifică analogia formală de descriere analitică a stării de tensiune în cazul arcurilor cu geometrie variabilă confecționate din sârmă profilată și a celor care prezintă rigiditate constantă. După cum era de așteptat, variația continuă a secțiunii barei influențează semnificativ atât intensitatea tensiunilor maxime cât și repartiția lor pe secțiune.

Concluziile teoretice de mai sus sunt confirmate practic în $[U_1]$, prin analiza variației tensiunilor în arcul elicoidal.

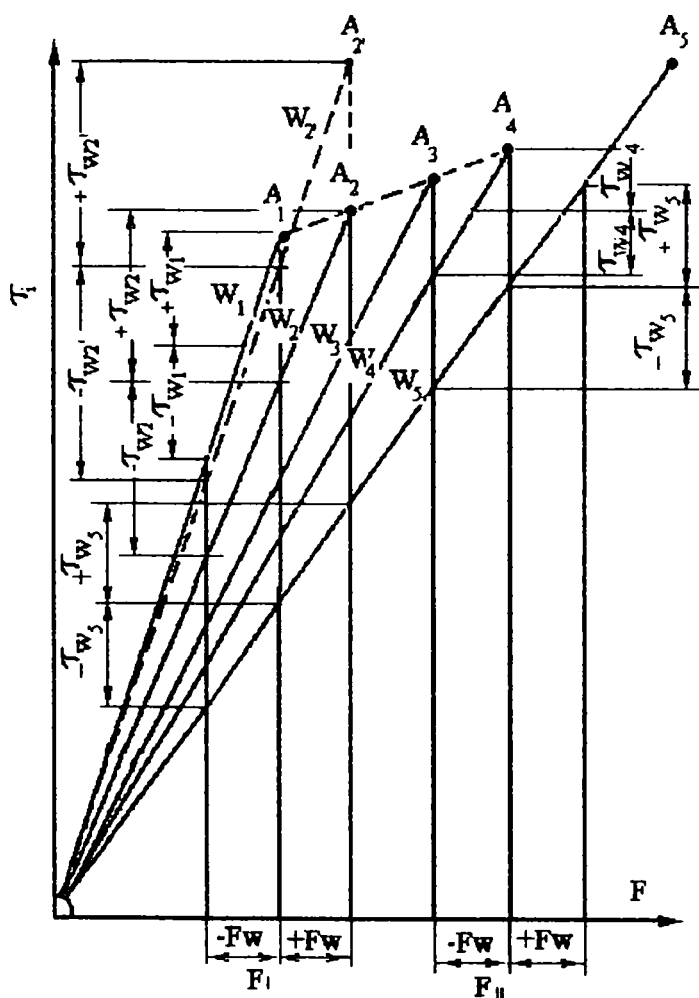


Fig. 3.6

În figura 3.6 este reprezentată tensiunea de torsiune în funcție de sarcina aplicată arcului. Diagrama conține dreptele $W_1 \dots W_5$, care sunt atribuite diferitelor părți de spirală: de exemplu partea de spirală corespunzătoare dreptei W_1 va fi anulată (blocată) în punctul A_1 , iar în A_5 se ajunge la lungimea de blocare a arcului. Dreapta W_5 reprezintă deci variația tensiunii în spirele care se blochează ultimele. Tensiunile corespunzătoare blocării spirelor progresive au fost intenționat alese mai mici decât tensiunea de blocare în punctul A_5 , corespunzător diametrului maxim al sârmei.

S-a procedat astfel ținându-se cont de solicitările alternante care apar în timpul funcționării arcului.

Dacă arcul se încarcă alternativ la $F_I \pm F_w$, în arc apar tensiuni alternative diferite. Astfel apar în segmentul de spirală considerat abateri mari ale tensiunii; acesta se va bloca la $F_I + F_w$, adică la W_2 . Toate celelalte

spire progresive vor avea abateri mici ale tensiunilor, însă tensiunea lor medie este mai mare. Dacă s-ar fi ales pentru spirele progresive aceeași tensiune de blocare ca și pentru W_5 , ar crește substanțial tensiunea alternativă; pentru exemplificare în figura 3.6 se reprezintă dreapta W_2' , care la sarcini alternante duce la creșterea substanțială a tensiunilor alternative $\pm \tau_{W_2'}$.

Tot în figura 3.6 este reprezentată sarcina $F_{II} \pm F_W$. În acest domeniu segmentele de spiră W_1 până la W_3 sunt deja blocate. La o F_W constantă pentru spirele încă active tensiunile alternative sunt mai mici ca la F_I dar tensiunile medii sunt mai mari.

În concluzie, alegerea tensiunii de blocare pentru spirele progresive este importantă: dacă aceasta a fost aleasă prea mare, cresc mult tensiunile medii.

Pentru estimarea duratei de viață a unui arc cu secțiunea sârmei variabilă este foarte important să se cunoască domeniul de lucru probabil; astfel spirele progresive se vor proiecta cu tensiuni de blocare mai mici decât spirele cu d_{max} .

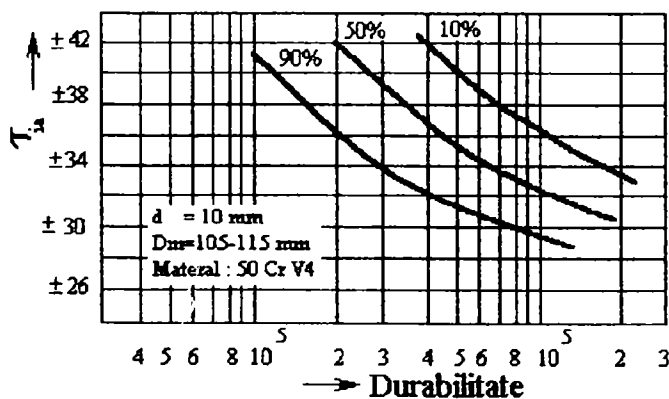


Fig. 3.7

Valorile au fost determinate în urma interpretării statistice a unui număr mare de încercări. În diagramă sunt reprezentate curbele pentru probabilitatea durabilității de 90%, 50% și 10%. Valorile sunt valabile pentru arcuri executate în serii mari. Pe ordonată τ_{ia} reprezintă deviația de tensiune în jurul valorii medii ideale a tensiunii de torsiune $\tau_{im} = 500 \text{ MPa}$ a materialului 50CrV4. Abscisa corespunde variației încărcării.

3.4 Construcția caracteristicii arcurilor profilate

Comportamentul oricărei variante constructive de arc poate fi analizat prin intermediul caracteristicii sale, reprezentată de dependența sarcină-deformație. Aceasta se găsește și la baza stabilirii parametrilor funcionali-acele mărimi fizice prin care se pot compara diversele soluții constructive de arcuri.

Data fiind importanța majoră a caracteristicii arcurilor, în cele ce urmează se abordează problema construcției sale, în diferite alternative.

3.4.1 Arcuri profilate din sârmă cu diametrul constant

Pentru construcția caracteristicii acestei categorii de arcuri se au în vedere considerentele care urmează. Săgeata arcului poate fi determinată prin integrarea expresiei (3.25) în raport cu parametrul r , în limitele porțiunii active a arcului. În domeniul $F \leq F_{ia}$, săgeata arcului este dată de relația:

$$f = F \int_{r_1}^{r_2} \xi(r) dr \quad (3.46)$$

iar expresia rigidității arcului are forma:

$$K = \frac{1}{\int_{r_1}^{r_2} \xi(r) dr} \quad (3.47)$$

fiind o mărime constantă.

La începutul așezării spirelor, săgeata se obține prin particularizarea relației (3.46):

$$f_{ia} = \frac{F_{ia}}{K} \quad (3.48)$$

în care F_{ia} se determină din ecuația (3.32), pentru un proces direct $F_{ia} = F(r_2)$.

În cazul când sarcina continuă să crească peste valoarea F_{ia} , ca spire active rămân numai acelea a căror rază, în cazul procesului direct, este cuprinsă între r_1 și r_{cont} . Pentru a obține deplasarea axială totală este necesar să se țină seama și de săgeata spirelor așezate. În această situație, pentru

procesul direct, dacă $F \in [F_{ia}; F_{sa}]$ (vezi fig. 3.2), expresia săgeții este:

$$f = F \int_{r_1}^{r_{cont}} \xi(r) dr + [H_0 - z_0(r_{cont})] - [H_b - \eta(r_{cont})] \quad (3.49)$$

în care:

$$z_0(r_{cont}) - \eta(r_{cont}) = \zeta(r_{cont}) \quad (3.50) \quad \text{și: } H_0 - H_b = \zeta(r_2) \quad (3.51)$$

Înlocuind relațiile (3.50) și (3.51) în (3.49) se ajunge la forma:

$$f = F \int_{r_1}^{r_{cont}} \xi(r) dr + \zeta(r_2) - \zeta(r_{cont}) \quad (3.52)$$

Relația (3.52) împreună cu ecuația (3.32) exprimă sub formă parametrică caracteristica arcului pe porțiunea neliniară.

Dacă se elimină între relațiile (3.32) și (3.52) raza de contact r_{cont} , care are rol de parametru, ecuația obținută reprezintă, sub formă explicită, porțiunea curbilinie a caracteristicii arcului profilat.

Rigiditatea K a arcului care lucrează cu spire așezate se determină din relația:

$$K = \frac{dF}{df} \quad (3.53)$$

Derivând ecuația (3.52) în raport cu forța se obține:

$$\frac{df}{dF} = \int_{r_1}^{r_{cont}} \xi(r) dr + F \xi(r_{cont}) \frac{dr_{cont}}{dF} - \left(\frac{d\zeta}{dr} \right)_{r=r_{cont}} \frac{dr_{cont}}{dF} \quad (3.54)$$

Primul termen din partea dreaptă a ecuației (3.52) a fost derivat ca un

produs de două funcții, F și $\int_{r_1}^{r_{cont}} \xi(r) dr$, iar ultima dintre aceste funcții,

fiind o funcție complexă, a fost mai întâi derivată în raport cu limita superioară r_{cont} , iar apoi în raport cu forța F . Cel de-al doilea termen din partea dreaptă a ecuației (3.52) este o mărime constantă.

Ținând seama de ecuația de bază (3.32), din relația (3.54) se obține:

$$K = \frac{dF}{df} = \frac{1}{\int_{r_1}^{r_{cont}} \xi(r) dr} \quad (3.55)$$

Elementele necesare pentru calculul arcurilor conice și paraboloidale, executate din sârmă de secțiune constantă, sunt redată în $[P_3]$.

3.4.2 Arcuri din sârmă de secțiune variabilă

În practică apare frecvent situația în care pentru un arc (existent fizic sau sub formă de desen de execuție), este necesar să se construiască dependența sarcină-deformație. Cu alte cuvinte sunt cunoscute mărimile geometrice ce caracterizează arcul cât și numărul de spire. În primă instanță se acceptă ca ipoteză de calcul că arcul menționat (fig.3.8) este alcătuit prin dispunerea în serie axial-centrică, a trei arcuri elicoidale distincte.

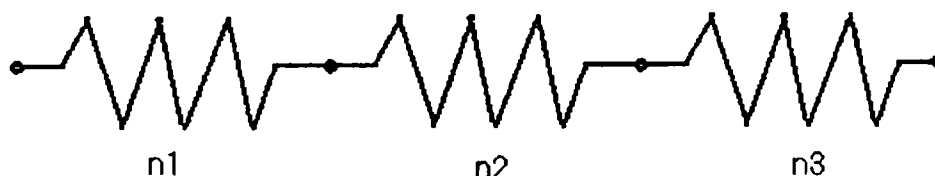


Fig.3.8

Arcul median este un arc elicoidal cilindric, cu n_2 spire, având diametrul mediu ($D_m=id$) și al barei (d) constante. Rigiditatea acestuia are expresia:

$$K_2 = \frac{Gd^4}{8D_m^3 n_2} = \frac{Gd}{8i^3 n_2} = const. \quad (3.56)$$

Arcurile extreme, în stare liberă, sunt constituite fiecare din câte n_1 spire. Suprafața directoare a acestor arcuri poate fi cilindrică cu diametrul mediu $D_m \approx const.$, paraboloidală sau conică (cu pas constant sau unghi de pantă constant). Ultimele două variante au diametrul mediu D_m variabil. Diametrul barei elicoidale d_x variază continuu sau în trepte, secțiunea transversală a barei fiind circulară.

Funcționarea arcului compus prezintă următoarele domenii (fig.2.5):

Domeniul I: la sarcini axiale centrice, reduse ca intensitate, participă toate spirele active ale arcului ($n=2n_1+n_2$), iar caracteristica este pronunțat liniară. Săgeata arcului pe această porțiune este:

$$f=2f_1+f_2 \quad (3.57a)$$

Domeniul II: odată cu creșterea încărcării, spirele cu secțiunea barei variabilă se așează succesiv (se decuplează câte una din fiecare arc extrem) iar caracteristica devine curbilinie (progresivă). Numărul spirelor active este descrescător: $n_x=2n_{1x}+n_2$, unde $n_{1x} < n_1$ și săgeata întregului arc devine:

$$f = \frac{F}{K_e} = 2f_{1x} + f_2; \quad f_{1x} < f_1 \quad (3.57b)$$

Domeniul III: după așezarea tuturor spirelor de secțiune variabilă caracteristica arcului redevine liniară. Spirele active sunt $n=n_2$, iar săgeata arcului este:

$$f=f_2 \quad (3.58)$$

Pentru arcul compus, caracteristica elastică și implicit rigiditatea trebuie analizate pe porțiuni conform particularităților de comportament semnalate mai sus.

Arcul analizat fiind real sau la nivel de desen de execuție, rezultă că se cunosc: -suprafața directoare a arcului;

- diametrul mediu D_{mx} ;
- diametrul sârmei d_x ;
- pasul elicei (sau unghiul de pantă) α ;
- numărul de spire n_1 și n_2 ;
- înălțimea arcului în stare liberă H_0 .

În cele ce urmează (date fiind considerentele expuse anterior), pentru construirea caracteristicii se propun două metode diferite.

a) Cea dintâi metodă a fost dezvoltată în [G₂]. Se consideră într-o primă aproximație arcul compus prin legarea în serie a trei arcuri elicoidale cilindrice distincte. Arcurile extreme, în stare liberă, sunt constituite din câte n_1 spire. Diametrul lor mediu este aproximativ constant ($D_m = i_{1x} d_x = id \cong \text{const.}$), iar al barei elicoidale de lungime :

$$l_1 - l_0 \cong \pi D_m n_1 \quad (3.59)$$

variază continuu între limitele $d_x \in [d_0; d]$ după o lege exponențială de forma:

$$\frac{l_1}{l_0} = \left(\frac{d}{d_0} \right)^q \quad (3.60a) \quad \frac{l_x}{l_1} = \left(\frac{d_x}{d} \right)^q \quad (3.60b)$$

$q \leq 1$; (pentru triunghiuri asemenea, figura 3.9, $q=1$)

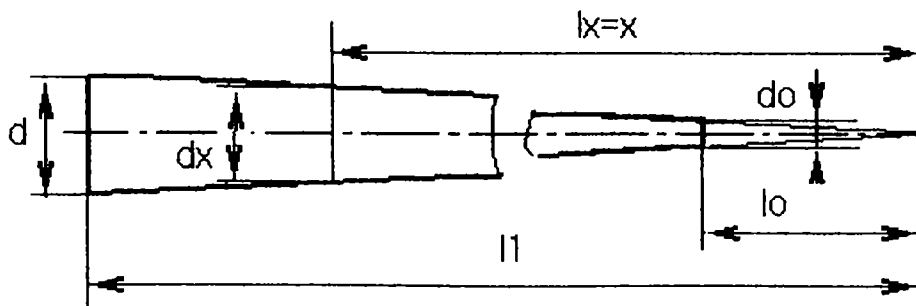


Fig.3.9

1. Dacă toate spiarele n_1 sunt active (Domeniul I, procesul de așezare încă nu s-a declanșat) săgeata sub sarcină a unui arc de capăt rezultă din integrala Mohr:

$$f_1 = \int \frac{M\bar{m}}{GI_{px}} dl = \frac{\pi FD_m^3 n_1 c}{4GI_p} \quad (3.61)$$

Mărimile ce intervin în relația (3.61) au următoarele expresii:

$$c = \left(1 + \frac{d_0}{d - d_0}\right) \frac{l_1^3}{3} \left(\frac{1}{l_0^3} - \frac{1}{l_1^3}\right) = \frac{d}{d - d_0} \frac{l_1^3}{3} \left(\frac{1}{l_0^3} - \frac{1}{l_1^3}\right) \quad (3.62)$$

$$M = F \frac{D_m}{2} \quad (3.63) \quad \bar{m} = \bar{1} \frac{D_m}{2} \quad (3.64)$$

$$I_{px} = \frac{\pi d_x^4}{32} = \left(\frac{x}{l_1}\right)^4 \frac{\pi d^4}{32} = \left(\frac{x}{l_1}\right)^4 I_p \quad (3.65)$$

$$\frac{l_x}{l_1} = \frac{d_x}{d} \quad l_x = x \quad d_x = d \frac{x}{l_1}$$

În această fază, rigiditatea arcului considerat este dată de relația:

$$K_1 = \frac{F}{f_1} = \frac{Gd^4}{8cD_m^3 n_1} = \frac{Gd}{8ci^3 n_1} = K_2 \frac{n_2}{cn_1} \quad (3.66)$$

$$\text{unde } K_2 = \frac{Gd}{8i^3 n_2} \quad \text{și } i = \frac{D_m}{d}$$

Conform legii de compoziție a rigidităților unui grup serie:

$$\frac{1}{K_e} = \sum_{j=1}^s \frac{1}{K_j} \quad s \in Z \quad (3.67a)$$

(unde s este numărul de arcuri aparținând grupului)

rezultă rigiditatea echivalentă a întregului arc elicoidal cilindric analizat:

$$\frac{1}{K_e} = \frac{2}{K_1} + \frac{1}{K_2}; \quad K_e = \frac{K_2 K_1}{2K_2 + K_1} = \frac{K_2}{2c \frac{n_1}{n_2} + 1} \quad (3.67b)$$

Ultima relație evidențiază că la sarcini mici toate spirele grupului ($n_t=2n_1+n_2$) sunt active iar caracteristica sa elastică este liniară (rigiditatea fiind constantă).

Pentru o încărcare cuprinsă în domeniul $F \in [0; F_1]$ săgeata arcului compus va fi:

$$f_t = \frac{2F}{K_1} + \frac{F}{K_2} = \frac{F}{K_e} \quad (3.68)$$

2. După declanșarea procesului de așezare (Domeniul II al caracteristicii elastice), pe măsura creșterii sarcinii, numărul de spire ale grupului se reduce continuu în intervalul $n_x \in [2n_1+n_2; n_2]$, iar caracteristica arcului devine neliniară progresivă.

Descrierea globală a procesului de deformare se complică motiv pentru care se propune o cale iterativă.

Pentru o spirală de rang $j \in [1; n_1]$ cu diametrul maxim al sârmei d_j și lungimea $l_j - l_{j-1} = \pi D_m$ săgeata sub sarcină și rigiditatea se obțin particularizând relațiile (3.61) și (3.66):

$$f_{1j} = \frac{\pi F_j D_m^3 c_j}{4CI_{pj}} \quad (3.69)$$

$$K_{1j} = \frac{Gd_j^4}{8c_j D_m^3} \quad (3.70)$$

$$\text{unde: } c_j = \left(1 + \frac{d_{j-1}}{d_j - d_{j-1}} \right) \frac{l_j^3}{3} \left(\frac{1}{l_{j-1}^3} - \frac{1}{l_j^3} \right) = \frac{d_j}{d_j - d_{j-1}} \frac{l_j^3}{3} \left(\frac{1}{l_{j-1}^3} - \frac{1}{l_j^3} \right);$$

$$I_{pj} = \frac{\pi d_j^4}{32}$$

Când săgeata spirei considerate (f_{1j}) devine egală cu pasul arcului în stare liberă (p), din relațiile (3.69) și (3.70) se stabilește intensitatea forței de așezare a spirei respective: $F_{jb} = F_{j(p)}$; dacă arcul este cu pas variabil, la săgeata f_{1j} corespunde p_j (pasul spirei de rang j) $F_{jb} = F_j(p_j)$

$$f_{1j} = p \quad F_j(p) = \frac{4pGI_{pj}}{\pi D_m^3 c_j} \quad (3.71)$$

La încărcarea astfel stabilită, întregul arc se va deforma cu:

$$f_{ij} = \frac{F_j(p)}{K_{ej}} \quad (3.72)$$

unde K_{ej} rezultă din relația (3.67b) înlocuind n_1 cu $n_{1j}=n_1-(j-1)$ (spirele rămase neașezate la o extremitate)

$$K_{ej} = \frac{K_2}{2c \frac{n_{1j}}{n_2} + 1} \quad (3.73)$$

Analog se procedează până la așezarea tuturor spirelor din bara de secțiune variabilă (până la $n_{1j}=0$), astfel devenind posibilă trasarea caracteristicii elastice în domeniul neliniar.

3. Dacă la ambele arcuri extreme spirele sunt așezate (Domeniul III, $2n_1=0$, $n_1=n_2=\text{const.}$) caracteristica redevine liniară întrucât rigiditatea echivalentă este constantă ($K_e=K_2=\text{const.}$). Forța maximă de încărcare a arcului se poate calcula pe baza tensiunii admisibile a materialului din care este confecționat arcul:

$$F_{\max} = \frac{\pi d_{\max}^3 \tau_{at}}{8D_m} \quad (3.74)$$

Săgeata corespunzătoare va fi:

$$f_{\max} = \frac{F_{\max}}{K_e} = \frac{F_{\max}}{K_2} \quad (3.75)$$

Analiza anterioară permite definirea teoretică a caracteristicii elastice pe întregul domeniul de existență.

b) A doua metodă de trasare a caracteristicii teoretice, conform $[U_1]$, are la bază relația:

$$f = \frac{8}{G \pi} \frac{F}{l_0} \int \frac{D_m^2}{d^4} dl \quad (3.76)$$

La $F_i > F_{ia}$ spirele arcului încep să se așeze și integrala din relația (3.76) are limite variabile, deoarece atunci când săgeata crește, scade înălțimea porțiunii de arc încă neblocată, se reduce numărul spirelor active încă neașezate, adică se diminuează lungimea sârmei aferente acestor spire.

Datorită acestui fapt, integrala $\int \frac{D_m^2}{d^4} dl$ se aproximează cu sume parțiale corespunzătoare spirelor rămase libere. Calculul efectiv este deosebit de laborios, putând fi însă sistematizat pe baza unui algoritm conținut în tabelul 3.1. Valorile pentru diametrul sârmei d_i și diametrul mediu al spirei D_{mi} se determină prin măsurare, începând de la extremitatea arcului, cu un pas „deltaN” dorit, însă constant pentru întregul arc (de pildă din sfert în sfert, din jumătate în jumătate de spirală, sau orice alt pas-figura 3.10a).

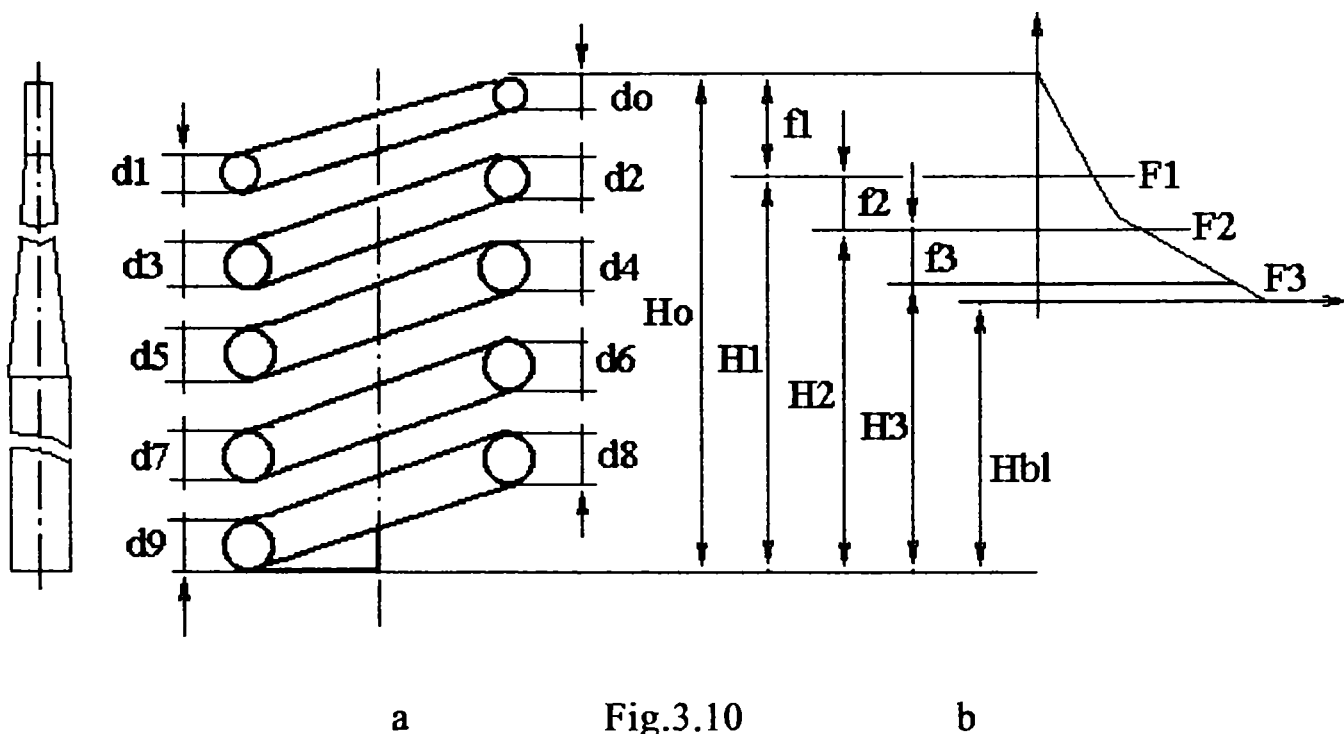


Fig.3.10

Tabelul 3.1

| 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | 7° | 8° | 9° | 10° | 11° | 12° | 13° |
|-------|----------|--------------------------|-------------------------------|------------|----------------------|--------------------------|----------------|----------------------------|--------------------------|-------|--------------|--------------|
| d_i | D_{mi} | $\frac{D_{mi}^2}{d_i^4}$ | $\sum \frac{D_{mi}^2}{d_i^4}$ | Δl | $\frac{\Delta l}{2}$ | $4^\circ \times 6^\circ$ | $\sum 7^\circ$ | $\frac{10^4 \pi}{8^\circ}$ | $\sum \frac{9^\circ}{2}$ | F_i | ΔF_i | Δf_i |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

Pentru calculul valorilor din coloanele 4, 5, 11, 12 și 13 se folosesc relațiile inserate mai jos:

$$\sum \frac{D_{mi}^2}{d_i^4} = \frac{D_{mi}^2}{d_i^4} + \frac{D_{mi+1}^2}{d_{i+1}^4};$$

$$\Delta F = F_i - F_{i-1};$$

$$\Delta l = \pi(r_{i-1} + r_i) \frac{\Delta N}{\cos \alpha};$$

$$\Delta f_i = \frac{\text{col.12}}{\text{col.10}};$$

$$F_i = \frac{d_i^3 \tau_{at} \pi}{8D_{mi}} = \frac{\pi}{8} \tau_{at} \frac{(\text{col.1})^3}{\text{col.2}};$$

În ceea ce privește calculul forței F_i (coloana 11) se menționează faptul că pentru spirele progresive trebuie luată în considerare o tensiune admisibilă mai mică decât cea pentru spirele care au un diametru al sârmei constant. Evident că întreg procesul de calcul poate fi automatizat, motiv pentru care a fost elaborată ordinograma originală (fig. 4.5)

Pe baza datelor din tabelul 3.1 se poate proceda la trasarea caracteristicii elastice a arcului, a cărei alură este prezentată în figura 3.10a.

Pe domeniul I, forța crește pronunțat liniar de la valoarea zero la valoarea F_{ia} , la care începe așezarea spirelor din sârmă de secțiune variabilă (spirele progresive).

Deformația corespunzătoare f_{ia} se obține raportând această forță (prima valoare din coloana 11) la rigiditatea tuturor spirelor arcului (adică la prima valoare din coloana 9).

Partea progresivă a caracteristicii, domeniul II, se trasează cu perechile de puncte (ΔF , Δf) corespunzătoare porțiunii de spirală așezată.

Ultima pereche de puncte (ΔF , Δf) determină domeniul III, liniar, când lucrează numai spirele cu diametrul sârmei constant și raza spirei de asemenea constantă.

3.5 Proiectarea arcurilor elicoidale pentru realizarea unei caracteristici date

3.5.1 Arcuri profilate din sârmă cu diametrul constant

La proiectarea arcurilor aparatelor și ale unor dispozitive automate, la suspensiile autovehiculelor rutiere, este necesar să se proiecteze un arc a cărui caracteristică elastică să satisfacă o anumită condiție dată:

$$F=F(f) \quad (3.77)$$

Evident că o asemenea problemă nu are o soluție unică $[P_3]$. Pe baza unor considerente constructive și tehnologice se poate, de exemplu, alege arbitrar forma suprafeței de așezare și proiecția arcului în plan sau unghiul de pantă al spirelor, determinând apoi forma generatoarei domului de înfășurare:

$$z_0 = z_0(r) \quad (3.78)$$

pentru care, în condițiile stabilite, arcul are caracteristica impusă.

Un arc frecvent întâlnit în practică, este arcul la care toate spirele se așează pe suprafața de rază $\eta(r) = 0$ și pasul este constant. În acest caz:

$$z_0 = \frac{H_0 \varphi}{2\pi n} \quad (3.79)$$

Pentru un proces direct de așezare a spirelor, conform relațiilor (3.52) și (3.55) rezultă că:

$$f - F \frac{df}{dF} = \zeta(r_2) - \zeta(r_{cont}) \quad (3.80a)$$

În cazul când așezarea are loc pe suprafața de rază, iar pasul $p = \text{const.}$, această relație devine:

$$f - F \frac{df}{dF} = H_0 - H_0 \frac{\varphi_{cont}}{2\pi n} \quad (3.80b)$$

Pe baza ecuației date a caracteristicii (3.77), săgeata și derivata $\frac{df}{dF}$ din partea stângă a relației (3.80b) pot fi exprimate în funcție de sarcina F corespunzătoare lor. Aceasta permite stabilirea unei legături între sarcina și unghiul polar φ_{cont} care determină poziția punctului de contact. Rezolvând ecuația (3.80b) în raport cu F se obține:

$$F = F(\varphi_{cont}) \quad (3.81)$$

Pe de altă parte, conform relațiilor (3.32), (3.24) și (3.79):

$$F = \frac{1}{\xi(r_{cont})} \left(\frac{dz_0}{dr} \right)_{r=r_{cont}} = \frac{GI_p}{r_{cont}^3} \left(\frac{dz_0}{d\varphi} \right)_{\varphi=\varphi_{cont}} = \frac{H_0 GI_p}{2\pi n r_{cont}^3} \quad (3.82)$$

sau:

$$r_{cont}^3 = \frac{H_0 GI_p}{2\pi n F} \quad (3.83)$$

în care $F = F(\varphi_{cont})$ rezultă din relația (3.81).

Expresia (3.83), care este ecuația spiralei din plan, determină împreună cu ecuația (3.79) relația $z_0=z_0(r)$, sub formă parametrică (cu parametrul $\varphi = \varphi_{cont}$). Prin urmare, forma arcului profilat este determinată.

La arcurile care alcătuiesc suspensiile elastice ale autovehiculelor rutiere, frecvența oscilațiilor proprii ale arcului încărcat nu trebuie să depindă de masa solidară cu arcul. Frecvența ciclică ω a oscilațiilor proprii ale unui sistem cu un grad de libertate este:

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (3.84)$$

în care K este constanta elastică a sistemului;

m – masa corpului care oscilează.

Condiția ca frecvența să fie constantă la amplitudini mici poate fi exprimată prin relația:

$$\omega^2 = \frac{K}{m} = \text{const.} \quad (3.85)$$

de unde rezultă:

$$K = \frac{dF}{df} = \frac{\omega^2 F}{g} \quad (3.86)$$

și

$$F = Ae^{\frac{f\omega^2}{g}} \quad (3.87)$$

În cazul când la arcul amortizorului se leagă masa minimă $m_1 = \frac{F_1}{g}$, săgeata este: $f=f_1$ (f_1 fiind săgeata arcului la sarcina F_1).

În intervalul de variație a sarcinii între 0 și F_1 , caracteristica arcului rămâne liniară. Rigiditatea arcului este determinată de relația:

$$K_1 = \frac{F_1}{f_1} \quad (3.88)$$

Deoarece însă:

$$\omega^2 = \frac{K}{m} = \frac{K_1}{m_1} = \frac{g}{f_1} \quad (3.89)$$

rezultă:

$$f_1 = \frac{g}{\omega^2} \quad (3.90)$$

Acum se poate determina constanta de integrare A :

$$F_1 = Ae^{\frac{f_1\omega^2}{g}} = Ae^b \quad (3.91)$$

de unde rezultă:

$$A = F_1 e^{-b} \quad (3.92)$$

și deci:

$$F = F_1 e^{\left(\frac{f\omega^2 - 1}{g}\right)} \quad (3.93)$$

Se procedează la determinarea formei arcului $z_0 = z_0(r)$ presupunând că spirele se așează pe suprafața de rezemare, iar caracteristica arcului trebuie să satisfacă relația (3.81). Dacă din considerente tehnologice, se alege un pas constant al arcului:

$$p = \text{const.}$$

conform expresiilor (3.80b) și (3.93), ținând seama că:

$$\frac{df}{dF} = \frac{g}{\omega^2 F_1 e^{\left(\frac{f\omega^2 - 1}{g}\right)}} \quad (3.94)$$

se obține:

$$\frac{g}{\omega^2} \ln \frac{F}{F_1} = f - \frac{g}{\omega^2} = f - F \frac{df}{dF} = H_0 - H_0 \frac{\varphi_{cont}}{2\pi n} \quad (3.95)$$

Conform relațiilor (3.79), (3.95) și (3.82):

$$z_0 = H_0 \frac{\varphi}{2\pi n} = H_0 - \frac{g}{\omega^2} \ln \frac{F}{F_1} = H_0 - \frac{g}{\omega^2} \ln \frac{H_0 G I_p}{2\pi n r^3 F_1} \quad (3.96)$$

însă pentru $r = r_1$, $z_0 = 0$, de unde, conform relației (3.96), rezultă:

$$H_0 = \frac{g}{\omega^2} \ln \frac{H_0 G I_p}{2\pi n r_1^3 F_1} \quad (3.97)$$

Substituind expresia (3.97) în locul primului termen din partea dreaptă a relației (3.96) se obține ecuația generatoarei:

$$z_0 = 3 \frac{g}{\omega^2} \ln \left(\frac{r}{r_1} \right) \quad (3.98)$$

3.5.2 Arcuri elicoidale din sârmă de secțiune variabilă

3.5.2.1 Arcuri elicoidale cilindrice

Proiectarea arcurilor, conform STAS 7067/1-87, se bazează pe soluția integralei:

$$f = \frac{8}{G} \frac{F}{\pi} \int_0^l \frac{D_m^2}{d^4} dl [mm] \quad (3.99)$$

cu utilizarea simultană a formulei tensiunii:

$$\tau_t = \frac{8}{\pi} \frac{D_m}{d^3} F [MPa] \quad (3.100)$$

Notățiile folosite în relațiile anterioare sunt:

D [mm] pentru diametrul exterior al arcului;

D_i [mm] - diametrul interior al arcului;

D_m [mm] - diametrul mediu al arcului;

d [mm] - diametrul sârmei (barei);

F [N] - forța arcului (de calcul);

f [mm] - săgeata arcului (de calcul);

l [mm] - lungimea desfășurată a arcului;

n [-] - număr de spire active;

K [N/mm] - rigiditatea arcului;

τ_t [MPa] - tensiune tangențială.

Din variantele posibile de arcuri elicoidale cilindrice din sârmă de secțiune variabilă ($D = \text{const.}$; $D_i = \text{const.}$; $D_m = \text{const.}$; $d = \text{variabil}$ la o singură extremitate sau la ambele) se analizează pentru început proiectarea arcului cu diametrul interior constant și spire progresive la o singură extremitate.

Ca date inițiale se consideră:

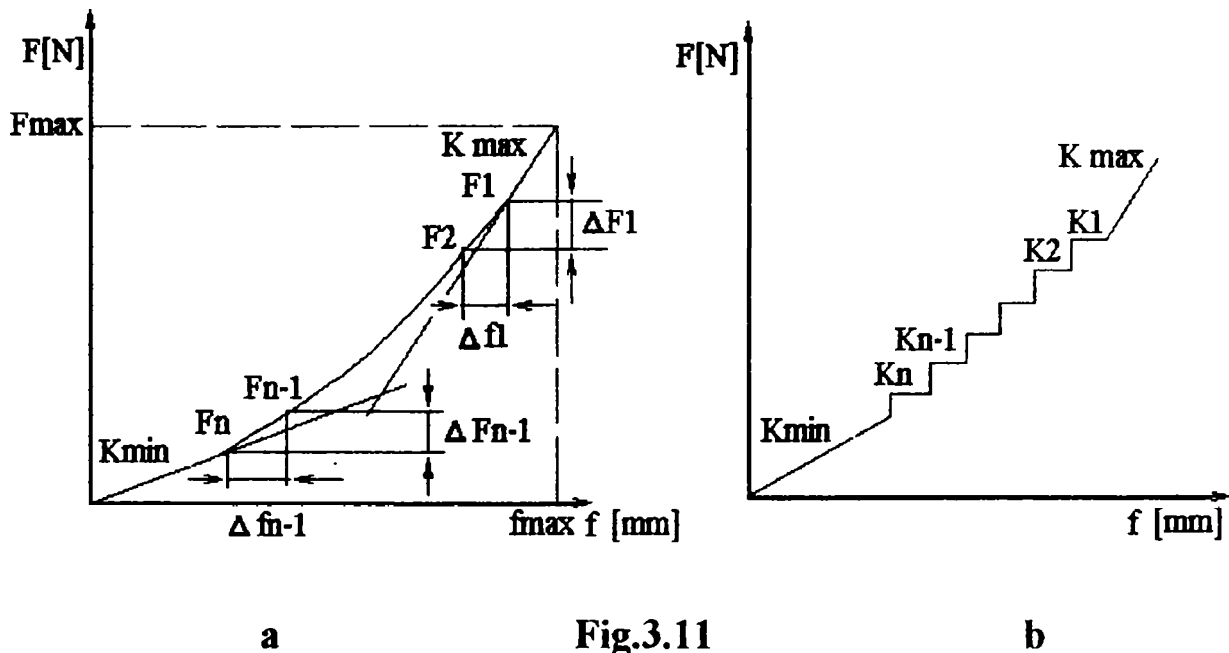
- Caracteristica sarcina-deformație $F=f(f)$;
- Diametrul mediu maxim al arcului $D_{m\max}$;
- Tensiunile admisibile τ_{at1} pentru partea progresivă a caracteristicii și τ_{at2} pentru partea liniară, tensiuni care așa cum s-a arătat în subcapitolul 3.3, nu sunt egale.

Caracteristica suspensiei și gabaritul în care trebuie să se încadreze arcul montat sunt impuse de către proiectantul autovehiculului. În consecință arcul proiectat trebuie să respecte condițiile de înălțime și diametru exterior cerute și să ofere o diagramă sarcină-deformație identică sau cât mai apropiată de cea necesară.

O dată materialul arcului ales, rezultă tensiunile admisibile τ_{at1} și τ_{at2} .

Pornind deci de la caracteristica dată (fig.3.11 a) se stabilesc pas cu pas dimensiunile arcului.

Diametrul maxim al sârmei se calculează din relația 3.100, luând în considerare F_{\max} , τ_{at2} și $D_{m\max}$.



Numărul de spire corespunzător domeniului III liniar al caracteristicii (când lucrează numai spirele cu diametrul sârmei constant și $D_m = D_{m\max}$) se determină cu relația 3.101:

$$n_{cl} = \frac{Gd_{\max}^4}{8D_{m\max}^3 K_{\max}} \quad (3.101)$$

unde

$$K_{\max} = \frac{F_{\max} - F_{sa}}{f_{\max} - f_{sa}} \quad (3.102)$$

În continuare, domeniul progresiv al caracteristicii arcului se împarte în trepte de forță ΔF și săgeată Δf , acceptând astfel o primă aproximare și anume că rigiditatea variabilă din domeniul II al caracteristicii (fig.3.11 a) se transformă într-o rigiditate constantă pe porțiuni (fig.3.11 b):

$$K = \frac{\Delta F}{\Delta f} \quad (3.103)$$

Pentru o porțiune oarecare, în calcul se iau în considerare valorile medii ale sarcinilor, $F_j = (F_i + F_{i+1})/2$.

Se consideră că fiecare treaptă de forță ΔF determină așezarea unei fracțiuni de spiră Δn . Pentru porțiunea de spiră Δn_j blocată de forța F_j , se calculează diametrul sârmei d_j , diametrul mediu corespunzător D_{mj} și lungimea sârmei Δl_j . Varianta de arc în discuție fiind cu diametrul interior $D_i = \text{constant}$, rezultă:

$$D_{mj} = D_i + d_j \quad (3.104)$$

$$d_j = \sqrt[3]{\frac{8D_{mj}}{\pi\tau_{atl}} F_j} \quad (3.105)$$

Din relațiile (3.104) și (3.105) rezultă ecuația de gradul trei:

$$d_j^3 - \frac{8F_j}{\pi\tau_{atl}} d_j - \frac{8D_i F_j}{\pi\tau_{atl}} = 0 \quad (3.106)$$

reductibilă la forma:

$$y^3 + 3py + 2q = 0 \quad (3.107)$$

unde

$$p = -\frac{8F_j}{3\pi\tau_{atl}}; \quad q = -\frac{4D_i F_j}{\pi\tau_{atl}}$$

Ecuația (3.107) are următoarele rădăcini, date de formulele lui Cardan:

$$y_1 = u + v \quad y_2 = \alpha_1 u + \alpha_2 v \quad y_3 = \alpha_2 u + \alpha_1 v$$

unde:

$$u = \sqrt[3]{-q + \sqrt{q^2 + p^3}} \quad v = \sqrt[3]{-q - \sqrt{q^2 + p^3}}$$

iar

$$\alpha_{1,2} = \frac{-1 \pm i\sqrt{3}}{2}$$

deci o rădăcină reală și două complex conjugate. Evident, în considerare se poate lua numai rădăcina reală.

Rigiditatea corespunzătoare treptei de caracteristică analizată devine:

$$K_j = \frac{F_i - F_{i+1}}{f_i + f_{i+1}} \quad (3.108a)$$

iar

$$\Delta K_I = K_{\max} - K_I, \quad \Delta K_{j+1} = K_j - K_{j+1} \quad (3.108b)$$

reprezintă creșterea medie a rigidității în domeniul F_2/F_1 , respectiv F_{i+1}/F_i ; cu această mărime se calculează

$$\Delta n_j = \frac{Gd_j^4}{8D_{mj}^3 \Delta K_j} \quad (3.109)$$

porțiunea de spirală blocată în domeniul F_{i+1}/F_i (spirală blocată: spira care se așează pe suprafața de reazem sau pe spira anterior așezată și deci nu mai înmagazinează energie în cursul deformării ulterioare a arcului).

Lungimea corespunzătoare se stabilește cu relația:

$$\Delta l_j = D_{mj} \pi \Delta n_j \quad (3.110)$$

Suma tuturor valorilor Δn_j și Δl_j reprezintă numărul total al spirelor progresive și lungimea sârmei aferente.

Volumul însemnat de calcule necesare pentru proiectarea unui arc, în condițiile date, impune recurgerea la automatizarea acestora. În acest sens s-a elaborat algoritmul prezentat în figura 4.1.

Conform acestui algoritm, sârma pentru fabricarea arcului ar trebui să fie compusă din tronsoane cilindrice de diametre diferite (vezi fig.3.12 a), ceea ce din motive evidente (tehnologie de fabricație și introducerea unor macroconcentratori de tensiune) nu se practică. În consecință, se înlocuiesc tronsoanele cilindrice cu tronsoane conice (vezi fig.3.12 b).

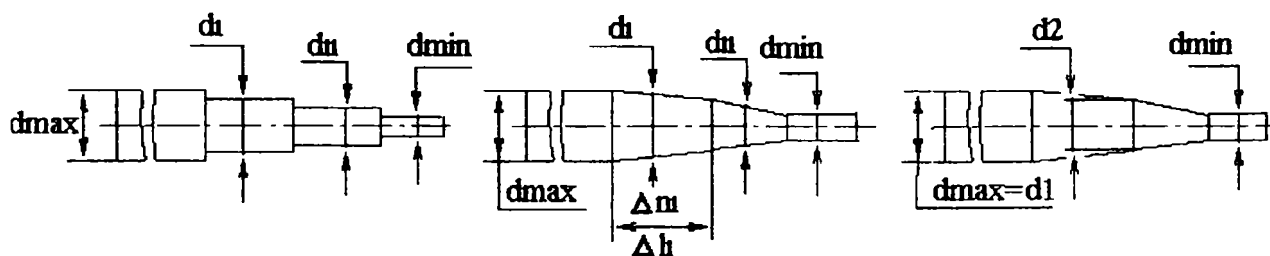
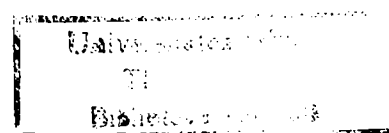


Fig.3.12 a b c

Se propune însă și o variantă de calcul în care se iau în considerare chiar forțele citite pe caracteristica sarcină-deformație, fără medierea lor. În acest caz, numărul de spire progresive rezultă ușor mai mare, iar semifabricatul este o succesiune de tronsoane tronconice (vezi fig.3.12 c). Porțiunea de spirală progresivă cu un diametru inițial al sârmei $d_n = d_{\min}$, începe să se așeze la $F_n = F_{ia}$ (vezi fig.3.11); spira care se termină cu $d_1 = d_{\max}$ este complet așezată la atingerea valorii forței $F_1 = F_{sa}$.

Pentru corectitudinea rezultatelor, este foarte important să se determine cât mai exact, din caracteristica sarcină-deformație, punctul de început de așezare a spirelor progresive de coordonate F_{ia} și f_{ia} .

Mai avantajos din punct de vedere al comportării la oboseală a arcului se consideră variația continuă (de exemplu liniară) de la d_{\max} la d_{\min} , pe lungimea sârmei corespunzătoare numărului de spire calculate cu metoda anterior propusă.



La proiectarea unui arc elicoidal cilindric cu spire progresive la ambele capete și porțiune mediană cilindrică, se poate considera întregul ca fiind un grup serie compus dintr-un arc central și două arcuri extreme identice. Forța care încarcă grupul este $F_1=F_2=F$ iar săgeata totală se poate scrie: $f=2f_1+f_2$. În acest caz, se ia în considerare jumătate din grupul serie (arcul extrem cu spire progresive și 1/2 din arcul median cilindric) și se retrasează caracteristica sarcină-deformație cu forța F și săgeata $f=(2f_1+f_2)/2$. Pe această cale se proiectează jumătate de arc, iar arcul întreg se obține prin simetrie în oglindă.

3.5.2.2 Arcuri elicoidale profilate

Proiectarea arcurilor profilate din sârmă de diametru variabil nu a fost tratată până acum în literatura de specialitate. Acestora nu li se poate aplica metoda propusă la paragraful 3.5.2.1, și anume determinarea pas cu pas a porțiunii de spiră care se așează, deoarece numărul de spire aferente arcului simplu profilat trebuie stabilit încă de la început (a se vedea paragraful 2.3.2).

Pentru proiectarea arcului se pleacă deasemenea de la caracteristica sarcină-deformație necesară pentru suspensia autovehiculului. Ca și condiție restrictivă se impune gabaritul arcului: diametrul exterior maxim D_{emax} , diametrul exterior minim D_{emin} (în funcție de diametrul talerelor atașate suspensiei autovehiculului) și înălțimea arcului în stare montată H_m (arcul se pretensionează la montaj). Pentru proiectarea arcului, interesează înălțimea acestuia în stare liberă H_{ot} . Considerând forța de pretensionare F_{pr} cel mult 25% din greutatea autovehiculului, se determină din diagrama $F=f(f)$ săgeata f_{pr} corespunzătoare acestei forțe, iar

$$H_{\text{ot}}=H_m+f_{\text{pr}} \quad (3.111)$$

Tot ca și condiție restrictivă, impusă de această dată de proiectantul arcului, este unghiul de pantă al elicei, $\alpha \in [6...8]^\circ$. În cele ce urmează se consideră cazul cel mai complex: arcul elicoidal compus dintr-o porțiune mediană cilindrică și două arcuri profilate extreme identice dispuse în serie. Datele inițiale de calcul se prelevează din caracteristica sarcină-deformație și din restricțiile de gabarit ale arcului. Se determină mai întâi diametrul maxim al sârmei:

$$d_{\text{max}} = \sqrt[3]{\frac{16D_{m\text{max}}}{\pi\tau_{at2}} F_{\text{max}}} \quad (3.112)$$

Rigiditatea K și n_2 , numărul de spire ale arcului median cilindric rezultă din relațiile (3.102) și (3.101). Pasul, înălțimea și lungimea sârmei acestei porțiuni de arc sunt:

$$p_{cil} = \pi D_{m \max} \operatorname{tg} \alpha \quad (3.113)$$

$$l_2 = \frac{\pi n_2 D_{m \max}}{\cos \alpha} \quad (3.114)$$

$$H_{0cil} = n_2 p_{cil} \quad (3.115)$$

Înălțimea unui arc profilat de capăt este:

$$H_{op} = (H_{ot} - H_{0cil})/2 \quad (3.116)$$

În continuare, calculul se diferențiază pentru cele trei variante posibile de arcuri profilate: paraboloidale, conice cu pas constant și conice cu unghi de pantă constant. Cu restricțiile de gabarit amintite și pentru un unghi α ales în intervalul amintit, există un singur număr de spire n_1 pentru arcul profilat extrem. Relația de calcul pentru n_1 diferă în funcție de tipul arcului: paraboloidal, conic cu pas constant sau conic cu unghi de pantă constant.

În cazul particular al arcului paraboloidal, dată fiind legătura între înălțimea arcului profilat de capăt H_{op} și lungimea totală a arcului de spirală arhimedică S :

$$H_{op} = S \operatorname{tg} \alpha \quad (3.117)$$

și întrucât lungimea S mai poate fi scrisă și ca:

$$S = (r_2 + r_1) \pi n_1 \quad (3.118)$$

numărul de spire n_1 rezultă:

$$n_1 = \frac{S}{\pi(r_1 + r_2)} = \frac{H_{op}}{\pi(r_2 + r_1) \operatorname{tg} \alpha} \quad (3.119)$$

$$\text{unde: } r_2 = 0,5 D_{m \max} \quad r_1 = 0,5 D_{m \min} \quad (3.120)$$

Pentru arcul conic cu pas constant, în relația (3.119) se înlocuiește unghiul de pantă α prin valoarea medie a acestuia, ajungându-se la:

$$n_1 = \frac{H_{op}}{\pi(r_2 + r_1) \operatorname{tg} \alpha_m} \quad (3.121)$$

Dacă arcul profilat de capăt are unghiul de pantă constant, numărul de spire rezultă din relația:

$$n_1 = \frac{1}{2\pi m} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (3.122)$$

în care parametrul m are expresia:

$$m = \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \frac{\psi}{2} \quad (3.123)$$

și tangenta semiunghiului de vârf este:

$$\operatorname{tg} \frac{\psi}{2} = \frac{r_2 - r_1}{H_{op}} \quad (3.124)$$

În $[R_2]$ se ajunge, pentru numărul n_1 de spire la arcul paraboloidal, la relația:

$$n_1 = \frac{2L \cos \alpha}{\pi(D_{m \max} + D_{m \min})} \quad (3.125)$$

cu observația că $L \cos \alpha = S$ și $S = H_{op} / \operatorname{tg} \alpha$. Autorul consideră că această relație poate fi admisă cu o aproximație suficientă și pentru arcurile conice și face observația că numărul de spire n_1 ale arcului profilat este același cu cel al unui arc elicoidal cilindric cu aceeași lungime a sârmei și același unghi α însă cu un diametru egal cu media diametrelor maxim și minim al arcului profilat.

Numerele de spire calculate, n_2 și n_1 se rotunjesc la prima zecimală, din considerente de execuție a arcului, după care se verifică dacă la blocare spirele vin în contact reciproc sau se așează pe suprafața de reazem. Cele mai avantajoase variante de arcuri profilate sunt acelea care în stare blocată se aplatizează complet, oferind o cursă maximă la aceeași înălțime în stare liberă.

După stabilirea numărului de spire n_1 se procedează la determinarea razei medii a spirei, a pasului arcului (corespunzător elementului de spirală „delta N” acceptat inițial) și a diametrului minim al sârmei:

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{8D_{m \min}}{\pi \tau_{at1}} F_{ia}} \quad (3.126)$$

dacă $D_T > 2r_1$.

În final se calculează lungimea necesară a sârmei pentru întregul arc:

$$l = 2l_1 + l_2 + n_r \pi (2r_1) \quad (3.127)$$

Numărul de spire de reazem n_r este de regulă 0,75 pentru fiecare capăt de arc. Între d_{\min} și d_{\max} variația secțiunii barei este continuă, ceea ce este avantajos din punct de vedere al rezistenței la oboseală.

Pentru cazul arcului compus doar din două arcuri profilate sau cazul arcului simplu profilat se particularizează itinerarul de calcul stabilit mai sus.

Dacă la toate aceste arcuri se acceptă o variație în trepte între d_{\min} și d_{\max} , trebuie determinată corespondența dintre forța din diagramă pe domeniul II și diametrul mediu al porțiunii de spiră decuplată, ceea ce se poate face cu metoda grafică prezentată în paragraful 3.5.3.

3.5.3 Metoda grafică de proiectare a arcurilor pentru realizarea unei caracteristici date

În cazurile în care caracteristica arcului este dată sub formă grafică sau tabelară, pentru proiectarea dornului pe care urmează a se înfășura arcul, este mai avantajoasă folosirea metodei grafice [P₃].

Metoda poate fi aplicată pentru obținerea oricărei caracteristici neliniare progresive care satisface următoarele condiții:

$$a) \quad \frac{d^2 F}{df^2} \geq 0; \quad (3.128)$$

$$b) \quad \left(\frac{df}{dF} \right)_{F=F_{ia}} = \frac{f_{ia}}{F_{ia}}; \quad (3.129)$$

$$c) \quad \left(\frac{df}{dF} \right)_{F=F_{sa}} = 0. \quad (3.130)$$

Evoluția metodei este exemplificată pentru caracteristica reprezentată grafic, în figura 3.13, prin curba 012.

Ca elemente inițiale se au în vedere următoarele:

1) Sunt cunoscute coordonatele punctului de inflexiune (F_{ia} , f_{ia}) respectiv ale punctului de maxim (F_{sa} , f_{sa}).

2) Din relația (3.128) rezultă că rigiditatea arcului trebuie să satisfacă condiția:

$$\frac{dK}{df} > 0 \quad (3.131)$$

3) Din considerente constructive au fost alese forma în plan a spiralei arcului, dată de ecuația:

$$r=r(\varphi) \quad (3.132)$$

precum și raza inițială r_1 și raza finală r_2 .

4) Diametrul d al sârmei de arc se determină din condiții de rezistență.

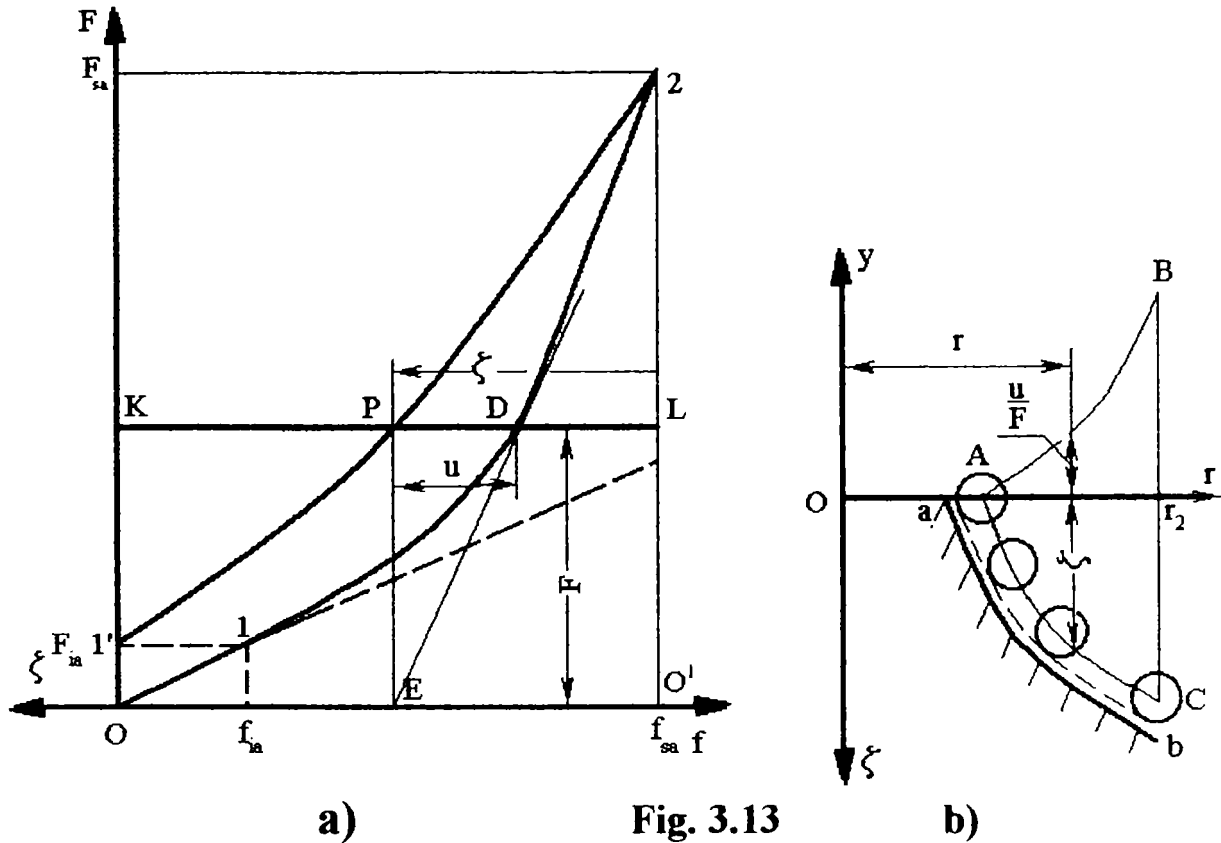


Fig. 3.13

Pentru trasarea grafică a generatoarei dornului în vederea înfășurării arcului se operează în următoarea succesiune:

Într-un punct oarecare al caracteristicii 012 se duce tangenta DE, iar apoi din punctul E se ridică perpendiculara EP pe axa abscisei f . Lungimea segmentului (DP) determinat pe dreapta KL, obținută prin prelungirea segmentului respectiv, are valoarea:

$$(DP) = F \frac{df}{dF} .$$

În afară de aceasta se poate observa că lungimea segmentului (LP) poate fi scrisă ca sumă algebrică de segmente, sub forma:

$$(LP) = (KL) - (KD) + (DP)$$

sau, utilizând simbolurile stabilite anterior:

$$(LP) = f_{sa} - f + F \frac{df}{dF} = \zeta(r_{cont}) \quad (3.133)$$

comparând relația (3.133) cu (3.80a):

$$f - F \frac{df}{dF} = \zeta(r_2) - \zeta(r_{cont})$$

unde: $\zeta(r_2) = f_{sa}$ (3.134) se constată identitatea lor formală.

În consecință, segmentul (LP) reprezintă mărimea ζ în funcție de forța F .

Repetând aceeași construcție pentru mai multe puncte D alese arbitrar pe caracteristica dată 012 și obținând succesiv prin metoda indicată mai sus punctele P , se poate trasa curba $l'P2$ ale cărei abscise în coordonate (ζ, F) (originea coordonatelor în punctul O') reprezintă la scara lungimilor, valorile așa numitei funcții de culcare a spirelor $\zeta = \zeta(F)$.

Se stabilește acum relația funcțională $\zeta = \zeta(r)$.

Pentru rezolvarea acestei probleme se trasează în prealabil funcția $y=y(r)$ (curba AB din Fig. 3.13 b), conform relației:

$$y = \int_{r_1}^{r_2} \xi(r) dr \quad (3.135)$$

în care ξ este determinat de ecuația (3.24).

La calcularea integralei trebuie să se țină seama de forma aleasă a spiralei reprezentând proiecția în plan a arcului.

Din relațiile (3.54) și (3.32) rezultă:

$$y = \int_{r_1}^{r_2} \xi(r) dr = \frac{df}{dF} \quad (3.136)$$

Pe de altă parte, din figura 3.13 a, se vede că:

$$\frac{df}{dF} = \frac{u}{F} \quad (3.137)$$

Valorile lui u , la scara lungimilor, sunt determinate de segmentele orizontale (PD) cuprinse între curba $\zeta = \zeta(F)$ (curba $l'P2$) și caracteristica dată (curba 012).

Luând, la scara corespunzătoare, rapoartele determinate u/F pe axa y (fig. 3.13 b), se determină cu ajutorul curbei AB valoarea razelor r corespunzătoare valorilor inițiale ale lui u și prin urmare și ale lui ζ .

Măsurând acum în jos de la axa r (fig. 3.13 b) valorile corespunzătoare ale lui ζ măsurate din figura 3.13 a, se obține curba AC care reprezintă funcția $\zeta(r)$.

Ținând seama că:

$$z_0(r) - \eta(r) = \zeta(r), \quad (3.138)$$

se poate construi ușor funcția $z_0(r)$ dacă se cunoaște funcția $\eta(r)$.

În particular, în cazul așezării spirelor pe suprafața plană de rezemare, $\eta(r) = 0$, curba AC reprezintă chiar relația $z_0 = z_0(r)$, adică determină forma arcului cu caracteristica necesară. Trasând înfășurătoarea la secțiunile spirelor și ținând seama de revenirea elastică după înfășurare, se construiește generatoarea AB a dornului (fig.3.13 b).

Metoda grafică este valabilă pentru arcul simplu profilat, din sârmă de secțiune constantă; se poate însă aplica și arcului profilat din sârmă de secțiune variabilă, cu mențiunea că I_p devine :

$$I_{px} = \frac{\pi d_x^4}{32} \quad (3.139)$$

În cazul existenței arcului compus din două arcuri profilate extreme (1) și un arc cilindric elicoidal central (2), din caracteristica sarcină-deformație a arcului compus, se poate deduce caracteristica corespunzătoare unui arc extrem, ținând seama de legile de compoziție a grupului serie: $F = F_1 = F_2$ și $f = 2f_1 + f_2$.

Se calculează săgeata corespunzătoare arcului central:

$$f_{2i} = \frac{8n_2 F_i D_{m\max}^3}{Gd_{\max}^4} \quad (3.140)$$

Săgeata unui arc extrem va fi:

$$f_{1i} = \frac{f_i - f_{2i}}{2} \quad (3.141)$$

F_i și f_i se citesc din caracteristica dată a arcului compus.

Se trasează caracteristica $F = f(f_1)$ (corespunzătoare figurii 3.13a) și se aplică metoda grafică.

În relația (3.136), pentru $r = r_1$, $y = 0$ și pentru $r = r_2$ se calculează

$$I_{p\max} = \frac{\pi d_{\max}^4}{32} \quad (3.142)$$

Pentru a trasa graficul corespunzător figurii 3.13b, avem nevoie de cel puțin încă un punct, de aceea pentru un diametru oarecare al arcului D_{mx} se determină geometric diametrul corespunzător al sârmei de arc d_x , acceptând pentru moment aproximația că variația secțiunii sârmei este continuă.

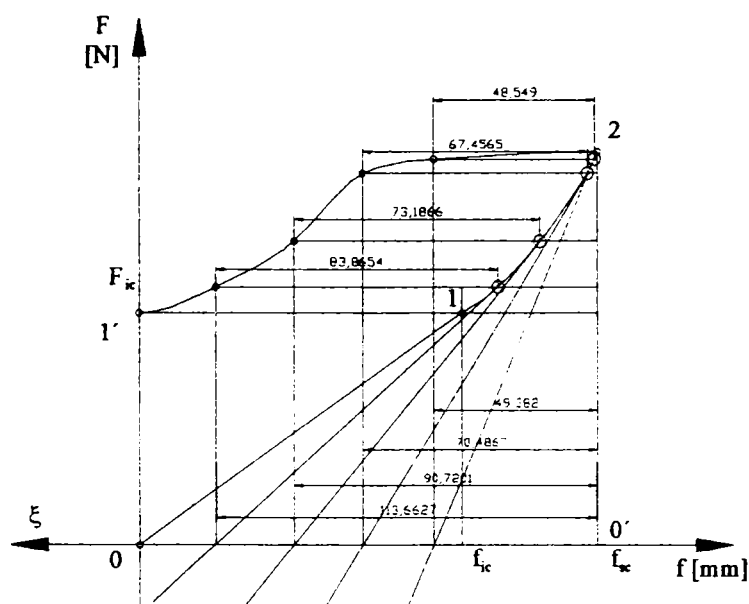
Luând, la scara aleasă, rapoartele u/F din primul grafic, se poate determina cu ajutorul celui de-al doilea corespondența F_x-D_{mx} , adică porțiunea de spirală decuplată de forța F_x .

În continuare se calculează diametrul sârmei:

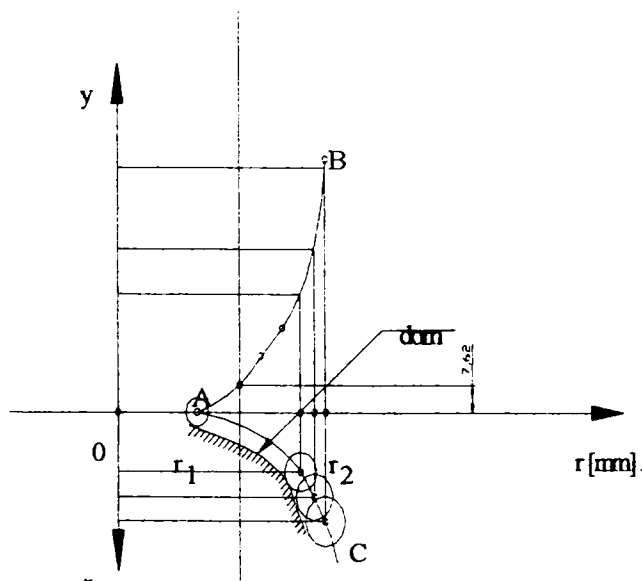
$$d_x = 3 \sqrt{\frac{8D_{mx}}{\pi \tau_{at1}} F_x} \quad (3.143)$$

și rezultă o variație în trepte a secțiunii sârmei.

Exemplul următor este pentru un arc paraboloidal:



a)



b)

Fig. 3.14

3.5.4 Vibrațiile arcurilor cu caracteristică neliniară

Suspensiile cu elemente neliniare permit micșorarea considerabilă a pericolului fenomenului de rezonanță [M₁]. Dacă se utilizează în acest scop arcuri cu caracteristică progresivă, ecuația mișcării forțate, fără amortizare, a acestui sistem elastic este:

$$m \frac{d^2 \xi}{dt^2} + Q(x) = F \cos \omega_f t \quad (3.144)$$

unde m este masa sistemului oscilant;

ξ - deplasarea elementului în vibrație față de poziția inițială;

t -timpul;

$Q(t)$ -expresia neliniară a forței elastice;

F -forța perturbatoare;

ω_0 -pulsatia proprie a sistemului oscilant;

ω_f -pulsatia forței perturbatoare.

Sub efectul forței perturbatoare cu variație armonică în timp, în cazul inexistenței unei amortizări (arcul cu caracteristică liniară), în punctul de rezonanță amplitudinea sistemului tinde către infinit (fig. 3.15 linie plină). Prezența amortizării determină însă în acest punct o valoare finită a amplitudinilor corespunzătoare înălțimii MN.

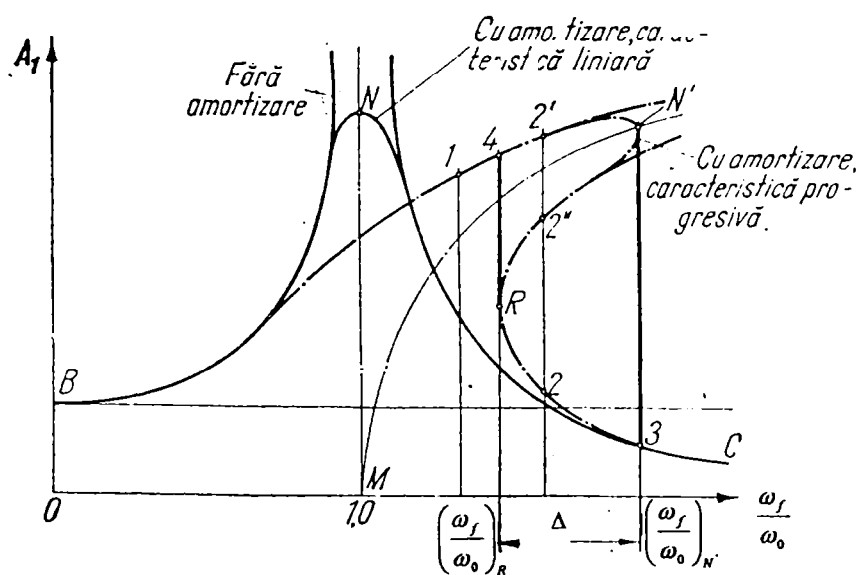


Fig. 3.15

Caracteristica progresivă a arcului deplasează zona rezonanței spre valori ω_f/ω_0 mai mici, dănta MN devenind MN' și curba de variație BNC devenind BN'C. Se observă însă că, în zona de valori ω_f/ω_0 cu amplitudini stabile ale oscilațiilor sistemului și zone cu amplitudini nestabile. Pentru valori $\omega_f/\omega_0 < (\omega_f/\omega_0)_R$ există o singură amplitudine a vibrației forțate a sistemului, determinată de punctul 1. Dimpotrivă, pentru valori $\omega_f/\omega_0 > (\omega_f/\omega_0)_R$ există trei valori posibile ale amplitudinii, punctele 2, 2', 2''. Amplitudinile corespunzătoare punctelor de pe ramurile B12'N' și C32R sunt stabile, iar cele corespunzătoare ramurii N'2''R sunt nestabile. Comportarea sistemului oscilant este determinată de

condițiile inițiale ale mișcării. La pornirea din repaus, o dată cu creșterea frecvenței forței perturbatoare, amplitudinile de oscilație ale sistemului cresc, corespunzător ramurii superioare B12'N', pentru a cădea apoi brusc la valoarea 3 de pe ramura inferioară. La oprire, o dată cu micșorarea frecvenței cauzei perturbatoare, amplitudinile cresc urmând ramura inferioară C32R, pentru a face un salt la valoarea dată de punctul 4 de pe ramura superioară și a urma apoi această ramură spre punctul B.

În intervalul Δ , în apropierea aceleiași valori ω_f/ω_0 , pot rezulta oscilații cu amplitudini mari (punctul 2') sau mici (punctul 2). Oscilațiile cu amplitudine mare rezultă când, pentru o valoare dată a forței perturbatoare, se mărește foarte încet pulsația ei.

4. OPTIMIZAREA CALCULULUI ARCURILOR ELICOIDALE DE COMPRESIUNE CU GEOMETRIE VARIABILĂ

4.1 Itinerar de proiectare și verificare

Programul de proiectare și verificare a arcurilor elicoidale cu geometrie variabilă are următorul itinerar:

1. Date inițiale: restricțiile de gabarit ale arcului și caracteristica elastică necesară;
 2. Analiza caracteristicii sarcină-deformație;
 3. Proiectarea arcurilor ;
 4. Verificarea comportamentului sub sarcină a arcurilor proiectate ;
 5. Alegerea soluției optime;
 6. Elaborarea desenului de execuție pentru arcul ales.
- Itinerarul de proiectare și verificare se detaliază astfel:

4.1.1 Date inițiale

Așa cum s-a arătat în paragraful 3.5.2.1, caracteristica suspensiei și gabaritul în care trebuie să se încadreze arcul montat sunt impuse de către constructorul autovehiculului; în consecință arcul proiectat trebuie să respecte condițiile de înălțime și diametru exterior maxim și minim cerute și să ofere o diagramă sarcină-deformație identică sau cât mai apropiată de cea necesară.

Cu alte cuvinte, utilizatorul arcului trebuie să furnizeze următoarele date:

- Dependența sarcină-deformație, stabilită analitic sau grafic;
- H_m , înălțimea arcului în stare montată (eventual liberă);
- D_{max} , diametrul exterior maxim al arcului;

- D_{\min} , diametrul exterior minim al arcului, ales în funcție de talerul suspensiei.

4.1.2 Analiza caracteristicii sarcină-deformație

Caracteristica arcurilor cu geometrie variabilă este liniară pe domeniul I (vezi fig. 2.5), când lucrează toate spirele arcului, progresivă pe domeniul II, când încep să se așeze spirele din sârmă de secțiune variabilă, iar în cazul în care arcul elicoidal are în componență și o porțiune elicoidală cilindrică din sârmă de secțiune constantă, caracteristica are impus și un domeniu liniar, domeniul III.

Pentru determinarea diametrului minim al sârmei, trebuie cunoscute:

- F_{ia} (forța de început de așezare a spirelor) în cazul procesului monoton invers, când spirele arcului se așează începând de la cea cu diametrul minim de înfășurare și diametrul minim al sârmei;

- F_{sa} (forța de sfârșit de așezare a spirelor) pentru procesul monoton direct, când spirele se așează începând de la cea cu diametrul maxim de înfășurare și diametrul minim al sârmei.

Procesului monoton direct sau invers este impus de diametrul talerelor suspensiei între care se montează arcul.

Forțele F_{ia} și F_{sa} se evidențiază din diagrama prelucrată în acest scop, la limita dintre domeniile I și II, respectiv II și III.

Diametrul maxim al sârmei se calculează cu F_{\max} (sarcina maximă la care lucrează arcul).

4.1.3 Proiectarea arcurilor elicoidale cu geometrie variabilă;

În subcapitolul 3.5 s-au pus bazele teoretice ale proiectării acestor arcuri. Prin gradul înalt de generalizare, relațiile stabilite permit proiectarea oricărui tip de arc elicoidal cu geometrie variabilă. Ordinogramele construite pentru cele mai uzuale variante de arcuri întâlnite în suspensiile automobilelor sunt următoarele:

-ARCPROF 1 pentru proiectarea arcului elicoidal cilindric cu diametrul interior sau exterior constant;

-ARCPROF 2 pentru arcul elicoidal unitar format dintr-un arc central cilindric continuat la ambele extremități prin două arcuri profilate

(paraboloidale, conice cu pas constant sau conice cu unghi de pantă constant);

-ARCPROF 3 pentru arcul elicoidal format din reunirea a două arcuri profilate identice;

-ARCPROF 4 pentru arcul simplu profilat.

Ordinogramele sunt prezentate în figurile 4.1...4.6.

4.1.4. Verificarea comportamentului sub sarcină a arcurilor proiectate

Verificarea enunțată constă în trasarea caracteristicii teoretice sarcină-deformație pentru arcul proiectat și compararea sa cu caracteristica impusă de constructorul autovehiculului. Modul de calcul a perechilor de puncte: F (forță), f (deformație), a fost explicat în paragraful 3.4.2; ordinograma corespunzătoare s-a denumit ARCAR (fig. 4.5)

Pentru sârma cu variație liniară continuă de la d_{\max} la d_{\min} , a fost concepută o familie de programe care poate determina în orice punct corespondența $D_{\max}-d_x$ (diametrul mediu de înfășurare a spirei-diametrul sârmei), pentru fiecare tip de arc simplu sau compus; ordinograma se numește ARCDDET și este prezentată în figura 4.6. Rezultatele acestor calcule intră ca date inițiale la trasarea caracteristicii elastice.

Toate ordinogramele menționate au fost convertite în programe de calcul.

4.1.5 Alegerea soluției optime

Tema de proiectare a arcului conține: caracteristica elastică necesară, restricțiile de gabarit și particularitățile de montaj ale suspensiei. Cunosând avantajele și dezavantajele diverselor tipuri de arcuri elicoidale cu geometrie variabilă (a se vedea paragraful 2.3.3), se alege inițial varianta de arc considerată cea mai potrivită pentru tema dată. După proiectarea arcului, se trasează caracteristica teoretică și se compară cu cea impusă. Se consideră admisibilă o abatere de până la 10%, având în vedere toleranțele de fabricație a sârmei cu secțiune variabilă, a procesului de execuție a arcului și montajul acestuia între talerele suspensiei. La o abatere mai mare, se reconsideră acele date inițiale care pot fi luate ca parametri variabili între anumite limite (materialul arcului, unghiul de pantă al elicei, toleranțele la gabaritul arcului) și chiar tipul de arc ales.

ARCPROF 1

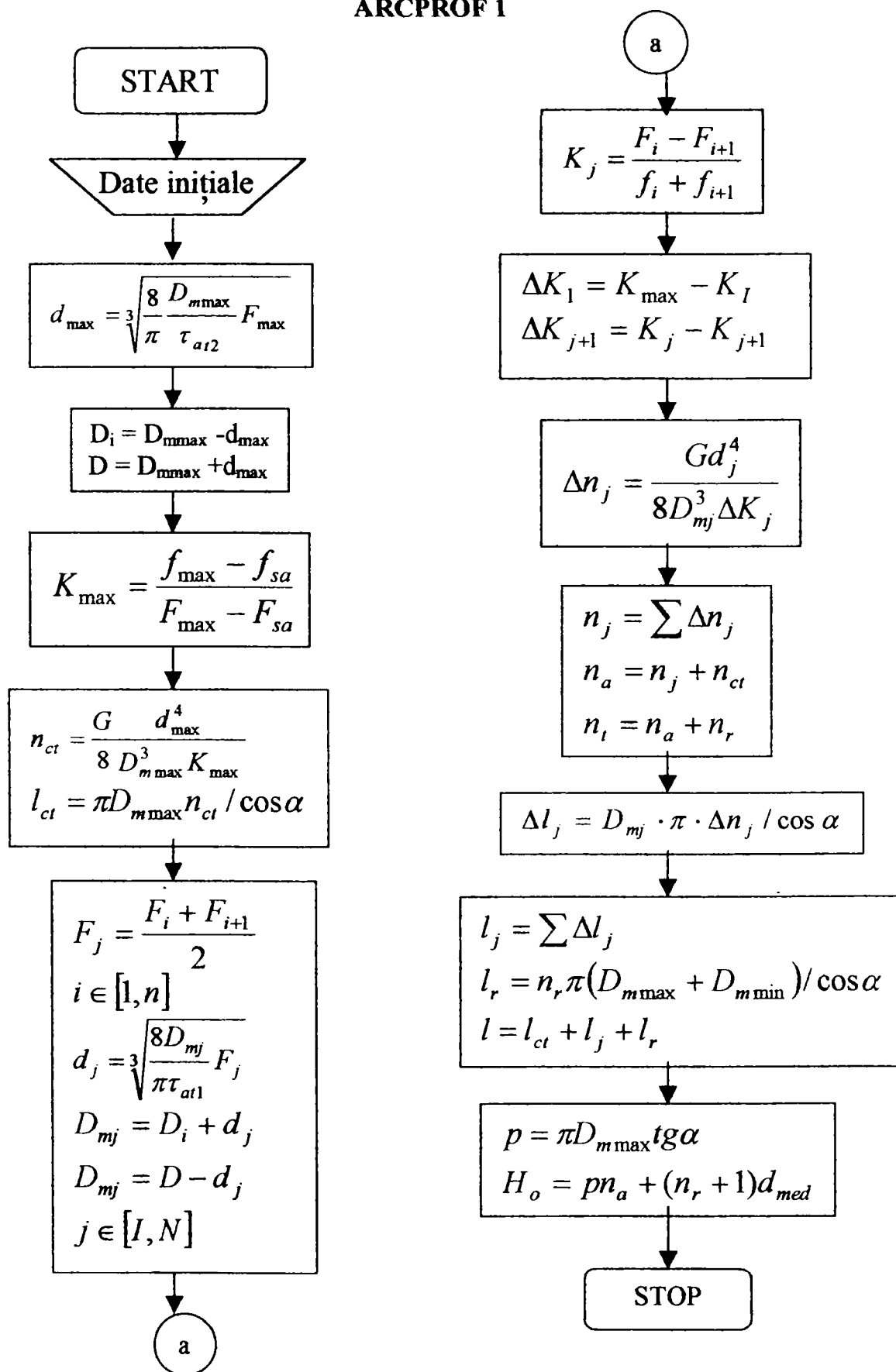


Fig. 4.1 Ordinograma de proiectare a arcului elicoidal cilindric cu diametrul interior sau exterior constant și diametrul sârmei variabil (fig. 2.6)

ARCPROF 2

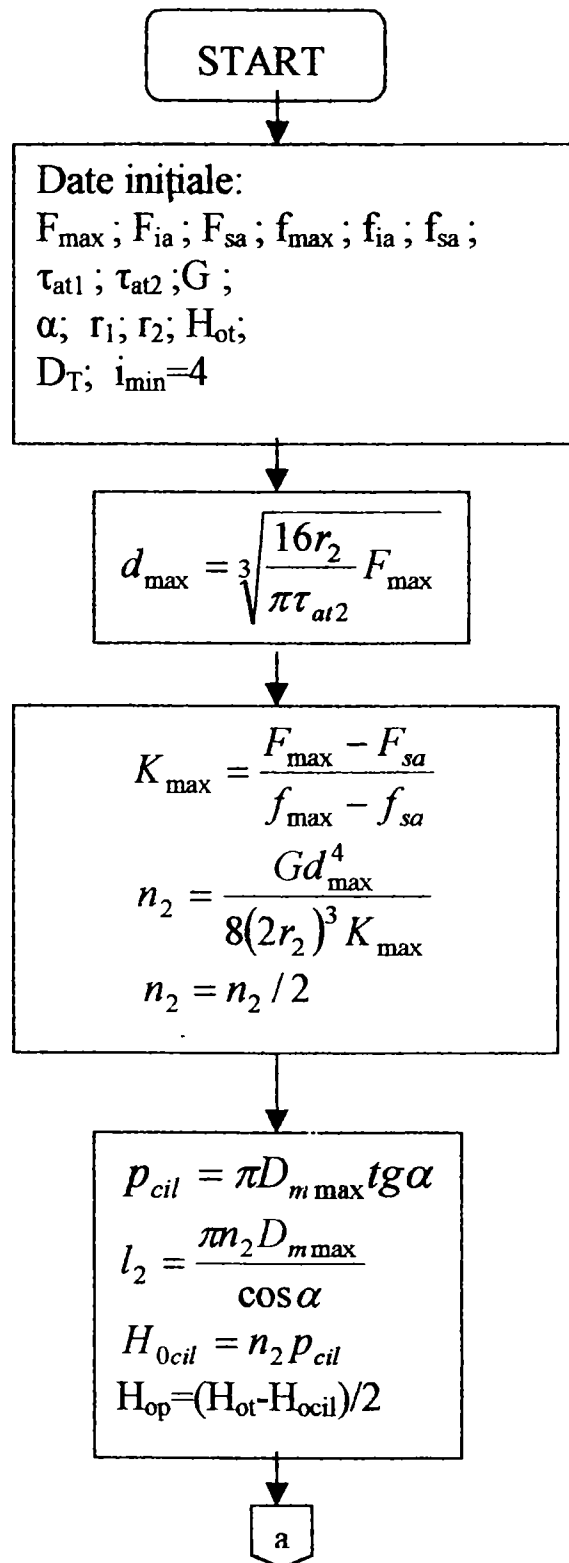
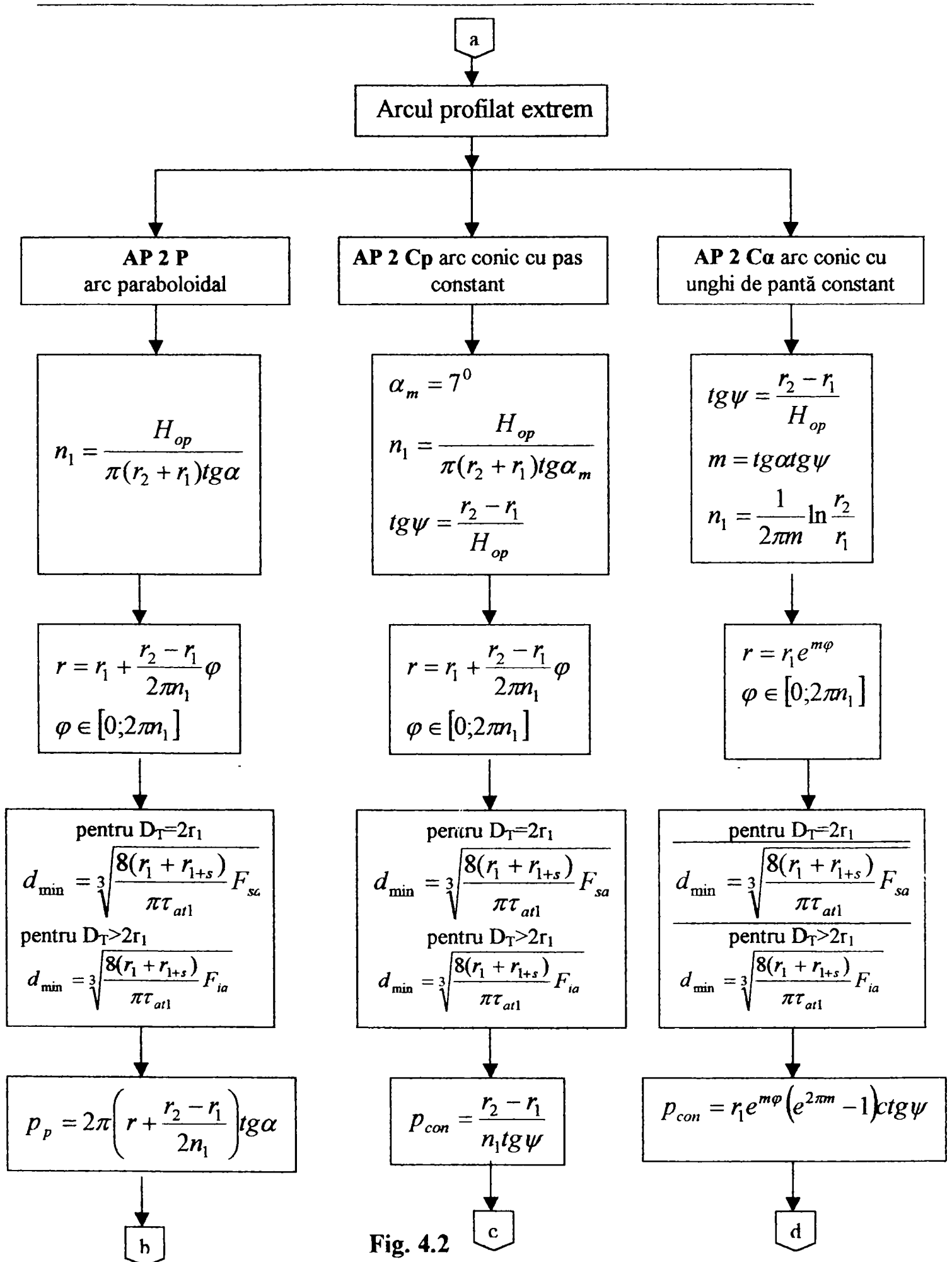


Fig. 4.2



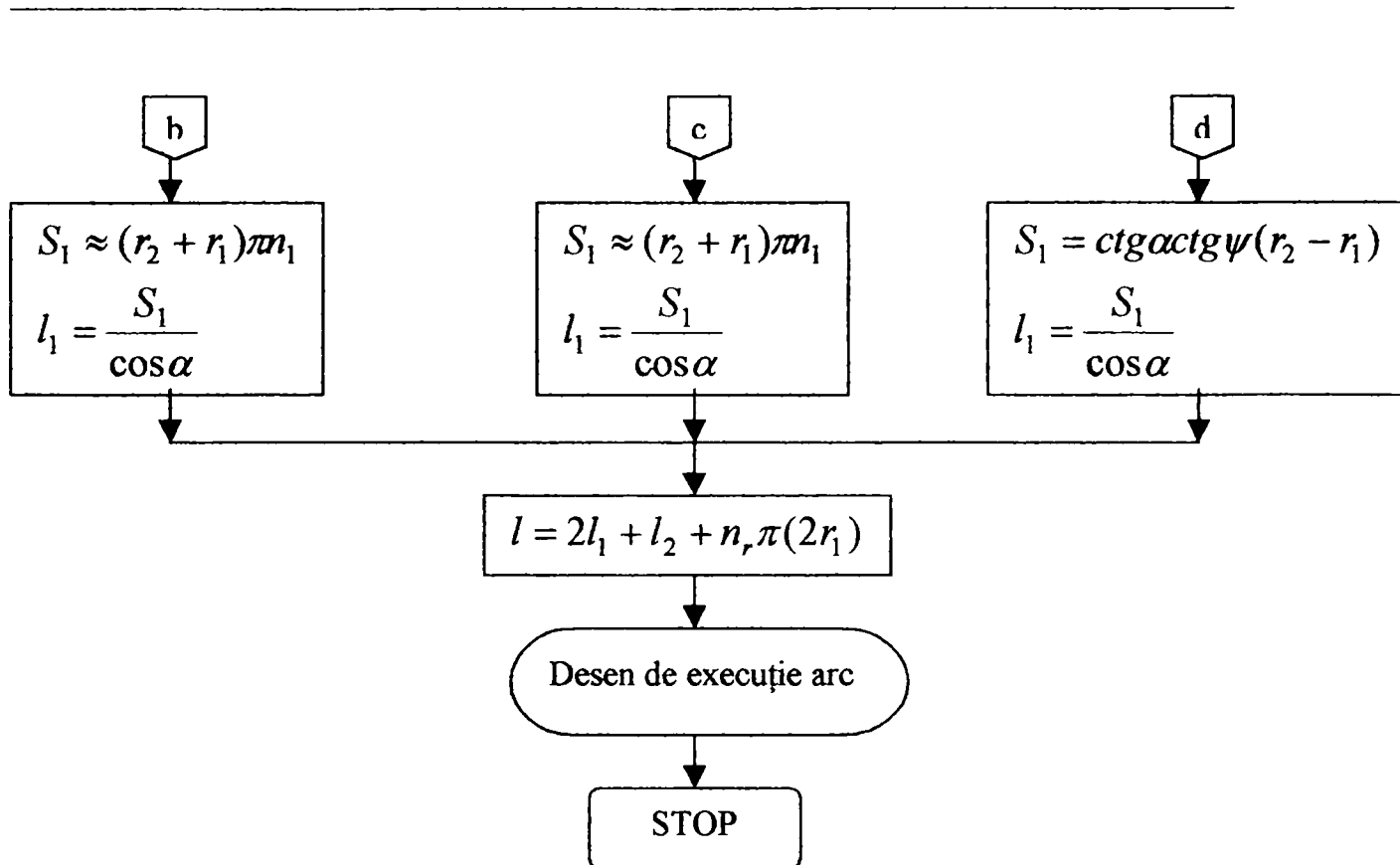


Fig. 4.2 Ordinograma de proiectare a arcului elicoidal unitar format din:
arc profilat – arc cilindric - arc profilat și diametrul sârmei variabil (fig.2.7)

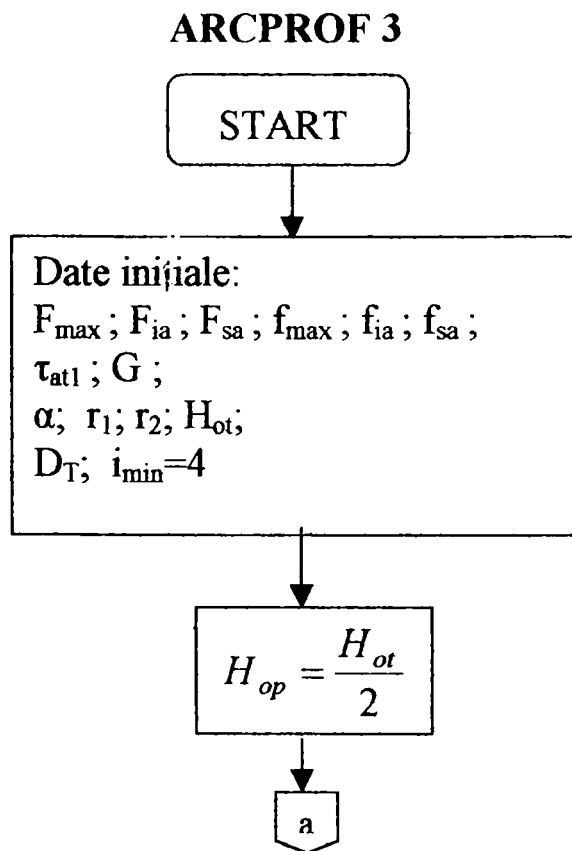


Fig. 4.3

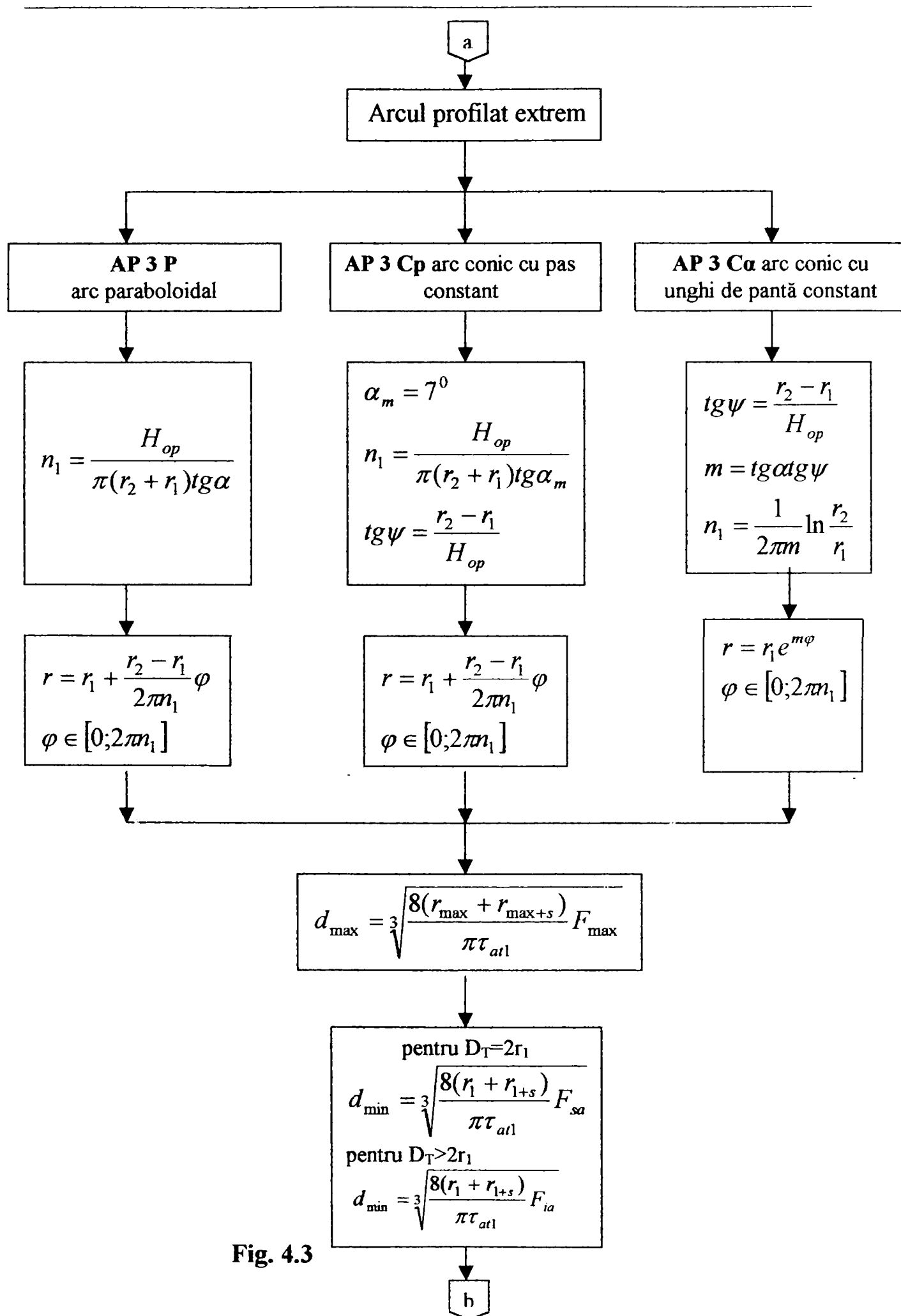


Fig. 4.3

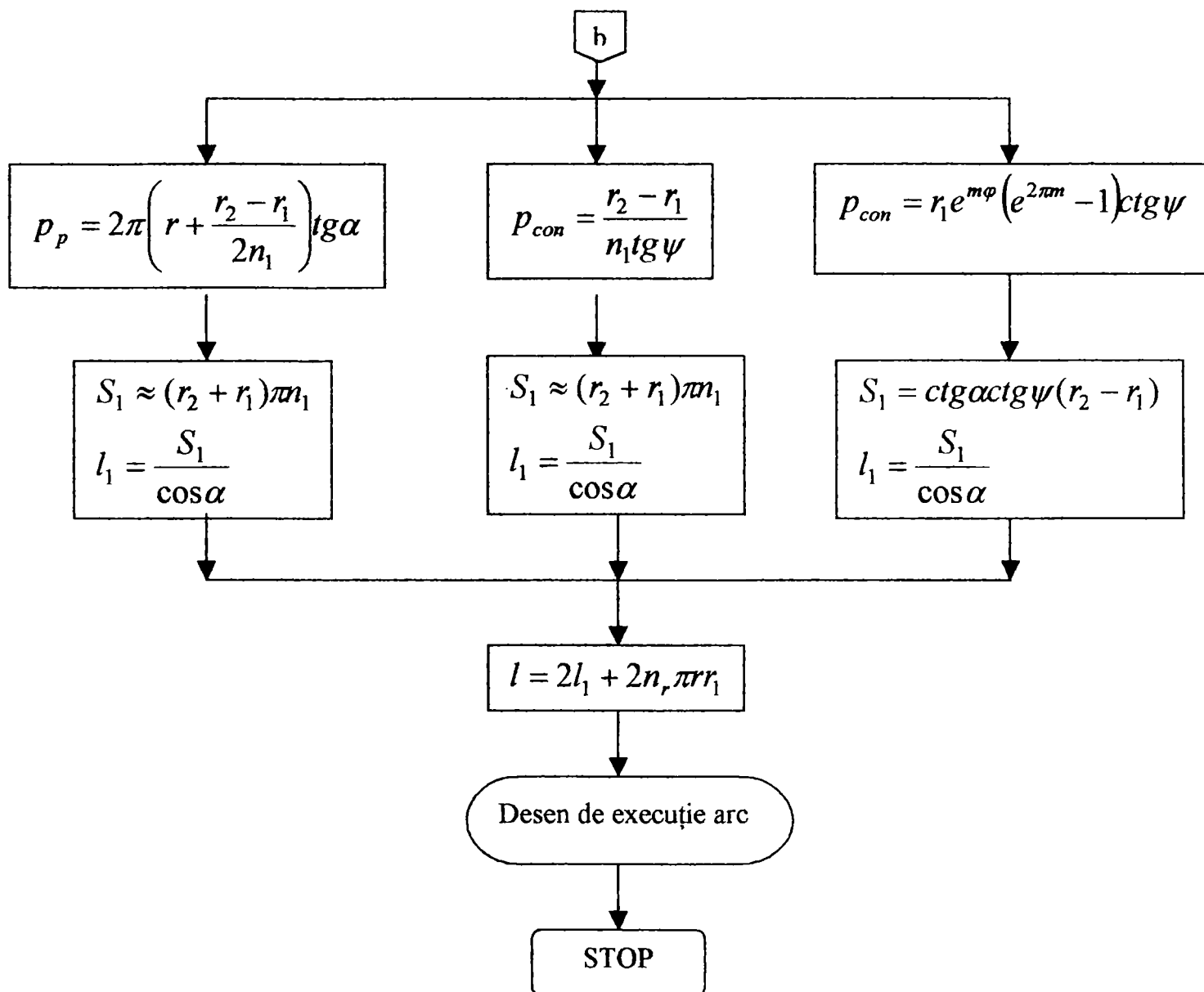


Fig. 4.3 Ordinogramă de proiectare a arcului elicoidal format din reunirea a două arcuri profilate identice și diametrul sârmei variabil (fig.2.8)

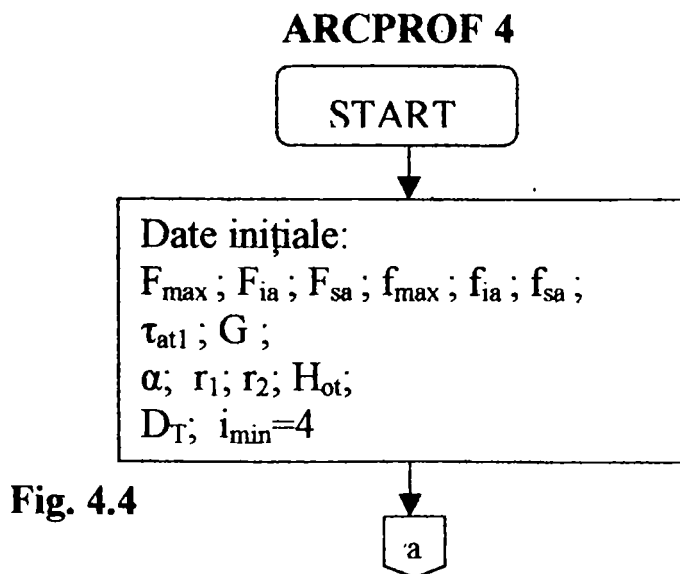


Fig. 4.4

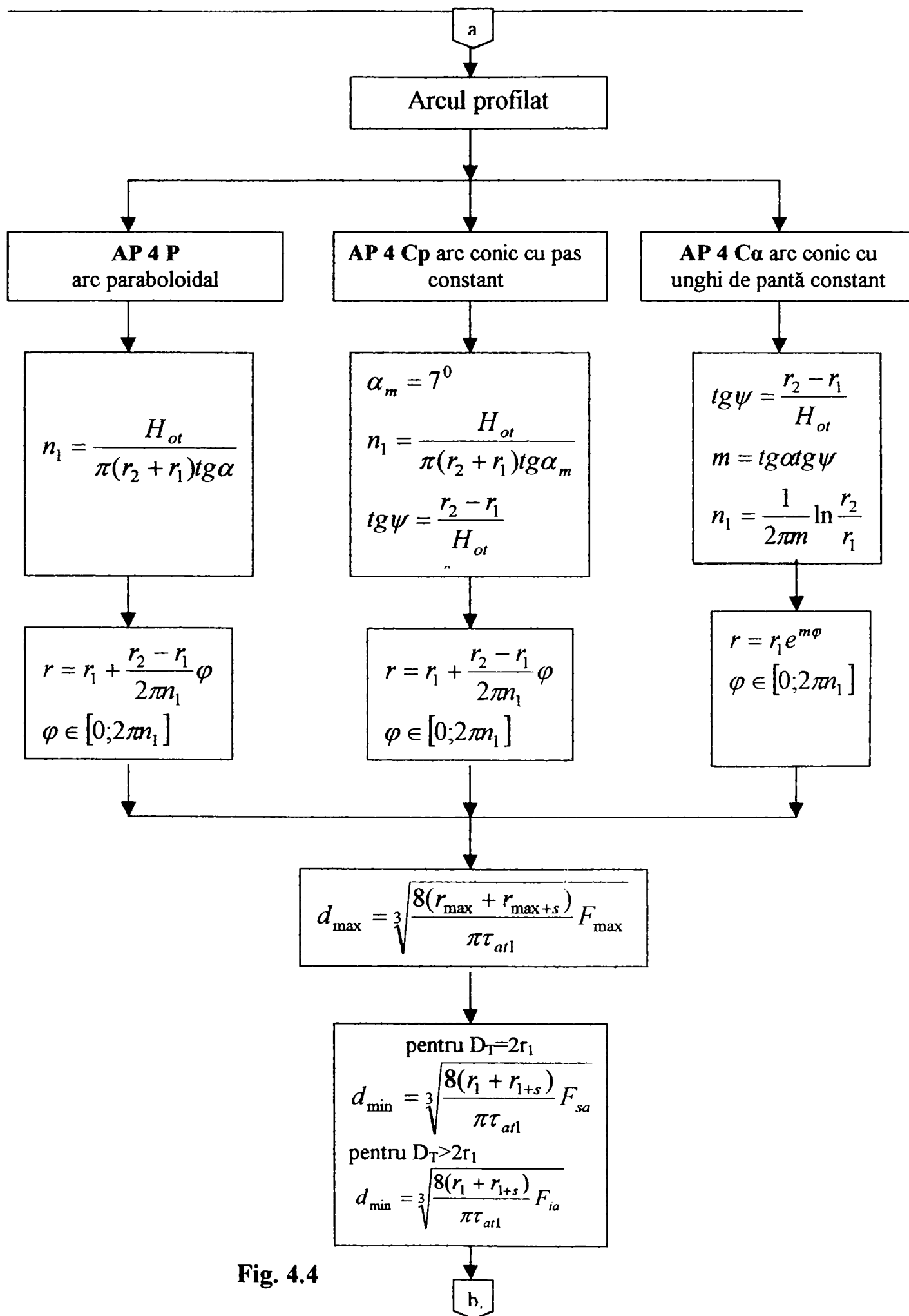


Fig. 4.4

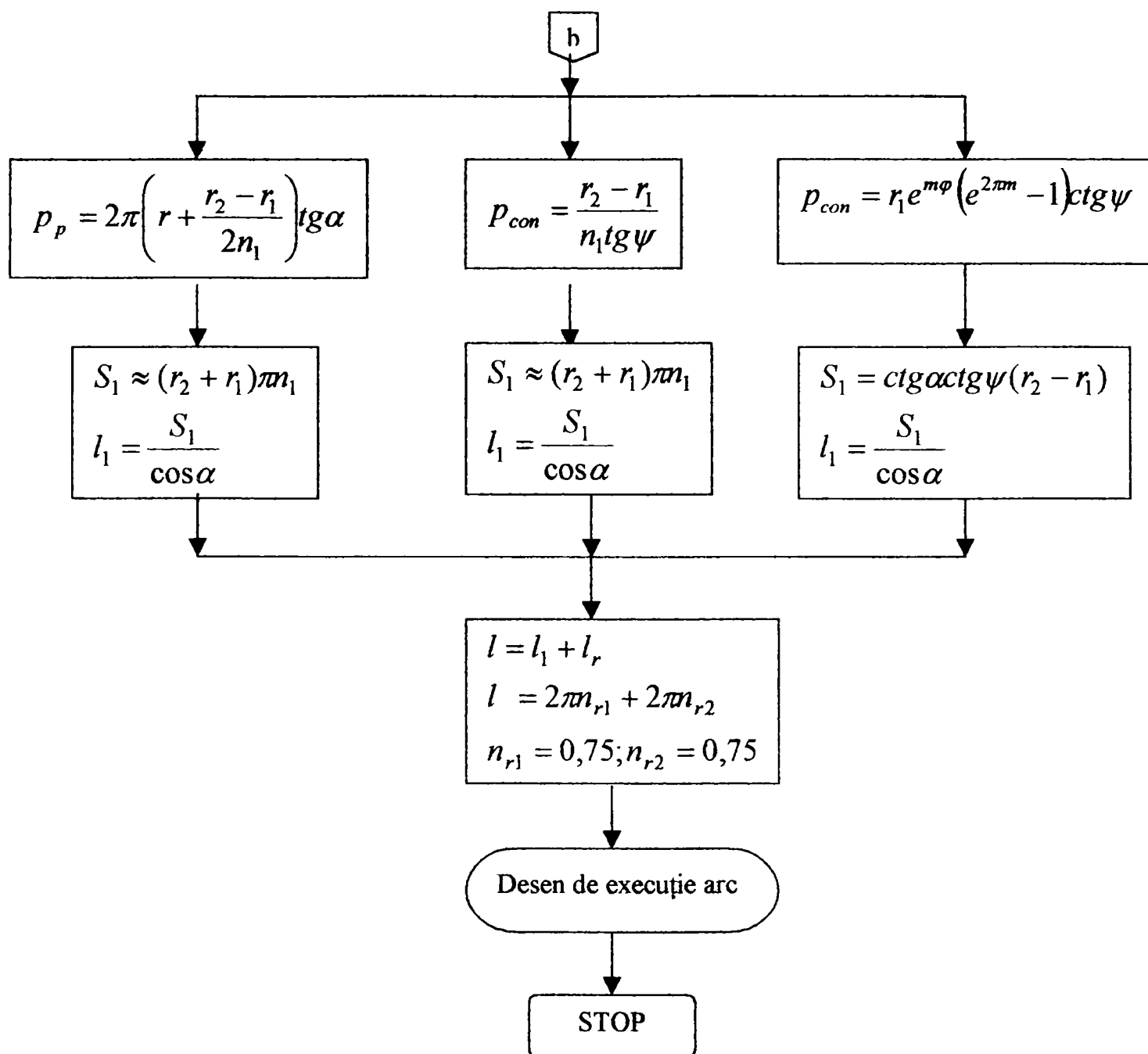


Fig. 4.4 Ordinograma de proiectare a arcului simplu profilat și cu diametrul sârmei variabil (fig.2.9)

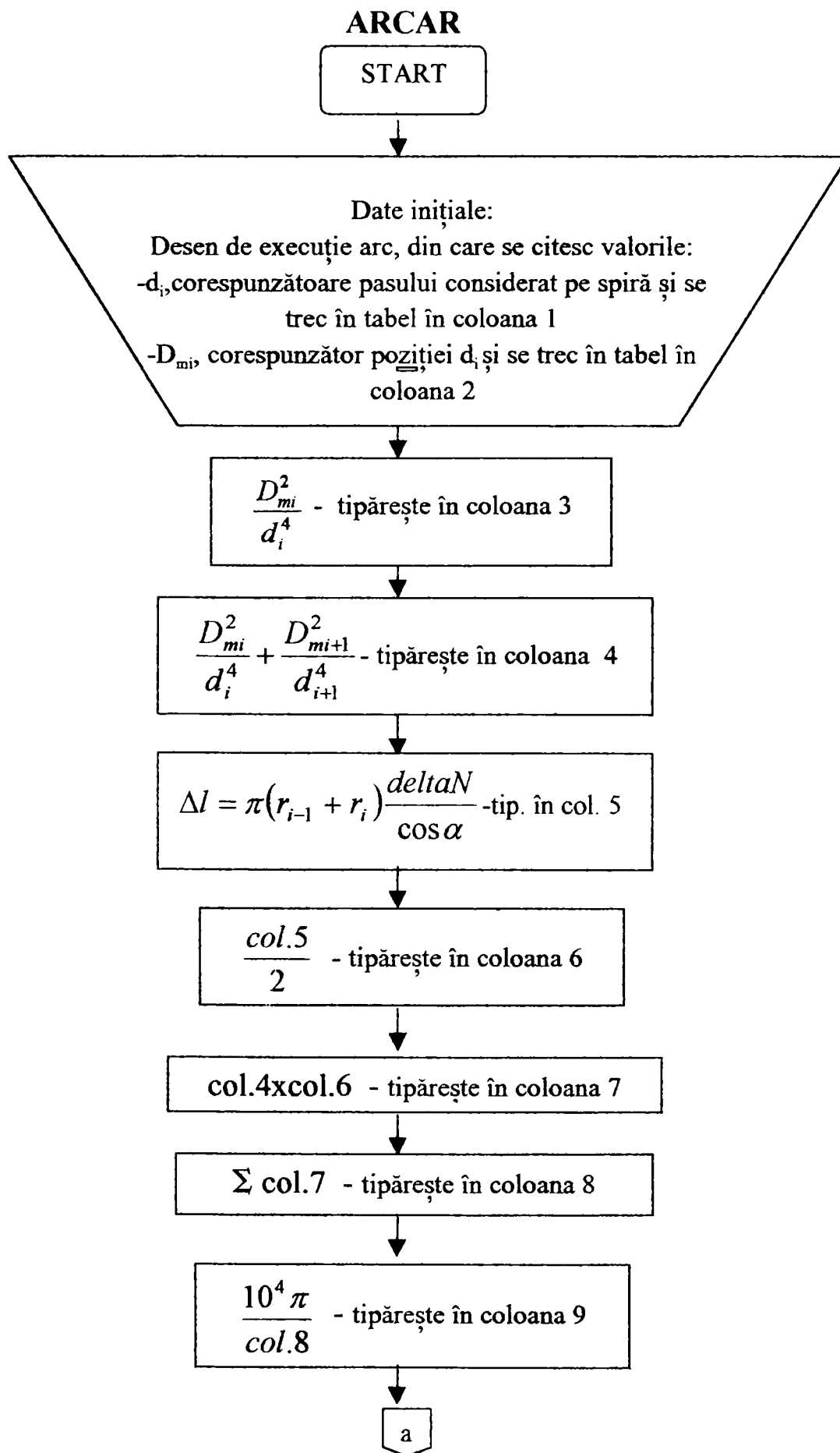


Fig. 4.5

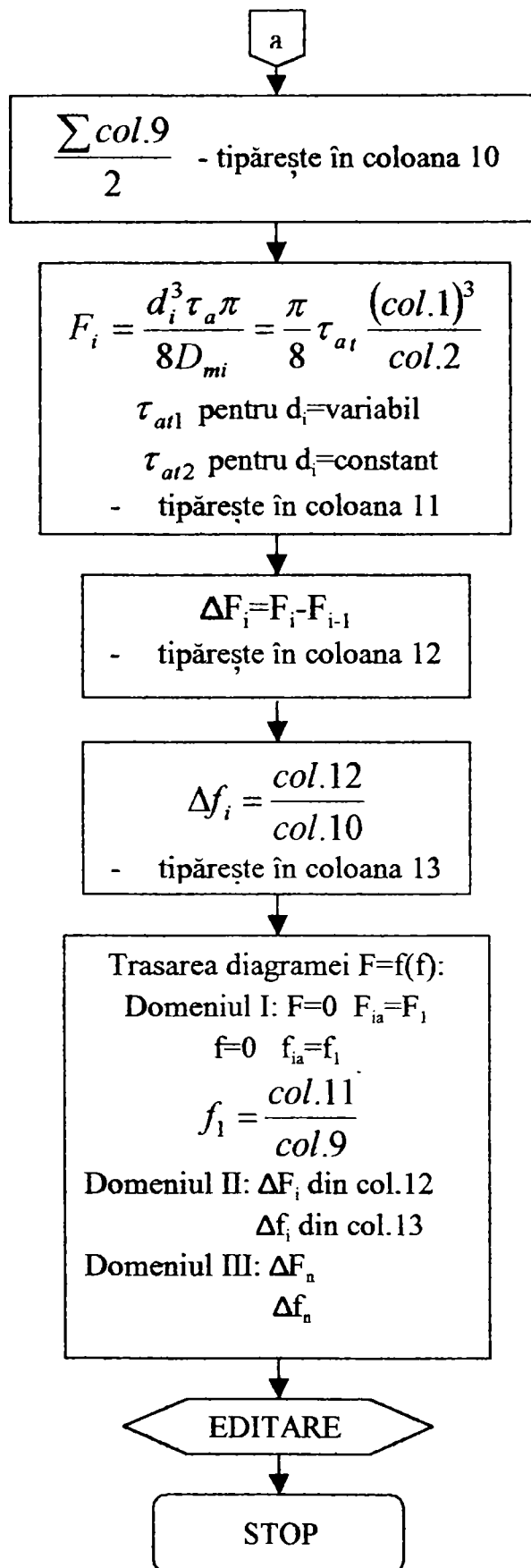


Fig. 4.5 Ordinograma de calcul a perechilor de puncte $F;f$ (forță-săgeată) pentru trasarea caracteristicii elastice a arcului compus

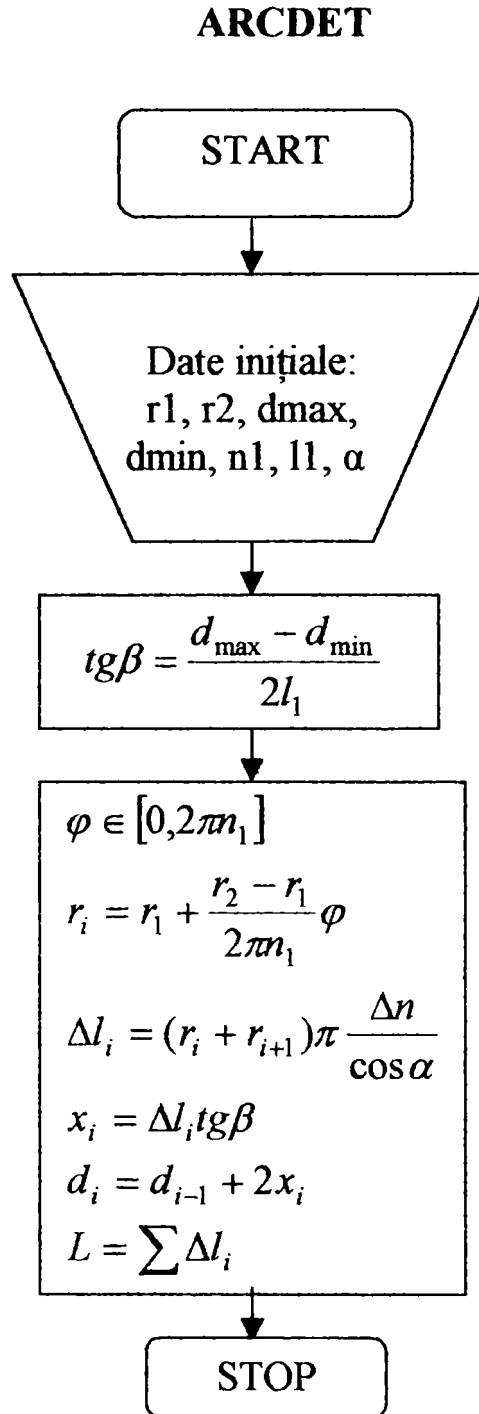


Fig. 4.6 Ordinograma pentru determinarea corespondenței dx-Dmx la arcurilela care variația diametrului sârmei de la dmin la dmax este continuă

4.2 Modelarea arcurilor elicoidale cu geometrie variabilă și simularea comportamentului lor sub sarcină

Pentru rezolvarea aplicațiilor ingineresti – acesta fiind și cazul problematicii arcurilor elicoidale – cel mai adecvat și “popular” mediu de programare este mediul MATLAB. Cu ajutorul versiunii MATLAB 5.1, s-au realizat module soft pentru modelarea (proiectarea) arcurilor de acest tip, precum și module de simulare a funcționării lor sub sarcină. Exploatând funcțiile grafice ale mediului, a fost posibilă și abordarea configurației geometric-spațiale a arcurilor. S-au elaborat modelele-schemă a acestora pe baza secțiunilor de proiectare. Plecând de la acestea, module-program specializate realizează modelele geometrice reale, care pot fi utilizate fără mari modificări la întocmirea desenelor de execuție.

În tabelul 4.1 este prezentată - cu specificațiile aferente - lista fișierelor-sursă ale modulelor-program descrise. Programele sunt particularizate pentru tipurile cele mai uzuale de arcuri elicoidale cu geometrie variabilă.

Pe baza informațiilor din tabel și a mesajelor implementate în programe, acestea pot fi folosite fără dificultăți pentru simularea și proiectarea arcurilor elicoidale, ceea ce presupune manevrarea fișierelor din fereastra de comenzi principală a mediului MATLAB.

Cerințele moderne pentru astfel de softuri presupun însă conceperea unei interfețe grafice-utilizator (“GUI”) prietenoase, cu ajutorul căreia să se poată naviga între diferitele secțiuni de program. Dacă programul se construiește într-o manieră adecvată, o sesiune de lucru se transformă în parcurgerea unui traseu de ferestre cu ajutorul butoanelor de tip “next” și “back”, în stil “wizard”. Dacă se implementează și un help ușor de abordat, pachetul soft se constituie într-un program performant dar accesibil și pentru utilizatorii care nu au abilități de programare sau chiar nu cunosc limbajul sub care a fost scris programul.

În cazul mediului MATLAB, acesta dispune de obiecte de tip control cu ajutorul cărora pot fi construite astfel de GUI, dar lucrul cu acestea este destul de greoi și presupune proiectarea individuală, sub formă de linie-program a fiecărei ferestre necesare secțiunilor programate.

Mediul VISUAL BASIC în schimb (în versiunea 6.0, utilizată) lucrează implicit cu GUI prietenoase, astfel că s-a decis elaborarea unui program în stil “wizard” sub acest mediu, pe baza subrutinelor scrise sub MATLAB care realizează modelarea funcțională și geometrică a arcurilor elicoidale. Programul a fost denumit „ARCSOFT”.

Tabelul 4.1

| Nr. crt. | Denumirea fișierului | Mărimea | Problema rezolvată |
|----------|--|---------|--|
| 1 | AP1 | 2Kb | Proiectarea arcului elicoidal cilindric cu diametrul interior sau exterior constant |
| 2 | AP2 | 4Kb | Proiectarea arcului elicoidal compus dintr-o porțiune mediană cilindrică și două arcuri extreme profilate paraboloidale sau conice |
| 3 | AP3 | 4Kb | Proiectarea arcului elicoidal compus din două arcuri profilate paraboloidale sau conice |
| 4 | AP4 | 4Kb | Proiectarea arcului elicoidal simplu profilat paraboloidal sau conic |
| 5 | ARCDDET: Did, Ded, DdP, DdCa, DdCp | 10Kb | Familie de programe pentru determinarea corespondenței dintre diametrul sârmei d_x și diametrul de înfășurare D_{mx} |
| 6 | ARCAR: CDi, CDe, C2P,Ca,Cp C3P,Ca,Cp C4P,Ca,Cp | 16Kb | Familie de programe pentru trasarea caracteristicilor teoretice ale arcurilor proiectate și compararea lor cu cele impuse |
| 7 | ARCGRAF: GDi, GDe, G2P,3P,4P, G2Ca,3Ca,4Ca, G2Cp,3Cp,4Cp | 500Kb | Familie de programe pentru elaborarea desenelor de execuție ale arcurilor proiectate |
| 8 | IGU | | Interfața programului „ARCSOFT” |

Sucesiunea utilizării fișierelor sursă este prezentată în figura 4.7.

În faza de modelare, la **nivelul 1** se alege varianta de arc: AP1 (ordinograma corespunzătoare este ARCPROF 1), AP2 (ARCPROF 2), AP3 (ARCPROF 3), AP4 (ARCPROF 4); alegerea se face conform indicațiilor din interfața programului „ARCSOFT” și se particularizează la

nivelul 2 (arc elicoidal cilindric cu diametrul interior D_i sau exterior D_e constant, arc elicoidal extrem sau simplu profilat: paraboloidal P, conic cu unghi de pantă constant Ca , conic cu pas constant Cp). Se pot rula (de preferat) toate variantele de arcuri de la nivelul 2, cu selecția soluției optime la final.

În interfața următoare se introduc datele inițiale pentru varianta (variantele) de arc selectat.

La **nivelul 3**, se determină corespondența dintre diametrul de înfășurare al spirei și diametrul sârmei (ordinograma corespunzătoare este ARCDDET); există module particularizate (D_{id} , D_{ed} , D_{dP} , D_{dCa} , D_{dCp}) pentru fiecare din arcurile menționate anterior la nivelul 2.

Simularea comportamentului sub sarcină a arcurilor proiectate se face la **nivelul 4**, prin trasarea caracteristicii teoretice sarcină-deformație, (ordinograma corespunzătoare este ARCAR). Tot aici se compară caracteristica simulată cu caracteristica necesară și se ia decizia asupra soluției optime. Modulele-program sunt de asemenea specializate pentru fiecare din variantele de arcuri luate în discuție. Se poate adăuga că, pentru mărirea preciziei caracteristicii, porțiunea de spiră luată în considerare în procesul de așezare poate fi, teoretic, oricât de mică. Întrucât, din considerente care țin de execuția arcului, numărul de spire s-a rotunjit la prima zecimală, pasul pe diametrul mediu al spirei se poate considera $1/10$ ($\Pi/5$).

Reprezentarea grafică a arcului ales se elaborează la **nivelul 5** (ARCGRAF).

Navigarea între nivelele 1 și 2 se realizează prin butoanele de tip „next” și „back”. După introducerea datelor inițiale necesare la proiectarea arcurilor, programul „ARCSOFT” alege singur, la nivelele 3, 4 și 5 modulele corespunzătoare variantei de arc selectate. Rezultatul final apare sub forma unui desen de execuție al arcului, cu cote tabelare, un grafic care conține atât caracteristica sarcină-deformație impusă cât și cea calculată, precum și unul din mesajele-concluzie: „arcul proiectat corespunde”, „arcul proiectat este mai elastic decât cel necesar” sau „arcul proiectat este mai rigid decât cel necesar”, cu afișarea pentru fiecare mesaj a abaterii calculate între cele două caracteristici.

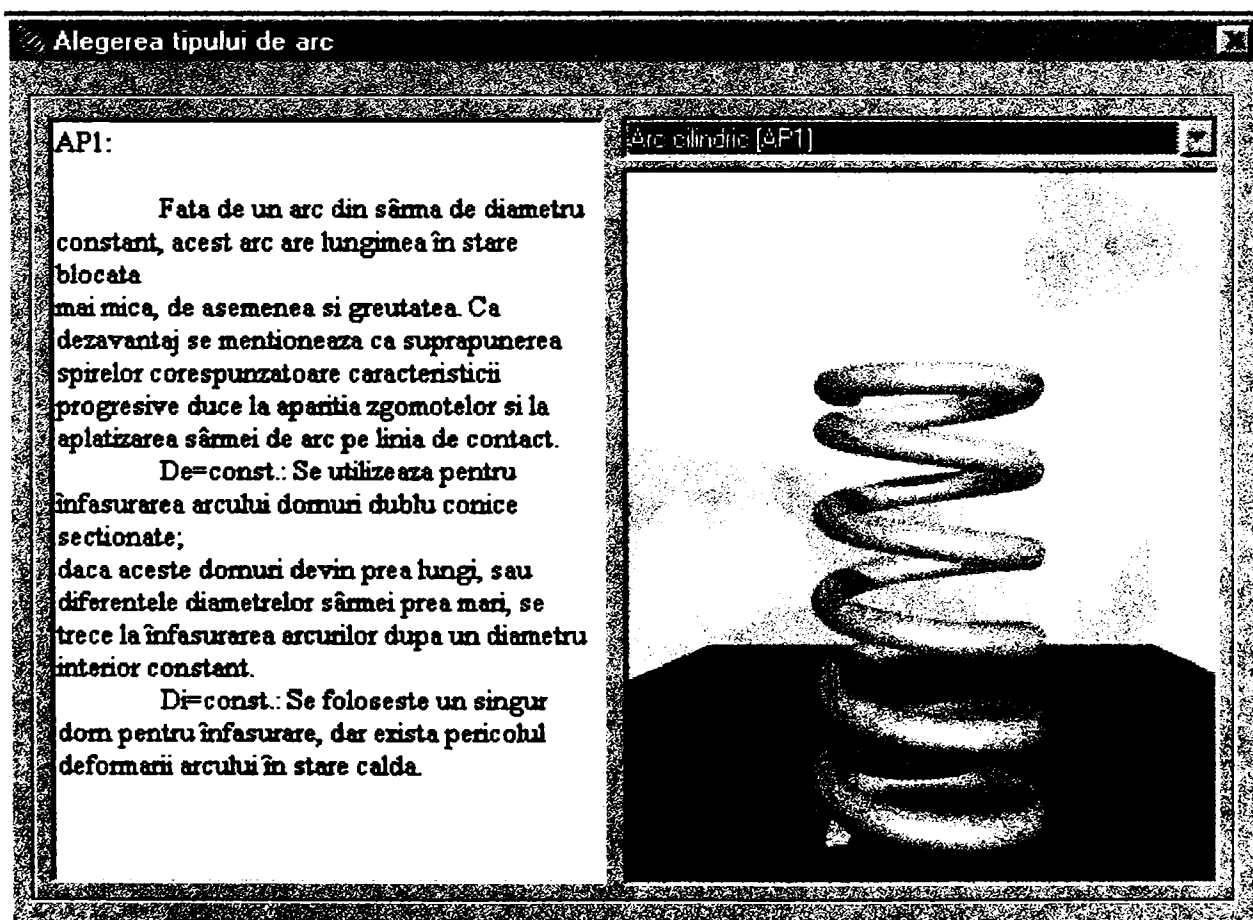
În anexa I sunt date fișiere sursă ale softului de modelare-simulare pentru arcuri elicoidale de geometrie variabilă.

Pentru validarea programelor ARCPROF 2 și ARCAR s-a avut în vedere documentația tehnică de la firma sursă, preluată prin intermediul societății comerciale căreia i s-a solicitat să studieze posibilitatea eventualei asimilări în fabricație.

Ulterior, după deschiderea unei colaborări cu S.C. „DAEWOO” Craiova, documentația tehnică pentru arcurile suspensiei spate a automobilelor „CIELO”, a servit la verificarea și validarea acestor programe.

La celelalte programe la care nu s-au putut obține informații preliminare de tip temă de proiectare (caracteristică, gabarit) a fost necesară obținerea acestor date pe baza încercărilor proprii efectuate în laboratoarele facultății și în laboratorul specializat de la S.C. „ASTRA” ARAD.

Se prezintă în continuare interfețele de la nivelul 1 și 2, de alegere a variantei de arc și introducere de date:



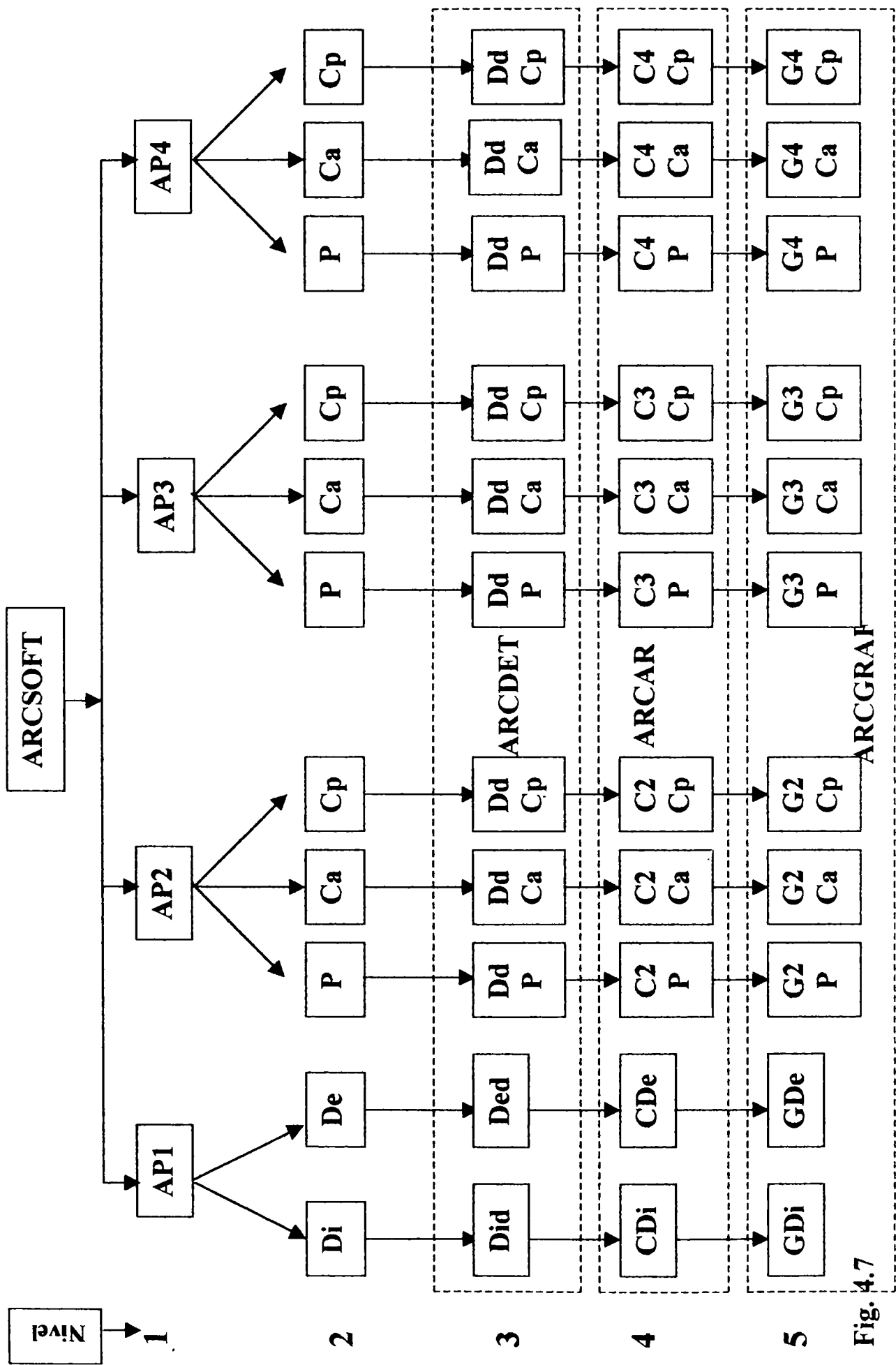


Fig. 4.7


Alegerea tipului de arc

AP2:

Arcul functioneaza fara zgomot si prezinta siguranta la flambaj; lungimea arcului în stare blocata este foarte mica: $H_b = 2,5 d_{max}$, greutatea deasemenea mica din cauza diametrului variabil al sârmei si al spirelor.

Pentru spirele progresive, se recomanda suprafata de înfasurare a arcului să fie cilindrică, cu un diametru $t = 1,1 d$ multu sectionat transversal cad usor printre spirele arcului, după extragerea axului central.

Arc dublu profilat cu portiune mediana cilindrica [AP2]



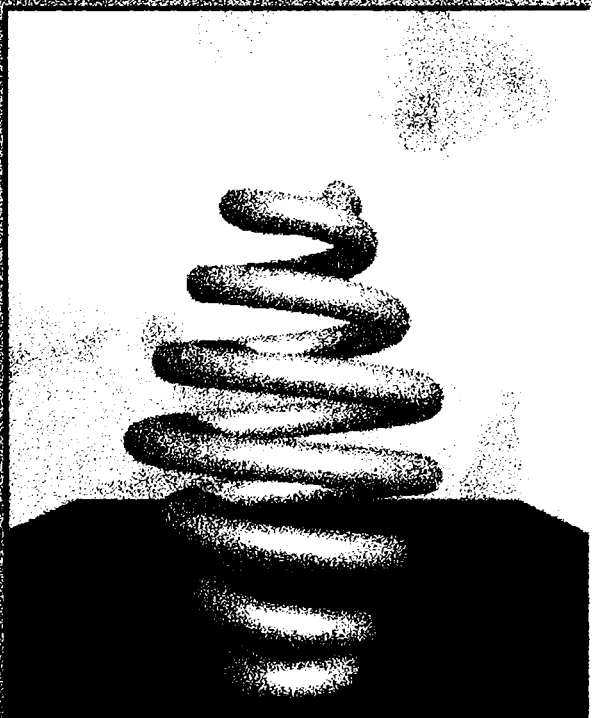
Alegerea tipului de arc

AP3:

Arcul functioneaza fara zgomot si prezinta siguranta la flambaj; lungimea arcului în stare blocata este mica; greutatea deasemenea mica din cauza diametrului variabil al sârmei si al spirelor.

Fata de varianta AP2 (arc dublu profilat), are în plus urmatoarele avantaje: diametrul exterior maxim D_e si diametrul maxim d_{max} al sârmei sunt mai mici, datorita prezentei portiunii intermediare cilindrice; se poate face o adaptare continua între D_e si H_b prin variatia numarului de spire de rigiditate constanta (optimizarea gabaritului).

Arc dublu profilat [AP3]



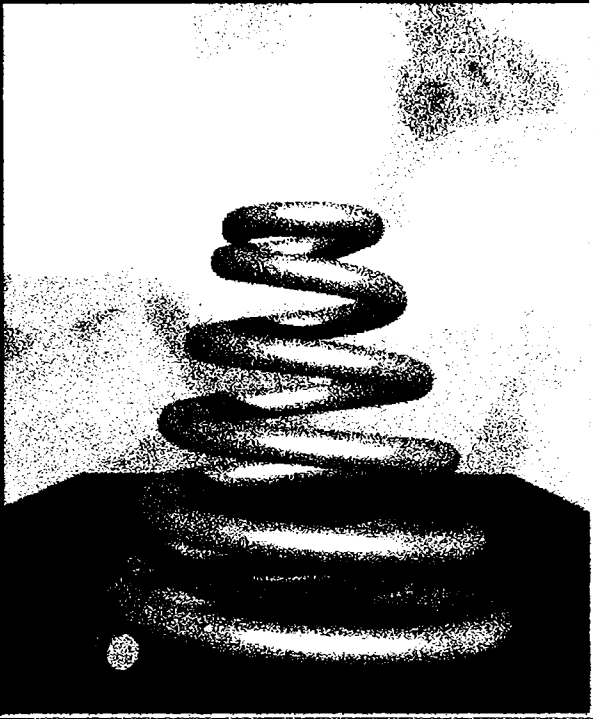
Alegerea tipului de arc

AP4:

Arcul este sigur la flambaj, lucreaza fara zgomot sau aplatizare; are cea mai mica inaltime in stare blocata: $H_b = d_{max}$. Fata de variantele AP2 si AP3, are diametrul de infasurare mai mare.

Forma A: raportul d_{max}/d_{min} este foarte mare iar portiunea progresiva a caracteristicii are panta lina; greutate mai mare datorita spirelor de capat mari si diametrului mare al sâmei;

Arc simplu profilat [AP4]



Introducere date [AP1]

96.3

6.5

0.6

Combo1 900 700 80000

5480 2370 5840 6800

155 95 155 168

5. INSTALAȚII EXPERIMENTALE ȘI METODICA DE CERCETARE. REZULTATE EXPERIMENTALE

5.1 Instalații de încercare a arcurilor elicoidale de compresiune

5.1.1 Definiție generală

În general, încercările mecanice ale arcurilor se clasifică în:

-încercări la solicitări statice;

-încercări la solicitări dinamice: -pentru studiul histerezei;

-pentru stabilirea comportamentului și

durabilității la oboseală;

-încercări speciale, la care sunt supuse arcurile care lucrează în condiții deosebite (temperatură ridicată, medii corosive, etc.).

Indicații de încercări pentru arcuri elicoidale de tracțiune și compresiune sunt date în STAS 6917-64.

Încercarea la solicitarea statică a arcurilor este încercarea mecanică la care este supus un arc aplicând asupra lui lent, progresiv o sarcină de tracțiune, compresiune, încovoiere sau răsucire, după direcția corespunzătoare de solicitare a arcului respectiv.

Prin încercarea statică se urmărește:

-trasarea caracteristicii reale de funcționare a arcului;

-determinarea sarcinii (F_{\max}) corespunzătoare deformației maxime a arcului sau a sarcinii corespunzătoare ruperii (F_r);

-determinarea rigidității arcului, într-un anumit punct al caracteristicii

sale:
$$K = \frac{\text{sarcina}}{\text{deformație}} \quad \text{sau a sensibilității:} \quad \frac{1}{K}$$

Încercarea statică se poate executa prin: determinarea deformației arcului corespunzătoare unei sarcini prestabilite sau determinarea sarcinii necesare pentru realizarea unei anumite deformații stabilite.

Încercarea la solicitări dinamice a arcurilor sau încercarea la oboseală se execută pentru a se pune în evidență deformația remanentă după un număr prestabilit de cicluri sau, din punct de vedere tehnologic, este vizată determinarea numărului de cicluri suportate de arc până la producerea ruperii. Prin această încercare se poate aprecia durata de funcționare a arcului la o sarcină maximă acceptată. Încercările dinamice permit ca prin studiul ciclului de histereză să se stabilească atât randamentul arcului cât și coeficientul de amortizare al acestuia.

Din seria încercărilor speciale interesează cele aplicate arcurilor care lucrează la temperaturi ridicate sau foarte scăzute și care sunt supuse fenomenului de relaxare a tensiunilor.

5.1.2 Încercarea la solicitare statică

La această încercare sarcina se aplică progresiv până la valoarea maximă, care la arcurile de compresiune este atinsă atunci când spirele vin în contact reciproc sau în contact cu suprafața de reazem. Încercările statice pentru arcurile de compresiune se execută în următoarele situații:

-*încercări de elasticitate de scurtă durată*, la care se aplică sarcina pentru realizarea înălțimii minime timp de 2-3 minute. După descărcare se măsoară înălțimea arcului a cărei abatere trebuie să fie cuprinsă în toleranțele admise.

-*încercări de flexibilitate*, la care se aplică sarcina progresiv, până la sarcina maximă. Se determină sensibilitatea (compliance) arcului, definită ca inversa rigidității.

--*încercări de elasticitate de lungă durată*. Se execută o comprimare timp de 2-3 minute, după care se descarcă arcul, supunându-se apoi aceleași sarcini timp de 48 de ore. Se măsoară înălțimea arcului după fiecare solicitare, urmând ca ea să se înscrie în toleranțele admise.

Se poate trasa caracteristica reală de funcționare a arcului (încărcare-descărcare), măsurându-se diverse valori ale sarcinii și săgețile corespunzătoare.

5.1.3 Încercarea la solicitări dinamice

Tensiunea sau domeniul de tensiuni admisibile de încercare pentru arcurile elicoidale supuse la încărcare repetată în general este mai mică decât pentru arcurile încărcate static și depinde de mai mulți factori: materialul,

numărul de cicluri de încărcare, calitatea suprafeței sârmei, indicele arcului și diametrul sârmei. În general, domeniul de tensiuni din interiorul spirei este criteriul cel mai important ce determină durabilitatea arcului la încărcare repetată. Și calitatea suprafeței sârmei sau a barei este importantă: ciupituri sau defecte, care în cazul încărcării statice nu au importanță semnificativă, pot duce, în cazul încărcărilor repetate, la rupere cauzată de concentratorii de tensiune. Din această cauză, la arcurile cu încărcare repetată, se folosește sârmă careia i se aplică o prelucrare pentru asigurarea unei suprafețe de înaltă calitate.

Prelucrarea cu jet de alicie metalice a arcurilor elicoidale are ca rezultat o însemnată creștere a numărului de cicluri până la rupere, în cazul încărcării repetate și trebuie folosită de obicei acolo unde rezistența la oboseală este esențială.

O caracteristică a încercărilor la oboseală a arcurilor este marea dispersie a rezultatelor care apar când determinările se fac pe un număr mare de arcuri. Un exemplu în acest sens este reprezentat în figura 5.1 [H₂], banda de dispersie fiind obținută în urma încercărilor la oboseală a arcurilor elicoidale înfășurate la cald, cu $d=19\text{mm}$ și $D=95\text{mm}$.

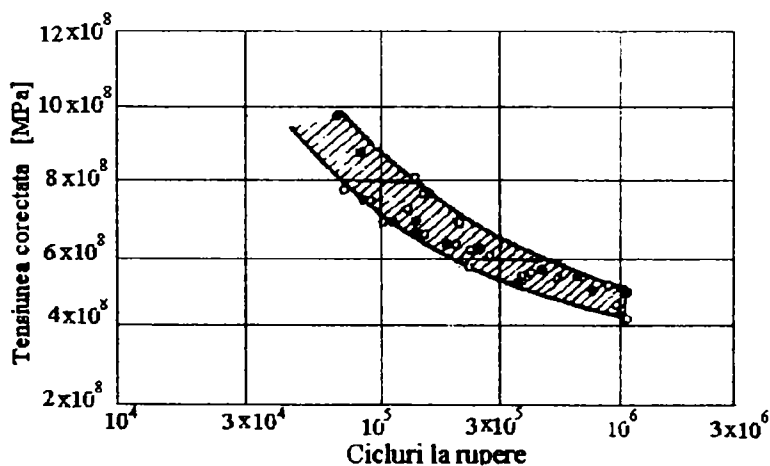


Fig.5.1

Încercările s-au făcut în domeniul stărilor de tensiune de la zero la maxim. Marcajele pline din figura 5.1 sunt pentru oțel carbon elaborat în cuptoare cu căptușeală bazică, iar cele goale sunt pentru oțel carbon elaborat electric.

În proiectarea arcurilor se utilizează tensiuni admisibile obținute prin diminuarea corespunzătoare a valorilor stării de tensiune determinate pe cale experimentală.

5.1.4 Mașini de încercat arcuri

Programul experimental s-a derulat pe instalații adecvate și anume:

a) Mașina de ultimă generație pentru încercarea arcurilor elicoidale la solicitări statice, varianta HMD 20 D, produsă de firma franceză ANDILOG, mașină existentă în dotarea laboratoarelor S.C. „ASTRA” Arad (fig.5.2 soluție constructivă, fig.5.3 fotografie).

Principalele caracteristici tehnice ale utilajului sunt:

| | |
|-------------------------------|---------|
| -Forța nominală de utilizare: | 200 KN |
| -Cursa traversei mobile: | 1500 mm |
| -Lărgimea între coloane: | 600 mm |
| -Înălțimea între platouri: | 1200 mm |
| -Diametrul platourilor: | 500 mm |

Traversa mobilă este pilotată de un motor de mare putere și comandată electronic pentru a se asigura o viteză constantă a încărcării.

Viteza de deplasare a traversei poate fi reglată în limitele: de la 0 la 400 mm/min, cu pasul de 0,01mm/min.

Batiul are două coloane de ghidare cu colivii cu bile și cale de rulare cu role pentru platoul inferior pe care se așează arcul de încercat. Platoul inferior este prevăzut cu trei celule capabile să dezvolte o forță de cel mult 20 KN și culisează pe calea cu role acționat fiind de un cilindru pneumatic care permite așezarea corespunzătoare a arcurilor de mari dimensiuni.

Ansamblul este protejat printr-un grilaj închis de o ușă culisantă.

Forța dezvoltată este măsurată de un dinamometru de 200 KN care conține doi traductori de mare precizie, interschimbabili.

Deplasarea traversei superioare este măsurată cu ajutorul unei rigle optice cu rezoluția de $5 \mu\text{m}$.

Ansamblul suportă o suprasarcină accidentală de 50% din capacitatea nominală, este protejat la șocuri mecanice la capăt de cursă, la suprasarcina motorului și la erori de logică.

Datele achiziționate în timpul încercării la solicitări statice de compresiune/tracțiune a arcurilor elicoidale sunt prelucrate de calculator. Programul performant „CALISPRING” permite editarea caracteristicii sarcină-deformație, memorarea celor mai frecvente tipodimensiuni de arcuri încercate și prelucrări statistice ale datelor prelevate.

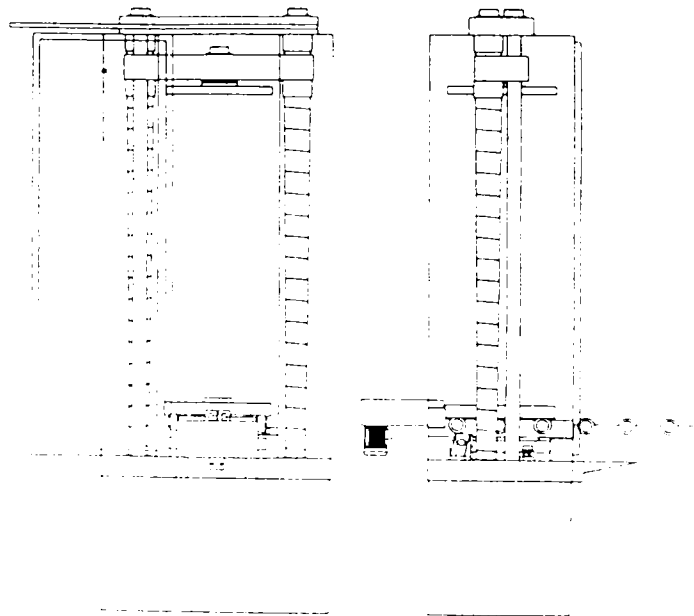


Fig.5.2



Fig.5.3

b) Arcurile elicoidale ale suspensiilor de autovehicule rutiere sau cele comparabile cu acestea ca și gabarit și forță maximă de încărcare, s-au încercat și pe instalația experimentală existentă în Laboratorul de Organe de Mașini al Catedrei OMM, Facultatea de Mecanică din cadrul U.P.T. În figura 5.4 este prezentată schemă cinematică a instalației, iar în figura 5.5 fotografia sa, împreună cu câteva din arcurile încercate.

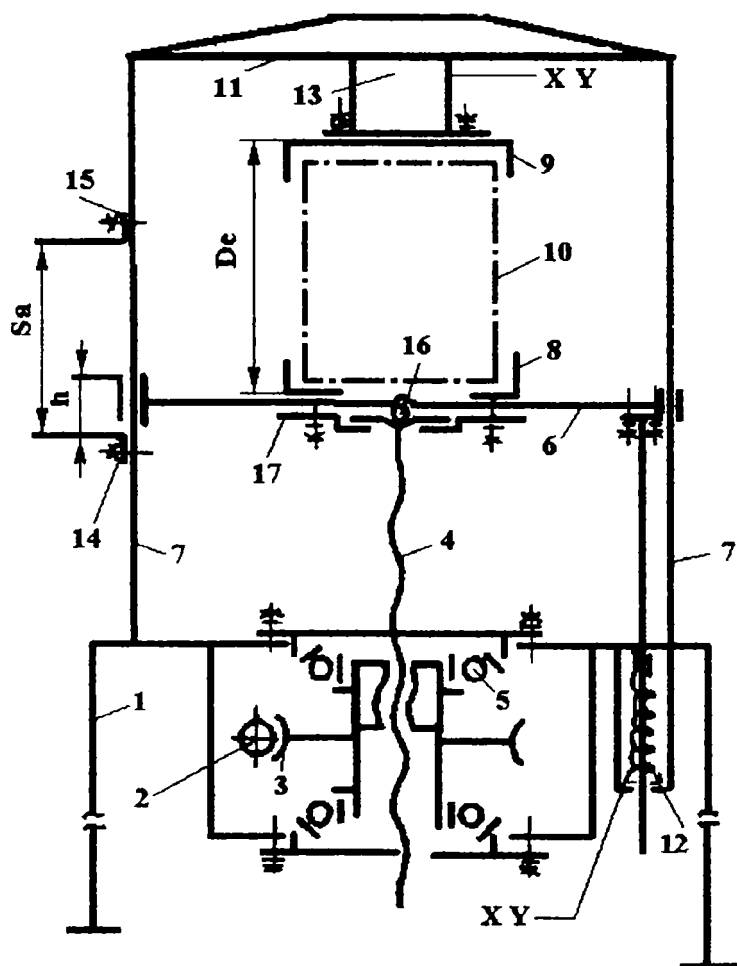


Fig. 5.4

-Sistemul de prindere a arcului încercat constă din: dispozitivele (8) și (9) fixate prin șuruburi de masa (6), respectiv flanșa dinamometrului (13), sistem ce diferă constructiv în funcție de tipul epruvetei utilizate.

-Sistemul de măsură-înregistrare are în componența sa: dinamometrul (13) și traductorul de deplasare (12).

-Sistemul de protecție conține: două limitatoare de capăt de cursă (S_2) cu poziție reglabilă (14) și (15), care decuplează motorul ce acționează melcul (2), respectiv avertizează optic în cazul acționării manuale.

Instalația se compune din:

-Sistemul de încărcare, acționat cu un motor electric cuplat cu angrenajul melc (2)-roată melcată (3), lăgăruită în carcasă (1), pe rulmenții radial-axial (5), făcând corp comun cu piulița șurubului de forță (4). Aceasta transmite mișcarea prin intermediul bilei (16) respectiv flanșei (17) la masa (6), ghidată pe coloane (7), rigidizate prin traversa (11). Ștandul a fost prevăzut și pentru posibilitatea acționării manuale, caz în care piulița șurubului de forță este antrenată în mișcare de rotație prin intermediul unei roți de manevră.

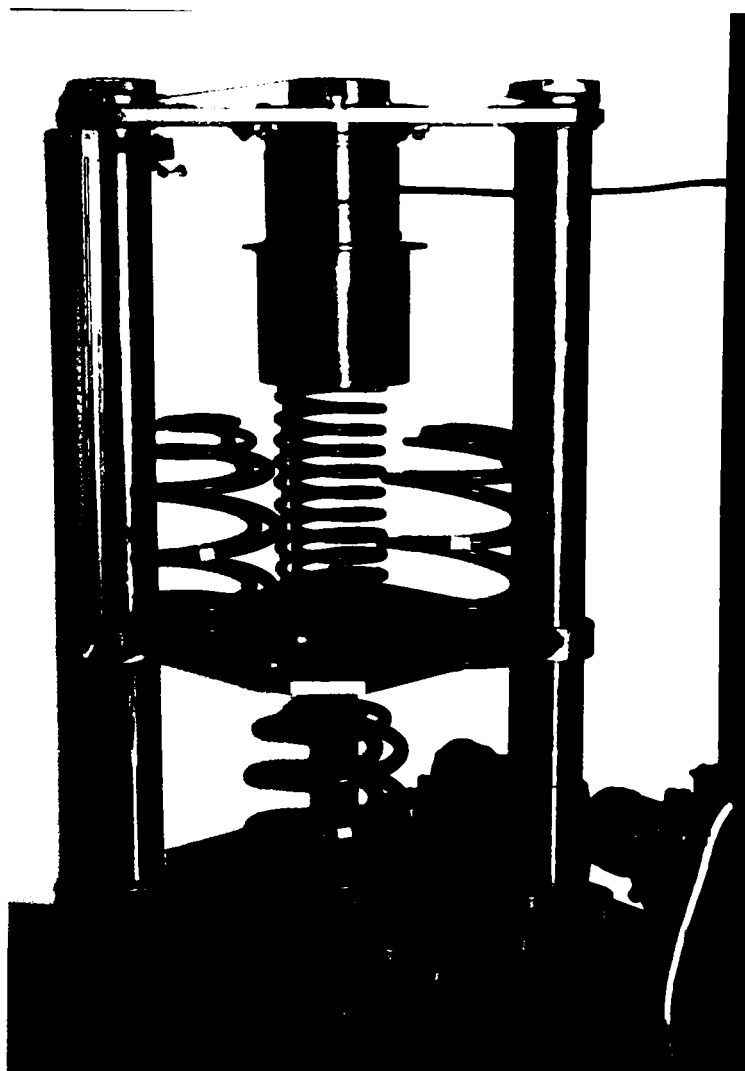


Fig. 5.5

c) La încercarea arcurilor de gabarit relativ mare (arcuri pentru suspensii auto) s-a folosit și mașina universală de încercat la tracțiune-compresiune „Louis Schopper-Leipzig” din Laboratorul de Rezistența materialelor, de la Facultatea de Mecanică din U.P.T., laborator atestat metrologic.

Mașina este de tip presă cu șurub cu două coloane, are trei domenii de lucru: $A=2 \times 10^4$ N, $B=5 \times 10^4$ N și $C=10^5$ N respectiv viteză de încărcare-descărcare constantă. Forța se citește pe cadranul mașinii, iar săgeata arcului pe rigla gradată, sau se măsoară cu șublerul înălțimea arcului așezat între două șaibe plane. Măsurătorile s-au făcut în regim de funcționare cvasistatică prin încărcarea continuă a mașinii.

5.2 Metodica de cercetare

Programul de cercetare a avut ca obiectiv:

- măsurarea elementelor geometrice ale arcurilor;
- determinarea caracteristicilor sarcină-deformație;

și s-a extins asupra următoarelor tipuri de arcuri achiziționate în cadrul unui grant finanțat de CNCSIS [I₁]:

1-arc dublu paraboloidal cu porțiune mediană cilindrică, suspensie spate autoturism marca CIELO;

2-arc dublu paraboloidal cu porțiune mediană cilindrică, suspensie spate autoturism marca OPEL;

3-arc compus, suspensie spate autoturism marca OPEL COMBI;

4-arc cilindric, suspensie spate autoturism marca FORD ESCORT;

5-arc cilindric, suspensie față autoturism marca VOLKSWAGEN.

Arcurile au fost măsurate la S.C. „ELECTROTIMIȘ” S.A. Timișoara, în Laboratorul de Metrologie, pe *echipamentul de măsurare tridimensională cu calculator EMT 3C*. S-a urmărit determinarea diametrului de înfășurare din $\frac{1}{2}$ în $\frac{1}{2}$ de spiră, a diametrului corespunzător al sârmei, a pașilor, a înălțimii arcului în stare liberă și a unghiului de pantă al elicei. Cu datele rezultate au fost întocmite fișe pentru fiecare arc în parte.

Toate cele cinci tipuri de arcuri au fost supuse încercărilor de flexibilitate pe mașina de încercat arcuri existentă în dotarea S.C. „ASTRA” Arad și descrisă în paragraful 5.1.4 a.

Încercările arcurilor s-au făcut prin aplicarea progresivă a sarcinii la viteză constantă, încărcare și descărcare. La sfârșitul încercării unui arc, pe monitorul instalației apare caracteristica sarcină-deformație; se stabilește un număr de puncte de testare (15-20), pentru care se afișează ulterior valoarea exactă a forței corespunzătoare înălțimii arcului încărcat. Rezultatele încercărilor se editează la imprimanta din dotare. În figura 5.6 este prezentată una din diagramele inițiale, iar în figura 5.7, aceeași diagramă, cu punctele testate. Din analiza diagramelor se constată că histereza arcului este foarte mică: limita superioară a domeniilor reprezintă încărcarea, limita inferioară, descărcarea.

În timpul încercării arcurilor, s-au făcut observații și asupra modului de așezare a spirelor la creșterea progresivă a sarcinii. Aceste observații au completat fișele arcurilor.

Se menționează că s-a constatat apariția unor mici abateri ale caracteristicii pentru fiecare arc încercat, în funcție de modul de așezare a arcului pe platou, deoarece spirele de reazem sunt închise dar neprelucrate

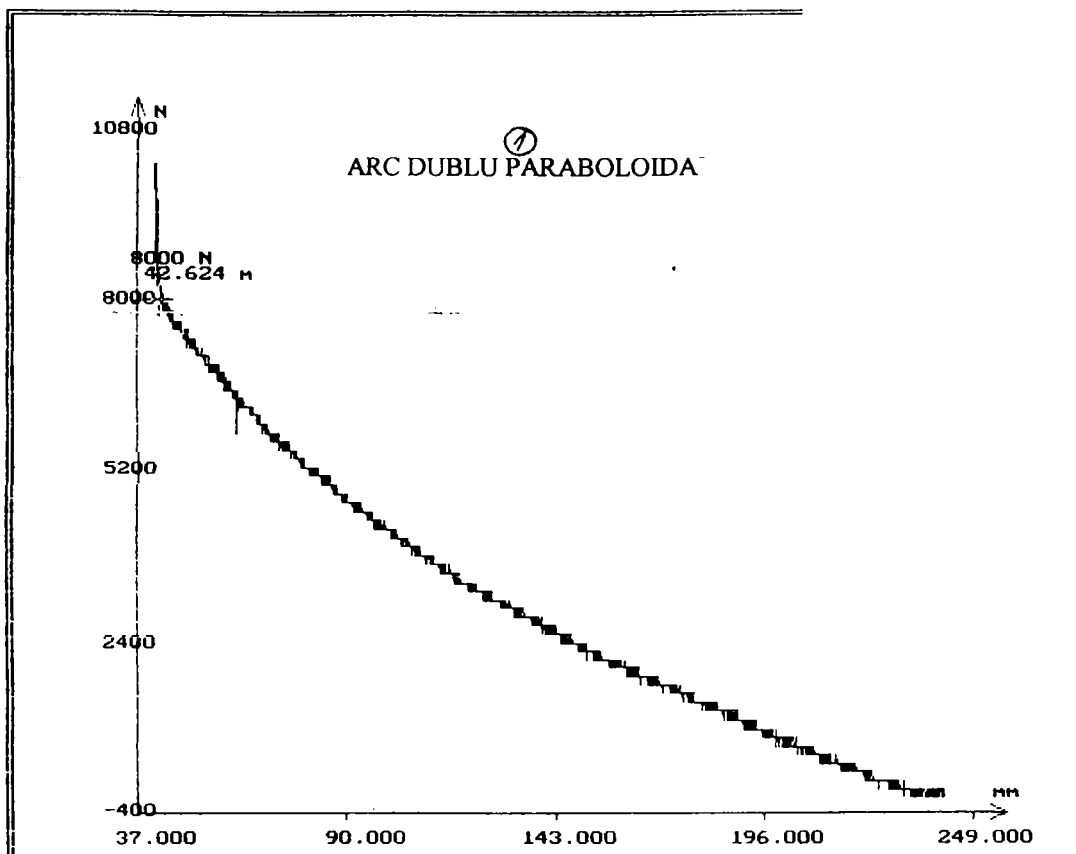


Fig. 5.6

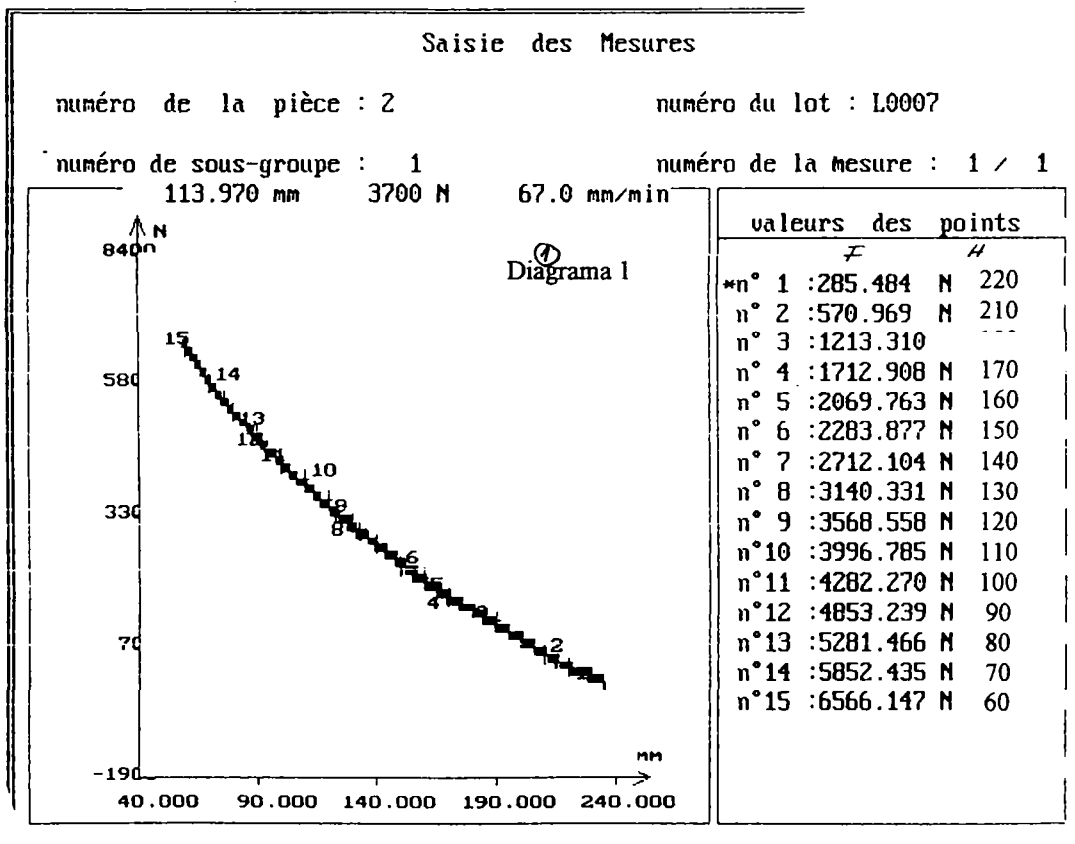


Fig. 5.7

și nici arcul nu se poate centra riguros pe masa mașinii (este ipotetică coincidența axei arcului cu axa capului de forță). Pentru medierea caracteristicii, s-au ridicat câte patru diagrame sarcină-deformație pentru fiecare arc, așezând de fiecare dată arcul rotit succesiv cu 90° pe masa presei.

Fișele de măsurători și caracteristicile sarcină-deformație ridicate experimental pe mașina de încercat arcuri „HMD 20 D”, pentru fiecare din arcurile cuprinse în programul de studiu, sunt prezentate în anexa II.

Caracteristica sarcină-deformație a arcului de tip 1, menționat mai sus, s-a ridicat și pe instalațiile descrise la paragraful 5.1.4 punctele b și c. Din compararea datelor obținute privind caracteristica arcului de tip „CIELO” pe toate cele trei instalații experimentale nu s-au constatat abateri semnificative ale caracteristicilor.

În vederea încercării arcurilor pe standul existent în Laboratorul de Organe de mașini (5.1.4 b), acesta a fost completat cu un panou electric de automatizare.

Dinamometrul de forță (fig.5.8) a fost etalonat în Laboratorul de Rezistența materialelor, pe mașina descrisă în paragraful 5.1.4 c. Materialul din care este confecționat dinamometrul este OL60, cu $\sigma_{at} = \sigma_{ac} = 58$ MPa. Pentru a rămâne în domeniul deformărilor elastice, se consideră $\sigma_{ac} = 58 \times 0,3 = 17,4$ MPa. Aria celor două secțiuni elastice fiind de 476 mm^2 , rezultă o forță maximă admisibilă de încărcare $F_{max} = 7500$ N. Cele patru traductoare rezistive sunt montate în punte completă, cu constanta totală de amplificare 2,6.

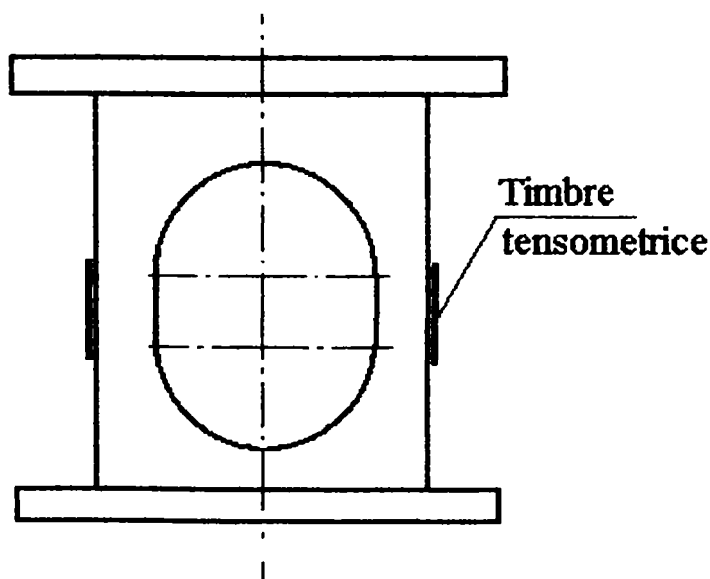


Fig.5.8

Pentru etalonare, s-a folosit puntea tensometrică tip N 2302, în domeniul încercărilor statice, scara $100 \mu\text{m}/\text{m}$, montaj în punte completă (4D).

Etapele etalonării au fost următoarele:

- S-a montat dinamometrul pe mașina menționată;
- S-a aplicat o pretensionare de 500N;
- S-au făcut câteva încărcări și descărcări;
- S-a echilibrat rezistiv și capacitiv puntea;
- S-a încărcat până la 7500 N, cu citirea diviziunilor pe cadranul punții din 500 în 500 N, la încărcare și descărcare;
- S-au repetat încercările de 5 ori.

Media măsurătorilor a fost prelucrată cu metoda regresiei liniare, în mediul MATLAB 5.1, cu programul dedicat „Etall”:

```
%Etall
%Etalonarea dinamometrului de forta ap. standului de
incercat arcuri elicoidale de compresiune din Lab. OM

x=[0,6,12,18,22,26,29.5,32.5,36.5,40.5,44,48,52,56,60];
y=[0,500,1000,1500,2000,2500,3000,3500,4000,4500,5000,5500,
  6000,6500,7000];
coef=polyfit(x,y,1);
m=coef(1);
n=coef(2);
y1=m*x+n;
sum p=sum((y-y1).^2);
plot(x, y1, x, y, 'o')
grid on
xlabel('Diviziuni [-]')
ylabel('Forta [N]')
title(['Etalonarea dinamometrului de forta'])
cl=polyfit(x,y,1)
```

5.3 Rezultate experimentale

Aplicarea regresiei liniare la media măsurătorilor a dus la stabilirea coeficienților polinomului de gradul 1 și a diagramei de etalonare din figura 5.9:

» etall

cl =

121.7380 -419.9642

adică $m=121,738$ N/diviziune este constanta de etalonare a dinamometrului.

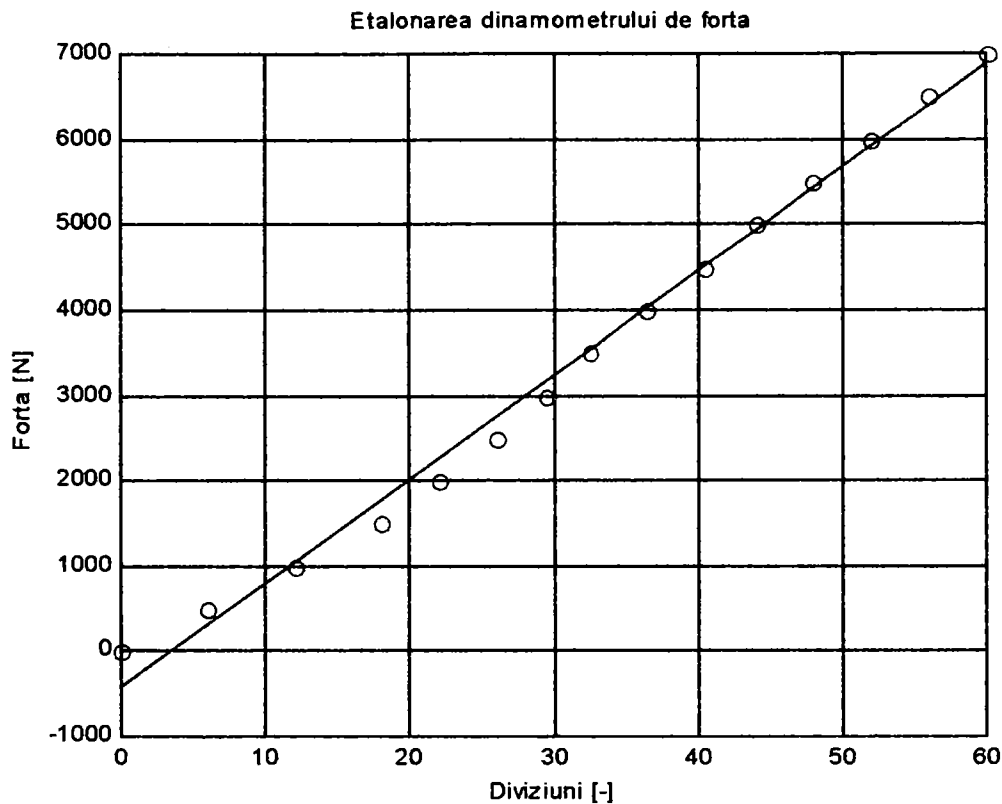


Fig.5.9

Caracteristicile sarcină-deformație ridicate experimental pentru arcurile luate în studiu și prezentate în anexa II au fost mediate (din cele patru încercări) și apoi prelucrate în scopul liniarizării domeniului I (când lucrează toate spirele arcului); mediul folosit a fost MATLAB 5.1. În figura 5.10, se prezintă una dintre aceste caracteristici, iar în figura 5.11 aceeași caracteristică cu primul domeniu liniarizat.

Ulterior acestor încercări s-a deschis o linie de colaborare cu „DAEWOO” Craiova. Societatea constructoare de automobile a furnizat desenele de execuție și caracteristicile a două arcuri distincte care echipează suspensia spate a autoturismelor marca „CIELO”. Datele prelevate au fost introduse în programele de proiectare și verificare corespunzătoare, iar rezultatele (dimensiunile arcurilor proiectate pe baza diagramelor forță-deformație și abaterea caracteristicii teoretice față de cea impusă), însoțite de concluzii, vor fi transmise compartimentului tehnic al firmei menționate.

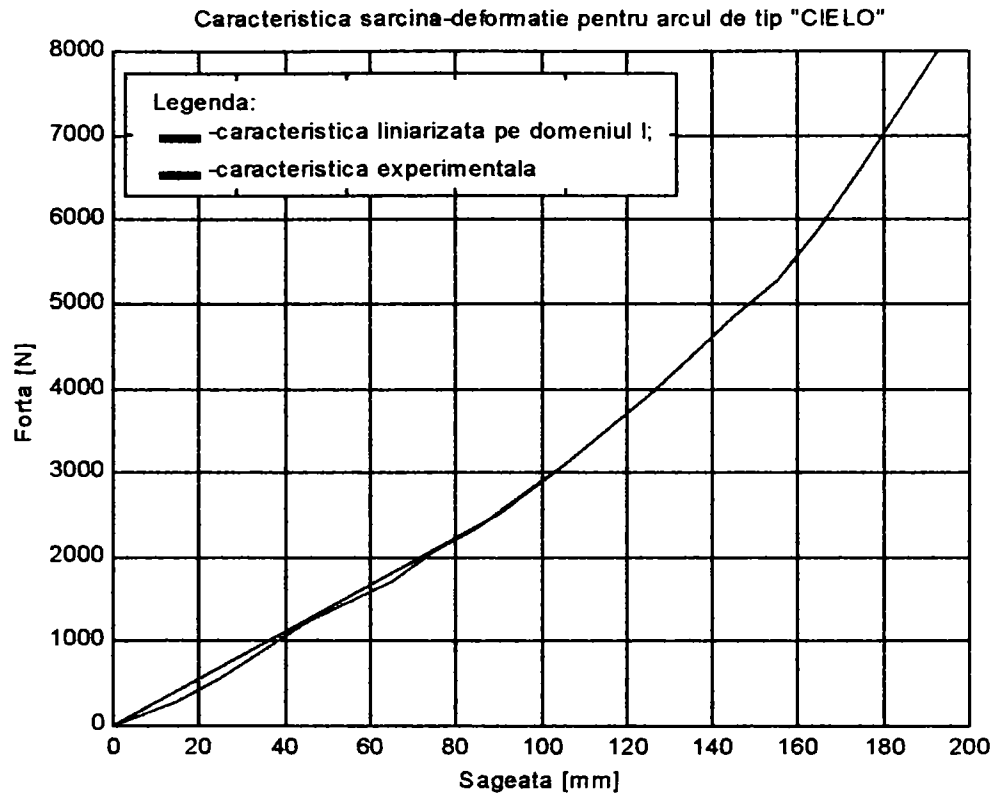


Fig. 5.10

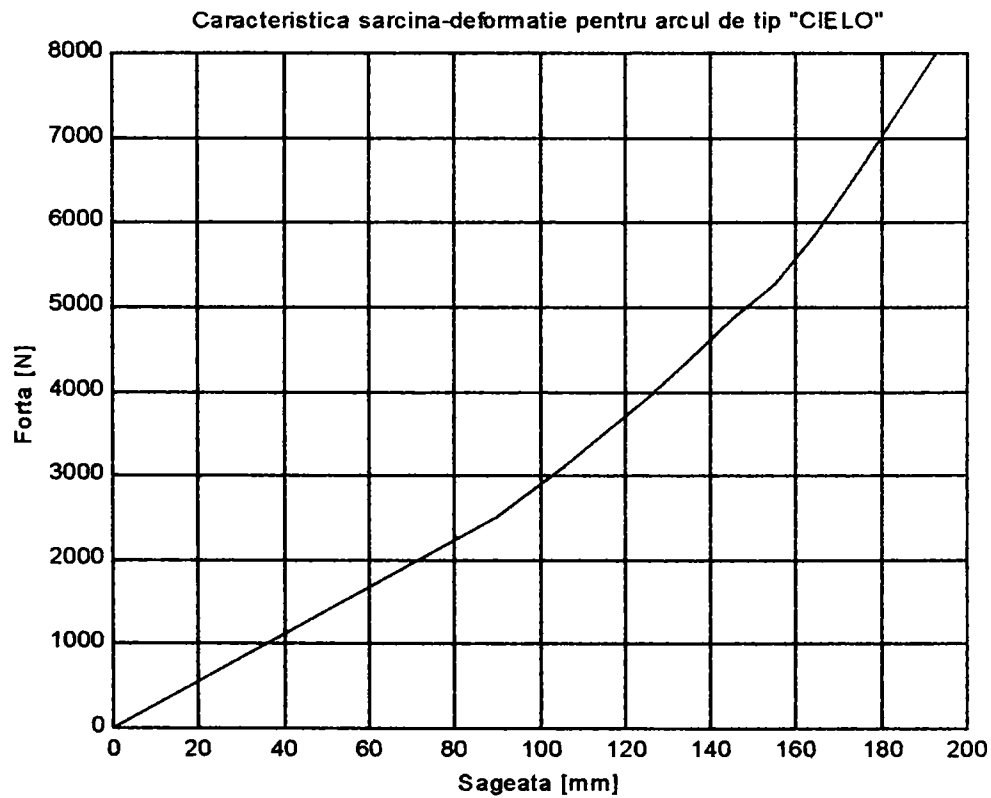
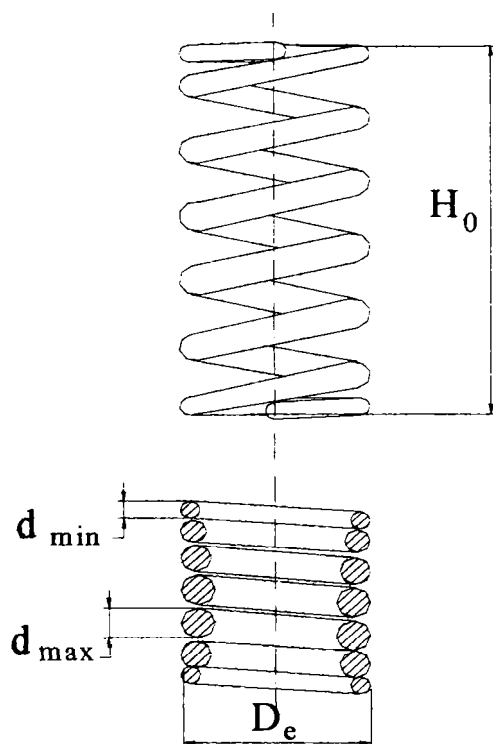


Fig. 5.11

5.4 Studiul comparativ al dimensiunilor și caracteristicilor arcurilor

5.4.1 Arcul elicoidal cilindric cu diametrul interior constant (suspensie spate FORD-ESCORT)

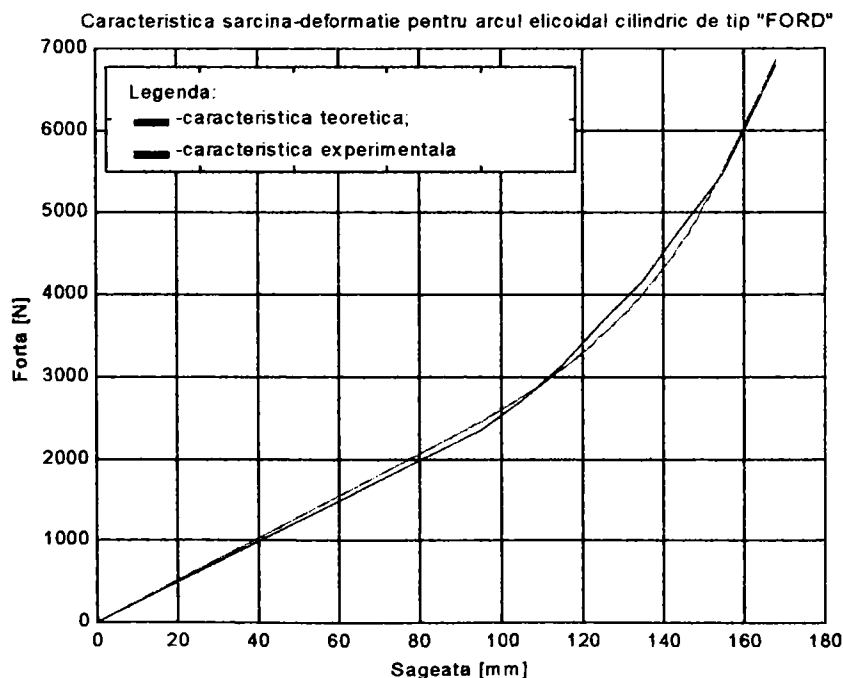
Date inițiale se consideră: diametrul interior D_i , caracteristica elastica impusă, materialul arcului și α - unghiul de pantă al spirei.



| Mărimi caracteristice | Valori calculate | Valori măsurate |
|-----------------------|------------------|-----------------|
| d_{\max} | 12,35 | 12,8 |
| d_{\min} | 9,29 | 9,8 |
| D_i | 83,94 | 84 |
| H_0 | 272 | 275 |
| Nr. total de spire | 8.08 | 8.2 |

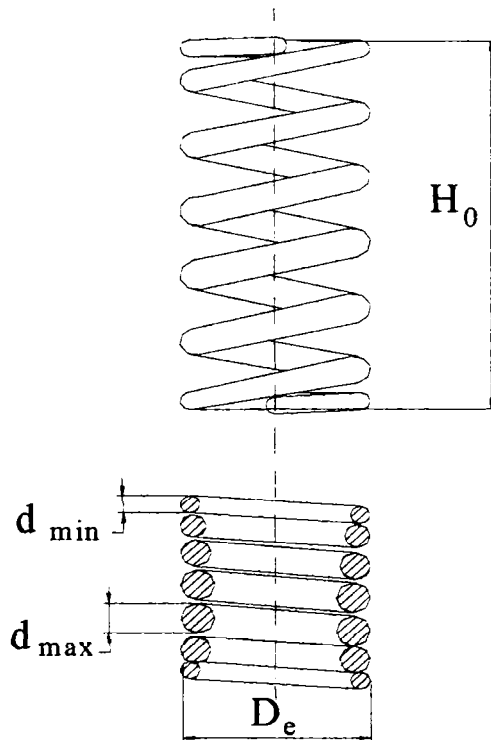
abatere = 1.6327%
abaterea admisibila = +/-10%

Concluzie: arcul proiectat corespunde



5.4.2 Arcul elicoidal cilindric cu diametrul exterior constant (suspensie față VOLKSWAGEN)

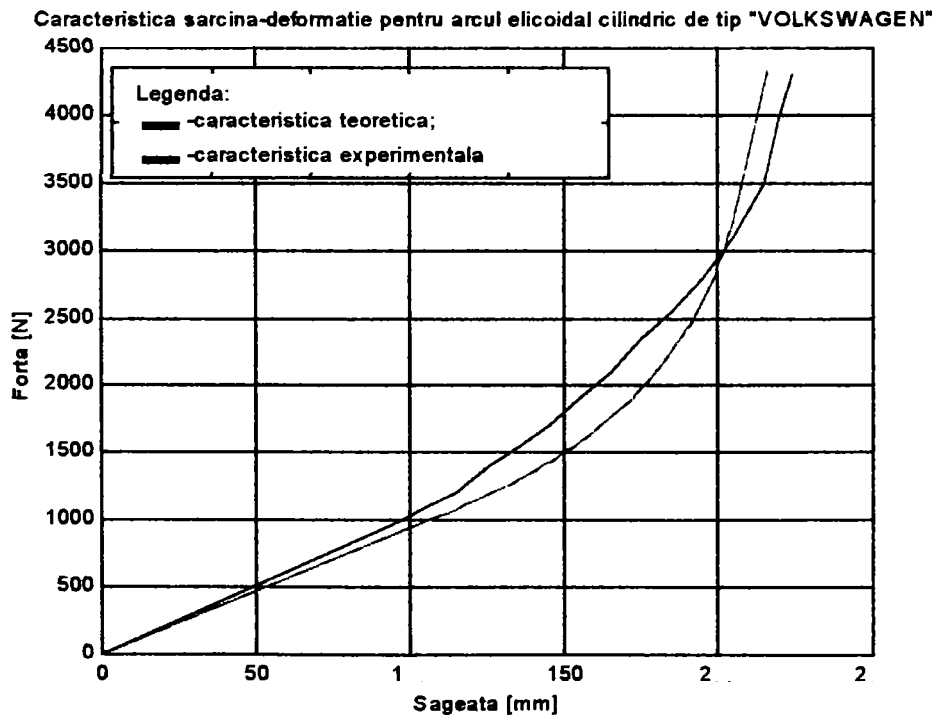
Date inițiale se consideră: diametrul exterior D_e , caracteristica elastica impusă, materialul arcului și α - unghiul de pantă al spirei.



| Mărimi caracteristice | Valori calculate | Valori măsurate |
|-----------------------|------------------|-----------------|
| d_{\max} | 10.8 | 10.9 |
| d_{\min} | 7.29 | 7.75 |
| D_e | 113.79 | 114.2 |
| H_0 | 303.69 | 305 |
| Număr spire | 7.88 | 8 |

abatere = - . . . 81 . %
abaterea admisibila = +-10%

Concluzie: arcul proiectat
sp d



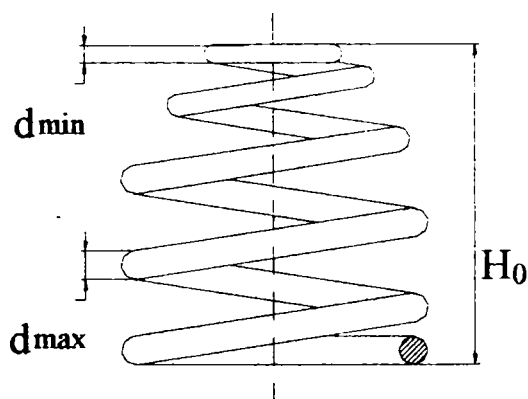
5.4.3 Arcul elicoidal compus din: arc cilindric și arc profilat la o extremitate (suspensie spate OPEL COMBI)

Arcul profilat extrem poate fi de tipul:

- Arc conic cu unghi de pantă constant. Pentru proiectarea și verificarea arcului s-a utilizat programul C5Ca.
- Arc conic cu pas constant. În procesul de proiectare și verificare s-a folosit programul C5Cp.
- Arc paraboloidal, a cărui proiectare și verificare s-a făcut cu programul C5P.

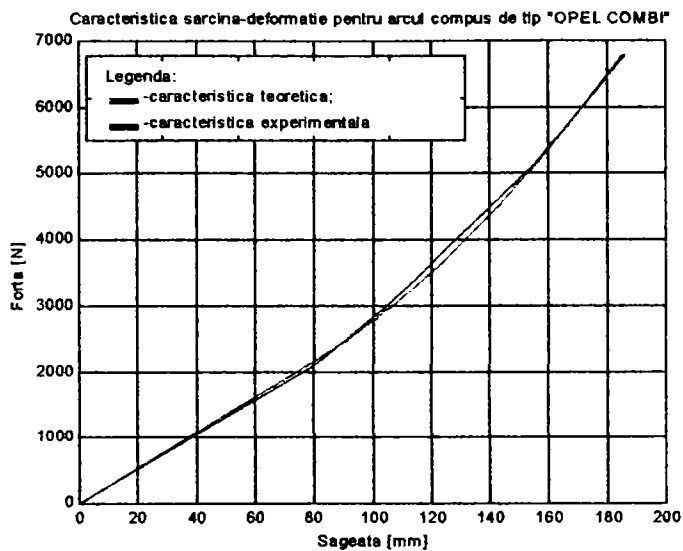
La prelucrarea datelor, s-a observat că procesul de așezare a spirelor arcurilor profilate nu este totdeauna monoton, adică poate apărea și cazul când se așează mai întâi spirele intermediare și apoi cele extreme. În [P₂] se menționează posibilitatea apariției unui astfel de proces la unele tipuri de arcuri conice cu unghi de pantă constant al spirelor.

Date inițiale se consideră: restricțiile de gabarit (D_{\max} , D_{\min} , H_0), caracteristica elastica impusă, materialul arcului, α - unghiul de pantă al spirei și precizarea că arcul lucrează între talere mari sau mici.



Arcul se comprimă între talere mari:

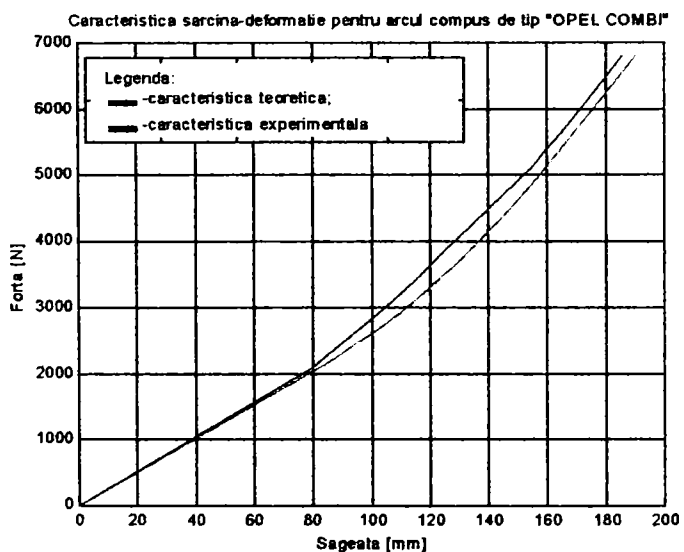
| Mărimi caracteristice | Valori calculate cu | | | Valori măsurate |
|-----------------------|---------------------|--------|--------|-----------------|
| | C5Ca31 | C5Cp31 | C5P31 | |
| d_{\max} | 14,04 | 14,04 | 14,04 | 14,2 |
| d_{\min} | 8,31 | 8,39 | 8,43 | 10,4 |
| D_{\min} | 76,81 | 76,89 | 76,93 | 80 |
| D_{\max} | 157,84 | 157,84 | 157,84 | 158 |
| H_0 | 228 | 228 | 228 | 228 |
| Număr spire | 5,9 | 6 | 5,8 | 5 |



C5Ca31:

abatere = 2.1513%

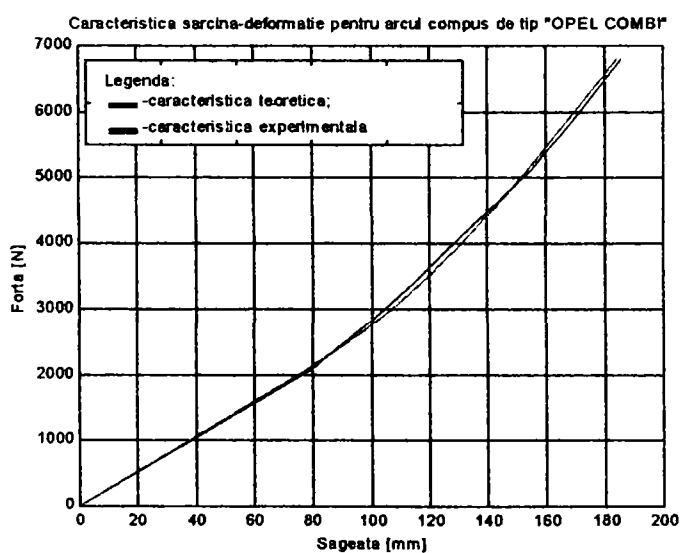
**Concluzie: arcul proiectat
corespunde**



C5Cp31:

abatere = 4.2295%

**Concluzie: arcul proiectat
corespunde**



C5P31:

abatere = 1.9023%

**Concluzie: arcul proiectat
corespunde**

5.4.4 Arcul elicoidal compus din: arc cilindric median și arc profilat la ambele extremități (suspensie spate)

Arcul profilat extrem poate fi de tipul:

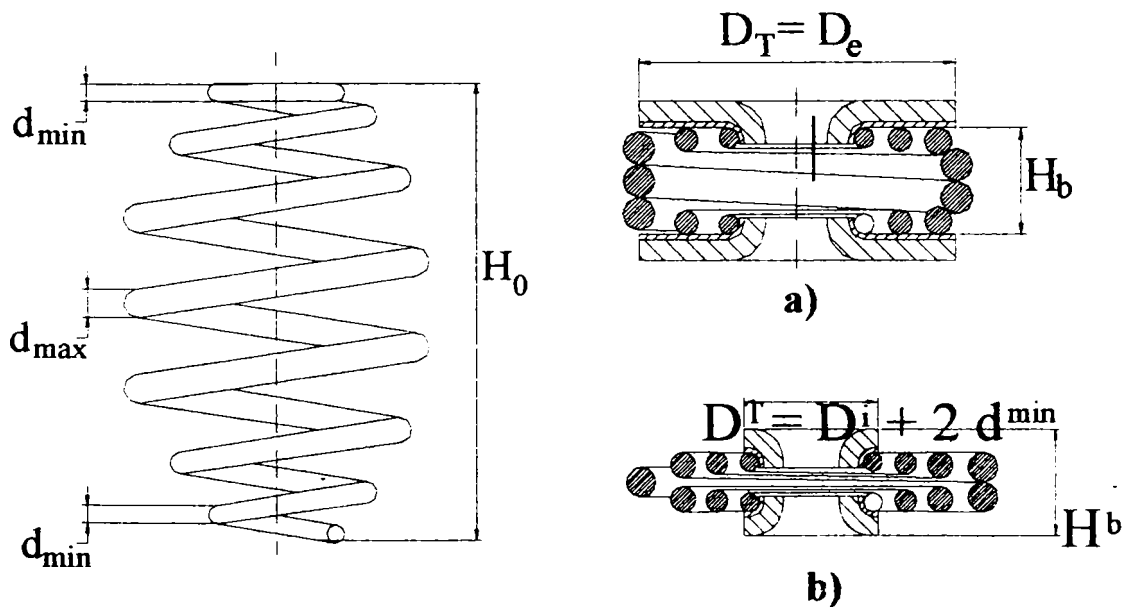
Arc conic cu unghi de pantă constant. Pentru proiectarea și verificarea arcului s-a utilizat programul C2Ca.

Arc conic cu pas constant. În procesul de proiectare și verificare s-a folosit programul C2Cp;

Arc paraboloidal, a cărui proiectare și verificare s-a făcut cu programul C2P.

Spirele arcurilor profilate se pot așeza monoton sau nemonoton (a se vedea paragraful 5.4.3)

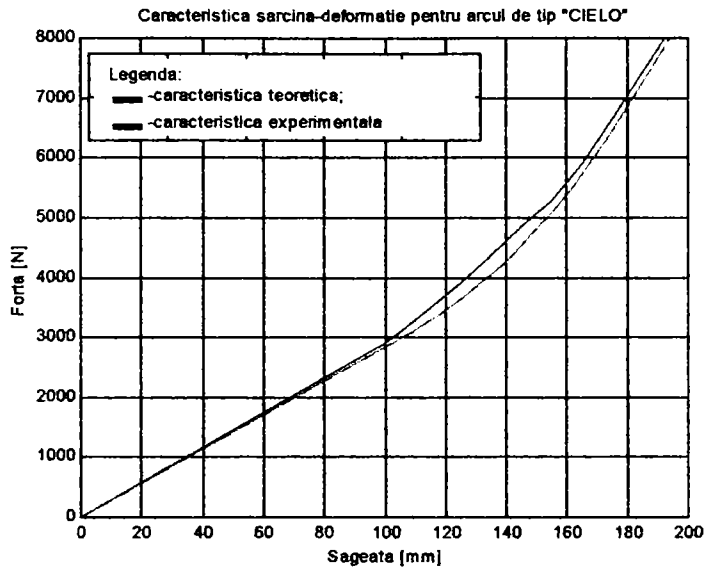
Date inițiale se consideră: restricțiile de gabarit (D_{mmax} , D_{mmin} , H_0), caracteristica elastica impusă, materialul arcului, α - unghiul de pantă al spirei și precizarea că arcul lucrează între talere mari sau mici.



5.4.4.1 Arcul „CIELO” cu caracteristica elastică ridicată experimental:

a) Arcul se comprimă între talere mari:

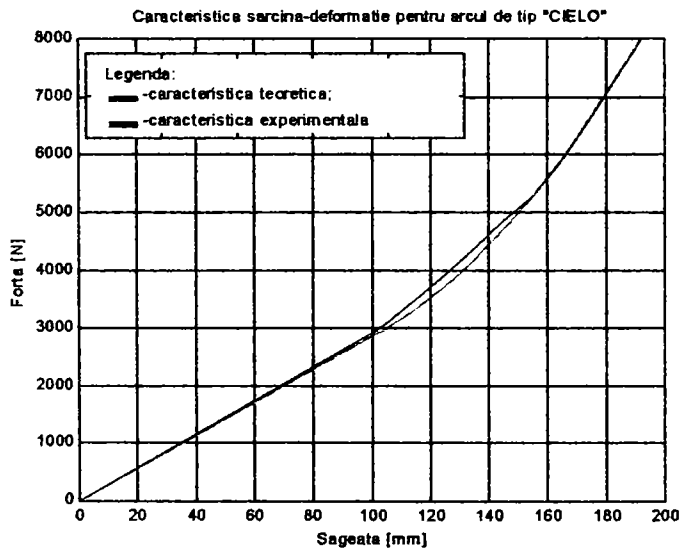
| Mărimi caracteristice | Valori calculate cu | | | Valori măsurate |
|-----------------------|---------------------|---------|--------|-----------------|
| | C2Ca181 | C2Cp181 | C2P181 | |
| d_{max} | 14,83 | 14,83 | 14,83 | 14,8 |
| d_{min} | 8,99 | 9,22 | 9,15 | 9 |
| D_{mmin} | 60,5 | 60,5 | 60,5 | 60,5 |
| D_{mmax} | 144,2 | 144,2 | 144,2 | 144,2 |
| H_0 | 235 | 235 | 235 | 235 |
| Nr. total de spire | 7,3 | 6,7 | 7,1 | 7,5 |



C2Ca181

abatere = 5.3565%

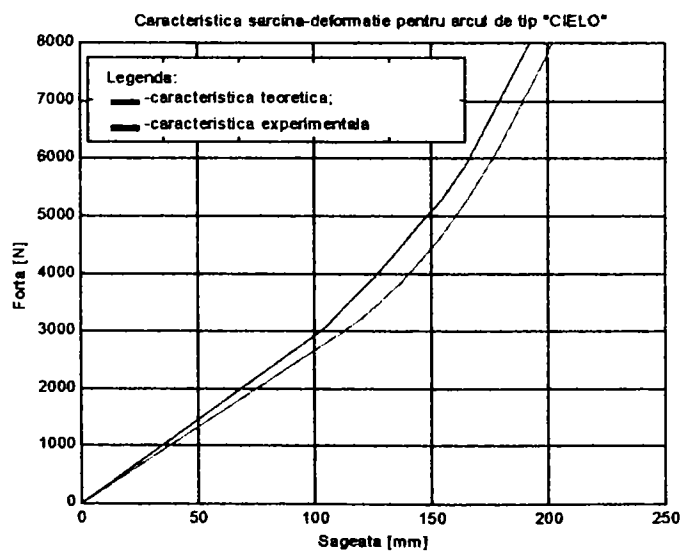
**Concluzie: arcul proiectat
corespunde**



C2Cp181

abatere = 3.7121%

**Concluzie: arcul proiectat
corespunde**



C2P181

abatere = 10.2189%

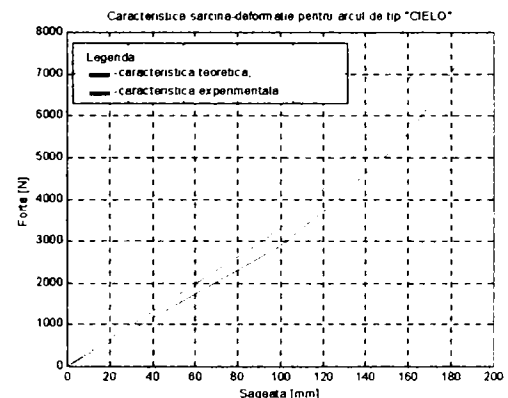
abaterea admisibila = +/- 10%

**Concluzie: arcul proiectat
nu corespunde**

În concluzie, în acest caz, arcurile a căror abatere de caracteristică se încadrează în limitele considerate admise ($\pm 10\%$) sunt arcurile conice cu unghi de pantă constant (C2Ca181) și cu pas constant (C2Cp181); pentru varianta C2Ca181 valorile calculate sunt mai apropiate de valorile măsurate pe arcul real. Suportul practic al concluziei este că dornul pentru arcul compus din arc elicoidal cilindric median și arcuri conice cu unghi de pantă constant este cel mai ușor de executat. Acest dorn se execută sub formă de felii centrate pe un ax. După extragerea axului, feliile cad printre spirele arcului.

Modificarea unghiului de pantă al spirelor influențează atât abaterea de caracteristică, cât și diametrul sârmei și numărul de spire ale arcului profilat. De exemplu, pentru $\alpha=7,5^{\circ}$ se obțin datele din tabelul următor:

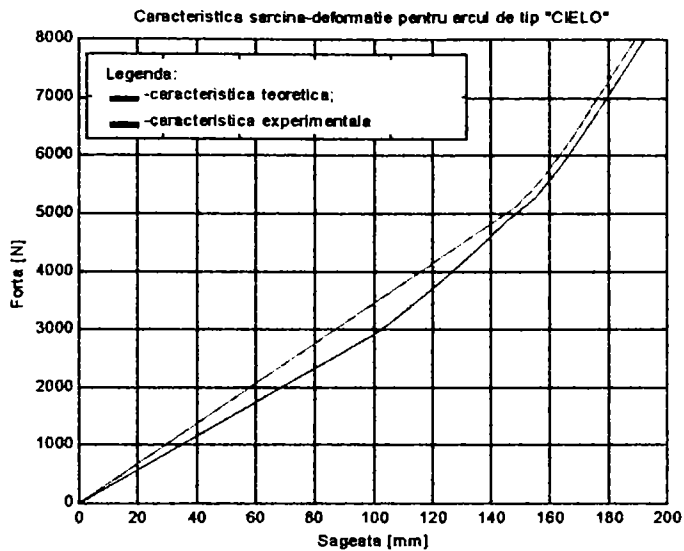
| Mărimi caracteristice | Valori calculate | Valori calculate | Valori calculate | Valori măsurate |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| | C2Ca182 | C2Cp182 | C2P182 | |
| d_{max} | 14,83 | 14,83 | 14,83 | 14,8 |
| d_{min} | 9,14 | 9,31 | 9,36 | 9 |
| α | 7,5 | 7,5 | 7,5 | 6,5 |
| Nr. total de spire | 6,3 | 6,3 | 6,1 | 7,5 |
| Abatere, % | 7,43 | 4,53 | 6,36 | - |



Abaterile se încadrează în limitele admise, dar arcul calculat are un număr de spire mai mic decât cel real și este mai rigid, adică pentru aceeași forță realizează o săgeată mai mică (caracteristica dată este pentru varianta C2Ca182).

b) Arcul se comprimă între talere mici:

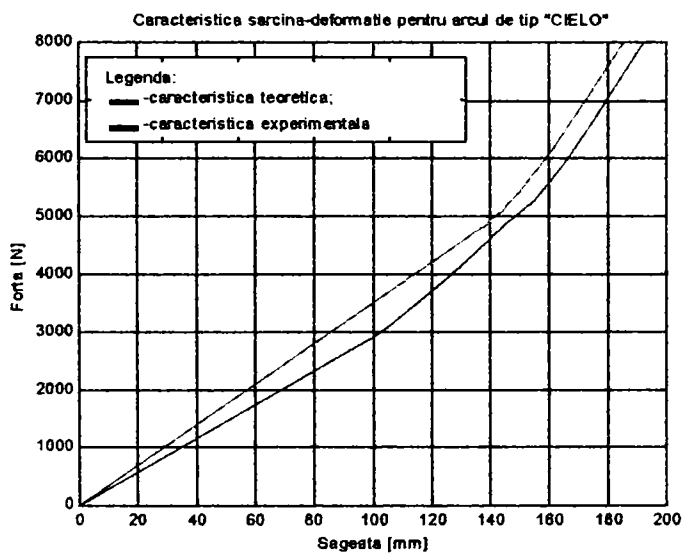
| Mărimi caracteristice | Valori calculate | Valori calculate | Valori calculate | Valori măsurate |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| | C2Ca183 | C2Cp183 | C2P183 | |
| d_{max} | 14,83 | 14,83 | 14,83 | 14,8 |
| d_{min} | 10,99 | 11,28 | 11,19 | 9 |
| D_{min} | 60,5 | 60,5 | 60,5 | 60,5 |
| D_{max} | 144,2 | 144,2 | 144,2 | 144,2 |
| H_0 | 235 | 235 | 235 | 235 |
| Nr. total de spire | 7,3 | 6,7 | 7,1 | 7,5 |



C2Ca183

abatere = 18.8872%

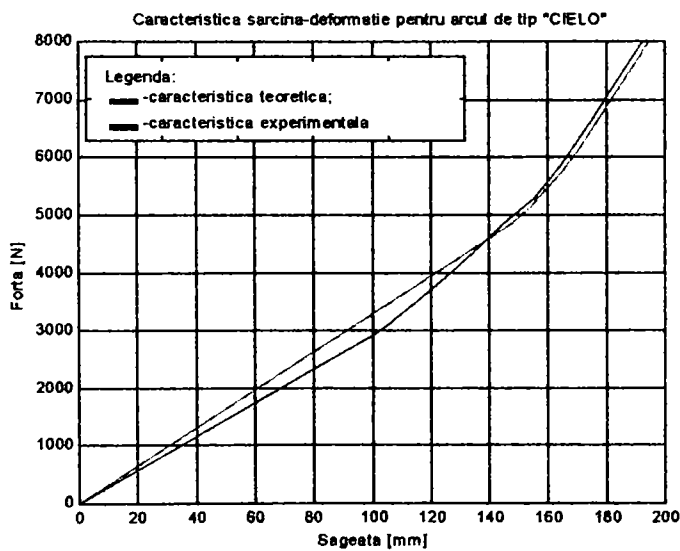
**Concluzie: arcul proiectat
nu corespunde**



C2Cp183

abatere = 15.1403%

**Concluzie: arcul proiectat
nu corespunde**



C2P183

abatere = 19.4826%

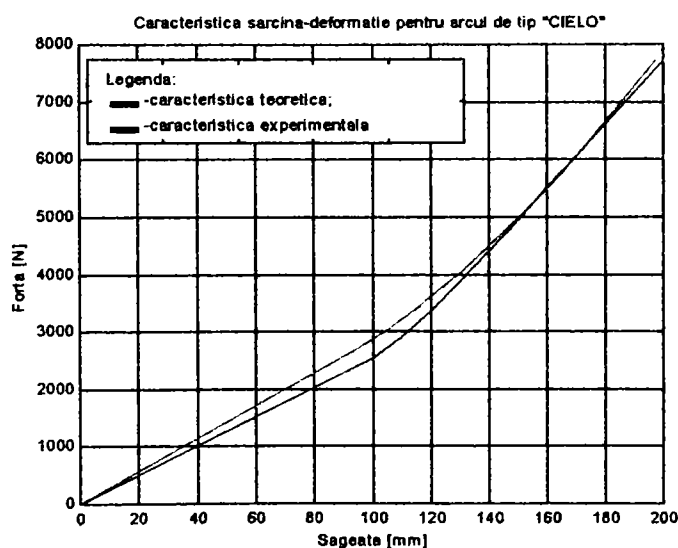
**Concluzie: arcul proiectat
nu corespunde**

În variantele C2...183 s-au re-proiectat arcurile cu aceleași date inițiale ca în variantele C2...181, dar funcționând între talere mici: caracteristicile elastice simulate au abateri mari față de cele impuse; diametrele minime ale sârmei au valori mai mari, datorită faptului că se calculează cu forța de sfârșit de așezare a spirelor (procesul monoton direct, a se vedea cap. 3.2). Raportul d_{\max}/d_{\min} are valori mai scăzute decât în cazul arcurilor care se montează între talere mici, ceea ce din punct de vedere al comportamentului la oboseală pare avantajos, dar arcul are greutate mai mare iar caracteristica are domeniul I (liniar) mult mărit în detrimentul domeniului II (progresiv), ceea ce nu corespunde cerințelor impuse unei suspensii moderne.

5.4.4.2 Arcul „CIELO” nr. 1D: documentație oferită de S.C. „DAEWOO” Craiova

a) Arcul se comprimă între talere mari:

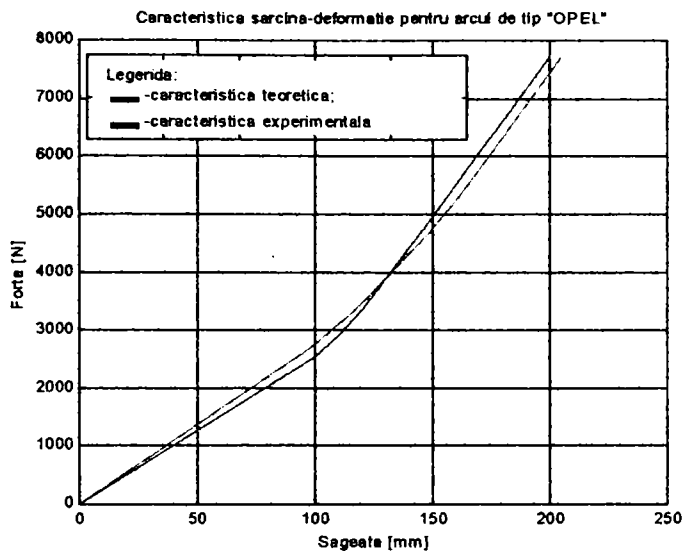
| Mărimi caracteristice | Valori calculate | Valori calculate | Valori calculate | Valori măsurate |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| | C2Ca12D | C2Cp12D | C2P12D | |
| d_{\max} | 14,68 | 14,68 | 14,68 | 14,8 |
| d_{\min} | 8,63 | 8,92 | 8,85 | 8,6 |
| D_{\min} | 56,8 | 56,8 | 56,8 | 56,8 |
| D_{\max} | 145,4 | 145,4 | 145,4 | 145,4 |
| H_0 | 230 | 230 | 230 | 230 |
| Nr. total de spire | 6,9 | 6,5 | 6,7 | 7,5 |



C2Ca12D

abatere = 6.0013%

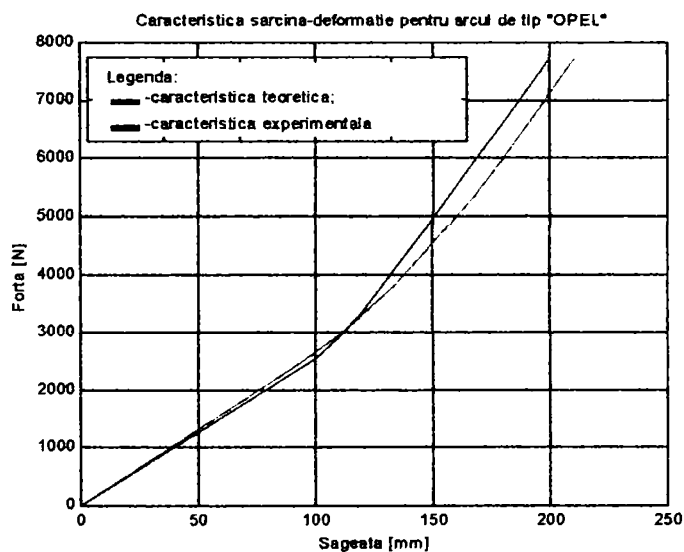
Concluzie: arcul proiectat corespunde



C2Cp12D

abatere = 5.0398 %

Concluzie: arcul proiectat corespunde



C2P12D

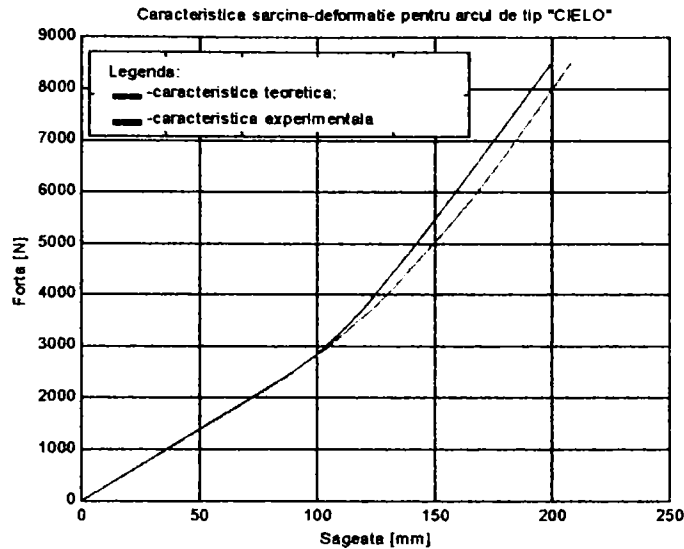
abatere = 4.4563%

Concluzie: arcul proiectat corespunde

5.4.4.3 Arcul „CIELO” nr. 2D: documentație oferită de S.C. „DAEWOO” Craiova

a) Arcul se comprimă între talere mari:

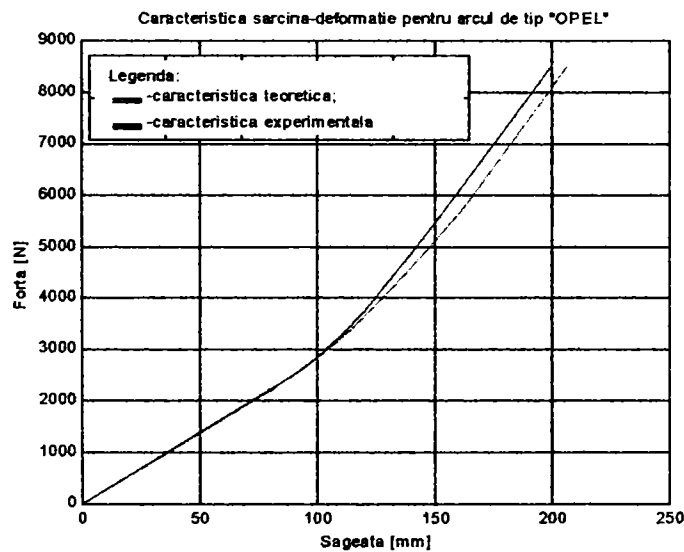
| Mărimi caracteristice | Valori calculate | Valori calculate | Valori calculate | Valori măsurate |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| | C2Ca21D | C2Cp21D | C2P21D | |
| d_{max} | 15,19 | 15,19 | 15,19 | 14,6 |
| d_{min} | 8,12 | 8,39 | 8,34 | 8,8 |
| D_{min} | 56,8 | 56,8 | 56,8 | 56,8 |
| D_{max} | 145,4 | 145,4 | 145,4 | 145,4 |
| H_0 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| Nr. total de spire | 7,1 | 6,7 | 6,9 | 7,5 |



C2Ca21D

abatere = 3.1231%

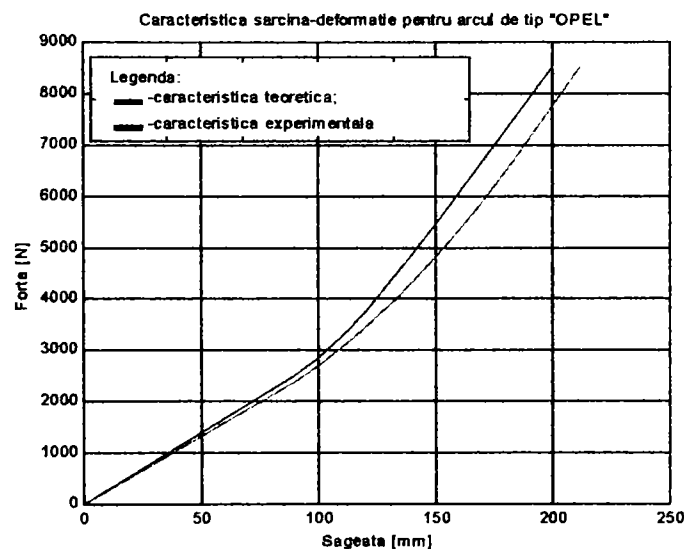
Concluzie: arcul proiectat corespunde



C2Cp21D

abatere = 2.4551%

Concluzie: arcul proiectat corespunde



C2P21D

abatere = 4.2100%

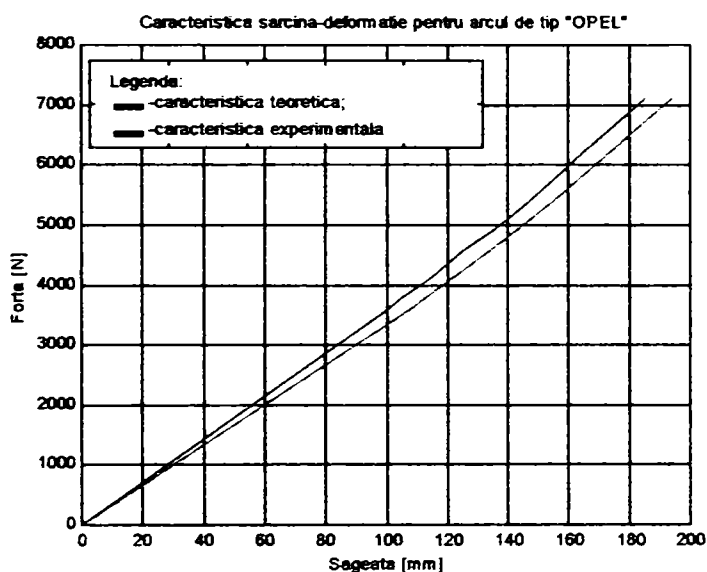
Concluzie: arcul proiectat corespunde

Pentru ambele arcuri „CIELO”, varianta cea mai apropiată de documentația firmei „DAEWOO” este cea în care arcurile extreme sunt conice cu unghi de pantă constant.

5.4.4.4 Arcul „OPEL” cu caracteristica elastică ridicată experimental:

a) Arcul se comprimă între talere mari:

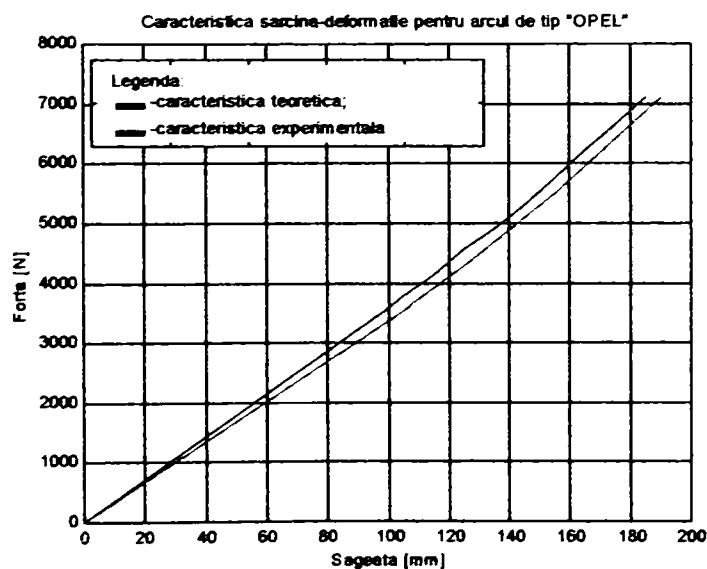
| Mărimi caracteristice | Valori calculate | Valori calculate | Valori calculate | Valori măsurate |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| | C2Ca211 | C2Cp211 | C2P211 | |
| d_{\max} | 13,72 | 13,72 | 13,72 | 14,3 |
| d_{\min} | 10,12 | 10,28 | 10,28 | 10,2 |
| D_{\min} | 50,5 | 50,5 | 50,5 | 50,5 |
| D_{\max} | 128,8 | 128,8 | 128,8 | 128,8 |
| H_0 | 245 | 245 | 245 | 245 |
| Nr. total de spire | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 7 |



C2Ca211

abatere = 2.7495%

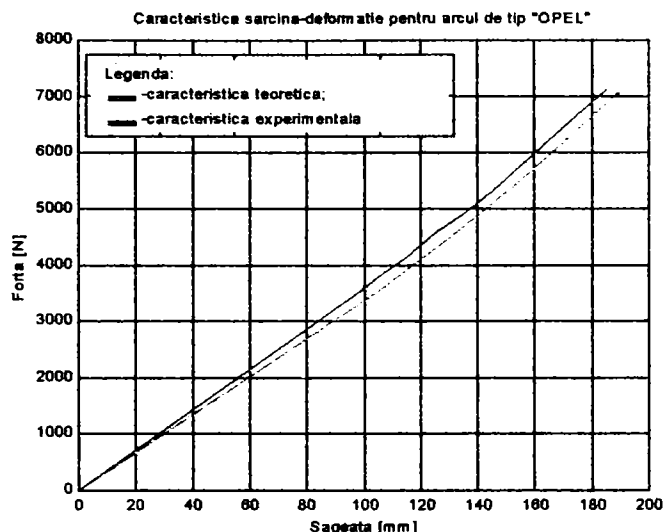
Concluzie: arcul proiectat corespunde



C2Cp211

abatere = 1.7757%

Concluzie: arcul proiectat corespunde



C2P211

abatere = 1.7963%

**Concluzie: arcul
proiectat corespunde**

Pachetul soft elaborat pentru proiectarea și verificarea arcurilor cu geometrie variabilă a fost validat pentru cinci tipuri distincte de arcuri. În ANEXA III sunt prezentate, pentru toate variantele analizate, fișierele cu rezultatele care apar în fereastra de comenzi a mediului de programare MATLAB 5.1.

Pentru două tipuri de arcuri și anume: arcul dublu profilat fără porțiune intermediară cilindrică și arcul simplu profilat, despre a căror existență se cunoaște din prospectul firmei „AHLE”, nu s-au găsit modele de referință care să poată fi măsurate și încercate și nici documentație care să permită rularea cu date reale a programelor dedicate.

Datorită însă validării fișierelor sursă pentru toate modulele din figura 4.7, se pot „compune” rapid programe particularizate pentru orice model posibil de arc.

5.5 Ecuația domeniului progresiv al caracteristicii elastice

Caracteristica elastică a arcurilor elicoidale cu geometrie variabilă se compune din trei domenii distincte:

-domeniul I, când lucrează toate spirele arcului; caracteristica este liniar-crescătoare între origine și punctul de coordonate (F_{ia}, f_{ia}) , adică forța și săgeata de început de așezare a spirelor;

-domeniul II, când încep să se așeze spirele de rigiditate variabilă, caracteristica devine progresivă între perechile de puncte (F_{ia}, f_{ia}) și (F_{sa}, f_{sa}) , adică forța și săgeata de început și sfârșit de așezare a spirelor;

-domeniul III, când lucrează numai spirele de rigiditate constantă; caracteristica redevine liniar-crescătoare între (F_{sa}, f_{sa}) și (F_{max}, f_{max}) .

Pentru toate arcurile luate în studiu, perechile de puncte aparținând domeniului progresiv al caracteristicii elastice au fost supuse analizei matematice, în vederea stabilirii expresiei analitice, cu programul numit TBL. Acest program oferă, pentru fiecare șir de date introdus, sute sau chiar mii de ecuații corespunzătoare, ordonate după coeficientul de încredere. S-a constatat că, din multitudinea de variante posibile, pentru fiecare din caracteristicile elastice analizate, corespunzător domeniului II progresiv cele mai adecvate sunt ecuația de gradul doi și ecuația de gradul trei, pentru că sunt cele mai simple dar în același timp și suficient de precise, cu un coeficient de încredere mai mare sau cel puțin egal cu 0,99. Rezultatele acestor calcule se regăsesc în Anexa III. Domeniilor I și III le corespund ecuații de gradul I. Expresiile analitice pentru cele trei zone distincte ale caracteristicii elastice sunt:

$$\text{-domeniul I:} \quad y = a_1x + b_1 \quad (5.1)$$

$$\text{-domeniul II:} \quad y = a_2 + b_2x + c_2x^2 \quad (5.2)$$

$$y = a_2' + b_2'x + c_2'x^3 \quad (5.3)$$

$$\text{-domeniul III:} \quad y = a_3x + b_3$$

O dată cu stabilirea acestor ecuații, pentru proiectarea și verificarea arcului nu mai este nevoie de caracteristica elastică determinată grafic. Cu relațiile (5.1) și (5.2) sau (5.1) și (5.3) și cunoscând perechile de puncte (F_{ia}, f_{ia}) , (F_{sa}, f_{sa}) și (F_{max}, f_{max}) , caracteristica se poate determina pe cale analitică. Evident restricțiile de gabarit impuse de spațiul alocat suspensiei sunt în continuare necesare.

5.6 Indicele arcului, factorul de corecție a tensiunii și rigiditatea elementului de spiră

Pentru toate tipurile de arcuri elicoidale luate în studiu, compuse din arcuri profilate și arcuri cilindrice, în toate variantele posibile de execuție (conice cu unghi de pantă constant, conice cu pas constant și paraboloidale), s-a analizat variația indicelui arcului i_x , a factorului de corecție a tensiunii maxime din spiră k_x și rigiditatea K_x a elementului de spiră considerat. Expresiile acestora, pentru arcurile cu geometrie variabilă, sunt:

$$i_x = \frac{D_{mx}}{d_x} \quad [-] \quad (5.4)$$

$$k_x = \frac{i_x + 0,5}{i_x - 0,75} \quad [-] \quad (5.5)$$

$$K_x = \frac{Gd_x^4}{8D_{mx}^3 \Delta n} \quad [\text{N/mm}] \quad (5.6)$$

Întrucât proiectarea și verificarea arcului compus s-a făcut cu precizia de $\Delta n = 0,1$ spiră (dar programul permite ca elementul de spiră analizat să fie oricât de mic), se conservă această precizie în continuare. În expresia rigidității se introduce constanta:

$$A = \frac{G}{8\Delta n}$$

iar rigiditatea elementului de spiră devine:

$$K_x = A \frac{d_x^4}{D_{mx}^3} \quad (5.6 a)$$

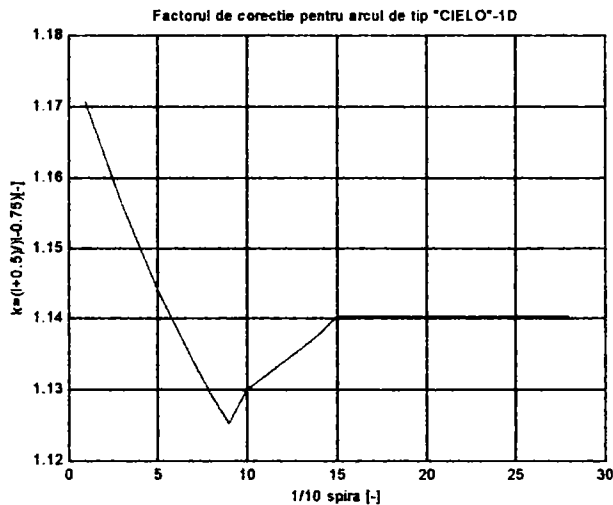
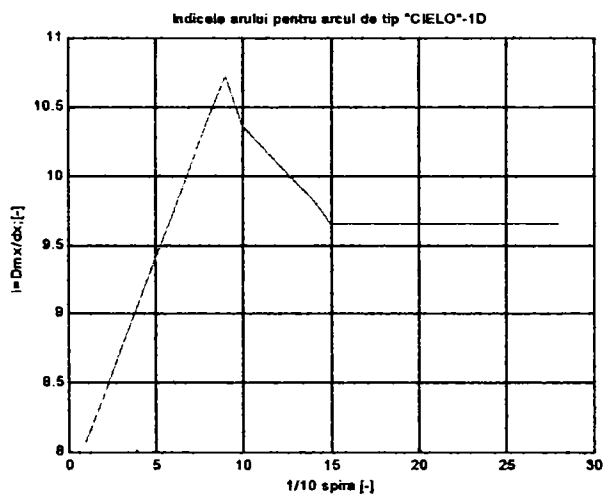
Analiza variației factorilor menționați se face pornind de la două șiruri de date: diametrul mediu de înfășurare al spirei D_{mx} și diametrul sârmei d_x , ambele de la valoarea minimă la cea maximă.

Pentru exemplificare, se consideră arcul nr. 1D-„CIELO”, arc compus din două arcuri extreme profilate și arc median cilindric, varianta C2Ca12D. Valorile analizate au fost: D_{mx} și d_x , iar cele rezultate: i_x , k_x și K_x .

| | | | | | | |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $D_{mx} = 69.7038$ | 75.1261 | 80.9702 | 87.2689 | 94.0575 | 101.3743 | 109.2602 |
| 117.7596 | 126.9202 | 128.3349 | 132.6705 | 137.3434 | 142.3798 | 147.8080 |
| 145.2000 | 145.2000 | 145.2000 | 145.2000 | 145.2000 | 145.2000 | 145.2000 |
| 145.2000 | 145.2000 | 145.2000 | 145.2000 | 145.2000 | 145.2000 | 145.2000 |

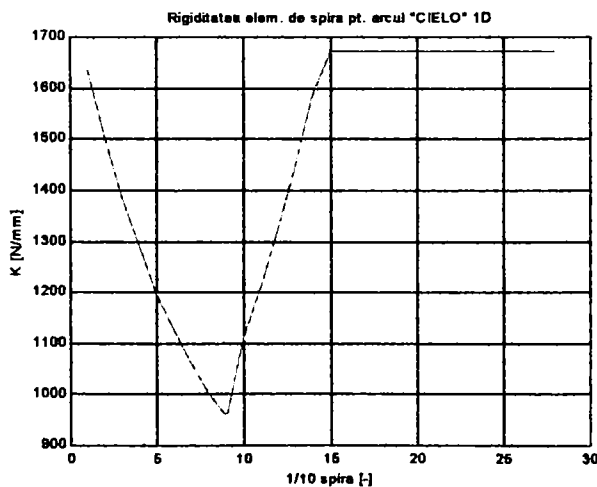
$d_x =$ 8.6360 8.9384 9.2643 9.6156 9.9942 10.4022 10.8420 11.3161
 11.8269 12.3776 12.9710 13.6107 14.3001 15.0431 15.0431 15.0431 15.0431
 15.0431 15.0431 15.0431 15.0431 15.0431 15.0431 15.0431 15.0431 15.0431
 15.0431 15.0431

Indicele arcului $i_x=8.0713$ 8.4049 8.7400 9.0758 9.4112 9.7455
 10.0775 10.4064 10.7315 10.3683 10.2282 10.0908 9.9566 9.8256 9.6523
 9.6523 9.6523 9.6523 9.6523 9.6523 9.6523 9.6523 9.6523 9.6523
 9.6523 9.6523 9.6523 9.6523



Factor de corecție $k_x=1.1707$ 1.1633 1.1564 1.1501 1.1443 1.1390
 1.1340 1.1294 1.1252 1.1300 1.1319 1.1338 1.1358 1.1377 1.1404
 1.1404 1.1404 1.1404 1.1404 1.1404 1.1404 1.1404 1.1404 1.1404
 1.1404 1.1404 1.1404 1.1404

Rigiditatea elementului de spirală $K_x = 1.0e+003 * 1.6424$ 1.5055 1.3876
 1.2863 1.1990 1.1239 1.0594 1.0041 0.9570 1.1105 1.2122 1.3246
 1.4488 1.5858 1.6728 1.6728 1.6728 1.6728 1.6728 1.6728 1.6728
 1.6728 1.6728 1.6728 1.6728 1.6728 1.6728 1.6728



Tensiunea maximă din spira de secțiune variabilă este:

$$\tau_{\max_x} = \sqrt[3]{\frac{8D_{mx}}{\pi d_x} F_x} \quad (5.7)$$

iar tensiunea efectivă, ținând cont de k_x - factorul de corecție al tensiunii, devine:

$$\tau_{ef_x} = k_x \tau_{\max_x} \quad (3.45)$$

Acest aspectul implică protecția spirelor cu d_x =variabil, astfel ca acestea să intre la blocare conservând condiția $\tau_{\max_x} \leq \tau_{at}$.

Întrucât k_x este mai mare pentru aproape tot domeniul spirelor progresive față de spirele de secțiune constantă, iar arcul compus fiind continuu și din material omogen, rezultă necesitatea de a accepta la dimensionare, pentru spirele de secțiune variabilă, tensiuni admisibile mai mici decât pentru spirele de secțiune constantă. Analiza variației factorului de corecție a tensiunii confirmă concluziile din paragraful 3.3, în care se tratează solicitările arcurilor elicoidale cu geometrie variabilă.

Variația rigidității elementului de spiră progresivă este în concordanță cu teoria elaborată în paragraful 3.2, cu observațiile despre așezarea spirelor făcute la încercarea arcurilor și cu rezultatele intermediare ale programelor de verificare a arcurilor proiectate, când se trasează caracteristica elastică simulată.

6. CONCLUZII. CONTRIBUȚII

Soluția optimă și modernă pentru realizarea unei caracteristici elastice progresive constă în utilizarea unor *arcuri elicoidale cu geometrie variabilă*. Propriu acestora este secțiunea continuu variabilă a sârmei pe porțiuni precum și înfășurarea după o suprafață directoare care poate fi cilindrică, profilată sau combinații ale acestora. Pasul arcului poate fi constant sau variabil.

Principalele avantaje ale acestei noi familii de arcuri, pe lângă realizarea unor dependențe sarcină-deformație mai apropiate de necesitățile impuse de rolul funcțional, sunt: utilizarea eficientă a materialului, greutatea sensibil redusă, obținerea unei săgeți utile mai mari în raport cu înălțimea în stare liberă a arcului și îndepărtarea pericolului potențial de apariție a fenomenului de rezonanță în funcționare.

Nu poate fi omisă însă nici carența unui preț de cost relativ mai ridicat, datorat tehnologiei de execuție a sârmei, a cărei secțiune este variabilă.

Informațiile privitoare la proiectarea și tehnologia de execuție a acestor arcuri sunt puțin întâlnite în literatura de specialitate datorită monopolului unor firme și secretelor protejate prin brevete.

În ceea ce privește contribuțiile autoarei, în ordinea în care apar în dezvoltarea tezei, acestea sunt:

- Sinteza bibliografică: deși literatura de specialitate în domeniul strict al arcurilor elicoidale cu geometrie variabilă este sumară, s-au cumulat și sistematizat cunoștințele privind această categorie de arcuri, punându-se la dispoziția proiectanților elementele necesare abordării logice a problemei dimensionării și verificării lor.
- Analiza procesului de așezare a spirelor acestor arcuri (paragraful 3.2.2): particularizarea tipului de proces (monoton direct sau invers și nemonoton) pentru diferitele forme

constructive de arcuri cu geometrie variabilă; rolul forței de început, respectiv de sfârșit de așezare a spirelor în determinarea diametrelor caracteristice ale sârmei.

- Introducerea noțiunii de rigiditate medie a spirei (paragraful 3.2.3); analiza rigidității pe element de spiră pentru fiecare din arcurile luate în studiu (paragraful 5.6). Rigiditatea elementului de spiră este unul dintre factorii care determină așezarea spirelor arcului după un proces nemonoton sau monoton, direct sau indirect; un alt factor important luat în considerare este modul de funcționare al arcului, așezat între talere mari sau mici.
- Analiza stării de tensiune care apare în secțiunea spirei în cazul arcurilor elicoidale realizate din sârmă de secțiune variabilă (paragraful 3.3). Se justifică analogia formală de descriere matematică a stării de tensiune în cazul arcurilor cu geometrie variabilă și a celor care prezintă rigiditate constantă. Întrucât factorul de corecție a tensiunii k_x are valori diferite în fiecare secțiune a barei, s-au acceptat două valori pentru tensiunile maxime admisibile la dimensionarea arcului: $\tau_{at2} > \tau_{at1}$ (indicele 2 pentru spirele de diametru constant iar indicele 1 pentru spirele de diametru variabil). Analiza factorului de corecție a tensiunii pentru arcurile luate în studiu (paragraful 5.6) confirmă ipoteza acceptată.
- Trasarea caracteristicii arcurilor cu geometrie variabilă prin metode asistate de calculator (paragraful 3.4.2). Construcția permite verificarea funcționării arcului încă din etapa de calcul de dimensionare și ține cont de modul de așezare a arcului între talere mari sau mici.
- Metoda de calcul elaborată permite proiectarea arcurilor pentru realizarea și verificarea unei caracteristici date de beneficiar prin temă de proiectare (paragraful 3.5.2). Au fost stabilite relațiile matematice necesare pentru calculul arcurilor elicoidale de compresiune, cilindrice și profilate. Prin optimizarea calculului (paragraful 4.1), se pot compune și proiecta arcuri în orice configurație dorită. Metoda grafică de proiectare a arcurilor pentru realizarea unei caracteristici date, studiată în [P₃], a fost adaptată pentru arcurile din sârmă de secțiune variabilă (paragraful 3.5.3).
- Modelarea arcurilor elicoidale cu geometrie variabilă și simularea comportamentului lor sub sarcină (paragraful 4.2):

în mediul de programare MATLAB, versiunea 5.1, s-au realizat module soft pentru proiectarea arcurilor de acest tip, precum și module de simulare a funcționării în sarcină. Programul este accesibil: sesiunea de lucru constă în parcurgerea, în stil „wizard”, a unui traseu de ferestre cu ajutorul butoanelor de tip „next” și „back”, cu defilarea paralelă a unui „help”. Programul a fost denumit „ARCSOFT”.

- Pentru proiectarea și verificarea arcului, nu mai este necesară reprezentarea grafică a caracteristicii elastice: cu relațiile deduse (paragraful 5.5) se poate stabili expresia analitică a caracteristicii.
- Arcurile luate în studiu au fost verificate în Laboratorul de metrologie al S.C. „ELECTROTIMIȘ” S.A. Timișoara pe echipamentul de măsurare tridimensională asistat de calculator „EMT 3C”. Aceleași arcuri au fost cercetate experimental și la S.C. ASTRA ARAD, pe mașina HMD 20 D, produs al firmei franceze ANDILOG.
- O soluție pentru realizarea sârmei de secțiune variabilă este propusă în lucrare și anume laminarea periodică longitudinală, în calibrele tăiate pe inele asamblate pe valțuri (paragraful 2.5).
- Arcurile cu geometrie variabilă au făcut obiectul de studiu al unui umăr de două contracte de grant C.N.C.S.I.S.: tema 28, nr.35034/1999 cod A 109 și tema 30, nr.36681/2000 cod A 217; totodată s-a deschis o linie de colaborare cu S.C. „DAEWOO” Craiova.
- Standul de încercat arcuri existent în Laboratorul de Organe de Mașini al Catedrei OMM, Facultatea de Mecanică din cadrul U.P.T., a fost modernizat prin automatizare în vederea încercărilor. Traductoarele proiectate și realizate în cadrul standului au fost etalonate în Catedra OMM și în Laboratorul de Rezistența materialelor.
- Verificarea teoriei pe modele confirmă corectitudinea ipotezelor inițiale : abaterile maxime ale caracteristicilor s-au situat sub 10%.
- Pachetul de programe poate fi oferit societăților comerciale producătoare de arcuri elicoidale de suspensii din țară și din străinătate.

BIBLIOGRAFIE

- [A₁] Adrian, M. Tehnologia laminării, Editura Tehnică, București, 1977
- [B₁] Balekics, M.,
Gligor, O.,
Rădulescu, C. Calculul și construcția îmbinărilor elastice, Editura Mirton, Timișoara, 2001
- [B₂] Balekics, M.,
Cristuinea, C.,
Militaru, R. Coeficientul de formă la arcuri elicoidale, În Analele Universității din Oradea, Fascicola mecanică, 1993, p.189-193
- [B₃] Boiangiu, D., ș.a. Elemente elastice ale mașinilor, Editura Tehnică, București, 1967
- [B₄] Bratu, P. Sisteme elastice de rezemare pentru mașini și utilaje, Editura Tehnică, București, 1990
- [B₅] Buzdugan, Gh. Rezistența materialelor, Ediția a XI-a, Editura Tehnică, București, 1980
- [C₁] Charloteaux, M. La suspension, Editura Dunod, Paris, 1966
- [C₂] Chișiu, Al., ș.a. Organe de mașini, Ediția a II-a, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981
- [C₃] Constantinescu, I.N., ș.a. Metode noi pentru calcule de rezistență, Editura Tehnică, București, 1989
- [D₁] Demian, T., ș.a. Bazele proiectării aparatelor de mecanică fină, Editura Tehnică, București, 1984
- [D₂] Demidovitch, Ch., ș.a. Éléments de calcul numérique, Editura Mir, Moscova, 1987
- [D₃] Drăghici, I., ș.a. Suspensii și amortizoare, Editura Tehnică, București, 1970
- [D₄] Drăghici, I., ș.a. Indrumar de proiectare în construcția de mașini, vol.I, Editura Tehnică, București, 1981
- [D₅] Drăghici, I. ș.a. Manualul inginerului mecanic, vol III, Editura Tehnică, București, 1976
- [D₆] Drobotă, V. Rezistența materialelor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
- [G₁] Gafițanu, M., ș.a. Organe de mașini, vol. I, Editura Tehnică,

- București, 1999
- [G₂] Gheorghiu, N.,
Militaru, R. O nouă clasă de arcuri elicoidale, În Analele Universității din Oradea, Fascicola mecanică, 1992, p.121-126
- [G₃] Gheorghiu, N.,
Militaru, R. Particularitățile constructiv-funcționale ale arcurilor elicoidale "Ahle", Al VI-lea Simpozion Național de Mecanisme și Transmisii Mecanice, vol.3, p.241-245, Timișoara, 1992
- [G₄] Ghinea, M.,
Fireteanu, V. MATLAB; calcul numeric-grafică-aplicații, Editura Teora, București, 1995
- [G₅] Gross, S. Calculation and Design of Metal Springs , C&H Ltd, London, 1966
- [G₆] Grütze, H. Suspensia cu caracteristică progresivă, În Întreținerea, repararea și exploatarea autovehiculelor, Caiet selectiv nr.4, 1966, (traducere din Kraftfahrzeug-Betrieb, nr.19,sept.,1965, p.1386-1388), Institutul de Documentare Tehnică
- [H₁] Harris, C.M.,
Crede, C. E. Șocuri și vibrații, vol.I, Editura Tehnică, București, 1968
- [H₂] Harris, C.M.,
Crede, C. E. Șocuri și vibrații, vol.II, Editura Tehnică, București, 1969
- [H₃] Harris, C.M.,
Crede, C. E. Șocuri și vibrații, vol.III, Editura Tehnică, București, 1969
- [H₄] Heuer, P.J. Entwicklungstendenzen bei Fahrzeugfedern, A.T.Z., nr.7/1966, p.241-246
- [H₅] Hoffmann, H.J. Entwicklungstendenz bei der Abfederung und Dämpfung von Kraftfahrzeugen, A.T.Z., nr. 4/1968, p.129-130
- [I₁] Ionescu, N.,
Gheorghiu, N.,
Mădăras, L.,
Militaru, R.,
Luchin, M.,
Lovasz, E. Ch. Arcuri cu rigiditate variabilă, Grant C.N.C.S.I.S., tema 28, Nr.35034/1999 cod A 109
- [I₂] Ionescu, N.,
Gheorghiu, N.,
Mădăras, L.,
Militaru, R., Arcuri cu rigiditate variabilă, Grant C.N.C.S.I.S., tema 30, Nr.36681/2000 cod A 217

- [J₁] Luchin, M.,
Lovasz, E. Ch.
Jahnke, H. Umformen und schneiden, VEB Verlag
Technic, Berlin, 1971
- [M₁] Manea, Gh. Organe de mașini, vol.I, Editura Tehnică,
București, 1970
- [M₂] Militaru, R. Analiza stării de tensiune la arcurile
elicooidale de compresiune cu caracte-
ristica superprogresivă, Al VI-lea
Simpozion Național de Mecanisme și
Transmisii Mecanice, vol.3, p.261-264,
Timișoara, 1992
- [M₃] Militaru, R. Corelația experimentală între sarcină și
deformație la arcurile tip „AHLE”, Rev.
Română de Mecanică Fină și Optică,
Supliment nr.2/1998, p 255-258
- [M₄] Militaru, R.,
Militaru, C. Aspecte privind calitatea arcurilor
elicooidale cu caracteristica neliniară
SIM'99, U.P.Timișoara, 1999
- [M₅] Militaru, R.,
Lovasz, E.Ch. Graphisches Verfahren für den Entwurf
von Federn auf grundgegebener Kennlinie,
Buletinul Științific al U.P.Timișoara, tom
45(59) Secțiunea Mecanică, 2000, p. 159-
164
- [M₆] Militaru, R.,
Gligor, O. Choosing the proper elasticity
characteristic for the road vehicles
suspension Al VIII-lea Simpozion Națio-
nal de Mecanisme și Transmisii Mecanice,
vol.2, p.209-212, Timișoara, 2000
- [M₇] Militaru, R.,
Ionescu, N. Influence on layng process of coils for the
helical springs with variable geometry
Al VIII-lea Simpozion Național de
Mecanisme și Transmisii Mecanice, vol.2,
p.205-208, Timișoara, 2000
- [M₈] Militaru, R..
Militaru, C. Construction of load-deflection
characteristic for springs with variable
geometry Al VIII-lea Simpozion Națio-
nal de Mecanisme și Transmisii Mecanice,
vol.2, p.213-216, Timișoara, 2000
- [M₉] Militaru, R. Arcuri elicooidale cu geometrie variabilă.

- Modelare-simulare. Buletinul Științific al doctoranzilor, vol.I, Ediție omagială, p.172-176, Timișoara, 2000
- [M₁₀] Militaru, R. Construcția și funcționarea arcurilor elicoidale cu geometrie variabilă, Simpozion „Strategii de management și marketing în perspectiva anilor 2000”, U.P.Timișoara, 2000
- [M₁₁] *** Manualul inginerului metalurg, vol. II, Editura Tehnică, București, 1982
- [N₁] Niemann, G., ș.a. Maschinenelemente, Springer Verlag, Berlin, 1981,1983
- [P₁] Pavelescu, D., Gheorghiu, N., ș.a. Organe de mașini, vol.I, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1985
- [P₂] Persoz, B. Introduction a l'étude de la rhéologie, Editura Dunod, Paris, 1960
- [P₃] Ponomariov, S.D.,ș.a. Calculul de rezistență în construcția de mașini, vol.I, Editura Tehnică, București, 1960
- [P₄] Ponomariov, S.D.,ș.a. Calculul de rezistență în construcția de mașini, vol.II, Editura Tehnică, București, 1960
- [P₅] Ponomariov, S.D.,ș.a. Calculul de rezistență în construcția de mașini, volIII, Editura Tehnică, București, 1960
- [R₁] Rădulescu, C.D., ș.a. Organe de mașini, vol.I, Editura Universității, Brașov, 1981
- [R₂] Reynal, C. Les ressorts. Étude complete et méthode rapide de calcul, Editura Dunod, Paris, 1963
- [R₃] Roloff/Matek Maschinenelemente (12 Ausgabe), Verlag Fried. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1992
- [S₁] Savii, G., Luchin, M. Modelare și simulare, Editura Eurostampa, Timișoara, 2000
- [S₂] Shigley, I.E. Engineering Design, Mc Graw-Hill, U.S.A., 1963
- [S₃] Smirnov, V. S. Laminarea periodică longitudinală, Editura Tehnică, București, 1964
- [T₁] Thimoshenko, S.P. Theory of elasticity, Mc Graw-Hill, N.Y.,

- Toronto, London, 1951
- [T₂] Tarnovskii, I.IA Prodolinaia prokatka profilei peremennogo secenia, Sverdlovskoe otделение, Sverdlovsk, 1962
- [T₁] Teliċov A.I. Laminoare de construcție specială, Editura Tehnică, București, 1961
- [U₁] Ulbricht, J. Progressive Schraubendruckfeder mit veränderlichem Drahtdurchmesser, A.T.Z., nr.6 /1969, p.198-201
- [U₂] Urmă, D., ș.a. Arcuri pentru vehicule, Editura Tehnică, București, 1961
- [V₁] Vaicum, A. Studiul reologic al corpurilor solide, Editura Academiei R.S.R., București, 1978
- [V₂] Voinea, R. Introducere în mecanica solidului cu aplicații în inginerie, Editura Academiei R.S.R., București, 1989
- [V₃] Virgiliu, F. Mecanica teoretică și rezistența materialelor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
- [W₁] Wahl, A.M. Mechanical springs, Mc Graw-Hill, U.S.A., 1963

Documentația tehnică a firmelor specializate

- [1p] * * AHLE. Entwicklungen. Schraubendruckfedern aus Drähten oder Stäben mit inkonstantem Durchmesser, Prospect
- [2p] * * AHLE, Prospect
- [3p] * * COSOFT COMPUTER CONSULTING Gmbh, Programme DFEDER 1, Prospect
- [4p] * * HEXAGON Industriesoftware, FED1, Prospect
- [5p] * * HOESCH AG., Hohenlimburg, Prospect
- [6p] * * Stahlwerke, Brüninghaus Gmbh, 5980 Werdohl, Prospect
- [1m] * * Automotive Repair Manual Ford Taurus&Mercury Sable 1986-1995

 Standarde

| | | |
|-------|--------------------|--|
| [1s] | STAS 6916-88 | Arcuri. Clasificare și terminologie |
| [2s] | STAS 6917-88 | Arcuri elicoidale cilindrice de compresiune, tracțiune și torsiune. Reguli și metode de verificare a calității |
| [3s] | STAS 7066/1-87 | Arcuri elicoidale cilindrice de compresiune, din sârmă și bare cu secțiune rotundă. Condiții tehnice de calitate |
| [4s] | STAS 7066/2-87 | Arcuri elicoidale cilindrice de compresiune, din sârmă și bare cu secțiune rotundă, pentru suspensiile autoturismelor. Condiții tehnice speciale de calitate |
| [5s] | STAS 7067/1-87 | Arcuri elicoidale cilindrice de compresiune, cu secțiune rotundă. Calcul de proiectare |
| [6s] | STAS 795-87 | Oțeluri pentru arcuri. Mărci și condiții tehnice de calitate |
| [7s] | STAS 892-89 | Sârmă din oțel aliat pentru arcuri |
| [8s] | STAS 893-89 | Sârmă din oțel carbon de calitate pentru arcuri |
| [9s] | DIN 2089, 1984 | Zylindrische Schraubendruckfedern aus runden Drähten und Stäben. Berechnung und Konstruktion |
| [10s] | DIN ISO 2162, 1976 | Darstellungen von Federn |
| [11s] | DIN 2095 | Zylindrische Schraubenfedern aus runden Drähten. Gütevorschriften für kaltgeformte Druckfedern |
| [12s] | DIN 2096 Teil 1, 2 | Zylindrische Schraubendruckfedern aus runden Drähten und Stäben. Gütevorschriften bei warmgeformten Druckfedern |
| [13s] | DIN 2099 | Zylindrische Schraubenfedern aus runden Drähten und Stäben. Angaben für Druckfedern Vordruck |

ANEXA I

Calculul de proiectare și verificare pentru arcul elicoidal cilindric cu diametrul interior constant; aplicație pentru arcul suspensie spate „FORD-ESCORT”; mediul de programare: MATLAB 5.1.

```

dmax=8*Dmmax*Fmax/(pi*tauat2);
dmax=dmax^(1/3)
%verificare
dl=8*Dmmax*F(1)/(pi*tauat1);
dlverificare=dl^(1/3)
%sfarsit de verificare
dmax=(dmax+dlverificare)/2
Dint=Dmmax-dmax;
d(1)=dmax;
Dm(1)=Dmmax;
Cmin=(smax-s(1))/(Fmax-F(1));
n2=G*dmax^4*Cmin/(8*Dmmax^3);
*****
secvență de program protejată
*****
d
Dm
dmin=d(n);
for j=1:n-1
    deltaF(j)=F(j)-F(j+1);
    deltas(j)=s(j)-s(j+1);
    C(j)=deltas(j)/deltaF(j);
end
for j=1
    deltaC(j)=abs(Cmin-C(1));
end
for j=2:n-1
    deltaC(j)=abs(C(j-1)-C(j));
end
for j=1:n-1
    deltaN(j)=(G*(d(j)^4)*deltaC(j))/(8*(Dm(j)^3));
    deltaL(j)=deltaN(j)*Dm(j)*pi/cos(alfa);
end
n2
n1=sum(deltaN)
l1=sum(deltaL)
na=n1+n2
nr=0.6 %atribuie valoare pt. spirele de reazem
nt=na+2*nr

```



```

l2=2*pi*Dmmax*n2
Dmmin=Dm(n);
lr=pi*nr*(Dmmax+Dmmin)
lt=l1+l2+lr
pas=pi*Dmmax*tan(alfa)
dmed=(dmax+dmin);
Ho=na*pas+(nr+1)*dmed
Dint
*****
secvență de program protejată
*****
phi2=2*pi*n1:(pi/5):2*pi*(n1+n2) %arcul cilindric
w=max(size(phi2))
for i=k:k+w-2 %arcul cilindric
    deltaL(i)=pi*Dmmax*deltaN/cos(alfa);
end
phimax2=2*pi*(n1+n2);
a=max(phi2);
b=a/(2*pi);
deltan=(n1+n2)-b;
if deltan>0
    phi2=[phi2,phimax2];
    deltalultim=pi*Dmmax*deltan/cos(alfa);
    deltaL=[deltaL,deltalultim];
else
    deltaL;
end
w=max(size(phi2))
for i=k+1:k+w-1 %arcul cilindric
    r(i)=Dmmax/2;
    d(i)=max(d);
end
m=5; %m=numitorul lui phi
for i=1:k
    Dm(i)=r(i)+r(i+m); %arcul extrem profilat
end
for i=k+1:k+w-1 %arcul cilindric
    Dm(i)=Dmmax;
end
for i=1:k+w-1 %arcul profilat+arcul cilindric
    a(i)=(Dm(i)^2)/(d(i)^4);
end
for i=2:k+w-1
    b(i-1)=(Dm(i-1)^2)/(d(i-1)^4)+(Dm(i)^2)/(d(i)^4);
end
for i=1:k+w-2
    c(i)=deltaL(i);
    e(i)=deltaL(i)/2;

```

```

    g(i)=b(i).*e(i);
end
for i=1:k
    F(i)=(d(i))^3*tauat1*pi/(8*Dm(i));
end
for i=k+1:k+w-1
    F(i)=dmax^3*tauat2*pi/(8*Dmmax);
end
*****
secvență de program protejată
*****
z=fliplr(g);
h=cumsum(z);
y=fliplr(h);
for i=1:k+w-2
    j(i)=(10^4)*pi/y(i);
end
for i=2:k+w-2
    p(i-1)=(j(i-1)+j(i))/2;
end
for i=2:k+w-1
    deltaF(i-1)=F(i)-F(i-1);
end
for i=2:k+w-2
    deltas(i-1)=deltaF(i-1)/p(i-1);
end
siac=F(1)/j(1) %sageata de inceput de asezare a spirelor,
calculata
q=cumsum(deltas);
s=siac+q;
s(k+w-2)=max(s);
F=[0 F]
s=[0 siac s]
ssac=s(k+1) %sageata de inceput de asezare a spirelor,
calculata
smaxc=s(k+w) %sageata maximă, calculata
plot(s,F,'r')
grid on
xlabel('Sageata [mm]')
ylabel('Forta [N]')
title(['Caracteristica sarcina-deformatie pentru arcul
elicoidal cilindric de tip "FORD-ESCORT"'])
hold on

F=[0 2370 2712 3140 3676 4157 4835 5480 6800];
s=[0 95 105 115 125 135 145 155 168];
plot(s,F,'b')
grid on

```

```
xlabel(,Sageata [f]')
ylabel(,Forta [F]')
abaterel=abs((sia-siac)*100/sia)
abatere2=abs((ssa-ssac)*100/ssa)
abatere3=abs((smax-smaxc)*100/smax)
abatere=(abaterel+abatere2+abatere3)/3
disp(,abatere admisibila ± 10%)
```

Fișă de prezentare : ANEXA II
Arc nr.1 „CIELO” –suspensie spate
 arc dublu profilat cu porțiune mediană cilindrică

| Denumire | Simbol | Valoare | Unitate de măsură |
|-----------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|
| Diametrul exterior maxim | D_{emax} | 159 | mm |
| Diametrul mediu maxim | D_{mmax} | 144,2 | mm |
| Diametrul mediu minim | D_{mmin} | 60,5 | mm |
| Înălțimea arcului în stare liberă | H_0 | 235 | mm |
| Diametrul maxim al sârmei | d_{max} | 14,8 | mm |
| Diametrul minim al sârmei | d_{min} | 9 | mm |
| Numărul total de spire | n_t | 7,5 | spire |
| Număr de spire active: | arc profilat | n_1 | 2,5 |
| | arc cilindric | n_2 | 1 |
| Număr de spire de reazem | n_r | 0,75 | spire |
| Unghiul de pantă a elicei | α | $6^{\circ}30'$ | grade |

| φ | Γ_{medie} | d_x | pas |
|-----------|-------------------------|-------|-------|
| 0 | 30,25 | 9 | |
| 2π | 44,31 | 11,4 | 16,87 |
| 4π | 61,77 | 14,8 | 26,18 |
| 6π | 72,1 | 14,8 | 59,55 |

| φ | Γ_{medie} | d_x | pas |
|-----------|-------------------------|-------|-------|
| π | 44,6 | 9,75 | |
| 3π | 58,7 | 13,35 | 20,27 |
| 5π | 70,76 | 14,8 | 37,4 |
| | | | |

Notă: Arcurile au fost măsurate la S.C. „ELECTROTIMIȘ” S.A., în Laboratorul de Metrologie, pe echipamentul de măsurare tridimensională cu calculator EMT 3C.

Semnificația notațiilor este următoarea:

d_x -reprezintă diametrul sârmei în secțiunea considerată; s-a măsurat cu șubler cu precizia de 0,05mm.

Γ_{medie} -reprezintă raza medie a spirei pentru unghiul polar φ ; s-a determinat cu echipamentul de măsurare tridimensională cu calculator EMT 3C.

pas -reprezintă pasul arcului; a fost determinat cu același echipament ca și Γ_{medie} .

α -reprezintă unghiul de pantă a elicei arcului; s-a măsurat cu raportorul optic.

Așezarea spirelor pe suprafața de reazem începe cu cele extreme, de diametru minim al sârmei și al spirei (are loc procesul monoton invers).

Fișă de prezentare :
Arc nr.2 „OPEL” –suspensie spate
 arc dublu profilat cu porțiune mediană cilindrică

| Denumire | | Simbol | Valoare | Unitate de măsură |
|-----------------------------------|---------------|------------|---------------|-------------------|
| Diametrul exterior maxim | | D_{emax} | 14,3 | mm |
| Diametrul mediu maxim | | D_{mmax} | 128,8 | mm |
| Diametrul mediu minim | | D_{mmin} | 50,5 | mm |
| Înălțimea arcului în stare liberă | | H_0 | 245 | mm |
| Diametrul maxim al sârmei | | d_{max} | 14,3 | mm |
| Diametrul minim al sârmei | | d_{min} | 10,2 | mm |
| Numărul total de spire | | n_t | 7 | spire |
| Număr de spire active: | arc profilat | n_1 | 1,75 | spire |
| | arc cilindric | n_2 | 2,5 | spire |
| Număr de spire de reazem | | n_r | 0,5 | spire |
| Unghiul de pantă a elicei | | α | $7^\circ 30'$ | grade |

| φ | r_{medie} | d_x | pas |
|-----------|-------------|-------|-------|
| 0 | 25,25 | 10,2 | |
| 2π | 52,65 | 13,1 | 15,47 |
| 4π | 64,4 | 14,2 | 42,63 |
| 6π | 64,4 | 14,2 | 55,43 |

| φ | r_{medie} | d_x | pas |
|-----------|-------------|-------|-------|
| π | 43,43 | 11,6 | |
| 3π | 61,18 | 14,2 | 30,48 |
| 5π | 64,4 | 14,2 | 50,72 |
| | | | |

Notă: Arcurile au fost măsurate la S.C. „ELECTROTIMIȘ” S.A., în Laboratorul de Metrologie, pe echipamentul de măsurare tridimensională cu calculator EMT 3C.

Semnificația notațiilor este următoarea:

d_x -reprezintă diametrul sârmei în secțiunea considerată; s-a măsurat cu șubler cu precizia de 0,05mm.

r_{medie} -reprezintă raza medie a spirei pentru unghiul polar φ ; s-a determinat cu echipamentul de măsurare tridimensională cu calculator EMT 3C.

pas -reprezintă pasul arcului; a fost determinat cu același echipament ca și r_{medie} .

α -reprezintă unghiul de pantă a elicei arcului; s-a măsurat cu raportorul optic.

Așezarea spirelor pe suprafața de reazem începe cu cele extreme, de diametru minim al sârmei și al spirei (are loc procesul monoton invers).

Fișă de prezentare :
Arc nr.3 „OPEL COMBI” –suspensie spate
 arc compus din: arc profilat, arc cilindric, spiră profilată
 sârmă de secțiune variabilă la ambele extremități

| Denumire | Simbol | Valoare | Unitate de măsură |
|-----------------------------------|------------|---------|-------------------|
| Diametrul exterior maxim | D_{emax} | 158 | mm |
| Diametrul exterior minim | D_{emin} | 80 | mm |
| Diametrul mediu maxim | D_{mmax} | 143,8 | mm |
| Diametrul mediu minim | D_{mmin} | 68,5 | mm |
| Înălțimea arcului în stare liberă | H_0 | 228 | mm |
| Diametrul maxim al sârmei | d_{max} | 14,2 | mm |
| Diametrul minim al sârmei | d_{min} | 10,35 | mm |
| Numărul total de spire | n_t | 5 | spire |
| Unghiul de pantă a elicei | α | 6°30' | grade |

| φ | Γ_{medie} | d_x | pas |
|-----------|------------------|-------|------|
| 0 | 34,25 | 11,5 | |
| 2π | 55,44 | 13,12 | 15,2 |
| 4π | 71,98 | 14,1 | 41,2 |
| 6π | 72,98 | 14,05 | 65,6 |
| 8π | 77,63 | 13,6 | 60,2 |
| 10π | 88,82 | 10,35 | 49 |

| φ | Γ_{medie} | d_x | pas |
|-----------|------------------|-------|-------|
| π | 34,48 | 12,05 | |
| 3π | 62,415 | 13,65 | 29 |
| 5π | 68 | 14,2 | 58,26 |
| 7π | 76 | 14,2 | 59,32 |
| 9π | 83,625 | 11,5 | 60,65 |
| | | | |

Notă: Arcurile au fost măsurate la S.C. „ELECTROTIMIȘ” S.A., în Laboratorul de Metrologie, pe echipamentul de măsurare tridimensională cu calculator EMT 3C. Semnificația notațiilor este următoarea:

d_x -reprezintă diametrul sârmei în secțiunea considerată; s-a măsurat cu șubler cu precizia de 0,05mm.

Γ_{medie} -reprezintă raza medie a spirei pentru unghiul polar φ ; s-a determinat cu echipamentul de măsurare tridimensională cu calculator EMT 3C.

pas -reprezintă pasul arcului; a fost determinat cu același echipament ca și Γ_{medie} .

α -reprezintă unghiul de pantă a elicei arcului; s-a măsurat cu raportorul optic.

Așezarea spirelor are loc începând de la ambele extremități: spira profilată de rază maximă și diametru minim al sârmei, situată la baza arcului și spira de vârf, cu diametru minim de înfășurare și diametru variabil descrescător al sârmei.

Fișă de prezentare :
Arc nr.4 „FORD-ESCORT” –suspensie spate
 arc elicoidal cilindric cu spire progresive la o singură extremitate și
 diametrul interior $D_i = \text{const.}$

| Denumire | | Simbol | Valoare | Unitate de măsură |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------|-------------------|
| Diametrul exterior maxim | | D_{emax} | 109,6 | mm |
| Diametrul exterior minim | | D_{emin} | 103 | mm |
| Diametrul interior constant | | D_i | 84 | mm |
| Înălțimea arcului în stare liberă | | H_0 | 275 | mm |
| Diametrul maxim al sârmei | | d_{max} | 12,8 | mm |
| Diametrul minim al sârmei | | d_{min} | 9,5 | mm |
| Numărul total de spire | | n_t | 8,2 | spire |
| Număr de spire active: | arc progresiv | n_1 | 4 | spire |
| | arc cilindric | n_2 | 3 | spire |
| Număr de spire de reazem | | n_r | 0,6 | spire |
| Unghiul de pantă a elicei | | α | 6°30' | grade |

| φ | D_{mmed} | d_x |
|-----------|-------------------|-------|
| 0 | 93,5 | 9,5 |
| 2π | 94 | 10 |
| 4π | 95,1 | 11,1 |
| 6π | 96,2 | 12,2 |
| 8π | 96,8 | 12,8 |

| φ | D_{mmed} | d_x |
|-----------|-------------------|-------|
| 10π | 96,8 | 12,8 |
| 12π | 96,8 | 12,8 |
| 14π | 96,8 | 12,8 |
| 16π | 96,8 | 12,8 |
| | | |

Notă: Arcurile au fost măsurate la S.C. „ELECTROTIMIȘ” S.A., în Laboratorul de Metrologie, pe echipamentul de măsurare tridimensională cu calculator EMT 3C.

Semnificația notațiilor este următoarea:

d_x -reprezintă diametrul sârmei în secțiunea considerată; s-a măsurat cu șubler cu precizia de 0,05mm.

D_{mmed} -reprezintă diametrul mediu al spirei pentru unghiul polar φ ; s-a determinat cu echipamentul de măsurare tridimensională cu calculator EMT 3C.

α -reprezintă unghiul de pantă a elicei arcului; s-a măsurat cu raportorul optic.

Așezarea spirelor pe suprafața de reazem începe de la spira cu diametru maxim de înfășurare și diametru minim al sârmei (spira de rigiditate minimă, are loc procesul monoton direct).

Fișă de prezentare :
Arc nr.5 „VOLKSWAGEN” –suspensie față
 arc elicoidal cilindric cu spire progresive la o singură extremitate și
 diametrul exterior $D_e = \text{const.}$

| Denumire | Simbol | Valoare | Unitate de măsură |
|-----------------------------------|------------|-----------|-------------------|
| Diametrul exterior constant | D_e | 114,2 | mm |
| Înălțimea arcului în stare liberă | H_0 | 305 | mm |
| Diametrul maxim al sârmei | d_{\max} | 10,9 | mm |
| Diametrul minim al sârmei | d_{\min} | 7,75 | mm |
| Numărul total de spire | n_t | 8 | spire |
| Unghiul de pantă a elicei | α | 7° | grade |

| φ | d_x |
|-----------|-------|
| 0 | 7,75 |
| 2π | 8,55 |
| 4π | 10,1 |
| 6π | 10,9 |
| 8π | 10,9 |
| 10π | 10,9 |
| 12π | 10,9 |
| 14π | 10,9 |
| 16π | 10,9 |

| φ | d_x |
|-----------|-------|
| π | 7,9 |
| 3π | 9,25 |
| 5π | 10,9 |
| 7π | 10,9 |
| 9π | 10,9 |
| 11π | 10,9 |
| 13π | 10,9 |
| 15π | 10,9 |
| | |

Notă: Arcurile au fost măsurate la S.C. „ELECTROTIMIȘ” S.A., în Laboratorul de Metrologie, pe echipamentul de măsurare tridimensională cu calculator EMT 3C.

Semnificația notațiilor este următoarea:

d_x -reprezintă diametrul sârmei în secțiunea considerată; s-a măsurat cu subler cu precizia de 0,05mm.

α -reprezintă unghiul de pantă al elicei arcului; s-a măsurat cu raportorul optic.

Așezarea spirelor pe suprafața de reazem începe de la spira cu diametru maxim de înfășurare și diametru minim al sârmei (spira de rigiditate minimă, are loc procesul monoton direct).



Gebrüder Ahle GmbH & Co. · Postfach 2160 · 5253 Lindlar

Prof. Militaru Rodica
Universitatea Tehnica, Cat. OMM
Mihai Viteazu Nr. 1

1900 Timisoara / Romania

Gebrüder Ahle GmbH & Co.
Karlshof, 5253 Lindlar
Telefon (0 22 66) 908-0
Telefax (0 22 66) 90 82 00
Telex 884 470

Ihr Zeichen
Ihr Schreiben vom 23.4.1992
Unsere Abt. u. Zeichen V/Fg/Sa.
Karlshof 6.5.1992

Betr.: Schraubendruckfedern aus Drähten oder Stäben mit
inkonstantem Durchmesser

Sehr geehrte Damen und Herren!

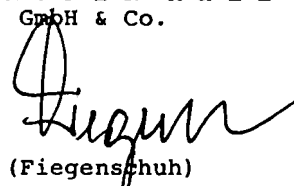
Wir danken Ihnen für Ihr Schreiben.

Leider gibt es keine weiteren Unterlagen, die wir zur
Verfügung stellen können.

Mit freundlichen Grüßen

G E B R Ü D E R A H L E
GmbH & Co.

i.v.


(Fiegenschuh)

Bankverbindungen:

Deutsche Bank AG, Gummersbach
BLZ 384 700 91, Kto.-Nr. 0100 081

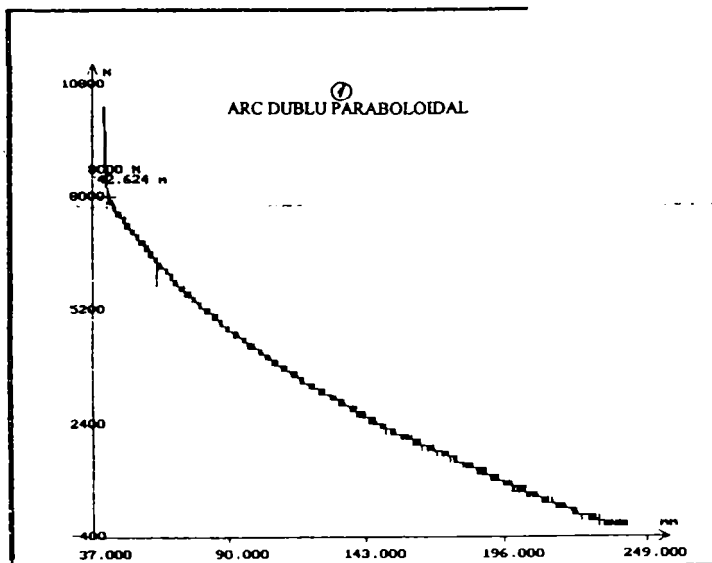
SparKasse Gummersbach
BLZ 384 500 00, Kto.-Nr. 290 049

Trinkaus & Burkhardt, Düsseldorf
BLZ 300 308 80, Kto.-Nr. 2350/009

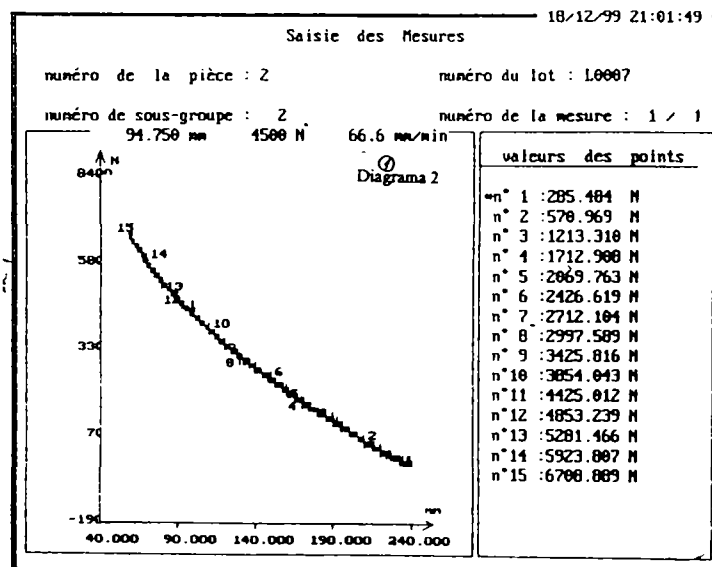
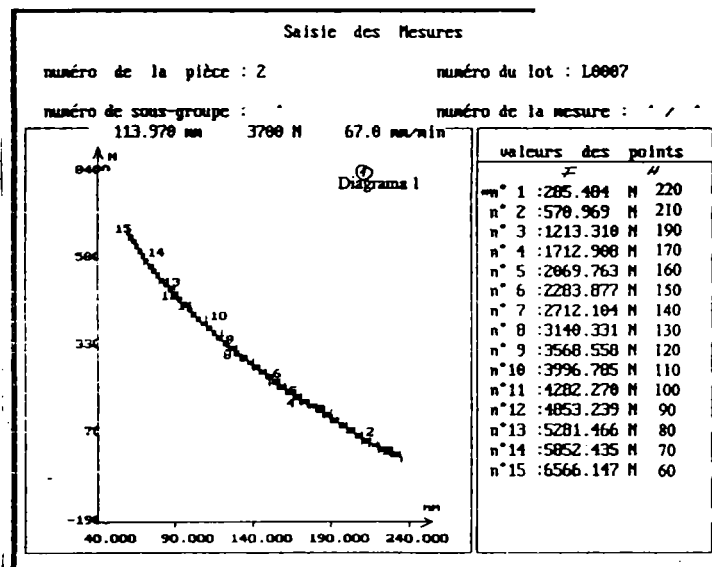
Post girokonto: Köln
BLZ 370100 50, Kto.-Nr. 8076-504

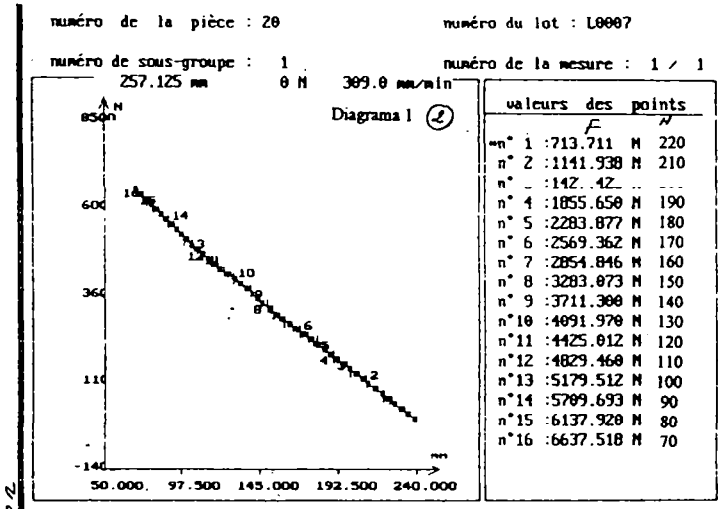
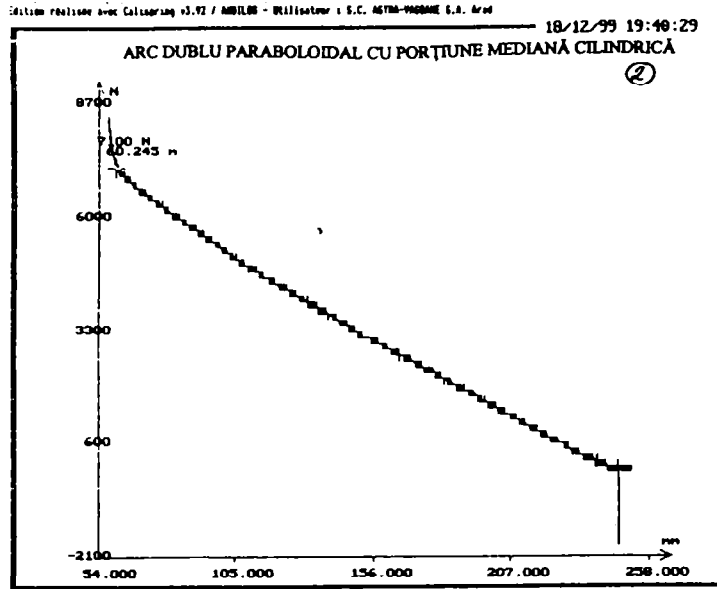
Kommanditgesellschaft: Sitz Lindlar-Karlshof, Registergericht: Wipperfürth HRA 1128, Persönlich haftende Gesellschafterin:
Ahle-Verwaltungsgesellschaft mbH, Sitz: Lindlar-Karlshof, Registergericht: Wipperfürth HRB 1088, Geschäftsführer: Gerd Ahle, Joachim Ahle.

édition réalisée avec Calispang v3.92 / AMBILIM - Utilisateur : S.C. ASTRA-VAGONE S.A. Arc

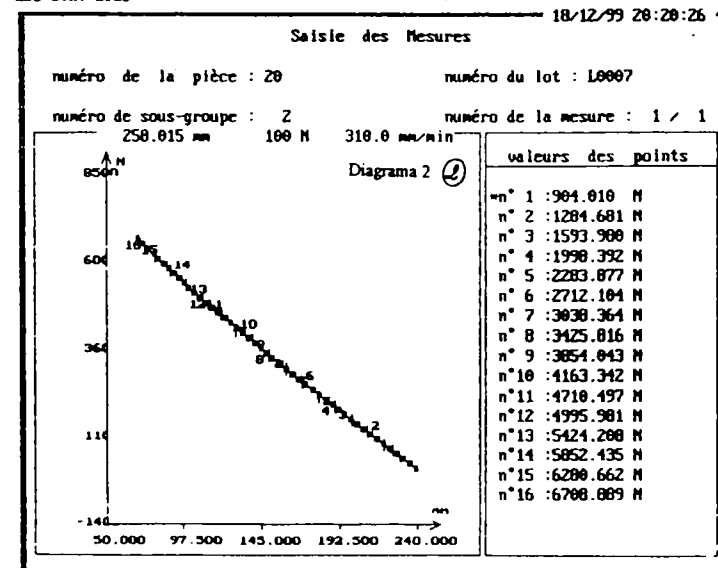


édition réalisée avec Calispang v3.92 / AMBILIM - Utilisateur : S.C. ASTRA-VAGONE S.A. Arc





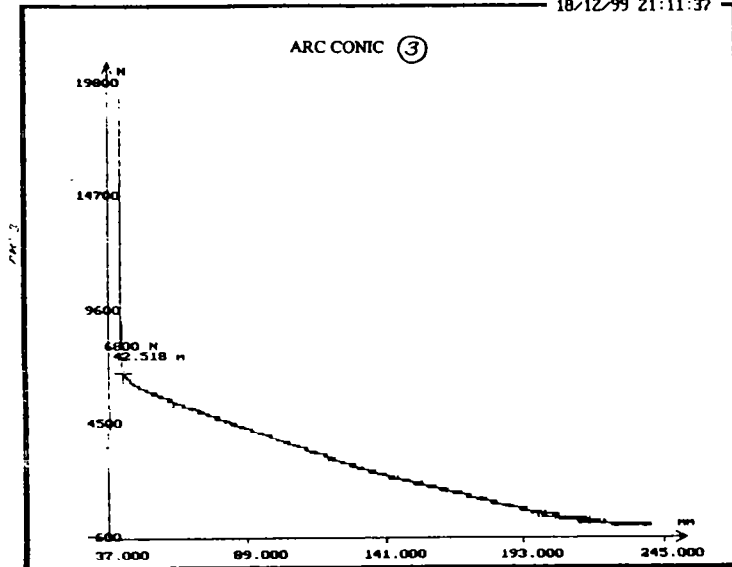
Édition réalisée avec Calispring v3.92 / ANDILOG - Utilisateur : S.C. ASTRA-VAGO ANE S.A. Arad



Édition réalisée avec Calispring v3.92 / ANDILOG - Utilisateur : S.C. ASTRA-VAGO ANE S.A. Arad

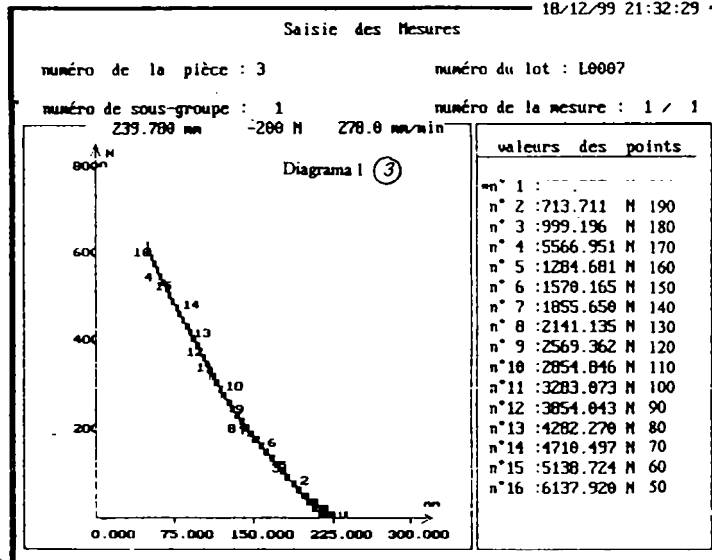
Edition réalisée avec Calispring v3.92 / ANDILOG - Utilisateur : S.C. ASTRA-VAGO ANE S.A. Arad

18/12/99 21:11:37



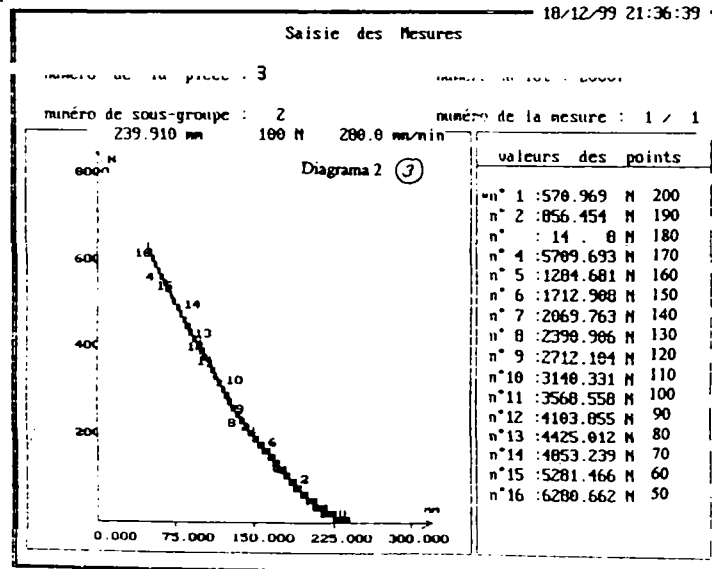
Edition réalisée avec Calispring v3.92 / ANDILOG - Utilisateur : S.C. ASTRA-VAGO ANE S.A. Arad

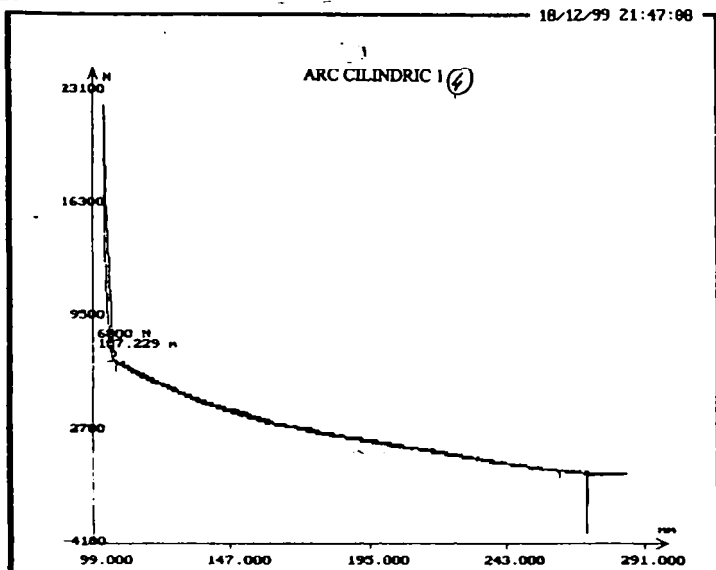
18/12/99 21:32:29



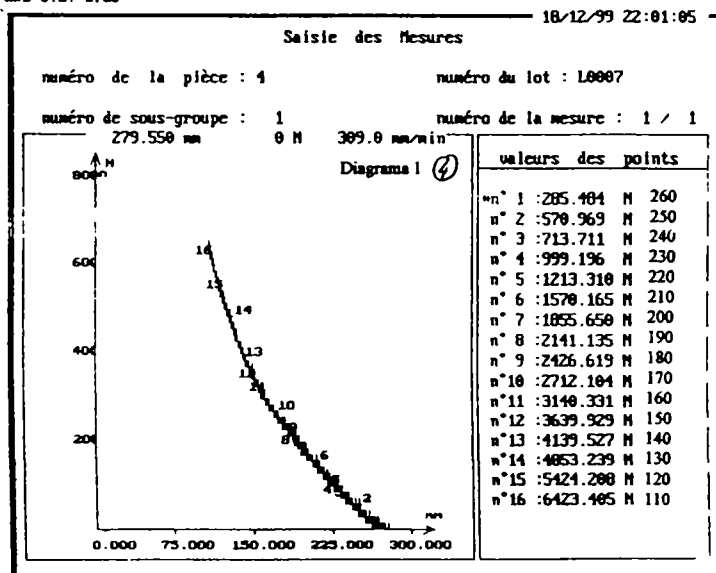
Edition réalisée avec Calispring v3.92 / ANDILOG - Utilisateur : S.C. ASTRA-VAGO ANE S.A. Arad

18/12/99 21:36:39

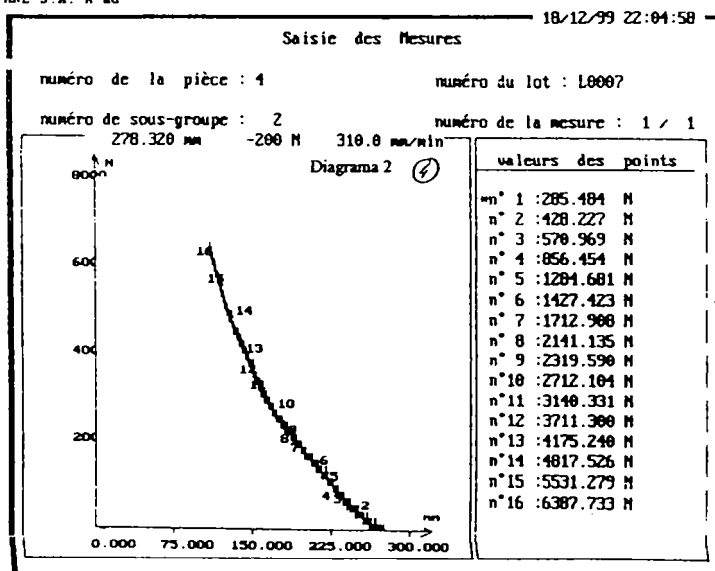




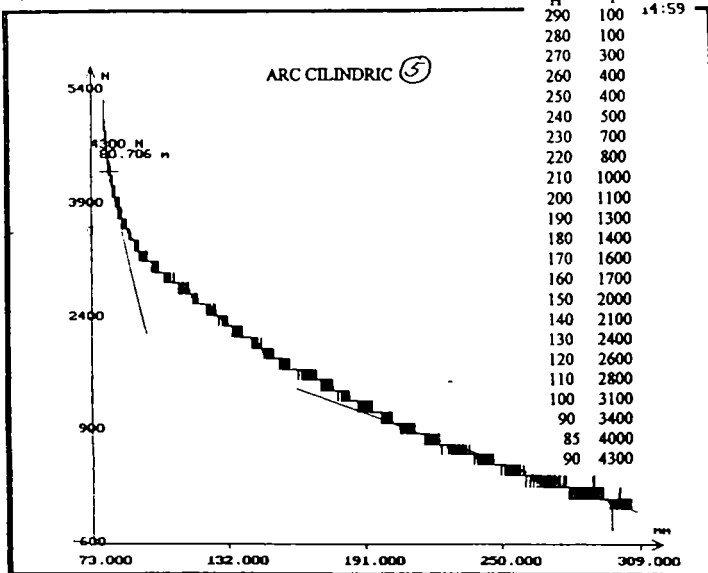
Edition réalisée avec Callipring v3.92 / ANDILOG - Utilisateur : S.C. ASTRA-VAGO
AME S.A. Arad



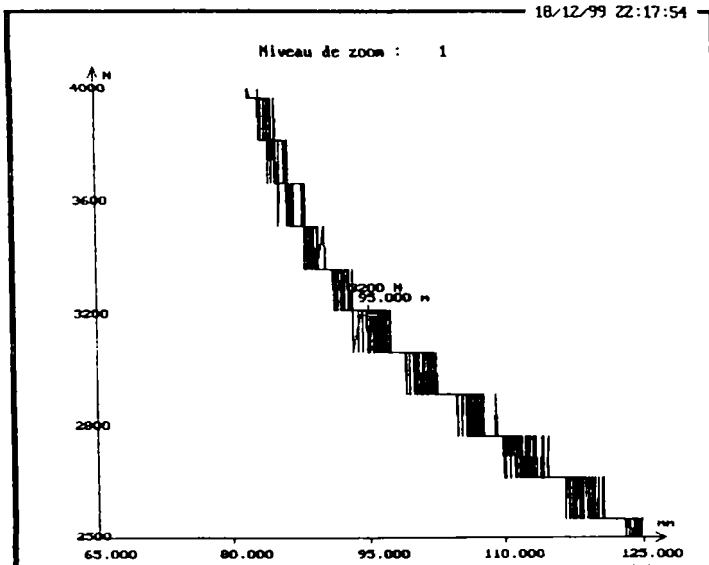
Edition réalisée avec Callipring v3.92 / ANDILOG - Utilisateur : S.C. ASTRA-VAGO
AME S.A. Arad



Edition réalisée avec Calispring v3.92 / ANDILOG - Utilisateur : S.C. ASTRA-VAQ
 ANE S.A. Arad



Edition réalisée avec Calispring v3.92 / ANDILOG - Utilisateur : S.C. ASTRA-V. JO
 ANE S.A. Arad



Fişierele din MATLAB Command Window

ANEXA III

» c2ca12d

dmax =
14.6861
Kmax =
55
n2 =
2.8000
Dmmax =
145.2000
pcil =
51.9728
l2 =
1.2855e+003
Hocil =
145.5238
Hop =
42.2381
AP2 Calfa-arc conic cu unghi de panta constant
n1 =
1.3000
nta =
5.4000
dmin =
8.6360
sageata maxima, spirele se aseaza pe suprafata
de reazem
l1 =
373.1175
l =
2.2994e+003
arc complet
l1 =
395.1335
w =
15
w =
15
Dm =
Columns 1 through 7
69.7038 75.1261 80.9702 87.2689
94.0575 101.3743 109.2602
Columns 8 through 14
117.7596 126.9202 128.3349 132.6705
137.3434 142.3798 147.8080
Columns 15 through 21
145.2000 145.2000 145.2000 145.2000
145.2000 145.2000 145.2000
Columns 22 through 28
145.2000 145.2000 145.2000 145.2000
145.2000 145.2000 145.2000

r =
Columns 1 through 7
28.4000 30.6092 32.9904 35.5567 38.3227
41.3038 44.5168
Columns 8 through 14
47.9798 51.7122 55.7349 60.0705
64.7434 69.7798 75.2080
Columns 15 through 21
72.6000 72.6000 72.6000 72.6000
72.6000 72.6000 72.6000
Columns 22 through 28
72.6000 72.6000 72.6000 72.6000
72.6000 72.6000 72.6000
d =
Columns 1 through 7
8.6360 8.9384 9.2643 9.6156 9.9942
10.4022 10.8420
Columns 8 through 14
11.3161 11.8269 12.3776 12.9710
13.6107 14.3001 15.0431
Columns 15 through 21
15.0431 15.0431 15.0431 15.0431
15.0431 15.0431 15.0431
Columns 22 through 28
15.0431 15.0431 15.0431 15.0431
15.0431 15.0431 15.0431
deltaL =
Columns 1 through 7
18.6495 20.1003 21.6639 23.3491
25.1655 27.1231 29.2330
Columns 8 through 14
31.5070 33.9580 36.5996 39.4467
42.5153 45.8225 45.9110
Columns 15 through 21
45.9110 45.9110 45.9110 45.9110
45.9110 45.9110 45.9110
Columns 22 through 27
45.9110 45.9110 45.9110 45.9110
45.9110 45.9110
F =
1.0e+003 *
Columns 1 through 7
2.5400 2.6130 2.6994 2.8004 2.9175
3.0522 3.2065
Columns 8 through 14
3.3826 3.5830 4.0618 4.5218 5.0465
5.6458 6.3310
Columns 15 through 21
7.7100 7.7100 7.7100 7.7100 7.7100
7.7100 7.7100
Columns 22 through 28

7.7100 7.7100 7.7100 7.7100 7.7100
 7.7100 7.7100
 deltaF =
 1.0e+003 *
 Columns 1 through 7
 0.0730 0.0864 0.1010 0.1170 0.1347
 0.1543 0.1761
 Columns 8 through 14
 0.2004 0.4788 0.4600 0.5247 0.5993
 0.6852 1.3790
 Columns 15 through 21
 0 0 0 0 0 0 0
 Columns 22 through 27
 0 0 0 0 0 0
 deltaf =
 Columns 1 through 7
 2.5291 2.8986 3.2692 3.6385 4.0034
 4.3598 4.7023
 Columns 8 through 14
 5.0240 11.2073 10.0326 10.6552
 11.3096 11.9963 22.3854
 Columns 15 through 21
 0 0 0 0 0 0 0
 Columns 22 through 26
 0 0 0 0 0
 fiac =
 44.6639
 fiac =
 89.3278
 q =
 Columns 1 through 7
 2.5291 5.4277 8.6969 12.3353 16.3387
 20.6985 25.4009
 Columns 8 through 14
 30.4248 41.6322 51.6648 62.3199
 73.6295 85.6259 108.0113
 Columns 15 through 21
 108.0113 108.0113 108.0113 108.0113
 108.0113 108.0113 108.0113
 Columns 22 through 26
 108.0113 108.0113 108.0113 108.0113
 108.0113
 f =
 Columns 1 through 7
 0 89.3278 91.8569 94.7555 98.0247
 101.6631 105.6665
 Columns 8 through 14
 110.0264 114.7287 119.7526 130.9600
 140.9926 151.6478 162.9574
 Columns 15 through 21
 174.9537 197.3391 197.3391 197.3391
 197.3391 197.3391 197.3391
 Columns 22 through 28
 197.3391 197.3391 197.3391 197.3391
 197.3391 197.3391 197.3391
 Column 29
 197.3391

F =
 1.0e+003 *
 Columns 1 through 7
 0 2.5400 2.6130 2.6994 2.8004
 2.9175 3.0522
 Columns 8 through 14
 3.2065 3.3826 3.5830 4.0618 4.5218
 5.0465 5.6458
 Columns 15 through 21
 6.3310 7.7100 7.7100 7.7100 7.7100
 7.7100 7.7100
 Columns 22 through 28
 7.7100 7.7100 7.7100 7.7100 7.7100
 7.7100 7.7100
 Column 29
 7.7100
 fsac =
 174.9537
 fmaxc =
 197.3391
 abaterel =
 10.6722
 abatere3 =
 1.3305
 abatere =
 6.0013
 abaterea admisibila=+-10%
 » c2cp12d
 dmax =
 14.6861
 Kmax =
 55
 n2 =
 2.8000
 Dmmax =
 145.2000
 pcil =
 51.9728
 l2 =
 1.2855e+003
 Hocil =
 145.5238
 Hop =
 42.2381
 AP2 Cp-arc conic cu pas constant
 alfam=7 grade
 n1 =
 1.1000
 nta =
 5
 r =
 Columns 1 through 7

28.4000 32.4182 36.4364 40.4545
 44.4727 48.4909 52.5091
 Columns 8 through 12
 56.5273 60.5455 64.5636 68.5818
 72.6000
 dmin =
 8.9231
 r1 =
 28.4000
 sageata maxima, spirele se aseaza pe suprafata
 de reazem
 pcon =
 38.3983
 psi =
 46.3002
 l1 =
 351.6521
 nr =
 0.7500
 l =
 2.2565e+003
 l1 =
 351.6521
 Dm =
 Columns 1 through 7
 76.8909 84.9273 92.9636 101.0000
 109.0364 117.0727 125.1091
 Columns 8 through 14
 129.1273 133.1455 137.1636 141.1818
 145.2000 145.2000 145.2000
 Columns 15 through 21
 145.2000 145.2000 145.2000 145.2000
 145.2000 145.2000 145.2000
 Columns 22 through 26
 145.2000 145.2000 145.2000 145.2000
 145.2000
 r =
 Columns 1 through 7
 28.4000 32.4182 36.4364 40.4545
 44.4727 48.4909 52.5091
 Columns 8 through 14
 56.5273 60.5455 64.5636 68.5818
 72.6000 72.6000 72.6000
 Columns 15 through 21
 72.6000 72.6000 72.6000 72.6000
 72.6000 72.6000 72.6000
 Columns 22 through 26
 72.6000 72.6000 72.6000 72.6000
 72.6000
 d =
 Columns 1 through 7
 8.9231 9.2386 9.5958 9.9946 10.4351
 10.9174 11.4413
 Columns 8 through 14
 12.0069 12.6141 13.2631 13.9538
 14.6861 14.6861 14.6861
 Columns 15 through 21

14.6861 14.6861 14.6861 14.6861
 14.6861 14.6861 14.6861
 Columns 22 through 26
 14.6861 14.6861 14.6861 14.6861
 14.6861
 deltaL =
 Columns 1 through 7
 19.2501 21.7937 24.3374 26.8811
 29.4247 31.9684 34.5120
 Columns 8 through 14
 37.0557 39.5993 42.1430 44.6867
 45.9110 45.9110 45.9110
 Columns 15 through 21
 45.9110 45.9110 45.9110 45.9110
 45.9110 45.9110 45.9110
 Columns 22 through 25
 45.9110 45.9110 45.9110 45.9110
 deltaF =
 1.0e+003 *
 Columns 1 through 7
 0.0123 0.0604 0.1046 0.1474 0.1906
 0.2354 0.3942
 Columns 8 through 14
 0.4589 0.5319 0.6142 0.7067 1.7133
 0 0
 Columns 15 through 21
 0 0 0 0 0 0 0
 Columns 22 through 25
 0 0 0 0
 deltaf =
 Columns 1 through 7
 0.4399 2.0839 3.4548 4.6239 5.6356
 6.5180 10.1655
 Columns 8 through 14
 10.9965 11.8369 12.6952 13.5804
 30.5975 0 0
 Columns 15 through 21
 0 0 0 0 0 0 0
 Columns 22 through 24
 0 0 0
 fiac =
 46.2343
 fiac =
 92.4687
 q =
 Columns 1 through 7
 0.4399 2.5238 5.9786 10.6024 16.2380
 22.7560 32.9215
 Columns 8 through 14
 43.9180 55.7549 68.4501 82.0304
 112.6279 112.6279 112.6279
 Columns 15 through 21
 112.6279 112.6279 112.6279 112.6279
 112.6279 112.6279 112.6279
 Columns 22 through 24
 112.6279 112.6279 112.6279
 f =

```

Columns 1 through 7
 92.9086 94.9925 98.4473 103.0711
108.7067 115.2247 125.3902
Columns 8 through 14
136.3867 148.2236 160.9188 174.4991
205.0966 205.0966 205.0966
Columns 15 through 21
205.0966 205.0966 205.0966 205.0966
205.0966 205.0966 205.0966
Columns 22 through 24
205.0966 205.0966 205.0966
f =
Columns 1 through 7
 0 92.4687 92.9086 94.9925 98.4473
103.0711 108.7067
Columns 8 through 14
115.2247 125.3902 136.3867 148.2236
160.9188 174.4991 205.0966
Columns 15 through 21
205.0966 205.0966 205.0966 205.0966
205.0966 205.0966 205.0966
Columns 22 through 27
205.0966 205.0966 205.0966 205.0966
205.0966 205.0966
F =
1.0e+003 *
Columns 1 through 7
 0 2.5400 2.5523 2.6127 2.7173
2.8647 3.0553
Columns 8 through 14
3.2907 3.6849 4.1439 4.6758 5.2900
5.9967 7.7100
Columns 15 through 21
7.7100 7.7100 7.7100 7.7100 7.7100
7.7100 7.7100
Columns 22 through 27
7.7100 7.7100 7.7100 7.7100 7.7100
7.7100
fsac =
174.4991
fmaxc =
205.0966
abatere1 =
7.5313
abatere3 =
2.5483
abatere =
5.0398
abaterea admisibila=+-10%
»

» c2p12d

dmax =
14.6861
Kmax =
55
n2 =
2.8000
Dmmax =
145.2000
pcil =
51.9728
l2 =
1.2855e+003
Hocil =
145.5238
Hop =
42.2381
AP2 P-arc paraboloidal
n1 =
1.2000
nta =
5.2000
r =
Columns 1 through 7
28.4000 32.0833 35.7667 39.4500
43.1333 46.8167 50.5000
Columns 8 through 13
54.1833 57.8667 61.5500 65.2333
68.9167 72.6000
dmin =
8.8579
r1 =
28.4000
sageata maxima, spirele se aseaza pe suprafata
de reazem
pp =
33.5150 36.1519 38.7887
l1 =
383.2245
nr =
0.7500
l =
2.3196e+003
arc complet
l1 =
383.2245
Dm =
Columns 1 through 7
75.2167 82.5833 89.9500 97.3167
104.6833 112.0500 119.4167
Columns 8 through 14
126.7833 130.4667 134.1500 137.8333
141.5167 145.2000 145.2000
Columns 15 through 21
145.2000 145.2000 145.2000 145.2000
145.2000 145.2000 145.2000
Columns 22 through 27
145.2000 145.2000 145.2000 145.2000
145.2000 145.2000
r =

```

```

Columns 1 through 7
28.4000 32.0833 35.7667 39.4500
43.1333 46.8167 50.5000
Columns 8 through 14
54.1833 57.8667 61.5500 65.2333
68.9167 72.6000 72.6000
Columns 15 through 21
72.6000 72.6000 72.6000 72.6000
72.6000 72.6000 72.6000
Columns 22 through 27
72.6000 72.6000 72.6000 72.6000
72.6000 72.6000
d =
Columns 1 through 7
8.8579 9.1487 9.4750 9.8367 10.2338
10.6664 11.1343
Columns 8 through 14
11.6377 12.1766 12.7508 13.3605
14.0056 14.6861 14.6861
Columns 15 through 21
14.6861 14.6861 14.6861 14.6861
14.6861 14.6861 14.6861
Columns 22 through 27
14.6861 14.6861 14.6861 14.6861
14.6861 14.6861
deltaL =
Columns 1 through 7
19.1243 21.4536 23.7829 26.1122
28.4415 30.7707 33.1000
Columns 8 through 14
35.4293 37.7586 40.0878 42.4171
44.7464 45.9110 45.9110
Columns 15 through 21
45.9110 45.9110 45.9110 45.9110
45.9110 45.9110 45.9110
Columns 22 through 26
45.9110 45.9110 45.9110 45.9110
45.9110
deltaF =
1.0e+003 *
Columns 1 through 7
0.0089 0.0507 0.0890 0.1259 0.1627
0.2004 0.2399
Columns 8 through 14
0.3865 0.4440 0.5083 0.5802 0.6602
1.7133 0
Columns 15 through 21
0 0 0 0 0 0 0
Columns 22 through 26
0 0 0 0 0
fiac =
48.1602
fiac =
96.3204
q =
Columns 1 through 7
0.3313 2.1592 5.2430 9.4022 14.4945
20.4022 27.0239
Columns 8 through 14
36.9624 47.5801 58.8780 70.8631
83.5482 114.1457 114.1457
Columns 15 through 21
114.1457 114.1457 114.1457 114.1457
114.1457 114.1457 114.1457
Columns 22 through 25
114.1457 114.1457 114.1457 114.1457
f =
Columns 1 through 7
96.6517 98.4796 101.5634 105.7226
110.8149 116.7226 123.3443
Columns 8 through 14
133.2828 143.9005 155.1984 167.1835
179.8686 210.4661 210.4661
Columns 15 through 21
210.4661 210.4661 210.4661 210.4661
210.4661 210.4661 210.4661
Columns 22 through 25
210.4661 210.4661 210.4661 210.4661
f =
Columns 1 through 7
0 96.3204 96.6517 98.4796 101.5634
105.7226 110.8149
Columns 8 through 14
116.7226 123.3443 133.2828 143.9005
155.1984 167.1835 179.8686
Columns 15 through 21
210.4661 210.4661 210.4661 210.4661
210.4661 210.4661 210.4661
Columns 22 through 28
210.4661 210.4661 210.4661 210.4661
210.4661 210.4661 210.4661
F =
1.0e+003 *
Columns 1 through 7
0 2.5400 2.5489 2.5995 2.6886
2.8145 2.9771
Columns 8 through 14
3.1775 3.4174 3.8039 4.2480 4.7563
5.3365 5.9967
Columns 15 through 21
7.7100 7.7100 7.7100 7.7100 7.7100
7.7100 7.7100
Columns 22 through 28
7.7100 7.7100 7.7100 7.7100 7.7100
7.7100 7.7100
fsac =
179.8686
fmaxc =
210.4661
abatere1 =
3.6796
abatere3 =
5.2330

```

| | |
|--|-------------------------------------|
| abatere = | 144.2000 144.2000 144.2000 144.2000 |
| 4.4563 | 144.2000 144.2000 144.2000 |
| abaterea admisibila=+-10% | Columns 29 through 30 |
| » | 144.2000 144.2000 |
| | r = |
| | Columns 1 through 7 |
| » c2ca181 | 30.2500 31.7799 33.3872 35.0757 |
| | 36.8496 38.7133 40.6712 |
| | Columns 8 through 14 |
| dmax = | 42.7282 44.8891 47.1594 49.5445 |
| 14.8337 | 52.0502 54.6826 57.4482 |
| Kmax = | Columns 15 through 21 |
| 72 | 60.3536 63.4060 66.6127 69.9816 |
| n2 = | 73.5210 72.1000 72.1000 |
| 2.2000 | Columns 22 through 28 |
| Dmmax = | 72.1000 72.1000 72.1000 72.1000 |
| 144.2000 | 72.1000 72.1000 72.1000 |
| pcil = | Columns 29 through 30 |
| 51.6148 | 72.1000 72.1000 |
| l2 = | d = |
| 1.0031e+003 | Columns 1 through 7 |
| Hocil = | 8.9940 9.2075 9.4318 9.6674 9.9149 |
| 113.5527 | 10.1750 10.4482 |
| Hop = | Columns 8 through 14 |
| 60.7237 | 10.7352 11.0367 11.3535 11.6863 |
| AP2 Calfa-arc conic cu unghi de panta constant | 12.0360 12.4033 12.7892 |
| n1 = | Columns 15 through 21 |
| 1.8000 | 13.1947 13.6206 14.0681 14.5382 |
| nta = | 15.0320 15.0320 15.0320 |
| 5.8000 | Columns 22 through 28 |
| dmin = | 15.0320 15.0320 15.0320 15.0320 |
| 8.9940 | 15.0320 15.0320 15.0320 |
| sageata maxima, spirele se aseaza pe suprafata | Columns 29 through 30 |
| de reazem | 15.0320 15.0320 |
| l1 = | deltaL = |
| 536.4130 | Columns 1 through 7 |
| l = | 19.6094 20.6011 21.6430 22.7376 |
| 2.3610e+003 | 23.8875 25.0956 26.3649 |
| arc complet | Columns 8 through 14 |
| l1 = | 27.6983 29.0991 30.5708 32.1169 |
| 554.6261 | 33.7412 35.4476 37.2404 |
| w = | Columns 15 through 21 |
| 12 | 39.1238 41.1025 43.1813 45.3651 |
| w = | 45.5949 45.5949 45.5949 |
| 12 | Columns 22 through 28 |
| Dm = | 45.5949 45.5949 45.5949 45.5949 |
| Columns 1 through 7 | 45.5949 45.5949 45.5949 |
| 68.9633 72.4511 76.1153 79.9648 | Column 29 |
| 84.0090 88.2578 92.7214 | 45.5949 |
| Columns 8 through 14 | F = |
| 97.4108 102.3373 107.5130 112.9504 | 1.0e+003 * |
| 118.6629 124.6643 130.9691 | Columns 1 through 7 |
| Columns 15 through 21 | 2.9000 2.9617 3.0301 3.1059 3.1893 |
| 132.4536 135.5060 138.7127 142.0816 | 3.2810 3.3814 |
| 145.6210 144.2000 144.2000 | Columns 8 through 14 |
| Columns 22 through 28 | 3.4913 3.6112 3.7419 3.8842 4.0391 |
| | 4.2076 4.3906 |

Columns 15 through 21
 4.7675 5.1261 5.5175 5.9449 6.4119
 8.0000 8.0000
 Columns 22 through 28
 8.0000 8.0000 8.0000 8.0000 8.0000
 8.0000 8.0000
 Columns 29 through 30
 8.0000 8.0000
 deltaF =
 1.0e+003 *
 Columns 1 through 7
 0.0617 0.0685 0.0757 0.0834 0.0917
 0.1004 0.1098
 Columns 8 through 14
 0.1199 0.1307 0.1424 0.1549 0.1684
 0.1830 0.3769
 Columns 15 through 21
 0.3586 0.3914 0.4274 0.4670 1.5881
 0 0
 Columns 22 through 28
 0 0 0 0 0 0 0
 Column 29
 0
 deltaf =
 Columns 1 through 7
 2.1487 2.3226 2.4938 2.6613 2.8240
 2.9806 3.1295
 Columns 8 through 14
 3.2690 3.3970 3.5112 3.6087 3.6866
 3.7413 7.1552
 Columns 15 through 21
 6.3008 6.3434 6.3632 6.3564 19.6754
 0 0
 Columns 22 through 28
 0 0 0 0 0 0 0
 fiac =
 51.1984
 fiac =
 102.3968
 q =
 Columns 1 through 7
 2.1487 4.4713 6.9652 9.6265 12.4505
 15.4311 18.5607
 Columns 8 through 14
 21.8297 25.2268 28.7379 32.3467
 36.0333 39.7746 46.9298
 Columns 15 through 21
 53.2307 59.5741 65.9372 72.2936
 91.9690 91.9690 91.9690
 Columns 22 through 28
 91.9690 91.9690 91.9690 91.9690
 91.9690 91.9690 91.9690
 f =
 Columns 1 through 7
 0 102.3968 104.5455 106.8682
 109.3620 112.0233 114.8474
 Columns 8 through 14

117.8280 120.9575 124.2266 127.6236
 131.1348 134.7435 138.4302
 Columns 15 through 21
 142.1715 149.3267 155.6275 161.9709
 168.3341 174.6905 194.3658
 Columns 22 through 28
 194.3658 194.3658 194.3658 194.3658
 194.3658 194.3658 194.3658
 Columns 29 through 31
 194.3658 194.3658 194.3658
 F =
 1.0e+003 *
 Columns 1 through 7
 0 2.9000 2.9617 3.0301 3.1059
 3.1893 3.2810
 Columns 8 through 14
 3.3814 3.4913 3.6112 3.7419 3.8842
 4.0391 4.2076
 Columns 15 through 21
 4.3906 4.7675 5.1261 5.5175 5.9449
 6.4119 8.0000
 Columns 22 through 28
 8.0000 8.0000 8.0000 8.0000 8.0000
 8.0000 8.0000
 Columns 29 through 31
 8.0000 8.0000 8.0000
 fsac =
 174.6905
 fmaxc =
 194.3658
 abatere1 =
 2.3968
 abatere2 =
 12.7035
 abatere3 =
 0.9693
 abatere =
 5.3565
 abaterea admisibila=+-10%
 » c2cp181
 dmax =
 14.8337
 Kmax =
 72
 n2 =
 2.2000
 Dmmax =
 144.2000
 pcil =
 51.6148
 l2 =
 1.0031e+003
 Hocil =

```

113.5527
Hop =
  60.7237
AP2 Cp-arc conic cu pas constant
alfam=7 grade
nl =
  1.5000
nta =
  5.2000
r =
  Columns 1 through 7
  30.2500 33.0400 35.8300 38.6200
41.4100 44.2000 46.9900
  Columns 8 through 14
  49.7800 52.5700 55.3600 58.1500
60.9400 63.7300 66.5200
  Columns 15 through 16
  69.3100 72.1000
dmin =
  9.2265
rl =
  30.2500
sageata maxima, spirele se aseaza pe suprafata
de reazem
pcon =
  40.4824
psi =
  34.5741
ll =
  485.9351
nr =
  0.7500
l =
  2.2601e+003
ll =
  485.9351
w =
  12
w =
  12
Dm =
  Columns 1 through 7
  74.4500 80.0300 85.6100 91.1900
96.7700 102.3500 107.9300
  Columns 8 through 14
  113.5100 119.0900 124.6700 130.2500
133.0400 135.8300 138.6200
  Columns 15 through 21
  141.4100 144.2000 144.2000 144.2000
144.2000 144.2000 144.2000
  Columns 22 through 27
  144.2000 144.2000 144.2000 144.2000
144.2000 144.2000
r =
  Columns 1 through 7
  30.2500 33.0400 35.8300 38.6200
41.4100 44.2000 46.9900
  Columns 8 through 14
  49.7800 52.5700 55.3600 58.1500
60.9400 63.7300 66.5200
  Columns 15 through 21
  69.3100 72.1000 72.1000 72.1000
72.1000 72.1000 72.1000
  Columns 22 through 27
  72.1000 72.1000 72.1000 72.1000
72.1000 72.1000
d =
  Columns 1 through 7
  9.2265 9.4576 9.7092 9.9811 10.2734
10.5860 10.9191
  Columns 8 through 14
  11.2725 11.6464 12.0406 12.4551
12.8901 13.3454 13.8212
  Columns 15 through 21
  14.3173 14.8337 14.8337 14.8337
14.8337 14.8337 14.8337
  Columns 22 through 27
  14.8337 14.8337 14.8337 14.8337
14.8337 14.8337
deltaL =
  Columns 1 through 7
  20.0325 21.7986 23.5648 25.3310
27.0972 28.8633 30.6295
  Columns 8 through 14
  32.3957 34.1618 35.9280 37.6942
39.4604 41.2265 42.9927
  Columns 15 through 21
  44.7589 45.5949 45.5949 45.5949
45.5949 45.5949 45.5949
  Columns 22 through 26
  45.5949 45.5949 45.5949 45.5949
45.5949
deltaF =
  1.0e+003 *
  Columns 1 through 7
  0.0057 0.0332 0.0585 0.0827 0.1062
0.1295 0.1532
  Columns 8 through 14
  0.1774 0.2026 0.2289 0.3475 0.3849
0.4254 0.4694
  Columns 15 through 21
  0.5172 1.7778 0 0 0 0
0
  Columns 22 through 26
  0 0 0 0 0
deltaf =
  Columns 1 through 7
  0.1973 1.1136 1.8963 2.5701 3.1520
3.6536 4.0830
  Columns 8 through 14
  4.4457 4.7454 4.9843 6.9989 7.1448
7.2620 7.3506
  Columns 15 through 21

```

```

7.4105 23.2169 0 0 0 0
0
Columns 22 through 25
0 0 0 0
fiac =
50.9804
fiac =
101.9608
q =
Columns 1 through 7
0.1973 1.3109 3.2072 5.7773 8.9293
12.5829 16.6659
Columns 8 through 14
21.1117 25.8571 30.8413 37.8402
44.9850 52.2471 59.5977
Columns 15 through 21
67.0081 90.2250 90.2250 90.2250
90.2250 90.2250 90.2250
Columns 22 through 25
90.2250 90.2250 90.2250 90.2250
f =
Columns 1 through 7
102.1581 103.2717 105.1680 107.7381
110.8901 114.5437 118.6267
Columns 8 through 14
123.0725 127.8178 132.8021 139.8010
146.9458 154.2078 161.5584
Columns 15 through 21
168.9689 192.1858 192.1858 192.1858
192.1858 192.1858 192.1858
Columns 22 through 25
192.1858 192.1858 192.1858 192.1858
f =
Columns 1 through 7
0 101.9608 102.1581 103.2717
105.1680 107.7381 110.8901
Columns 8 through 14
114.5437 118.6267 123.0725 127.8178
132.8021 139.8010 146.9458
Columns 15 through 21
154.2078 161.5584 168.9689 192.1858
192.1858 192.1858 192.1858
Columns 22 through 28
192.1858 192.1858 192.1858 192.1858
192.1858 192.1858 192.1858
F =
1.0e+003 *
Columns 1 through 7
0 2.9000 2.9057 2.9389 2.9974
3.0800 3.1862
Columns 8 through 14
3.3157 3.4689 3.6463 3.8489 4.0778
4.4253 4.8102
Columns 15 through 21
5.2356 5.7050 6.2222 8.0000 8.0000
8.0000 8.0000
Columns 22 through 28
8.0000 8.0000 8.0000 8.0000 8.0000
8.0000 8.0000
fsac =
168.9689
fmaxc =
192.1858
abatere1 =
1.9608
abatere2 =
9.0122
abatere3 =
0.1632
abatere =
3.7121
abaterea admisibila=+-10%

» c2p181

dmax =
14.8337
Kmax =
72
n2 =
2.2000
Dmmax =
144.2000
pcil =
51.6148
l2 =
1.0031e+003
Hocil =
113.5527
Hop =
60.7237
AP2 P-arc paraboloidal
n1 =
1.7000
nta =
5.6000
k =
18
r =
Columns 1 through 7
30.2500 32.7118 35.1735 37.6353
40.0971 42.5588 45.0206
Columns 8 through 14
47.4824 49.9441 52.4059 54.8676
57.3294 59.7912 62.2529
Columns 15 through 18
64.7147 67.1765 69.6382 72.1000
dmin =
9.1582
r1 =
30.2500

```

sageata maxima, spirele se aseaza pe suprafata
de reazem

pp =

Columns 1 through 7

30.4669 32.2293 33.9916 35.7539
37.5162 39.2786 41.0409

Column 8

42.8032

ll =

550.1579

nr =

0.7500

l =

2.3885e+003

arc complet

ll =

550.1579

n2 =

1.1000

w =

12

w =

12

Dm =

Columns 1 through 7

72.8088 77.7324 82.6559 87.5794
92.5029 97.4265 102.3500

Columns 8 through 14

107.2735 112.1971 117.1206 122.0441
126.9676 131.8912 134.3529

Columns 15 through 21

136.8147 139.2765 141.7382 144.2000
144.2000 144.2000 144.2000

Columns 22 through 28

144.2000 144.2000 144.2000 144.2000
144.2000 144.2000 144.2000

Column 29

144.2000

r =

Columns 1 through 7

30.2500 32.7118 35.1735 37.6353
40.0971 42.5588 45.0206

Columns 8 through 14

47.4824 49.9441 52.4059 54.8676
57.3294 59.7912 62.2529

Columns 15 through 21

64.7147 67.1765 69.6382 72.1000
72.1000 72.1000 72.1000

Columns 22 through 28

72.1000 72.1000 72.1000 72.1000
72.1000 72.1000 72.1000

Column 29

72.1000

d =

Columns 1 through 7

9.1582 9.3635 9.5850 9.8225 10.0760
10.3456 10.6313

Columns 8 through 14

10.9331 11.2509 11.5847 11.9346
12.3006 12.6827 13.0808

Columns 15 through 21

13.4949 13.9251 14.3714 14.8337
14.8337 14.8337 14.8337

Columns 22 through 28

14.8337 14.8337 14.8337 14.8337
14.8337 14.8337 14.8337

Column 29

14.8337

deltaL =

Columns 1 through 7

19.9080 21.4648 23.0216 24.5783
26.1351 27.6919 29.2487

Columns 8 through 14

30.8055 32.3622 33.9190 35.4758
37.0326 38.5893 40.1461

Columns 15 through 21

41.7029 43.2597 44.8165 45.5949
45.5949 45.5949 45.5949

Columns 22 through 28

45.5949 45.5949 45.5949 45.5949
45.5949 45.5949 45.5949

deltaF =

1.0e+003 *

Columns 1 through 7

0.0032 0.0254 0.0459 0.0654 0.0843
0.1029 0.1216

Columns 8 through 14

0.1405 0.1598 0.1798 0.2006 0.2224
0.3276 0.3584

Columns 15 through 21

0.3916 0.4272 0.4656 1.7778 0
0 0

Columns 22 through 28

0 0 0 0 0 0 0

fiac =

54.8116

fiac =

109.6232

q =

Columns 1 through 7

0.1190 1.0398 2.6539 4.8712 7.6153
10.8188 14.4214

Columns 8 through 14

18.3676 22.6049 27.0836 31.7552
36.5720 43.1436 49.7792

Columns 15 through 21

56.4527 63.1378 69.8077 93.0246
93.0246 93.0246 93.0246

Columns 22 through 27

93.0246 93.0246 93.0246 93.0246
93.0246 93.0246

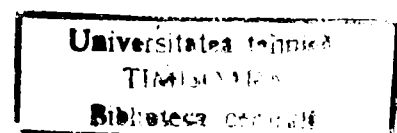
f =

Columns 1 through 7

| | |
|-------------------------------------|--|
| 109.7422 110.6630 112.2771 114.4944 | » c2ca211 |
| 117.2385 120.4420 124.0447 | |
| Columns 8 through 14 | dmax = |
| 127.9908 132.2281 136.7068 141.3784 | 13.7285 |
| 146.1952 152.7668 159.4024 | Kmax = |
| Columns 15 through 21 | 43.3333 |
| 166.0760 172.7610 179.4309 202.6478 | n2 = |
| 202.6478 202.6478 202.6478 | 3.8000 |
| Columns 22 through 27 | Dmmax = |
| 202.6478 202.6478 202.6478 202.6478 | 128.8000 |
| 202.6478 202.6478 | pcil = |
| f = | 53.2715 |
| Columns 1 through 7 | l2 = |
| 0 109.6232 109.7422 110.6630 | 1.5509e+003 |
| 112.2771 114.4944 117.2385 | Hocil = |
| Columns 8 through 14 | 202.4317 |
| 120.4420 124.0447 127.9908 132.2281 | Hop = |
| 136.7068 141.3784 146.1952 | 21.2842 |
| Columns 15 through 21 | AP2 Calfa-arc conic cu unghi de panta constant |
| 152.7668 159.4024 166.0760 172.7610 | n1 = |
| 179.4309 202.6478 202.6478 | 0.6000 |
| Columns 22 through 28 | nta = |
| 202.6478 202.6478 202.6478 202.6478 | 5 |
| 202.6478 202.6478 202.6478 | k = |
| Columns 29 through 30 | 7 |
| 202.6478 202.6478 | dmin = |
| F = | 10.1261 |
| 1.0e+003 * | sageata maxima, spirele se aseaza pe suprafata |
| Columns 1 through 7 | de reazem |
| 0 2.9000 2.9032 2.9286 2.9745 | l1 = |
| 3.0400 3.1243 | 163.0644 |
| Columns 8 through 14 | nr = |
| 3.2272 3.3488 3.4893 3.6491 3.8288 | 0.7500 |
| 4.0294 4.2518 | l = |
| Columns 15 through 21 | 2.1150e+003 |
| 4.5794 4.9378 5.3294 5.7566 6.2222 | arc complet |
| 8.0000 8.0000 | l1 = |
| Columns 22 through 28 | 156.8705 |
| 8.0000 8.0000 8.0000 8.0000 8.0000 | w = |
| 8.0000 8.0000 | 20 |
| Columns 29 through 30 | w = |
| 8.0000 8.0000 | 20 |
| fsac = | Dm = |
| 179.4309 | Columns 1 through 7 |
| fmaxc = | 79.2831 92.3125 98.6311 104.2566 |
| 202.6478 | 110.8067 118.4331 127.3129 |
| abatere1 = | Columns 8 through 14 |
| 9.6232 | 128.8000 128.8000 128.8000 128.8000 |
| abatere2 = | 128.8000 128.8000 128.8000 |
| 15.7619 | Columns 15 through 21 |
| abatere3 = | 128.8000 128.8000 128.8000 128.8000 |
| 5.2716 | 128.8000 128.8000 128.8000 |
| abatere = | Columns 22 through 26 |
| 10.2189 | 128.8000 128.8000 128.8000 128.8000 |
| abaterea admisibila=+-10% | 128.8000 |
| | r = |

Columns 1 through 7
 25.2500 29.3996 34.2311 39.8566
 46.4067 54.0331 62.9129
 Columns 8 through 14
 64.4000 64.4000 64.4000 64.4000
 64.4000 64.4000 64.4000
 Columns 15 through 21
 64.4000 64.4000 64.4000 64.4000
 64.4000 64.4000 64.4000
 Columns 22 through 26
 64.4000 64.4000 64.4000 64.4000
 64.4000
 d =
 Columns 1 through 7
 10.1261 10.5079 10.9525 11.4701
 12.0728 12.7746 13.5917
 Columns 8 through 14
 13.5917 13.5917 13.5917 13.5917
 13.5917 13.5917 13.5917
 Columns 15 through 21
 13.5917 13.5917 13.5917 13.5917
 13.5917 13.5917 13.5917
 Columns 22 through 26
 13.5917 13.5917 13.5917 13.5917
 13.5917
 deltaL =
 Columns 1 through 7
 17.2835 20.1239 23.4310 27.2816
 31.7651 36.9854 40.8129
 Columns 8 through 14
 40.8129 40.8129 40.8129 40.8129
 40.8129 40.8129 40.8129
 Columns 15 through 21
 40.8129 40.8129 40.8129 40.8129
 40.8129 40.8129 40.8129
 Columns 22 through 25
 40.8129 40.8129 40.8129 40.8129
 deltaF =
 1.0e+003 *
 Columns 1 through 7
 0.1450 0.0617 0.3172 0.3865 0.4733
 0.5826 1.6787
 Columns 8 through 14
 0 0 0 0 0 0 0
 Columns 15 through 21
 0 0 0 0 0 0 0
 Columns 22 through 25
 0 0 0 0
 deltaf =
 Columns 1 through 7
 4.2698 1.7680 8.8186 10.3553 12.1683
 14.3090 39.1838
 Columns 8 through 14
 0 0 0 0 0 0 0
 Columns 15 through 21
 0 0 0 0 0 0 0
 Columns 22 through 24

0 0 0
 fiac =
 51.6406
 fiac =
 103.2812
 q =
 Columns 1 through 7
 4.2698 6.0378 14.8564 25.2117
 37.3800 51.6890 90.8728
 Columns 8 through 14
 90.8728 90.8728 90.8728 90.8728
 90.8728 90.8728 90.8728
 Columns 15 through 21
 90.8728 90.8728 90.8728 90.8728
 90.8728 90.8728 90.8728
 Columns 22 through 24
 90.8728 90.8728 90.8728
 f =
 Columns 1 through 7
 107.5511 109.3190 118.1376 128.4929
 140.6612 154.9702 194.1540
 Columns 8 through 14
 194.1540 194.1540 194.1540 194.1540
 194.1540 194.1540 194.1540
 Columns 15 through 21
 194.1540 194.1540 194.1540 194.1540
 194.1540 194.1540 194.1540
 Columns 22 through 24
 194.1540 194.1540 194.1540
 f =
 Columns 1 through 7
 0 103.2812 107.5511 109.3190
 118.1376 128.4929 140.6612
 Columns 8 through 14
 154.9702 194.1540 194.1540 194.1540
 194.1540 194.1540 194.1540
 Columns 15 through 21
 194.1540 194.1540 194.1540 194.1540
 194.1540 194.1540 194.1540
 Columns 22 through 27
 194.1540 194.1540 194.1540 194.1540
 194.1540 194.1540
 F =
 1.0e+003 *
 Columns 1 through 7
 0 3.4550 3.6000 3.6617 3.9789
 4.3654 4.8387
 Columns 8 through 14
 5.4213 7.1000 7.1000 7.1000 7.1000
 7.1000 7.1000
 Columns 15 through 21
 7.1000 7.1000 7.1000 7.1000 7.1000
 7.1000 7.1000
 Columns 22 through 27
 7.1000 7.1000 7.1000 7.1000 7.1000
 7.1000
 fsac =



```

154.9702
fmaxc =
194.1540
abatere1 =
3.2812
abatere2 =
0.0192
abatere3 =
4.9481
abatere =
2.7495
abaterea admisibila=+-10%
»

» c2cp211

dmax =
15.1903
Kmax =
61
n2 =
2.8000
Dmmax =
145.4000
pcil =
52.0444
l2 =
1.2873e+003
Hocil =
145.7242
Hop =
47.1379
AP2 Cp-arc conic cu pas constant
alfam=7 grade
n1 =
1.2000
nta =
5.2000
r =
Columns 1 through 7
28.4000 32.0917 35.7833 39.4750
43.1667 46.8583 50.5500
Columns 8 through 13
54.2417 57.9333 61.6250 65.3167
69.0083 72.7000
dmin =
8.3936
r1 =
28.4000
sageata maxima, spirele se aseaza pe suprafata
de reazem
pcon =
39.2816
psi =
43.2223

l1 =
384.0003
nr =
0.7500
l =
2.3229e+003
l1 =
384.0003
Dm =
Columns 1 through 7
75.2583 82.6417 90.0250 97.4083
104.7917 112.1750 119.5583
Columns 8 through 14
126.9417 130.6333 134.3250 138.0167
141.7083 145.4000 145.4000
Columns 15 through 21
145.4000 145.4000 145.4000 145.4000
145.4000 145.4000 145.4000
Columns 22 through 27
145.4000 145.4000 145.4000 145.4000
145.4000 145.4000
r =
Columns 1 through 7
28.4000 32.0917 35.7833 39.4750
43.1667 46.8583 50.5500
Columns 8 through 14
54.2417 57.9333 61.6250 65.3167
69.0083 72.7000 72.7000
Columns 15 through 21
72.7000 72.7000 72.7000 72.7000
72.7000 72.7000 72.7000
Columns 22 through 27
72.7000 72.7000 72.7000 72.7000
72.7000 72.7000
d =
Columns 1 through 7
8.3936 8.7325 9.1128 9.5344 9.9974
10.5017 11.0474
Columns 8 through 14
11.6345 12.2629 12.9327 13.6439
14.3964 15.1903 15.1903
Columns 15 through 21
15.1903 15.1903 15.1903 15.1903
15.1903 15.1903 15.1903
Columns 22 through 27
15.1903 15.1903 15.1903 15.1903
15.1903 15.1903
deltaL =
Columns 1 through 7
19.1467 21.4837 23.8207 26.1576
28.4946 30.8315 33.1685
Columns 8 through 14
35.5055 37.8424 40.1794 42.5164
44.8533 45.9743 45.9743
Columns 15 through 21
45.9743 45.9743 45.9743 45.9743
45.9743 45.9743 45.9743

```

Columns 22 through 26
 45.9743 45.9743 45.9743 45.9743
 45.9743
 deltaF =
 1.0e+003 *
 Columns 1 through 7
 0.0550 0.0957 0.1352 0.1752 0.2171
 0.2618 0.3103
 Columns 8 through 14
 0.4702 0.5461 0.6321 0.7292 0.8387
 1.8933 0
 Columns 15 through 21
 0 0 0 0 0 0 0
 Columns 22 through 26
 0 0 0 0 0
 deltaf =
 Columns 1 through 7
 1.9648 3.2722 4.3944 5.3763 6.2462
 7.0230 7.7194
 Columns 8 through 14
 10.8048 11.5878 12.3989 13.2477
 14.1438 29.6633 0
 Columns 15 through 21
 0 0 0 0 0 0 0
 Columns 22 through 25
 0 0 0 0
 fiac =
 39.3408
 fiac =
 78.6815
 q =
 Columns 1 through 7
 1.9648 5.2370 9.6314 15.0077 21.2539
 28.2769 35.9963
 Columns 8 through 14
 46.8011 58.3889 70.7879 84.0356
 98.1794 127.8427 127.8427
 Columns 15 through 21
 127.8427 127.8427 127.8427 127.8427
 127.8427 127.8427 127.8427
 Columns 22 through 25
 127.8427 127.8427 127.8427 127.8427
 f =
 Columns 1 through 7
 80.6463 83.9185 88.3129 93.6892
 99.9354 106.9584 114.6778
 Columns 8 through 14
 125.4827 137.0704 149.4694 162.7171
 176.8609 206.5242 206.5242
 Columns 15 through 21
 206.5242 206.5242 206.5242 206.5242
 206.5242 206.5242 206.5242
 Columns 22 through 25
 206.5242 206.5242 206.5242 206.5242
 f =
 Columns 1 through 7

0 78.6815 80.6463 83.9185 88.3129
 93.6892 99.9354
 Columns 8 through 14
 106.9584 114.6778 125.4827 137.0704
 149.4694 162.7171 176.8609
 Columns 15 through 21
 206.5242 206.5242 206.5242 206.5242
 206.5242 206.5242 206.5242
 Columns 22 through 28
 206.5242 206.5242 206.5242 206.5242
 206.5242 206.5242 206.5242
 F =
 1.0e+003 *
 Columns 1 through 7
 0 2.1600 2.2150 2.3107 2.4459
 2.6211 2.8382
 Columns 8 through 14
 3.1000 3.4103 3.8805 4.4266 5.0587
 5.7880 6.6267
 Columns 15 through 21
 8.5200 8.5200 8.5200 8.5200 8.5200
 8.5200 8.5200
 Columns 22 through 28
 8.5200 8.5200 8.5200 8.5200 8.5200
 8.5200 8.5200
 fsac =
 176.8609
 fmaxc =
 206.5242
 abatere1 =
 1.6481
 abatere3 =
 3.2621
 abatere =
 2.4551
 abaterea admisibila=+-10%
 »
 » c2p211
 dmax =
 13.7285
 Kmax =
 43.3333
 n2 =
 3.8000
 Dmmax =
 128.8000
 pcil =
 53.2715
 l2 =
 1.5509e+003
 Hocil =
 202.4317
 Hop =

```

21.2842
AP2 P-arc paraboloidal
nl =
  0.6000
nta =
  5
r =
  25.2500 31.7750 38.3000 44.8250
51.3500 57.8750 64.4000
dmin =
  10.2871
rl =
  25.2500
sageata maxima, spirele se aseaza pe suprafata
de reazem
ll =
  170.4444
nr =
  0.7500
l =
  2.1298e+003
arc complet
ll =
  170.4444
Dm =
  Columns 1 through 7
  83.1250 96.1750 102.7000 109.2250
115.7500 122.2750 128.8000
  Columns 8 through 14
  128.8000 128.8000 128.8000 128.8000
128.8000 128.8000 128.8000
  Columns 15 through 21
  128.8000 128.8000 128.8000 128.8000
128.8000 128.8000 128.8000
  Columns 22 through 26
  128.8000 128.8000 128.8000 128.8000
128.8000
r =
  Columns 1 through 7
  25.2500 31.7750 38.3000 44.8250
51.3500 57.8750 64.4000
  Columns 8 through 14
  64.4000 64.4000 64.4000 64.4000
64.4000 64.4000 64.4000
  Columns 15 through 21
  64.4000 64.4000 64.4000 64.4000
64.4000 64.4000 64.4000
  Columns 22 through 26
  64.4000 64.4000 64.4000 64.4000
64.4000
d =
  Columns 1 through 7
  10.2871 10.6519 11.1003 11.6321
12.2474 12.9462 13.7285
  Columns 8 through 14
  13.7285 13.7285 13.7285 13.7285
13.7285 13.7285 13.7285
Columns 15 through 21
  13.7285 13.7285 13.7285 13.7285
13.7285 13.7285 13.7285
  Columns 22 through 26
  13.7285 13.7285 13.7285 13.7285
13.7285
deltaL =
  Columns 1 through 7
  18.0695 22.2047 26.3398 30.4750
34.6101 38.7453 40.8129
  Columns 8 through 14
  40.8129 40.8129 40.8129 40.8129
40.8129 40.8129 40.8129
  Columns 15 through 21
  40.8129 40.8129 40.8129 40.8129
40.8129 40.8129 40.8129
  Columns 22 through 25
  40.8129 40.8129 40.8129 40.8129
deltaF =
  1.0e+003 *
  Columns 1 through 7
  0.1455 0.0609 0.3001 0.4018 0.5152
0.6441 1.5778
  Columns 8 through 14
  0 0 0 0 0 0 0
  Columns 15 through 21
  0 0 0 0 0 0 0
  Columns 22 through 25
  0 0 0 0
fiac =
  51.1871
fiac =
  102.3742
q =
  Columns 1 through 7
  4.2393 5.9593 14.1509 24.6464
37.4725 52.7097 88.1024
  Columns 8 through 14
  88.1024 88.1024 88.1024 88.1024
88.1024 88.1024 88.1024
  Columns 15 through 21
  88.1024 88.1024 88.1024 88.1024
88.1024 88.1024 88.1024
  Columns 22 through 24
  88.1024 88.1024 88.1024
f =
  Columns 1 through 7
  106.6136 108.3335 116.5252 127.0207
139.8467 155.0840 190.4767
  Columns 8 through 14
  190.4767 190.4767 190.4767 190.4767
190.4767 190.4767 190.4767
  Columns 15 through 21
  190.4767 190.4767 190.4767 190.4767
190.4767 190.4767 190.4767
  Columns 22 through 24
  190.4767 190.4767 190.4767

```

```

f =
  Columns 1 through 7
    0 102.3742 106.6136 108.3335
116.5252 127.0207 139.8467
  Columns 8 through 14
 155.0840 190.4767 190.4767 190.4767
190.4767 190.4767 190.4767
  Columns 15 through 21
 190.4767 190.4767 190.4767 190.4767
190.4767 190.4767 190.4767
  Columns 22 through 27
 190.4767 190.4767 190.4767 190.4767
190.4767 190.4767
F =
 1.0e+003 *
  Columns 1 through 7
    0 3.4545 3.6000 3.6609 3.9610
4.3628 4.8781
  Columns 8 through 14
  5.5222 7.1000 7.1000 7.1000 7.1000
7.1000 7.1000
  Columns 15 through 21
  7.1000 7.1000 7.1000 7.1000 7.1000
7.1000 7.1000
  Columns 22 through 27
  7.1000 7.1000 7.1000 7.1000 7.1000
7.1000
fsac =
 155.0840
fmaxc =
 190.4767
n =
 11
abatere1 =
 2.3742
abatere2 =
 0.0542
abatere3 =
 2.9604
abatere =
 1.7963
abaterea admisibila=+-10%
»

» c2ca21d

dmax =
 15.1903
Kmax =
 61
n2 =
 2.8000
Dmmax =
 145.4000
pcil =
 52.0444
l2 =
 1.2873e+003
Hocil =
 145.7242
Hop =
 47.1379
AP2 Calfa-arc conic cu unghi de panta constant
n1 =
 1.4000
nta =
 5.6000
dmin =
 8.1209
sageata maxima, spirele se aseaza pe suprafata
de reazem
l1 =
 416.4006
l =
 2.3877e+003
arc complet
l1 =
 417.7273
Dm =
  Columns 1 through 7
 68.1567 72.8999 77.9733 83.3996
89.2036 95.4116 102.0515
  Columns 8 through 14
 109.1536 116.7499 124.8748 128.3548
132.2280 136.3707 140.8018
  Columns 15 through 21
 145.5411 145.4000 145.4000 145.4000
145.4000 145.4000 145.4000
  Columns 22 through 28
 145.4000 145.4000 145.4000 145.4000
145.4000 145.4000 145.4000
  Column 29
 145.4000
r =
  Columns 1 through 7
 28.4000 30.3764 32.4904 34.7515
37.1700 39.7567 42.5235
  Columns 8 through 14
 45.4828 48.6481 52.0337 55.6548
59.5280 63.6707 68.1018
  Columns 15 through 21
 72.8411 72.7000 72.7000 72.7000
72.7000 72.7000 72.7000
  Columns 22 through 28
 72.7000 72.7000 72.7000 72.7000
72.7000 72.7000 72.7000
  Column 29
 72.7000
d =
  Columns 1 through 7
 8.1209 8.4363 8.7736 9.1344 9.5204
9.9332 10.3747

```

```

Columns 8 through 14
 10.8470 11.3521 11.8924 12.4702
13.0883 13.7494 14.4565
Columns 15 through 21
 15.2129 15.2129 15.2129 15.2129
15.2129 15.2129 15.2129
Columns 22 through 28
 15.2129 15.2129 15.2129 15.2129
15.2129 15.2129 15.2129
Column 29
 15.2129
deltaL =
Columns 1 through 7
 18.5776 19.8705 21.2533 22.7324
24.3144 26.0065 27.8164
Columns 8 through 14
 29.7522 31.8228 34.0374 36.4061
38.9397 41.6497 44.5482
Columns 15 through 21
 45.9743 45.9743 45.9743 45.9743
45.9743 45.9743 45.9743
Columns 22 through 28
 45.9743 45.9743 45.9743 45.9743
45.9743 45.9743 45.9743
y =
Columns 1 through 7
 569.2364 549.5692 528.9510 507.4303
485.0651 461.9216 438.0732
Columns 8 through 14
 413.5999 388.5867 363.1228 338.2603
315.0132 293.2814 272.9926
Columns 15 through 21
 254.0734 235.9089 217.7621 199.6152
181.4684 163.3216 145.1747
Columns 22 through 28
 127.0279 108.8810 90.7342 72.5874
54.4405 36.2937 18.1468
j =
 1.0e+003 *
Columns 1 through 7
 0.0552 0.0572 0.0594 0.0619 0.0648
0.0680 0.0717
Columns 8 through 14
 0.0760 0.0808 0.0865 0.0929 0.0997
0.1071 0.1151
Columns 15 through 21
 0.1236 0.1332 0.1443 0.1574 0.1731
0.1924 0.2164
Columns 22 through 28
 0.2473 0.2885 0.3462 0.4328 0.5771
0.8656 1.7312
p =
 1.0e+003 *
Columns 1 through 7
 0.0562 0.0583 0.0607 0.0633 0.0664
0.0699 0.0738
Columns 8 through 14
 0.0784 0.0837 0.0897 0.0963 0.1034
0.1111 0.1194
Columns 15 through 21
 0.1284 0.1387 0.1508 0.1653 0.1827
0.2044 0.2319
Columns 22 through 27
 0.2679 0.3174 0.3895 0.5049 0.7213
1.2984
deltaF =
 1.0e+003 *
Columns 1 through 7
 0.1040 0.1169 0.1312 0.1470 0.1646
0.1842 0.2061
Columns 8 through 14
 0.2305 0.2579 0.4506 0.5080 0.5784
0.6590 0.7512
Columns 15 through 21
 1.8703 0 0 0 0 0
0
Columns 22 through 28
 0 0 0 0 0 0 0
deltaf =
Columns 1 through 7
 1.8516 2.0061 2.1629 2.3210 2.4793
2.6366 2.7909
Columns 8 through 14
 2.9403 3.0821 5.0241 5.2751 5.5928
5.9317 6.2935
Columns 15 through 21
 14.5649 0 0 0 0 0
0
Columns 22 through 27
 0 0 0 0 0 0
deltaf =
Columns 1 through 7
 3.7032 4.0122 4.3257 4.6419 4.9587
5.2731 5.5819
Columns 8 through 14
 5.8807 6.1642 10.0482 10.5503
11.1856 11.8634 12.5871
Columns 15 through 21
 29.1297 0 0 0 0 0
0
Columns 22 through 27
 0 0 0 0 0 0
fiac =
 39.1378
fiac =
 78.2756
q =
Columns 1 through 7
 3.7032 7.7154 12.0411 16.6830
21.6417 26.9148 32.4967
Columns 8 through 14
 38.3774 44.5416 54.5897 65.1400
76.3256 88.1890 100.7761
Columns 15 through 21

```

129.9058 129.9058 129.9058 129.9058
 129.9058 129.9058 129.9058
 Columns 22 through 27
 129.9058 129.9058 129.9058 129.9058
 129.9058 129.9058
 f =

Columns 1 through 7
 0 78.2756 81.9788 85.9910 90.3167
 94.9587 99.9173

Columns 8 through 14
 105.1905 110.7723 116.6530 122.8172
 132.8654 143.4156 154.6012

Columns 15 through 21
 166.4646 179.0517 208.1814 208.1814
 208.1814 208.1814 208.1814

Columns 22 through 28
 208.1814 208.1814 208.1814 208.1814
 208.1814 208.1814 208.1814

Columns 29 through 30
 208.1814 208.1814

F =
 1.0e+003 *
 Columns 1 through 7
 0 2.1600 2.2640 2.3809 2.5121
 2.6591 2.8237

Columns 8 through 14
 3.0079 3.2140 3.4445 3.7024 4.1531
 4.6611 5.2395

Columns 15 through 21
 5.8985 6.6497 8.5200 8.5200 8.5200
 8.5200 8.5200

Columns 22 through 28
 8.5200 8.5200 8.5200 8.5200 8.5200
 8.5200 8.5200

Columns 29 through 30
 8.5200 8.5200

fsac =
 179.0517

fmaxc =
 208.1814

abatere1 =
 2.1555

abatere3 =
 4.0907

abatere =
 3.1231

abaterea admisibila=+-10%
 »

» c2cp21d

dmax =
 15.1903

Kmax =
 61

n2 =
 2.8000

Dmmax =
 145.4000

pcil =
 52.0444

l2 =
 1.2873e+003

Hocil =
 145.7242

Hop =
 47.1379

AP2 Cp-arc conic cu pas constant
 alfam=7 grade

nl =
 1.2000

nta =
 5.2000

r =
 Columns 1 through 7
 28.4000 32.0917 35.7833 39.4750
 43.1667 46.8583 50.5500

Columns 8 through 13
 54.2417 57.9333 61.6250 65.3167
 69.0083 72.7000

dmin =
 8.3936

rl =
 28.4000

sageata maxima, spirele se aseaza pe suprafata
 de reazem

pcon =
 39.2816

psi =
 43.2223

ll =
 384.0003

nr =
 0.7500

l =
 2.3229e+003

ll =
 384.0003

Dm =
 Columns 1 through 7
 75.2583 82.6417 90.0250 97.4083
 104.7917 112.1750 119.5583

Columns 8 through 14
 126.9417 130.6333 134.3250 138.0167
 141.7083 145.4000 145.4000

Columns 15 through 21
 145.4000 145.4000 145.4000 145.4000
 145.4000 145.4000 145.4000

Columns 22 through 27
 145.4000 145.4000 145.4000 145.4000
 145.4000 145.4000

| | |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| r = | 10.8048 11.5878 12.3989 13.2477 |
| Columns 1 through 7 | 14.1438 29.6633 0 |
| 28.4000 32.0917 35.7833 39.4750 | Columns 15 through 21 |
| 43.1667 46.8583 50.5500 | 0 0 0 0 0 0 0 |
| Columns 8 through 14 | Columns 22 through 25 |
| 54.2417 57.9333 61.6250 65.3167 | 0 0 0 0 |
| 69.0083 72.7000 72.7000 | fiac = |
| Columns 15 through 21 | 39.3408 |
| 72.7000 72.7000 72.7000 72.7000 | fiac = |
| 72.7000 72.7000 72.7000 | 78.6815 |
| Columns 22 through 27 | q = |
| 72.7000 72.7000 72.7000 72.7000 | Columns 1 through 7 |
| 72.7000 72.7000 | 1.9648 5.2370 9.6314 15.0077 21.2539 |
| d = | 28.2769 35.9963 |
| Columns 1 through 7 | Columns 8 through 14 |
| 8.3936 8.7325 9.1128 9.5344 9.9974 | 46.8011 58.3889 70.7879 84.0356 |
| 10.5017 11.0474 | 98.1794 127.8427 127.8427 |
| Columns 8 through 14 | Columns 15 through 21 |
| 11.6345 12.2629 12.9327 13.6439 | 127.8427 127.8427 127.8427 127.8427 |
| 14.3964 15.1903 15.1903 | 127.8427 127.8427 127.8427 |
| Columns 15 through 21 | Columns 22 through 25 |
| 15.1903 15.1903 15.1903 15.1903 | 127.8427 127.8427 127.8427 127.8427 |
| 15.1903 15.1903 15.1903 | f = |
| Columns 22 through 27 | Columns 1 through 7 |
| 15.1903 15.1903 15.1903 15.1903 | 80.6463 83.9185 88.3129 93.6892 |
| 15.1903 15.1903 | 99.9354 106.9584 114.6778 |
| deltaL = | Columns 8 through 14 |
| Columns 1 through 7 | 125.4827 137.0704 149.4694 162.7171 |
| 19.1467 21.4837 23.8207 26.1576 | 176.8609 206.5242 206.5242 |
| 28.4946 30.8315 33.1685 | Columns 15 through 21 |
| Columns 8 through 14 | 206.5242 206.5242 206.5242 206.5242 |
| 35.5055 37.8424 40.1794 42.5164 | 206.5242 206.5242 206.5242 |
| 44.8533 45.9743 45.9743 | Columns 22 through 25 |
| Columns 15 through 21 | 206.5242 206.5242 206.5242 206.5242 |
| 45.9743 45.9743 45.9743 45.9743 | f = |
| 45.9743 45.9743 45.9743 | Columns 1 through 7 |
| Columns 22 through 26 | 0 78.6815 80.6463 83.9185 88.3129 |
| 45.9743 45.9743 45.9743 45.9743 | 93.6892 99.9354 |
| 45.9743 | Columns 8 through 14 |
| deltaF = | 106.9584 114.6778 125.4827 137.0704 |
| 1.0e+003 * | 149.4694 162.7171 176.8609 |
| Columns 1 through 7 | Columns 15 through 21 |
| 0.0550 0.0957 0.1352 0.1752 0.2171 | 206.5242 206.5242 206.5242 206.5242 |
| 0.2618 0.3103 | 206.5242 206.5242 206.5242 |
| Columns 8 through 14 | Columns 22 through 28 |
| 0.4702 0.5461 0.6321 0.7292 0.8387 | 206.5242 206.5242 206.5242 206.5242 |
| 1.8933 0 | 206.5242 206.5242 206.5242 |
| Columns 15 through 21 | F = |
| 0 0 0 0 0 0 0 | 1.0e+003 * |
| Columns 22 through 26 | Columns 1 through 7 |
| 0 0 0 0 0 | 0 2.1600 2.2150 2.3107 2.4459 |
| deltaf = | 2.6211 2.8382 |
| Columns 1 through 7 | Columns 8 through 14 |
| 1.9648 3.2722 4.3944 5.3763 6.2462 | 3.1000 3.4103 3.8805 4.4266 5.0587 |
| 7.0230 7.7194 | 5.7880 6.6267 |
| Columns 8 through 14 | Columns 15 through 21 |

```

8.5200 8.5200 8.5200 8.5200 8.5200
8.5200 8.5200
Columns 22 through 28
8.5200 8.5200 8.5200 8.5200 8.5200
8.5200 8.5200
fsac =
176.8609
fmaxc =
206.5242
abatere1 =
1.6481
abatere3 =
3.2621
abatere =
2.4551
abaterea admisibila=+-10%
»

» c2p21d

dmax =
15.1903
Kmax =
61
n2 =
2.8000
Dmmax =
145.4000
pcil =
52.0444
l2 =
1.2873e+003
Hocil =
145.7242
Hop =
47.1379
AP2 P-arc paraboloidal
n1 =
1.3000
nta =
5.4000
r =
Columns 1 through 7
28.4000 31.8077 35.2154 38.6231
42.0308 45.4385 48.8462
Columns 8 through 14
52.2538 55.6615 59.0692 62.4769
65.8846 69.2923 72.7000
dmin =
8.3405
r1 =
28.4000
sageata maxima, spirele se aseaza pe suprafata
de reazem
pp =
32.5284 34.9679 37.4074 39.8469
l1 =
415.5709
nr =
0.7500
l =
2.3861e+003
arc complet
l1 =
415.5709
Dm =
Columns 1 through 7
73.8385 80.6538 87.4692 94.2846
101.1000 107.9154 114.7308
Columns 8 through 14
121.5462 128.3615 131.7692 135.1769
138.5846 141.9923 145.4000
Columns 15 through 21
145.4000 145.4000 145.4000 145.4000
145.4000 145.4000 145.4000
Columns 22 through 28
145.4000 145.4000 145.4000 145.4000
145.4000 145.4000 145.4000
r =
Columns 1 through 7
28.4000 31.8077 35.2154 38.6231
42.0308 45.4385 48.8462
Columns 8 through 14
52.2538 55.6615 59.0692 62.4769
65.8846 69.2923 72.7000
Columns 15 through 21
72.7000 72.7000 72.7000 72.7000
72.7000 72.7000 72.7000
Columns 22 through 28
72.7000 72.7000 72.7000 72.7000
72.7000 72.7000 72.7000
d =
Columns 1 through 7
8.3405 8.6543 9.0036 9.3884 9.8088
10.2647 10.7560
Columns 8 through 14
11.2830 11.8454 12.4433 13.0768
13.7458 14.4503 15.1903
Columns 15 through 21
15.1903 15.1903 15.1903 15.1903
15.1903 15.1903 15.1903
Columns 22 through 28
15.1903 15.1903 15.1903 15.1903
15.1903 15.1903 15.1903
deltaL =
Columns 1 through 7
19.0372 21.1921 23.3471 25.5021
27.6571 29.8120 31.9670
Columns 8 through 14
34.1220 36.2769 38.4319 40.5869
42.7418 44.8968 45.9743
Columns 15 through 21

```

45.9743 45.9743 45.9743 45.9743
 45.9743 45.9743 45.9743
 Columns 22 through 27
 45.9743 45.9743 45.9743 45.9743
 45.9743 45.9743
 deltaF =
 1.0e+003 *
 Columns 1 through 7
 0.0492 0.0846 0.1189 0.1533 0.1889
 0.2266 0.2670
 Columns 8 through 14
 0.3108 0.4600 0.5280 0.6044 0.6898
 0.7852 1.8933
 Columns 15 through 21
 0 0 0 0 0 0 0
 Columns 22 through 27
 0 0 0 0 0 0
 fiac =
 40.9967
 fiac =
 81.9934
 q =
 Columns 1 through 7
 1.8318 4.8588 8.9159 13.8759 19.6364
 26.1110 33.2250
 Columns 8 through 14
 40.9111 51.4345 62.6048 74.4389
 86.9604 100.1998 129.8631
 Columns 15 through 21
 129.8631 129.8631 129.8631 129.8631
 129.8631 129.8631 129.8631
 Columns 22 through 26
 129.8631 129.8631 129.8631 129.8631
 129.8631
 f =
 Columns 1 through 7
 83.8252 86.8522 90.9093 95.8694
 101.6298 108.1045 115.2184
 Columns 8 through 14
 122.9045 133.4279 144.5982 156.4323
 168.9539 182.1932 211.8565
 Columns 15 through 21
 211.8565 211.8565 211.8565 211.8565
 211.8565 211.8565 211.8565
 Columns 22 through 26
 211.8565 211.8565 211.8565 211.8565
 211.8565
 f =
 Columns 1 through 7
 0 81.9934 83.8252 86.8522 90.9093
 95.8694 101.6298
 Columns 8 through 14
 108.1045 115.2184 122.9045 133.4279
 144.5982 156.4323 168.9539
 Columns 15 through 21

182.1932 211.8565 211.8565 211.8565
 211.8565 211.8565 211.8565
 Columns 22 through 28
 211.8565 211.8565 211.8565 211.8565
 211.8565 211.8565 211.8565
 Column 29
 211.8565
 F =
 1.0e+003 *
 Columns 1 through 7
 0 2.1600 2.2092 2.2938 2.4127
 2.5660 2.7549
 Columns 8 through 14
 2.9815 3.2485 3.5593 4.0193 4.5474
 5.1517 5.8415
 Columns 15 through 21
 6.6267 8.5200 8.5200 8.5200 8.5200
 8.5200 8.5200
 Columns 22 through 28
 8.5200 8.5200 8.5200 8.5200 8.5200
 8.5200 8.5200
 Column 29
 8.5200
 fsac =
 182.1932
 fmaxc =
 211.8565
 abaterel =
 2.4918
 abatere3 =
 5.9283
 abatere =
 4.2100
 abaterea admisibila=+-10%
 »
 » c5ca31
 dmax =
 14.0385
 Kmax =
 53.7313
 n2 =
 2.4000
 Dmmax =
 143.8000
 pcil =
 59.4755
 l2 =
 1.0936e+003
 Hocil =
 142.7411
 Hop =
 85.2589
 AP2 Calfa-arc conic cu unghi de panta constant

```

nl =
  2
nta =
  4.4000
k =
  21
dmin =
  8.3190
sageata maxima, spirele se aseaza pe suprafata
de reazem
ll =
  653.1936
nr =
  0.7500
l =
  2.7472e+003
arc complet
ll =
  639.5283
w =
  25
Dm =
  Columns 1 through 7
  75.3632 78.1671 81.0752 84.0915
87.2201 90.4650 93.8307
  Columns 8 through 14
  97.3216 100.9423 104.6978 108.5930
112.6331 116.8235 121.1698
  Columns 15 through 21
  125.6778 130.3535 133.3452 135.6312
138.0023 140.4616 143.0123
  Columns 22 through 28
  143.8000 143.8000 143.8000 143.8000
143.8000 143.8000 143.8000
  Columns 29 through 35
  143.8000 143.8000 143.8000 143.8000
143.8000 143.8000 143.8000
  Columns 36 through 42
  143.8000 143.8000 143.8000 143.8000
143.8000 143.8000 143.8000
  Columns 43 through 45
  143.8000 143.8000 143.8000
r =
  Columns 1 through 7
  34.2500 35.5242 36.8459 38.2167
39.6385 41.1132 42.6428
  Columns 8 through 14
  44.2293 45.8748 47.5815 49.3518
51.1879 53.0923 55.0675
  Columns 15 through 21
  57.1162 59.2412 61.4452 63.7312
66.1023 68.5616 71.1123
  Columns 22 through 28
  71.9000 71.9000 71.9000 71.9000
71.9000 71.9000 71.9000
  Columns 29 through 35
  71.9000 71.9000 71.9000 71.9000
71.9000 71.9000 71.9000
  Columns 36 through 42
  71.9000 71.9000 71.9000 71.9000
71.9000 71.9000 71.9000
  Columns 43 through 45
  71.9000 71.9000 71.9000
d =
  Columns 1 through 7
  8.3190 8.5126 8.7134 8.9216 9.1376
9.3617 9.5940
  Columns 8 through 14
  9.8350 10.0850 10.3443 10.6132
10.8921 11.1814 11.4815
  Columns 15 through 21
  11.7927 12.1155 12.4503 12.7976
13.1578 13.5314 13.9189
  Columns 22 through 28
  13.9189 13.9189 13.9189 13.9189
13.9189 13.9189 13.9189
  Columns 29 through 35
  13.9189 13.9189 13.9189 13.9189
13.9189 13.9189 13.9189
  Columns 36 through 42
  13.9189 13.9189 13.9189 13.9189
13.9189 13.9189 13.9189
  Columns 43 through 45
  13.9189 13.9189 13.9189
deltaL =
  Columns 1 through 7
  22.1069 22.9294 23.7824 24.6673
25.5850 26.5368 27.5241
  Columns 8 through 14
  28.5481 29.6102 30.7119 31.8545
33.0396 34.2688 35.5437
  Columns 15 through 21
  36.8661 38.2377 39.6603 41.1358
42.6662 44.2536 45.5659
  Columns 22 through 28
  45.5659 45.5659 45.5659 45.5659
45.5659 45.5659 45.5659
  Columns 29 through 35
  45.5659 45.5659 45.5659 45.5659
45.5659 45.5659 45.5659
  Columns 36 through 42
  45.5659 45.5659 45.5659 45.5659
45.5659 45.5659 45.5659
  Columns 43 through 44
  45.5659 45.5659
deltas =
  Columns 1 through 7
  2.5344 2.6327 2.7320 2.8320 2.9326
3.0336 3.1347
  Columns 8 through 14
  3.2357 3.3363 3.4362 3.5349 3.6321
3.7274 3.8201
  Columns 15 through 21

```

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|--------|---|---|----------------------------------|---------|---------|---------|
| 3.9099 | 5.2559 | 5.9575 | 6.1462 | 6.3415 | | | | fmaxc = | | | |
| 6.5437 | 30.3440 | | | | | | | 186.7055 | | | |
| Columns 22 through 28 | | | | | | | | n = | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | | | |
| Columns 29 through 35 | | | | | | | | abatere1 = | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.9346 | | | |
| Columns 36 through 42 | | | | | | | | abatere2 = | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.8694 | | | |
| Column 43 | | | | | | | | abatere3 = | | | |
| 0 | | | | | | | | 0.6498 | | | |
| fiac = | | | | | | | | abatere = | | | |
| 77.6524 | | | | | | | | 2.1513 | | | |
| F = | | | | | | | | abaterea admisibila=+-10% | | | |
| 1.0e+003 * | | | | | | | | » | | | |
| Columns 1 through 7 | | | | | | | | » c5cp31 | | | |
| 0 | 2.1000 | 2.1693 | 2.2430 | 2.3213 | | | | | | | |
| 2.4046 | 2.4931 | | | | | | | | | | |
| Columns 8 through 14 | | | | | | | | dmax = | | | |
| 2.5871 | 2.6870 | 2.7933 | 2.9062 | 3.0262 | | | | 14.0385 | | | |
| 3.1538 | 3.2894 | | | | | | | Kmax = | | | |
| Columns 15 through 21 | | | | | | | | 53.7313 | | | |
| 3.4337 | 3.5871 | 3.7503 | 3.9785 | 4.2480 | | | | n2 = | | | |
| 4.5375 | 4.8487 | | | | | | | 2.4000 | | | |
| Columns 22 through 28 | | | | | | | | Dmmax = | | | |
| 5.1832 | 6.8000 | 6.8000 | 6.8000 | 6.8000 | 6.8000 | | | 143.8000 | | | |
| 6.8000 | 6.8000 | | | | | | | pcil = | | | |
| Columns 29 through 35 | | | | | | | | 59.4755 | | | |
| 6.8000 | 6.8000 | 6.8000 | 6.8000 | 6.8000 | 6.8000 | | | l2 = | | | |
| 6.8000 | 6.8000 | | | | | | | 1.0936e+003 | | | |
| Columns 36 through 42 | | | | | | | | Hocil = | | | |
| 6.8000 | 6.8000 | 6.8000 | 6.8000 | 6.8000 | 6.8000 | | | 142.7411 | | | |
| 6.8000 | 6.8000 | | | | | | | Hop = | | | |
| Columns 43 through 46 | | | | | | | | 85.2589 | | | |
| 6.8000 | 6.8000 | 6.8000 | 6.8000 | | | | | AP2 Cp-arc conic cu pas constant | | | |
| f = | | | | | | | | alfam=7 grade | | | |
| Columns 1 through 7 | | | | | | | | n1 = | | | |
| 0 | 77.6524 | 80.1867 | 82.8194 | 85.5514 | | | | 2.1000 | | | |
| 88.3833 | 91.3159 | | | | | | | nta = | | | |
| Columns 8 through 14 | | | | | | | | 4.5000 | | | |
| 94.3495 | 97.4842 | 100.7199 | 104.0562 | | | | | r = | | | |
| 107.4923 | 111.0272 | 114.6594 | | | | | | Columns 1 through 7 | | | |
| Columns 15 through 21 | | | | | | | | 34.2500 | 36.0429 | 37.8357 | 39.6286 |
| 118.3867 | 122.2069 | 126.1167 | 131.3726 | | | | | 41.4214 | 43.2143 | 45.0071 | |
| 137.3301 | 143.4762 | 149.8177 | | | | | | Columns 8 through 14 | | | |
| Columns 22 through 28 | | | | | | | | 46.8000 | 48.5929 | 50.3857 | 52.1786 |
| 156.3615 | 186.7055 | 186.7055 | 186.7055 | 186.7055 | | | | 53.9714 | 55.7643 | 57.5571 | |
| 186.7055 | 186.7055 | 186.7055 | | | | | | Columns 15 through 21 | | | |
| Columns 29 through 35 | | | | | | | | 59.3500 | 61.1429 | 62.9357 | 64.7286 |
| 186.7055 | 186.7055 | 186.7055 | 186.7055 | | | | | 66.5214 | 68.3143 | 70.1071 | |
| 186.7055 | 186.7055 | 186.7055 | | | | | | Column 22 | | | |
| Columns 36 through 42 | | | | | | | | 71.9000 | | | |
| 186.7055 | 186.7055 | 186.7055 | 186.7055 | | | | | dmin = | | | |
| 186.7055 | 186.7055 | 186.7055 | | | | | | 8.3956 | | | |
| Columns 43 through 46 | | | | | | | | r1 = | | | |
| 186.7055 | 186.7055 | 186.7055 | 186.7055 | | | | | 34.2500 | | | |
| fsac = | | | | | | | | | | | |
| 156.3615 | | | | | | | | | | | |

sageata maxima, spirele se aseaza pe suprafata
de reazem

pcon =

40.5995

psi =

23.8261

li =

705.5673

nr =

0.7500

l =

2.7996e+003

li =

705.5673

w =

25

Dm =

Columns 1 through 7

77.4643 81.0500 84.6357 88.2214

91.8071 95.3929 98.9786

Columns 8 through 14

102.5643 106.1500 109.7357 113.3214

116.9071 120.4929 124.0786

Columns 15 through 21

127.6643 131.2500 134.8357 136.6286

138.4214 140.2143 142.0071

Columns 22 through 28

143.8000 143.8000 143.8000 143.8000

143.8000 143.8000 143.8000

Columns 29 through 35

143.8000 143.8000 143.8000 143.8000

143.8000 143.8000 143.8000

Columns 36 through 42

143.8000 143.8000 143.8000 143.8000

143.8000 143.8000 143.8000

Columns 43 through 46

143.8000 143.8000 143.8000 143.8000

r =

Columns 1 through 7

34.2500 36.0429 37.8357 39.6286

41.4214 43.2143 45.0071

Columns 8 through 14

46.8000 48.5929 50.3857 52.1786

53.9714 55.7643 57.5571

Columns 15 through 21

59.3500 61.1429 62.9357 64.7286

66.5214 68.3143 70.1071

Columns 22 through 28

71.9000 71.9000 71.9000 71.9000

71.9000 71.9000 71.9000

Columns 29 through 35

71.9000 71.9000 71.9000 71.9000

71.9000 71.9000 71.9000

Columns 36 through 42

71.9000 71.9000 71.9000 71.9000

71.9000 71.9000 71.9000

Columns 43 through 46

71.9000 71.9000 71.9000 71.9000

d =

Columns 1 through 7

8.3956 8.5736 8.7606 8.9567 9.1619

9.3761 9.5994

Columns 8 through 14

9.8318 10.0733 10.3239 10.5835

10.8522 11.1300 11.4169

Columns 15 through 21

11.7128 12.0178 12.3319 12.6551

12.9873 13.3287 13.6791

Columns 22 through 28

14.0385 14.0385 14.0385 14.0385

14.0385 14.0385 14.0385

Columns 29 through 35

14.0385 14.0385 14.0385 14.0385

14.0385 14.0385 14.0385

Columns 36 through 42

14.0385 14.0385 14.0385 14.0385

14.0385 14.0385 14.0385

Columns 43 through 46

14.0385 14.0385 14.0385 14.0385

deltaL =

Columns 1 through 7

22.2490 23.3839 24.5189 25.6538

26.7888 27.9237 29.0587

Columns 8 through 14

30.1936 31.3286 32.4635 33.5984

34.7334 35.8683 37.0033

Columns 15 through 21

38.1382 39.2732 40.4081 41.5431

42.6780 43.8129 44.9479

Columns 22 through 28

45.5659 45.5659 45.5659 45.5659

45.5659 45.5659 45.5659

Columns 29 through 35

45.5659 45.5659 45.5659 45.5659

45.5659 45.5659 45.5659

Columns 36 through 42

45.5659 45.5659 45.5659 45.5659

45.5659 45.5659 45.5659

Columns 43 through 45

45.5659 45.5659 45.5659

fiac =

82.3857

F =

1.0e+003 *

Columns 1 through 7

0 2.1000 2.1374 2.1838 2.2389

2.3027 2.3753

Columns 8 through 14

2.4567 2.5472 2.6470 2.7564 2.8756

3.0052 3.1454

Columns 15 through 21

3.2969 3.4600 3.6353 3.8234 4.0777

4.3503 4.6422

```

Columns 22 through 28
 4.9547 5.2889 6.8000 6.8000 6.8000
6.8000 6.8000
Columns 29 through 35
 6.8000 6.8000 6.8000 6.8000 6.8000
6.8000 6.8000
Columns 36 through 42
 6.8000 6.8000 6.8000 6.8000 6.8000
6.8000 6.8000
Columns 43 through 47
 6.8000 6.8000 6.8000 6.8000 6.8000
f =
Columns 1 through 7
 0 82.3857 83.8381 85.5949 87.6328
89.9317 92.4738
Columns 8 through 14
 95.2434 98.2261 101.4089 104.7799
108.3279 112.0424 115.9136
Columns 15 through 21
 119.9320 124.0889 128.3754 132.7833
138.4912 144.3505 150.3626
Columns 22 through 28
 156.5291 162.8524 190.2611 190.2611
190.2611 190.2611 190.2611
Columns 29 through 35
 190.2611 190.2611 190.2611 190.2611
190.2611 190.2611 190.2611
Columns 36 through 42
 190.2611 190.2611 190.2611 190.2611
190.2611 190.2611 190.2611
Columns 43 through 47
 190.2611 190.2611 190.2611 190.2611
190.2611
fsac =
 162.8524
fmaxc =
 190.2611
abatere1 =
 2.9821
abatere2 =
 7.1397
abatere3 =
 2.5666
abatere =
 4.2295
abaterea admisibila=+-10%
»

» c5p31

dmax =
 14.0385
Kmax =
 53.7313
n2 =
 2.4000
Dmmax =
 143.8000
pcil =
 59.4755
l2 =
 1.0936e+003
Hocil =
 142.7411
Hop =
 85.2589
AP2 P-arc paraboloidal
n1 =
 1.9000
nta =
 4.3000
r =
Columns 1 through 7
 34.2500 36.2316 38.2132 40.1947
42.1763 44.1579 46.1395
Columns 8 through 14
 48.1211 50.1026 52.0842 54.0658
56.0474 58.0289 60.0105
Columns 15 through 20
 61.9921 63.9737 65.9553 67.9368
69.9184 71.9000
dmin =
 8.4296
r1 =
 34.2500
sageata maxima, spirele se aseaza pe suprafata
de reazem
pp =
Columns 1 through 7
 36.5273 38.1664 39.8056 41.4447
43.0839 44.7231 46.3622
Columns 8 through 10
 48.0014 49.6405 51.2797
l1 =
 639.0795
nr =
 0.7500
l =
 2.7331e+003
arc complet
l1 =
 639.0795
w =
 25
Dm =
Columns 1 through 7
 78.4079 82.3711 86.3342 90.2974
94.2605 98.2237 102.1868
Columns 8 through 14
 106.1500 110.1132 114.0763 118.0395
122.0026 125.9658 129.9289
Columns 15 through 21

```

133.8921 135.8737 137.8553 139.8368
 141.8184 143.8000 143.8000
 Columns 22 through 28
 143.8000 143.8000 143.8000 143.8000
 143.8000 143.8000 143.8000
 Columns 29 through 35
 143.8000 143.8000 143.8000 143.8000
 143.8000 143.8000 143.8000
 Columns 36 through 42
 143.8000 143.8000 143.8000 143.8000
 143.8000 143.8000 143.8000
 Columns 43 through 44
 143.8000 143.8000

r =

Columns 1 through 7
 34.2500 36.2316 38.2132 40.1947
 42.1763 44.1579 46.1395
 Columns 8 through 14
 48.1211 50.1026 52.0842 54.0658
 56.0474 58.0289 60.0105
 Columns 15 through 21
 61.9921 63.9737 65.9553 67.9368
 69.9184 71.9000 71.9000
 Columns 22 through 28
 71.9000 71.9000 71.9000 71.9000
 71.9000 71.9000 71.9000
 Columns 29 through 35
 71.9000 71.9000 71.9000 71.9000
 71.9000 71.9000 71.9000
 Columns 36 through 42
 71.9000 71.9000 71.9000 71.9000
 71.9000 71.9000 71.9000
 Columns 43 through 44
 71.9000 71.9000

d =

Columns 1 through 7
 8.4296 8.6256 8.8326 9.0507 9.2798
 9.5199 9.7710
 Columns 8 through 14
 10.0331 10.3063 10.5905 10.8857
 11.1919 11.5092 11.8374
 Columns 15 through 21
 12.1767 12.5271 12.8884 13.2608
 13.6441 14.0385 14.0385
 Columns 22 through 28
 14.0385 14.0385 14.0385 14.0385
 14.0385 14.0385 14.0385
 Columns 29 through 35
 14.0385 14.0385 14.0385 14.0385
 14.0385 14.0385 14.0385
 Columns 36 through 42
 14.0385 14.0385 14.0385 14.0385
 14.0385 14.0385 14.0385
 Columns 43 through 44
 14.0385 14.0385

deltaL =

Columns 1 through 7

22.3335 23.5893 24.8451 26.1009
 27.3567 28.6125 29.8683
 Columns 8 through 14
 31.1242 32.3800 33.6358 34.8916
 36.1474 37.4032 38.6590
 Columns 15 through 21
 39.9148 41.1706 42.4264 43.6822
 44.9380 45.5659 45.5659
 Columns 22 through 28
 45.5659 45.5659 45.5659 45.5659
 45.5659 45.5659 45.5659
 Columns 29 through 35
 45.5659 45.5659 45.5659 45.5659
 45.5659 45.5659 45.5659
 Columns 36 through 42
 45.5659 45.5659 45.5659 45.5659
 45.5659 45.5659 45.5659
 Column 43
 45.5659
 fiac =
 78.5369
 F =
 1.0e+003 *
 Columns 1 through 7
 0 2.1000 2.1417 2.1941 2.2570
 2.3305 2.4145
 Columns 8 through 14
 2.5095 2.6155 2.7329 2.8623 3.0040
 3.1587 3.3269
 Columns 15 through 21
 3.5093 3.7068 3.9771 4.2690 4.5840
 4.9234 5.2889
 Columns 22 through 28
 6.8000 6.8000 6.8000 6.8000 6.8000
 6.8000 6.8000
 Columns 29 through 35
 6.8000 6.8000 6.8000 6.8000 6.8000
 6.8000 6.8000
 Columns 36 through 42
 6.8000 6.8000 6.8000 6.8000 6.8000
 6.8000 6.8000
 Columns 43 through 45
 6.8000 6.8000 6.8000
 f =
 Columns 1 through 7
 0 78.5369 80.0771 81.9662 84.1766
 86.6845 89.4694
 Columns 8 through 14
 92.5134 95.8004 99.3158 103.0466
 106.9804 111.1062 115.4132
 Columns 15 through 21
 119.8917 124.5321 130.6129 136.8963
 143.3859 150.0863 157.0025
 Columns 22 through 28
 184.4112 184.4112 184.4112 184.4112
 184.4112 184.4112 184.4112
 Columns 29 through 35

| | |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| 184.4112 184.4112 184.4112 184.4112 | 1.8049e+003 |
| 184.4112 184.4112 184.4112 | na = |
| Columns 36 through 42 | 6.6876 |
| 184.4112 184.4112 184.4112 184.4112 | nr = |
| 184.4112 184.4112 184.4112 | 0.6000 |
| Columns 43 through 45 | nt = |
| 184.4112 184.4112 184.4112 | 7.8876 |
| fsac = | l2 = |
| 157.0025 | 418.5801 |
| fmaxc = | lr = |
| 184.4112 | 394.8062 |
| abatere1 = | lt = |
| 1.8289 | 2.6183e+003 |
| abatere2 = | pas = |
| 3.2911 | 41.0812 |
| abatere3 = | Ho = |
| 0.5870 | 303.6932 |
| abatere = | ll = |
| 1.9023 | 1.8022e+003 |
| abaterea admisibila=+-10% | siac = |
| » | 105.9819 |
| | r = |
| | Columns 1 through 7 |
| » cde51 | 53.2500 53.2171 53.1843 53.1515 |
| | 53.1187 53.0859 53.0532 |
| | Columns 8 through 14 |
| dmin = | 53.0205 52.9878 52.9551 52.9224 |
| 7.2901 | 52.8897 52.8571 52.8245 |
| Dext = | Columns 15 through 21 |
| 113.7901 | 52.7919 52.7593 52.7268 52.6943 |
| d = | 52.6618 52.6293 52.5968 |
| Columns 1 through 7 | Columns 22 through 28 |
| 7.2901 8.1337 8.4071 8.6630 8.9811 | 52.5643 52.5319 52.4995 52.4671 |
| 9.2771 9.6209 | 52.4348 52.4024 52.3701 |
| Columns 8 through 11 | Columns 29 through 35 |
| 9.8783 10.1812 10.5210 10.8389 | 52.3378 52.3055 52.2732 52.2410 |
| Dm = | 52.2087 52.1765 52.1443 |
| Columns 1 through 7 | Columns 36 through 42 |
| 106.5000 105.6563 105.3829 105.1270 | 52.1122 52.0800 52.0479 52.0158 |
| 104.8089 104.5130 104.1691 | 51.9837 51.9516 51.9196 |
| Columns 8 through 11 | Columns 43 through 49 |
| 103.9117 103.6089 103.2690 102.9512 | 51.8875 51.8555 51.8235 51.7916 |
| dmax = | 51.7596 51.7277 51.6958 |
| 10.7795 | Columns 50 through 56 |
| d1verificare = | 51.6639 51.6320 51.6001 51.5683 |
| 10.8389 | 51.5365 51.5047 51.4756 |
| dmax = | Columns 57 through 63 |
| 10.8092 | 51.4756 51.4756 51.4756 51.4756 |
| Cmin = | 51.4756 51.4756 51.4756 |
| 0.0100 | Columns 64 through 68 |
| Cmax = | 51.4756 51.4756 51.4756 51.4756 |
| 0.0975 | 51.4756 |
| n2 = | d = |
| 1.2511 | Columns 1 through 7 |
| n1 = | 7.2901 7.3558 7.4214 7.4870 7.5526 |
| 5.4365 | 7.6182 7.6837 |
| ll = | Columns 8 through 14 |

7.7491 7.8145 7.8799 7.9453 8.0106
 8.0758 8.1410
 Columns 15 through 21
 8.2062 8.2714 8.3365 8.4015 8.4665
 8.5315 8.5965
 Columns 22 through 28
 8.6614 8.7262 8.7910 8.8558 8.9205
 8.9852 9.0499
 Columns 29 through 35
 9.1145 9.1791 9.2436 9.3081 9.3726
 9.4370 9.5014
 Columns 36 through 42
 9.5657 9.6300 9.6943 9.7585 9.8227
 9.8868 9.9509
 Columns 43 through 49
 10.0150 10.0790 10.1430 10.2069
 10.2709 10.3347 10.3985
 Columns 50 through 56
 10.4623 10.5261 10.5898 10.6535
 10.7171 10.7807 10.8039
 Columns 57 through 63
 10.8039 10.8039 10.8039 10.8039
 10.8039 10.8039 10.8039
 Columns 64 through 68
 10.8039 10.8039 10.8039 10.8039
 10.8039
 Dm =
 Columns 1 through 7
 106.3359 106.2703 106.2048 106.1393
 106.0738 106.0083 105.9429
 Columns 8 through 14
 105.8776 105.8123 105.7470 105.6817
 105.6165 105.5514 105.4863
 Columns 15 through 21
 105.4212 105.3561 105.2911 105.2262
 105.1613 105.0964 105.0316
 Columns 22 through 28
 104.9668 104.9020 104.8373 104.7726
 104.7080 104.6434 104.5788
 Columns 29 through 35
 104.5143 104.4498 104.3854 104.3210
 104.2566 104.1923 104.1280
 Columns 36 through 42
 104.0638 103.9996 103.9354 103.8713
 103.8072 103.7432 103.6792
 Columns 43 through 49
 103.6152 103.5513 103.4874 103.4235
 103.3597 103.2960 103.2322
 Columns 50 through 56
 103.1686 103.1076 103.0757 103.0439
 103.0121 102.9803 102.9512
 Columns 57 through 63
 102.9512 102.9512 102.9512 102.9512
 102.9512 102.9512 102.9512
 Columns 64 through 68
 102.9512 102.9512 102.9512 102.9512
 102.9512

F =
 1.0e+003 *
 Columns 1 through 7
 0 1.0015 1.0295 1.0580 1.0870
 1.1165 1.1465
 Columns 8 through 14
 1.1770 1.2081 1.2397 1.2719 1.3046
 1.3379 1.3717
 Columns 15 through 21
 1.4061 1.4410 1.4765 1.5126 1.5492
 1.5864 1.6242
 Columns 22 through 28
 1.6626 1.7016 1.7412 1.7814 1.8222
 1.8636 1.9056
 Columns 29 through 35
 1.9483 1.9915 2.0354 2.0799 2.1251
 2.1709 2.2173
 Columns 36 through 42
 2.2644 2.3121 2.3605 2.4096 2.4593
 2.5097 2.5608
 Columns 43 through 49
 2.6125 2.6649 2.7181 2.7719 2.8264
 2.8815 2.9374
 Columns 50 through 56
 2.9941 3.0514 3.1093 3.1671 3.2256
 3.2847 3.3446
 Columns 57 through 63
 4.3292 4.3292 4.3292 4.3292 4.3292
 4.3292 4.3292
 Columns 64 through 69
 4.3292 4.3292 4.3292 4.3292 4.3292
 4.3292
 s =
 Columns 1 through 7
 0 105.9819 109.1981 112.3551
 115.4537 118.4945 121.4780
 Columns 8 through 14
 124.4048 127.2757 130.0910 132.8513
 135.5572 138.2091 140.8076
 Columns 15 through 21
 143.3530 145.8460 148.2868 150.6760
 153.0139 155.3010 157.5376
 Columns 22 through 28
 159.7241 161.8608 163.9483 165.9866
 167.9763 169.9176 171.8108
 Columns 29 through 35
 173.6563 175.4543 177.2050 178.9089
 180.5661 182.1768 183.7415
 Columns 36 through 42
 185.2601 186.7332 188.1607 189.5430
 190.8802 192.1726 193.4203
 Columns 43 through 49
 194.6236 195.7827 196.8976 197.9686
 198.9958 199.9794 200.9196
 Columns 50 through 56
 201.8164 202.6701 203.4796 204.2346
 204.9471 205.6174 206.2455

Columns 57 through 63
 215.7734 215.7734 215.7734 215.7734
 215.7734 215.7734 215.7734
 Columns 64 through 69
 215.7734 215.7734 215.7734 215.7734
 215.7734 215.7734
 ssac =
 206.2455
 smaxc =
 215.7734
 abaterel =
 8.6994
 abatere2 =
 4.0718
 abatere3 =
 3.6726
 abatere =
 5.4813
 abaterea admisibila=+-10%
 »

» cdi45absv1

dmax =
 12.2822
 dlverificare =
 12.4284
 dmax =
 12.3553
 d =
 12.3553 11.9016 11.2959 10.8206
 10.2470 9.7385 9.2983
 Dm =
 96.3000 95.8462 95.2405 94.7652
 94.1916 93.6831 93.2429
 n2 =
 2.5699
 n1 =
 4.3124
 l1 =
 1.2981e+003
 na =
 6.8823
 nr =
 0.6000
 nt =
 8.0823
 l2 =
 1.5549e+003
 lr =
 357.2800
 lt =
 3.2104e+003
 pas =
 34.4696

Ho =
 271.8756
 Dint =
 83.9447
 k =
 44
 k =
 45
 r =
 Columns 1 through 7
 46.6215 46.6562 46.6909 46.7257
 46.7605 46.7954 46.8302
 Columns 8 through 14
 46.8651 46.9000 46.9350 46.9699
 47.0049 47.0399 47.0750
 Columns 15 through 21
 47.1100 47.1451 47.1802 47.2154
 47.2506 47.2858 47.3210
 Columns 22 through 28
 47.3562 47.3915 47.4268 47.4621
 47.4975 47.5329 47.5683
 Columns 29 through 35
 47.6037 47.6392 47.6747 47.7102
 47.7457 47.7813 47.8169
 Columns 36 through 42
 47.8525 47.8881 47.9238 47.9595
 47.9952 48.0310 48.0668
 Columns 43 through 45
 48.1026 48.1384 48.1500
 deltaL =
 Columns 1 through 7
 29.4936 29.5156 29.5376 29.5596
 29.5816 29.6036 29.6257
 Columns 8 through 14
 29.6478 29.6698 29.6920 29.7141
 29.7362 29.7584 29.7805
 Columns 15 through 21
 29.8027 29.8249 29.8471 29.8694
 29.8916 29.9139 29.9362
 Columns 22 through 28
 29.9585 29.9808 30.0031 30.0255
 30.0478 30.0702 30.0926
 Columns 29 through 35
 30.1150 30.1374 30.1599 30.1824
 30.2048 30.2273 30.2499
 Columns 36 through 42
 30.2724 30.2949 30.3175 30.3401
 30.3627 30.3853 30.4079
 Columns 43 through 44
 30.4306 3.7890
 d =
 Columns 1 through 7
 9.2983 9.3677 9.4372 9.5068 9.5764
 9.6461 9.7158
 Columns 8 through 14
 9.7856 9.8554 9.9252 9.9952 10.0651
 10.1352 10.2053

| | |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Columns 15 through 21 | 48.1026 48.1384 48.1500 48.1500 |
| 10.2754 10.3456 10.4158 10.4861 | 48.1500 48.1500 48.1500 |
| 10.5564 10.6268 10.6973 | Columns 50 through 56 |
| Columns 22 through 28 | 48.1500 48.1500 48.1500 48.1500 |
| 10.7678 10.8383 10.9089 10.9796 | 48.1500 48.1500 48.1500 |
| 11.0503 11.1211 11.1919 | Columns 57 through 63 |
| Columns 29 through 35 | 48.1500 48.1500 48.1500 48.1500 |
| 11.2628 11.3337 11.4046 11.4757 | 48.1500 48.1500 48.1500 |
| 11.5467 11.6179 11.6891 | Columns 64 through 70 |
| Columns 36 through 42 | 48.1500 48.1500 48.1500 48.1500 |
| 11.7603 11.8316 11.9029 11.9743 | 48.1500 48.1500 48.1500 |
| 12.0458 12.1173 12.1888 | Column 71 |
| Columns 43 through 45 | 48.1500 |
| 12.2605 12.3321 12.3410 | d = |
| ll = | Columns 1 through 7 |
| 1.2921e+003 | 9.2983 9.3677 9.4372 9.5068 9.5764 |
| phi2 = | 9.6461 9.7158 |
| Columns 1 through 7 | Columns 8 through 14 |
| 27.0959 27.7242 28.3525 28.9808 | 9.7856 9.8554 9.9252 9.9952 10.0651 |
| 29.6092 30.2375 30.8658 | 10.1352 10.2053 |
| Columns 8 through 14 | Columns 15 through 21 |
| 31.4941 32.1224 32.7508 33.3791 | 10.2754 10.3456 10.4158 10.4861 |
| 34.0074 34.6357 35.2640 | 10.5564 10.6268 10.6973 |
| Columns 15 through 21 | Columns 22 through 28 |
| 35.8924 36.5207 37.1490 37.7773 | 10.7678 10.8383 10.9089 10.9796 |
| 38.4056 39.0339 39.6623 | 11.0503 11.1211 11.1919 |
| Columns 22 through 26 | Columns 29 through 35 |
| 40.2906 40.9189 41.5472 42.1755 | 11.2628 11.3337 11.4046 11.4757 |
| 42.8039 | 11.5467 11.6179 11.6891 |
| w = | Columns 36 through 42 |
| 26 | 11.7603 11.8316 11.9029 11.9743 |
| w = | 12.0458 12.1173 12.1888 |
| 27 | Columns 43 through 49 |
| m = | 12.2605 12.3321 12.3410 12.3410 |
| 5 | 12.3410 12.3410 12.3410 |
| siac = | Columns 50 through 56 |
| 91.5413 | 12.3410 12.3410 12.3410 12.3410 |
| r = | 12.3410 12.3410 12.3410 |
| Columns 1 through 7 | Columns 57 through 63 |
| 46.6215 46.6562 46.6909 46.7257 | 12.3410 12.3410 12.3410 12.3410 |
| 46.7605 46.7954 46.8302 | 12.3410 12.3410 12.3410 |
| Columns 8 through 14 | Columns 64 through 70 |
| 46.8651 46.9000 46.9350 46.9699 | 12.3410 12.3410 12.3410 12.3410 |
| 47.0049 47.0399 47.0750 | 12.3410 12.3410 12.3410 |
| Columns 15 through 21 | Column 71 |
| 47.1100 47.1451 47.1802 47.2154 | 12.3410 |
| 47.2506 47.2858 47.3210 | Dm = |
| Columns 22 through 28 | Columns 1 through 7 |
| 47.3562 47.3915 47.4268 47.4621 | 93.4168 93.4864 93.5561 93.6258 |
| 47.4975 47.5329 47.5683 | 93.6955 93.7653 93.8351 |
| Columns 29 through 35 | Columns 8 through 14 |
| 47.6037 47.6392 47.6747 47.7102 | 93.9050 93.9750 94.0450 94.1150 |
| 47.7457 47.7813 47.8169 | 94.1851 94.2553 94.3255 |
| Columns 36 through 42 | Columns 15 through 21 |
| 47.8525 47.8881 47.9238 47.9595 | 94.3958 94.4661 94.5365 94.6069 |
| 47.9952 48.0310 48.0668 | 94.6774 94.7479 94.8185 |
| Columns 43 through 49 | Columns 22 through 28 |

94.8891 94.9598 95.0305 95.1013
 95.1721 95.2430 95.3140
 Columns 29 through 35
 95.3850 95.4560 95.5271 95.5983
 95.6695 95.7408 95.8121
 Columns 36 through 42
 95.8835 95.9549 96.0264 96.0979
 96.1452 96.1810 96.2168
 Columns 43 through 49
 96.2526 96.2884 96.3000 96.3000
 96.3000 96.3000 96.3000
 Columns 50 through 56
 96.3000 96.3000 96.3000 96.3000
 96.3000 96.3000 96.3000
 Columns 57 through 63
 96.3000 96.3000 96.3000 96.3000
 96.3000 96.3000 96.3000
 Columns 64 through 70
 96.3000 96.3000 96.3000 96.3000
 96.3000 96.3000 96.3000
 Column 71
 96.3000
 F =
 1.0e+003 *
 Columns 1 through 7
 0 2.3656 2.4172 2.4696 2.5227
 2.5766 2.6313
 Columns 8 through 14
 2.6867 2.7430 2.8000 2.8579 2.9166
 2.9760 3.0363
 Columns 15 through 21
 3.0974 3.1594 3.2222 3.2858 3.3503
 3.4156 3.4818
 Columns 22 through 28
 3.5488 3.6168 3.6856 3.7553 3.8259
 3.8974 3.9698
 Columns 29 through 35
 4.0431 4.1173 4.1924 4.2685 4.3455
 4.4235 4.5024
 Columns 36 through 42
 4.5822 4.6630 4.7448 4.8276 4.9113
 4.9973 5.0849
 Columns 43 through 49
 5.1736 5.2634 5.3542 5.3652 6.8981
 6.8981 6.8981
 Columns 50 through 56
 6.8981 6.8981 6.8981 6.8981 6.8981
 6.8981 6.8981
 Columns 57 through 63
 6.8981 6.8981 6.8981 6.8981 6.8981
 6.8981 6.8981
 Columns 64 through 70
 6.8981 6.8981 6.8981 6.8981 6.8981
 6.8981 6.8981
 Columns 71 through 72
 6.8981 6.8981

s =

Columns 1 through 7
 0 91.5413 93.5101 95.4521 97.3673
 99.2559 101.1180
 Columns 8 through 14
 102.9537 104.7631 106.5464 108.3035
 110.0347 111.7400 113.4194
 Columns 15 through 21
 115.0731 116.7011 118.3036 119.8805
 121.4320 122.9581 124.4589
 Columns 22 through 28
 125.9345 127.3848 128.8100 130.2101
 131.5851 132.9352 134.2602
 Columns 29 through 35
 135.5604 136.8356 138.0860 139.3115
 140.5123 141.6883 142.8396
 Columns 36 through 42
 143.9661 145.0679 146.1451 147.1976
 148.2254 149.2435 150.2440
 Columns 43 through 49
 151.2198 152.1709 153.0974 153.2071
 168.1693 168.1693 168.1693
 Columns 50 through 56
 168.1693 168.1693 168.1693 168.1693
 168.1693 168.1693 168.1693
 Columns 57 through 63
 168.1693 168.1693 168.1693 168.1693
 168.1693 168.1693 168.1693
 Columns 64 through 70
 168.1693 168.1693 168.1693 168.1693
 168.1693 168.1693 168.1693
 Columns 71 through 72
 168.1693 168.1693
 ssac =
 153.2071
 smaxc =
 168.1693
 abatere1 =
 3.6407
 abatere2 =
 1.1567
 abatere3 =
 0.1008
 abatere =
 1.6327
 abaterea admisibila=+-10%
 »

Ecuatia domeniului progresiv al caracteristicii elastice

1 Arc nr. 1 „CIELO”

$$\begin{array}{llll} r^2=0,999742219 & \text{Rank}=1235 & \text{Eqn}=1003 & y=a+bx+cx^2 \\ a=-147,3758 & b=21,499225 & c=0,088469401 & \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} r^2=0,999723692 & \text{Rank}=1253 & \text{Eqn}=1006 & y=a+bx+cx^3 \\ a=-619,50787 & b=32,766863 & c=0,00022871378 & \end{array}$$

2 Arc nr. 2 „OPEL”

$$\begin{array}{llll} r^2=0,998888309 & \text{Rank}=1081 & \text{Eqn}=1003 & y=a+bx+cx^2 \\ a=1075,6743 & b=16,135126 & c=0,091607329 & \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} r^2=0,998930192 & \text{Rank}=1035 & \text{Eqn}=1006 & y=a+bx+cx^3 \\ a=-611,94215 & b=27,496855 & c=0,00024307 & \end{array}$$

3 Arc nr. 3 „OPEL COMBI”

$$\begin{array}{llll} r^2=0,999886125 & \text{Rank}=922 & \text{Eqn}=1003 & y=a+bx+cx^2 \\ a=82,381803 & b=16,713147 & c=0,10636149 & \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} r^2=0,999872103 & \text{Rank}=1125 & \text{Eqn}=1006 & y=a+bx+cx^3 \\ a=-325,63908 & b=28,243,168 & c=0,00032075174 & \end{array}$$

4 Arc nr. 4 „FORD-ESCORT”

$$\begin{array}{llll} r^2=0,999553952 & \text{Rank}=1116 & \text{Eqn}=1003 & y=a+bx+cx^2 \\ a=2052,4107 & b=-26,72619 & c=0,31547619 & \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} r^2=0,999488378 & \text{Rank}=1206 & \text{Eqn}=1006 & y=a+bx+cx^3 \\ a=470,19367 & b=12m27692 & c=0,0008395979 & \end{array}$$

5 Arc nr. 5 „VOLKSWAGEN”

$$\begin{array}{llll} r^2=0,999398383 & \text{Rank}=1119 & \text{Eqn}=1003 & y=a+bx+cx^2 \\ a=-168,59848 & b=5,0909091 & c=0,053030303 & \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} r^2=0,999504823 & \text{Rank}=1056 & \text{Eqn}=1006 & y=a+bx+cx^3 \\ a=-608,14425 & b=13,552918 & c=0,00010829777 & \end{array}$$

6 Arc nr. 1D „CIELO”-documentație „DAEWOO” Craiova

$$\begin{array}{llll} r^2=0,999730233 & \text{Rank}=1258 & \text{Eqn}=1003 & y=a+bx+cx^2 \\ a=1230 & b=-10,935714 & c=0,23928571 & \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} r^2=0,999644251 & \text{Rank}=1297 & \text{Eqn}=1006 & y=a+bx+cx^3 \\ a=1,5772858 & b=18,927992 & c=0,0006322864 & \end{array}$$

7 Arc nr. 2D „CIELO”-documentație „DAEWOO” Craiova

$$\begin{array}{llll} r^2=0,999902431 & \text{Rank}=1150 & \text{Eqn}=1003 & y=a+bx+cx^2 \\ a=1454 & b=-11,657143 & c=0,25714286 & \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} r^2=0,999956974 & \text{Rank}=1081 & \text{Eqn}=1006 & y=a+bx+cx^3 \\ a=557,13815 & b=14,859032 & c=0,00081845816 & \end{array}$$