

**MINISTERUL EDUCAȚIEI CERCETĂRII
ȘI TINERETULUI
UNIVERSITATEA „POLITEHNICA“ DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ
CATEDRA DE REZISTENȚA MATERIALELOR**

Ing. Gherjon Lorand TOTH

TEZA DE DOCTORAT

Conducător științific

Prof. Dr. Ing. Eur. Ing. Tiberiu Dimitrie BABEU

2007

MINISTERUL EDUCAȚIEI CERCETĂRII ȘI TINERETULUI
UNIVERSITATEA „POLITEHNICA“ DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ
CATEDRA DE REZISTENȚA MATERIALELOR

Ing. Gherjon Lorand TOTH

Contribuții la studiul și cercetării influenței construcției și
condițiilor de utilizare asupra fiabilității cablurilor din oțel

TEZA DE DOCTORAT

Conducător științific

Prof. Dr. Ing. Eur. Ing. Tiberiu Dimitrie BABEU

2007

Rezumatul Tezei

Prezenta lucrare este rezultatul activității prestate în perioada stagiului ca doctorand fără frecvență la Facultatea de Mecanică din Timișoara.

În stadiul actual al utilizării cablurilor din oțel, tendința este de a cerceta și îmbunătăți caracteristicile tehnice ale cablurilor, de a extinde domeniile de utilizare ale acestora, de a perfecționa metodele de calcul și de prognostizare a perioadelor de funcționare admise. La cablurile rulante și de tracțiune, s-au elaborat metode de calcul pentru proiectarea acestora. În baza cercetărilor și a experiențelor, s-au elaborat principii și metode de prognostizare a fiabilității acestora în numeroase cercetări științifice și aplicative.

În domeniul utilizării cablurilor din oțel, ca și cabluri de susținere și ancorare la construcțiile de poduri suspendate și la realizarea construcțiilor ușoare, moderne și spectaculoase, lipsește până în prezent o metodă care să permită cuprinderea în calcul al efectelor tuturor influențelor și solicitărilor în diversele domenii și situații tehnice de utilizare ale acestora și de a prognostiza cu certitudine fiabilitatea acestora.

În această teză s-a abordat studiul stadiului actual al cercetării cablurilor din oțel, stabilind tematica referitor la cabluri de susținere și ancorare. S-a studiat influența coroziunii, ale uzurii cablurilor și influența acestora asupra fiabilității, precum și cercetarea determinării tensiunilor și al variației acestora din cablurile de susținere și ancorare.

S-au adus contribuții originale, la cercetarea tensiunilor secundare din cabluri, cauzate de înfășurarea prin cablare, realizând încercări de laborator pentru cabluri comparativ cu legături de sârme.

S-au adus contribuții la cercetarea influenței fixării cablurilor în dispozitivele de legătură cu aliaj metalic –tradițional- turnat la cald, utilizată până în prezent, comparativ cu utilizarea procedurii de fixare cu compozit din cuarț-poliamidă Wirelock, turnată la rece. S-au obținut rezultate pozitive în vederea îmbunătățirii capacității portante și a fiabilității structurilor cu cabluri de susținere și ancorare utilizând acest procedeu.

MULȚUMIRI

Pe această cale, doresc să exprim mulțumiri alese conducătorului științific, domnului Prof. Univ. Dr. Ing. Eur. Ing. Tiberiu Dimitrie BABEU pentru sprijinul și competența îndrumare acordată pe întreaga perioadă a elaborării tezei.

Îmi exprim întreaga considerație față de membrii comisiei de doctorat, domnului președinte al comisiei Prof. Univ. Dr. Ing. Nicolae NEGUȚ decanul Facultății de Mecanică din Timișoara și domnilor Prof. Univ. Dr. Ing. Mircea BEJAN de la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Prof. Univ. Dr. Ing. Tiberiu Stefan MĂNESCU de la Universitatea „EM” Reșița și Prof. Univ. Dr. Ing. Nicolae FAUR Șeful Catedrei de Rezistența Materialelor de la Universitatea „Politehnica” Timișoara, care au răspuns solicitării de a face parte din comisia de analiză a tezei, pentru observațiile făcute și pentru timpul acordat lucrării.

A B S T R A C T

Die vorliegende Dissertationsarbeit ist das Resultat meiner Aktivität als Doktorand in Fernstudium an der Technischen Universität „Politehnica“ Timisoara.

Einer der bedeutesten Aspekte der Forschung im modernen Maschinen- und Anlagenbau, ist die Aufgabe bei der Anwendung der Stahldrahtseilen, eine langzeitige Funktionsfähigkeit zu sichern.

In dieser Richtung gibt es bereits Forschungsergebnisse, die zugelassene Funktionsdauer für die laufenden Drahtseilen, Seilbahnen und Aufzugseilen, vorschreiben.

Für die Halte- und Abspannseile, angewendet im Brücken- Industrie- und leichter modernen Zivilbauten, gibt es jedoch noch keine eindeutige Methode nach welcher die Einflüsse der meisten Parametern der Belastungen und deren Veränderungen mit Sicherheit in der Berechnung für die Prognostisierung der langzeitigen Funktionsfähigkeit -Lebensdauer- in Betracht genommen werden können.

Im Mittelpunkt meiner Bemühungen in dieser Dissertationsarbeit, ist ein Beitrag zum Studium und Forschung der Halte- und Abspannseile zu erbringen deren Lebensdauer weiter zu verbessern und der Wunsch für verschiedene Anwendungsfälle die Seilebensdauer bereits im Vorfeld prognostizieren zu können.

Meine Versuche betreffen die Erforschung der Einflüsse der sekundären Spannungen in den Stahldrahtseilen, resultierend aus deren verschiedener Konstruktion während deren Belastung. Für das Erlangen dieser Ergebnisse, habe ich umfassende Untersuchungen der Stahldrahtseile, in Vergleich mit nichtverseilten, parallelen Drahtverbände unternommen. Weiterhin habe ich die Einflüsse der Korosion und Abnutzung während der Funktion der Drahtseile, auf die Lebensdauer studiert.

Innerhalb der Laborversuche habe ich den Bruchprozeß der Seile, unter den Einfluß von Quarz-Polyamid –Wirelock- im Vergleich zu den bisher gebrauchten Metall-Legierungen in der Fixierung der Seilenden, in den Endverbindungen, verfolgt. Bei den Versuchsteilen befestigt mit Wirelock trat der Bruch der Seilprobe regelmäßig innerhalb der freien Seillänge auf, nicht so wie bei den Versuchsteilen befestigt mit Metall-Legierungen bei welchen die Brüche immer im Ende der Seile auftrat, durch die thermische Beeinflussung der Drähte, und bei der verminderten Werte der Bruchkräfte .

Aus den erhaltenen Ergebnisse meiner Versuche, resultieren die Vorteile der parallel verseilten Drahtseile, und der Gebrauch der parallelen Seilverbände, mit welchen man eine Reduzierung der sekundären Spannungen, und die höheren Lebensdauer der Drahtseile erhält.

Cuprins

| | pagina |
|--|--------|
| Capitolul 1. Stadiul actual al cercetării cablurilor din oțel..... | 8 |
| 1.1. Introducere..... | 8 |
| 1.2. Tipuri constructive și geometrice ale cablurilor mai uzuale..... | 10 |
| Influența cablării paralele și celei încrucișate..... | 12 |
| Caracteristicile cablurilor cu rotire împiedicată..... | 12 |
| Caracteristicile cablurilor cu inimă din PVC..... | 13 |
| 1.3. Caracteristicile sârmelor folosite la fabricarea cablurilor de tracțiune..... | 13 |
| 1.4. Clasificarea cablurilor din oțel după domeniile de utilizare | 15 |
| 1.5. Stabilirea și motivarea temei alese..... | 18 |
| Capitolul 2. | |
| Contribuții al studiul construcției și calității cablurilor din oțel..... | 19 |
| 2.1. Generalități..... | 19 |
| 2.2. Studiul calității cablurilor din oțel..... | 22 |
| 2.3. Verificare proprietății cablurilor de susținere și ancorare..... | 25 |
| 2.4. Importanța protecției împotriva coroziunii..... | 26 |
| Capitolul 3. Studii teoretice | |
| Contribuții la studiul fiabilității cablurilor din oțel, Introducere..... | 27 |
| 3.1. Fiabilitatea structurilor cu cabluri din oțel..... | 27 |
| 3.2. Parametri de fiabilitate ale structurilor cu cabluri din oțel..... | 30 |
| 3.3. Analiza influenței uzurii asupra fiabilității cablurilor, generalități..... | 35 |
| 3.4. Analiza influenței coroziunii asupra fiabilității cablurilor din oțel..... | 38 |
| 3.5. Analiza influenței solicitărilor de contact asupra fiabilității cablurilor..... | 39 |
| 3.6. Influența solicitării transversale asupra tensiunilor interne ale cablurilor..... | 40 |
| 3.7. Influența frecării dintre sârmele cablului asupra rigidității la îndoire..... | 42 |
| 3.8. Contribuții la studiul tensiunii din cabluri sollicitate la tracțiune..... | 44 |
| 3.9. Calculul tensiunilor din cablurile din oțel, definiția tensiunilor | 47 |
| 3.9.1 Geometria sârmei în toronul drept..... | 48 |
| 3.9.2 Calculul tensiunii de încovoiere și de torsiune din deformarea sârmelor..... | 48 |
| 3.9.3 Tensiuni de întindere, încovoiere și de torsiune din solicitări axiale..... | 49 |
| 3.9.4 Tensiuni de încovoiere și de torsiune în cablurile cu rotire neîmpiedecată..... | 52 |
| 3.9.5 Curba de poziție ale sârmelor într-un cablu drept..... | 53 |

| | |
|---|-----|
| 3.9.6 Tensiuni de încovoiere și de torsiune într-un cablu drept solicitat la întindere..... | 55 |
| Exemplu de calcul, | 58 |
| 3.9.7 Repartizarea tensiunilor într-o secțiune reală al cablului influența pretensionării asupra fiabilității..... | 60 |
| Capitolul 4 | |
| Contribuții la analiza cercetării cablurilor de susținere și ancorare..... | 63 |
| 4.1 Studiul cablurilor pe porțiuni, a firelor rupte și a siguranței în exploatare..... | 65 |
| 4.2 Urmărirea calității stratului de protecție, înnoirea acestora în cazul degradării și urmărirea ieșirilor de materiale de ungere în timpul exploatării..... | 65 |
| 4.3 Influența rugozității suprafețelor sârmelor asupra fiabilității..... | 68 |
| 4.4 Contribuții la analiza cercetării protecției împotriva coroziunii ale cablurilor din oțel..... | 69 |
| Măsuri de întreținere al cablurilor pe construcții în exploatare..... | 70 |
| Prezentarea comparativă al procedeelor de acoperire cu zinc și galvan..... | 72 |
| Analiza rezistenței la coroziune..... | 75 |
| Prezentarea și aprecierea rezultatelor..... | 76 |
| Analiza stabilității straturilor de protecție în apă-condens-clima-constantă..... | 77 |
| 4.5 Contribuții la analiza cercetării procesului de rupere al sârmelor și al cablurilor..... | 79 |
| Suprafața reală a secțiunii sârmelor în cabluri..... | 79 |
| Controlul cablurilor prin metoda magneto-inductivă..... | 81 |
| Materialul sârmelor cablurilor..... | 82 |
| Proprietățile magnetice ale sârmelor cablurilor..... | 83 |
| Auto-magnetizarea sârmelor din cablurile din oțel, în decursul solicitărilor..... | 86 |
| Principiul de funcționare a instalațiilor de verificare magnetoinductive..... | 88 |
| Metoda de calcul al concentrației fluxului în sârmă și în zona ruperii..... | 89 |
| Verificarea sârmelor rupte prin metodă vizuală și magneto-inductivă | 90 |
| Neajunsurile controlului vizual, Avantajele controlului cu videocamere..... | 91 |
| Defecțiuni care apar de regulă la măsurători..... | 93 |
| Fenomenul de degradare a sârmelor în zonele cu elementele de fixare | 94 |
| Avantajele fixării cablurilor cu compozit cuarț-poliamidă la rece..... | 94 |
| 4.6 Contribuții la cercetarea solicitărilor secundare..... | 97 |
| Studiul determinării frecării și a tensiunilor secundare..... | 98 |
| Studiul frecărilor dintre sârmele cablurilor de susținere și ancorare..... | 99 |
| Studiul influenței frecării în cablurile de susținere și ancorare..... | 101 |

| | |
|---|---------|
| Calculul tensiunilor secundare..... | 103 |
| Tensiunea secundară de tracțiune a unei înpletituri din sârme..... | 105 |
| 4.7 Măsurarea alungirii cablurilor datorită variației de temperatură, a circulației vehiculelor, acțiunii vântului și datorită vibrațiilor..... | 107 |
| Măsurarea temperaturii mediului ambiant, pe stratul protector și sub acest strat..... | 108 |
| Analiza variației și a frecvenței alungirii cablurilor..... | 109 |
| Determinarea solicitărilor și variația acestora, din greutatea proprie a construcției, din rularea vehiculelor, prin măsurarea alungirii cablurilor..... | 110 |
| Măsurarea alungirii cablurilor în paralel cu observarea în același moment cu înregistrarea video a vehiculelor care circulă pe pod..... | 113 |
| 4.8 Aspecte specifice fiabilității cablurilor din oțel..... | 117 |
| Diametrul optimal și cel economic pentru cablurile de oțel..... | 119 |
| Capitolul 5 | |
| Contribuții la cercetări experimentale în laborator..... | 120 |
| Parametri urmăriți în experimente..... | 120 |
| Instalații de încercare..... | 121 |
| Încercări de rupere fir cu fir..... | 122 |
| Mașina de încercat la tracțiune..... | 123 |
| Realizarea capetelor de prindere al epruvetelor cablurilor..... | 124 |
| Rezultatele încercării cablurilor la rupere..... | 126 |
| Evaluarea rezultatelor încercărilor cablurilor și al legăturilor de sârme..... | 127 |
| Concluzii finale..... | 129 |
| Bibliografie..... | 130-141 |

Capitolul 1.

Stadiul actual al cercetării cablurilor din oțel

1.1. Introducere

Cercetarea, realizarea și exploatarea cablurilor din oțel prezintă o problemă tehnică și economică de mare importanță, cablurile constituie elemente importante în structura mașinilor și instalațiilor de ridicat și în structura construcțiilor de clădiri moderne ușoare și spectaculoase. Importanța lor este reflectată prin sarcinile ce revin industriei metalurgice, pentru a asigura fabricarea unor tipuri de cabluri cu performanțe ridicate de durabilitate, fabricate din sârme cu rezistența la rupere de 180...200 N/m². Pe lângă aceste obiective se necesită abordarea în continuare a aprofundării cercetării studiilor în domeniul încercărilor de materiale, în special la oboseală a cablurilor și al sârmelor componente ale acestora.

Caracteristicile cablurilor din oțel, de a prelua eforturi mari de tracțiune și de a putea fi înfășurate pe roți de diametre relativ mici, se datorează rezistenței mari la tracțiune a sârmelor din care se împletesc cablurile.

Una dintre primele notații despre tehnologia confecționării cablurilor din sârmă se datează prin ani 1500 în care renumitul pictor, sculptor și inventator Leonardo da Vinci a remarcat lângă una din creațiile sale următoarele: "Sârma pentru creația de mai sus trebuie să fie din sârmă din fier sau din cupru încins, altfel va fi de durabilitate scurtă. Sârmele amintite trebuie să fie de grosimea unei coarde de arc.

Este cunoscut că primul care s-a ocupat în mod curent de organele flexibile a fost inginerul Francois Vicat, la Grenoble – F (Vicat F., " Note sur l'allongement progressif du fil de fer soumis a diverses tension" in An des Ponts et Chaussées, 1834). Un început de utilizare s-a înregistrat în anul 1834 când Wilhelm August Julius Albert a utilizat în domeniul mineritului cabluri din oțel în locul cablurilor din cânepă, și conform prezentării lui Hoppe O. : "Alberts Versuche und Erfindungen " (in Stahl und Eisen, 1896).

Astfel nominalizate cronologic preocupările și rezultatele primelor cercetări de durabilitate, se menționează prin Albert (1829), Hodginson (1837), Puncelet (1839), Rankie (1843), Morin (1853), Mc Connel (1849), Wohler (1847), Gerber (1847), Bach (1889). Albert numit în anul 1806 consilier de mine la Clausthal, administrația minelor din Hartz, deși jurist, intuiește necesitatea menținerii lanțurilor în exploatrările miniere, pe de o parte din motive economice erau costisitoare și totodată greu de prelucrat, iar pe de altă parte, datorită duratei de funcționare extrem de scurt a funiilor.

În preocuparea lui Albert de a menține lanțul din zale forjate, el aduce o serie de îmbunătățiri în tehnica transportului minier, introducând lanțul fără sfârșit, de care erau prinse două găleți: una care urcă și alta care coboară, introducând astfel pentru prima dată înfășurarea diferențială a organului flexibil, idee care mai fusese propusă încă în anul 1685 de către matematicianul Leibnitz, dar a cărei materializare nu s-a realizat din cauza dificultăților tehnice din acea vreme.

Lanțurile fabricate și utilizate nu au adus rezultate satisfăcătoare, se producea ruperea zalelor, cauză care l-a determinat pe Albert să studieze suprafața de rupere, și caracteristica oțelurilor, fapt care a condus la începuturile încercărilor la oboseală.

În anul 1833, Albert epuizează toate îmbunătățirile realizabile în acea vreme, lanțurilor forjate sau sudate după procedeul lui von Reden (1772), în vederea măririi durabilității lor, fără a ajunge la rezultate pozitive întrucât ruperile au continuat, ajungând la concluzia că elementul de tracțiune folosit, lanțul, trebuie schimbat cu un element flexibil ce se poate îndoii sau înfășura ușor.

Cablul din oțel. La data de 3 februarie 1834, W.A J. Albert introduce pentru prima dată în tehnica mașinilor de ridicat o porțiune de cablu, confecționat din trei toroane, care la rândul lor erau formate din trei sârme de diametru 3,5 mm. După 500 de cicluri de îndoire suferite de acest cablu s-a constatat că a rezistat în bune condiții. Această încercare la oboseală în condițiile exploatării a constituit elementul hotărâtor în istoria folosirii lui la mașinile de ridicat. Confecționând cabluri din șțrmă de 3,5 mm, Albert le montează în iulie 1834 la puțurile Carolina, care avea o adâncime de 484 m, iar toba de înfășurare de 2,2 m.

Caracteristicile primului cablu introdus în exploatare au fost: diametrul cablului fără inserție era de 18 mm, iar cablarea s-a făcut cu un pas egal cu 15 ori diametrul toronului. Față de rezistența de rupere al sârmelor componente,

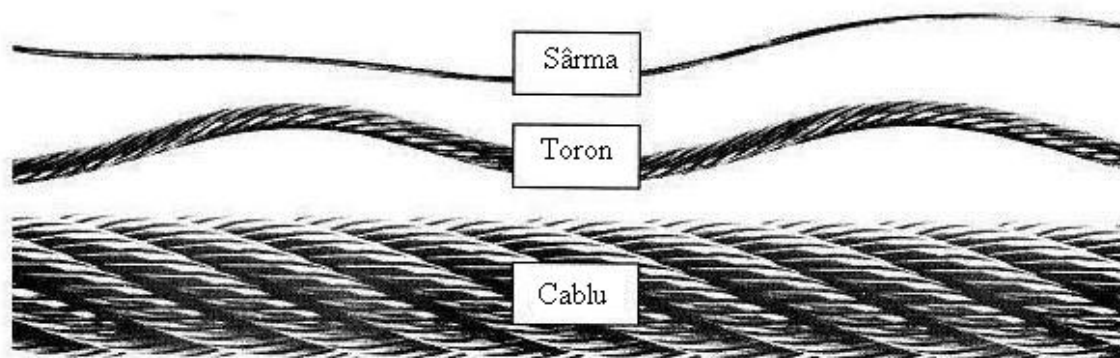
tensiunea statică maximă de întindere era de $9,5 \text{ kgf/mm}^2$, cablul funcționând deci la un coeficient de siguranță de 5,6, sarcinile dinamice au fost mici întrucât viteza de ridicare a sarcinii era de 1,5 m/s.

Într-un timp foarte scurt, utilizarea cablurilor împletite din sârme de oțel s-a extins în Europa, apoi în America, mai ales după ce la Viena, Wurm pune la punct o mașină pentru împletirea cablurilor.

Utilizarea cablurilor ca elemente de susținere și ancorare. Aproape în paralel cu preocupările lui Albert pentru îmbunătățirea cablurilor folosite la lucrările de extracție minieră, la Grenoble, inginerul de drumuri și șosele Francois Vicat urmărea în mod științific posibilitatea utilizării cablurilor la construcția podurilor suspendate. În vederea lămuririi unor probleme legate de durabilitatea cablurilor solicitate la sarcini mari, în timp îndelungat, Vicat examinează între anii 1830- 1833 deformațiile produse în diferitele probe din sârme, încărcate cu diferite greutăți, timp de circa 25000 ore, adică aproape 3 ani. Încercările lui pot fi deci considerate adevărate încercări de fluaj la temperatura mediului ambiant.

Cercetările lui au stat la baza proiectării și construcției podului suspendat din Sone, pe Iser, care a fost construit în anul 1833 și distrus în timpul celui de al doilea război mondial, confirmând printr-o durată de mai bine de un secol, justetea concluziilor inginerului Vicat.

1.2. Tipuri constructive și geometrice ale cablurilor mai uzuale



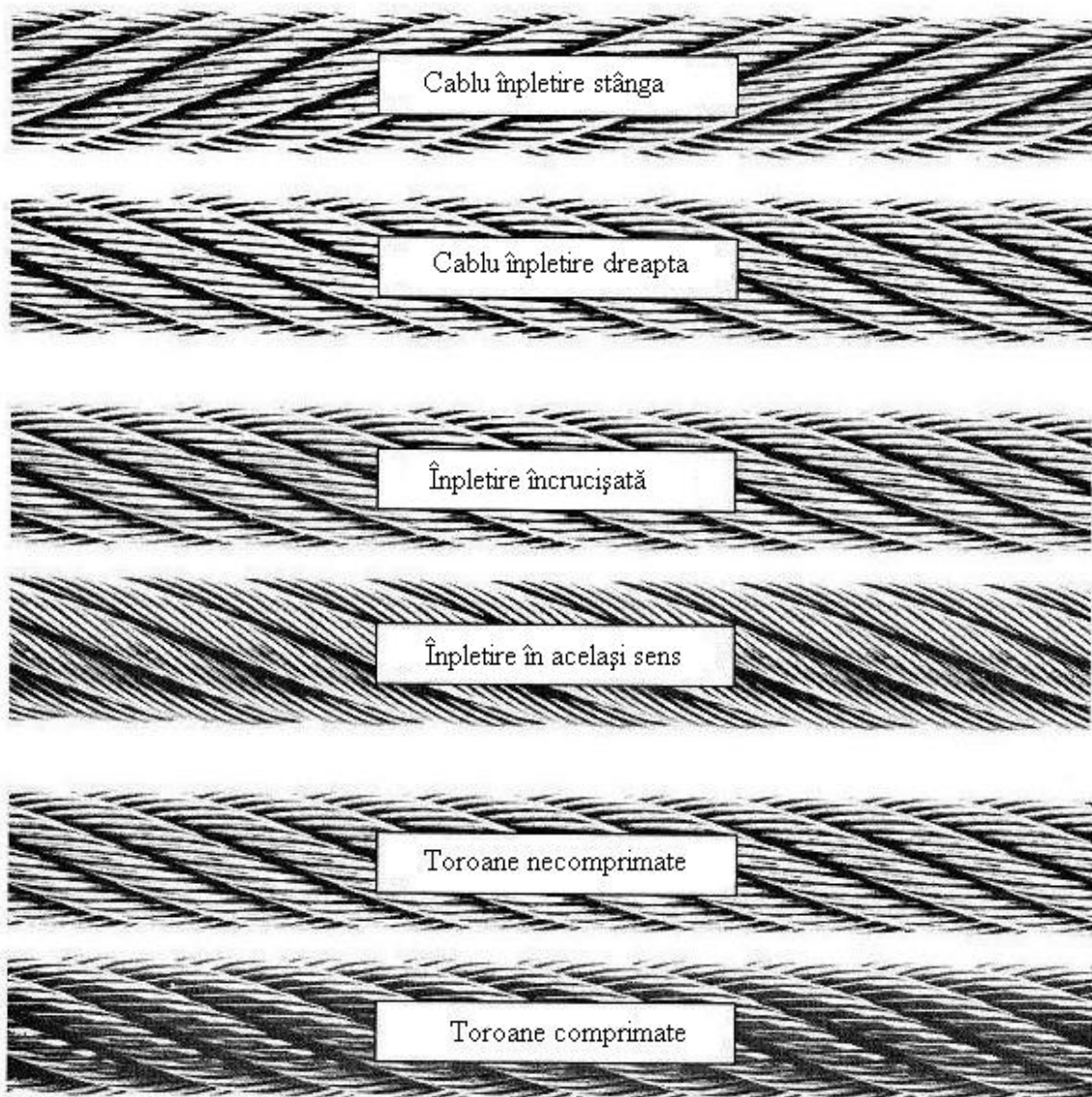


Fig. 1.1

La cablurile cu toroane comprimate toroanele se înpletesc după procedeul obișnuit, urmat de un proces de deformare prin tracțiune după care diametrele toroanelor se reduc și suprafețele se aplatizează. Contactele dintre sârmele se realizează prin suprafețe mărite, la fel se aplatizează și se mărește și suprafața de contact al cablului.

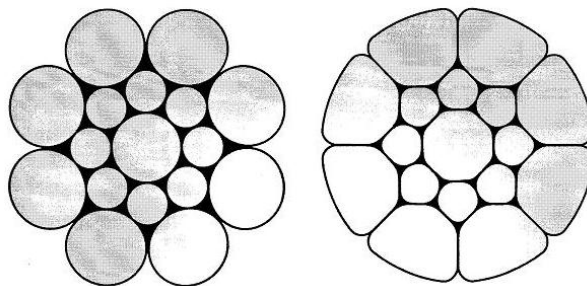


Fig. 1.2

Cablurile astfel realizate dispun de o forță de rupere și flexibilitate mărită față de cablurile din toroane convenționale și se culcă mai bine în locașul rozelor. Datorită dimensiunii suprafețelor mărite ale sârmelor exterioare, sunt mai rezistente față de uzură și față de coroziune. La cablurile convenționale există posibilitatea ca suprafețele sârmelor extrioare să se deterioreze, iar la cele comprimate aceasta deteriorare este mult mai redusă. Cablurile comprimate sunt utilizate cu precădere la funiculare și la macerale, mai ales la înfășurare pe tobe în multistrat.

Influența cablării paralele și celei încrucișate

La cablarea încrucișată a toroanelor și al cablurilor, au toate sârmele și toroanele lungimi de cablare diferite. Rezultă încrucișări de sârme și de toroane, cauzând solicitări puternice puntiforme care poate duce la ruperi timpurii de sârme mai ales în straturile interioare.

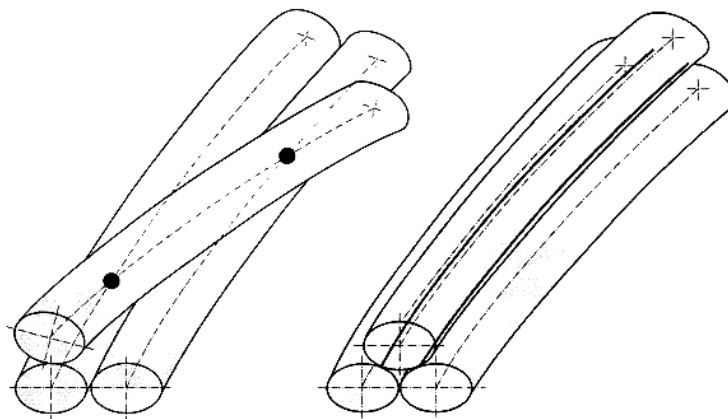


Fig. 1. 3

La cablarea, respectiv toronarea paralelă a cablurilor și a sârmelor, toate sârmele și toroanele, au aceeași lungimi de cablare respectiv toronare. Contactele formate sunt liniare și optimal avantajoase pentru preluarea solicitărilor de contact dintre elemnte.

Caracteristicile cablurilor cu rotire împiedecată

La un cablu cu cablare convențională, o forță de tracțiune exterioară produce un moment care caută să rotească cablul în sensul invers al cablării. Un cablu cu rotire împiedecată este compus dintr-un cablu central care este cablat în sens invers cablării toroanelor exterioare.

Sub acțiunea solicitării forței de tracțiune, cablul central caută să se rotească într-un sens, iar toroanele exterioare în sensul invers.

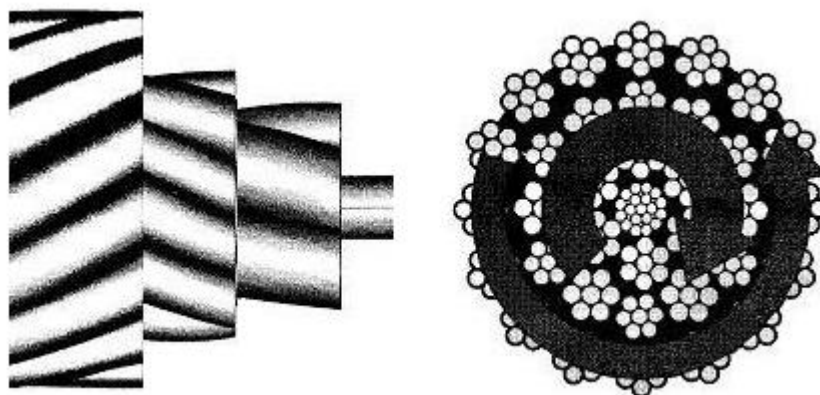


Fig. 1. 4

Construcția geometrică al cablului este alcătuit astfel ca cele două momente de rotire se anulează între ele reciproc și cablurile nu manifestă o tendință de rotație, chiar la lungimi mari.

Caracteristicile cablurilor cu inimă din PVC

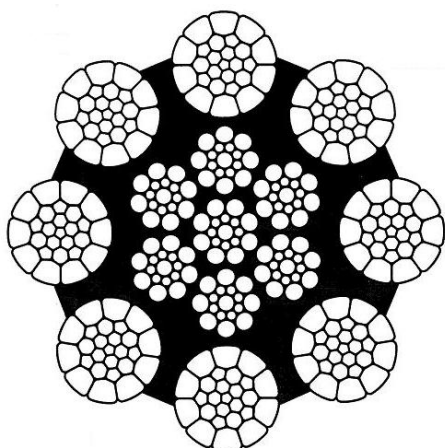


Fig. 1. 5

Inima din PVC stabilizează cablul la montaj, înglobează materialul de ungere, nu permite intrarea umezeli și a impurităților, împiedică ruperea sârmelor din zonele interioare, absoarbă energiile dinamice, conferă cablurilor o funcționare mai silențioasă, ține împreună elementele cablurilor și asigură evitarea producerii contactelor mai ales între toroanele exterioare.

1.3. Caracteristicile sârmelor folosite la fabricarea cablurilor de tracțiune din oțel

Dezvoltarea confecționării cablurilor din sârmă este strâns legată de dezvoltarea tehnici de trefilare. De remarcă este că fabricarea sârmei de oțel a fost cunoscută încă cu mult înainte utilizării ei la fabricarea cablurilor.

La începutul secolului al XIV-lea, se fabricau sârme, cu ajutorul unor ciocane speciale, iar la sfârșitul secolului prin trefilarea în filiere, la început producându-se manual sârme mai subțiri, iar mai târziu utilizând energia roților antrenate de apă, s-au fabricat sârme mai groase. În anul 1783 se pune la punct în Anglia procedeul de laminare în calibru a sârmelor, procedeu care se perfecționează necontenit permițând ca în anul 1820 să existe în Germania primele laminoare de sârmă, care în principiu s-au păstrat până în prezent.

Confecționarea sârmelor cu rezistență ridicată a apărut la începutul secolului 20, după introducerea tratamentului termic deosebit, numit Patentare, și după perfecționarea tehnologiei de trefilare a sârmelor din oțel. Din producția anuală de oțel circa 6 – 10 % este absorbită de sectorul de trefilare.

Fazele principale în fabricarea sârmelor trefilate sunt: pregătirea suprafeței care constă în îndepărtarea oxidului, de obicei pe cale chimică prin decapare. Este un procedeu costisitor și se încearcă reducerea cheltuielilor prin regenerarea soluțiilor acide uzate. Alte procedee: curățirea pe cale mecanică prin îndoirea sârmei peste o role cu perie, urmată de o curățire fină, prin ștergere sau vibrație electromagnetică și prin lovirea suprafeței cu alice din sârmă dură. Se utilizează și procedee mixte.

Trefilarea se face cu viteze mari de lucru, iar instalațiile sunt răcite prin sisteme speciale. Tratamentele principale sunt: recoacerea, patentarea –călirea izotermă- și îmbătrânirea. Recoacerea se aplică, în general, sârmelor din oțel moale, iar patentarea și îmbătrânirea, sârmelor din oțeluri mai moi.

Instalațiile moderne de patentare sunt formate din linii tehnologice continue, care execută simultan mai multe operații, patentarea, decaparea, fosfatarea sau zincarea. Tendința este de a-se înlocui mediul de răcire –plumbul- prin săruri, azotat de sodiu, cu hidrat de sodiu, sau aer.

În cazul sârmelor de oțel tare, zincarea, ca operație finală, se execută electrolitic. Sârma patentat-zincată se supune trefilării și în felul acesta pierderea proprietăților de rezistență, provocată de zincarea la cald, se recâștigă prin ecrusare, îmbunătățindu-se în același timp și rezistența la coroziune a stratului de zinc.

Înbătrânirea se aplică la sârmele pentru beton precomprimat, care, pe lângă calități de rezistență și alungire mare, trebuie să aibă și calități reologice superioare, limită de curgere, fluaj și relaxare.

Înbătrânirea artificială constă în îndreptarea și încălzirea de scurtă durată a sârmei la cca. 250 – 350° C, într-o baie de plumb sau azotat de sodiu.

Caracteristicile mecanice și tehnologice ale sârmelor pentru cabluri de tracțiune depind de numeroși factori. Durabilitatea cablurilor de tracțiune depinde în mare măsură de calitatea sârmelor componente. Rezistența la rupere a sârmei trase din oțel depinde de: conținutul de carbon, condițiile de patentare, reducerea de secțiune, adăugându-se la aceste factori secundari, condiționați de modul de elaborare a oțelului ca: puritatea, mărimea grăuntelui austenitic etc.

Calitatea sârmei trefilate se apreciază nu numai după rezistența la tracțiune, ci și după numărul de îndoiri la care se rupe sârma. Aceste încercări tehnologice indică posibilitatea de deformare a sârmei la solicitările la care este expusă sârma în timpul procesului de fabricație al cablului și mai târziu în exploatare.

Variația numărului de îndoiri la oțelurile cu conținut mai mic de carbon 0,3% ... 0,4%, nu este influențată de reducerea de secțiune, acest număr rămânând ridicat față de celelalte sortimente de oțeluri. Pe măsură ce conținutul de carbon crește, influența reducerii de secțiune devine tot mai evidentă. Practica a arătat că pentru fabricarea sârmelor componente ale cablurilor de tracțiune, reducerea optimală de secțiune prin trefilare este de 80%, la care se obține o rezistență la rupere mare și un număr ridicat de îndoiri alternante și răsuciri până la rupere.

1.4. Clasificarea cablurilor din oțel, după domeniile de utilizare

În anul 1984 în revista VDI (Verein Deutsche Ingenieure) Nr 2358 s-a prezentat o clasificare a cablurilor din oțel, după domeniile de utilizare: cabluri rulante, cabluri de susținere, cabluri de tracțiune –funiculare- și cabluri pentru legături și transport.

În figurile următoare sunt prezentate exepile în acest sens.

Este de remarcă faptul că se poate considera ca pionerat construcția podului din USA denumit “ GOLDEN GATE BRIDGE”, la construcția căruia, datorită deschideri mari de 2000m dintre piloane și a condițiilor tehnice de atunci, sârma pentru cabluri a fost transportată la locul construcției, iar cablurile au fost impletite la fața locului.



Fig.1.6-[176] Cabluri rulante



Fig.1.7 Cabluri de susținere și ancorare



Fig.1.8-[176] Cabluri pt. legături și transport

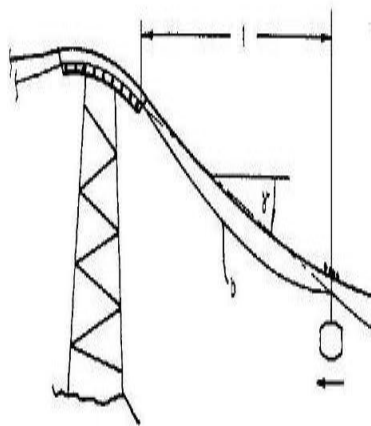


Fig.1.9 Cabluri de tracțiune-funiculare

In comparație cu cablurile rulante, cablurile de susținere și ancorare în general nu sunt solicitate la îndoiri alternante și față de cablurile de tracțiune nu sunt solicitate la forțe trasversale. *În lucrarea de față vor fi studiate și cercetate cablurile de susținere și ancorare, care în construcțiile moderne sunt utilizate în cazuri foarte variate.*

Cablurile de susținere și ancorare sunt utilizate la construcția podurilor, stadioanelor, turnurilor de foraj, antenelor și la alte construcții ușoare.



Fig.1.10-[176] Arena Sportivă din Frankfurt/Main

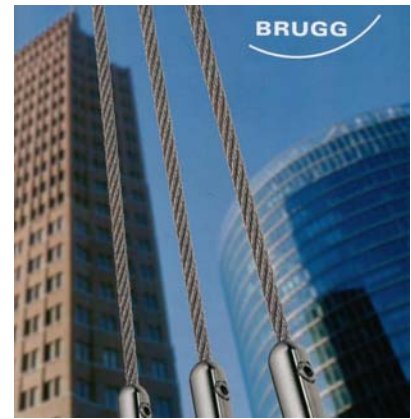


Fig.1.11 Comnstrucții din Elveția

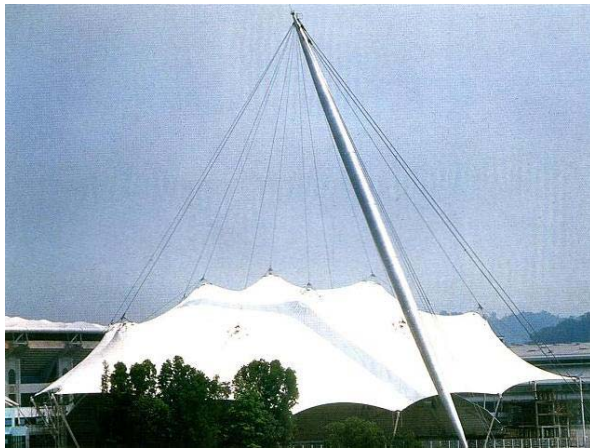


Fig.1.12-[176]Complex sportivKuala Lumpur

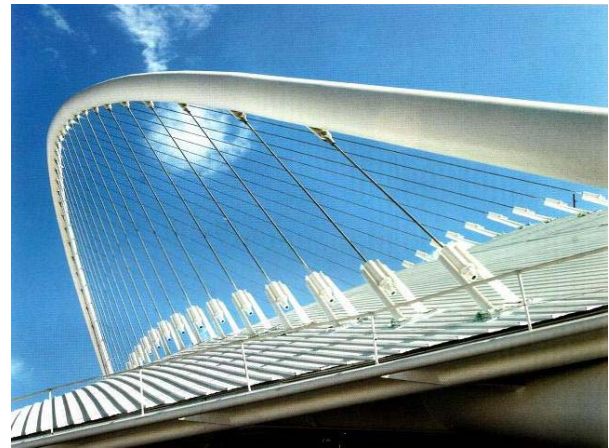


Fig.1.13-[176]Velodrom Olympic Athena

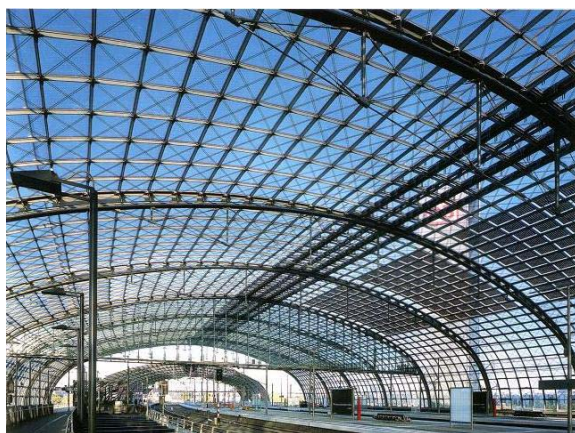


Fig.1.14-[176] Gara centrala, Berlin



Fig.1.15 Podul Sutong, râul Jangtse-China

1.5. Stabilirea și motivarea temei alese

Durata de viață sau mai bine zis durata de funcționare –fiabilitatea-, la fel și momentul ieșirii din uz al cablurilor rulante pe șaibe de cabluri au fost și sunt foarte intensiv cercetate. Numeroase cercetări, ca de exemplu stabilirea fiabilității cablurilor de rulare supuse la îndoiri alternante au contribuit în mare măsură la clarificarea parametrilor de solicitare și fiabilitate ale acestor cabluri. În anul 2000 Prof. Feyrer [1] a sistematizat rezultatele cercetărilor îndelungate, a prezentat statistic și astfel a realizat o metodă de calcul al fiabilității cablurilor rulante din care un extras este prezentat în capitolul studii teoretice. Cu această metodă este posibilă cu certitudine calculul fiabilității și al momentului de ieșire din uz al transmisiilor cu cabluri din oțel rulante pe șaibe și tobe.

Pentru cablurile care sunt supuse în exploatare exclusiv la solicitări de tracțiuni variabile, cum sunt cele *de susținere și ancorare*, nu s-au întreprins încă cercetări suficiente în vederea elaborării unei metode de calcul al fiabilității și al ieșirii din uz ale acestora. Cauza principală care impune necesitatea acestor cercetări, este dezvoltarea mereu crescândă a construcțiilor de poduri și clădiri moderne concepute și realizate în varianta usoară și spectaculoasă, utilizând în structuri cabluri din oțel.

Întrucât domeniile de utilizare și astfel felul solicitărilor sunt foarte variate, încă nu sa putut stabili o metodă prin care să fie posibilă luarea în considerare a tuturor variantelor de solicitări și a parametrilor prin care să fie posibilă elaborarea unei metode de calcul cu certitudine a parametrilor de ieșire din uz în aceste domenii ale cablurilor.

Cercetări în acest domeniu au fost întreprinse în anul 1991 de Chaplin și Potts [2]. Lipsește până în prezent o metodă convingătoare de evaluare a valorilor medii ale solicitărilor de tracțiune variabile, care să fie luate în calcule. Regulile de calcul valabile până în prezent sunt cuprinse în EN-DIN 15018 și în EN-DIN 18800 pentru cablurile –nerulante- de susținere și ancorare, bazând pe cercetări ale utilizării limitate ale acestora, utilizări care au o permanentă creștere.

Întrucât și în aceste domenii siguranța în exploatare are o importanță deosebită, fiind în legătură cu vieți omenești și valori materiale deosebit de mari, fapt care subliniază importanța deosebită al cercetării și al îmbogățirii metodei de stabilire a capacității cablurilor din oțel utilizate în aceste domenii.

Până în prezent lipsește o metodă cuprinzătoare de calcul care să permită aprecierea tuturor parametrilor care exprimă solicitările și variațiile acestora cu certitudine în calculul fiabilității. În stabilirea fiabilității cablurilor trebuie să fie luate în considerare atât solocitățile regulate cât și cele aleatoare care pot să apară în perioadele exploatării. Andorfer [3] în anul 1983 a stabilit în lucrarea lui de doctorat o metodă teoretică de calcul al fiabilității cablurilor de susținere și ancorare, dar a cuprins doar solicitările ce apar în mod regulat. Cu cercetarea solicitărilor neregulate și cuprinderea acestora în calcule s-a ocupat în teza lui de doctorat Andreas Klöpfer [4] în anul 2002 și arată că solicitările neregulate nu pot fi neglijate în stabilirea fiabilității și a cercetat apariția și înpărțirea efectivă a tensiuniilor în toroanele și în sârmele cablurilor.

In lumina acestor cerințe voi căuta să aduc o contribuție originală la dezvoltarea studiul și construcției structurilor cu cabluri flexibile din oțel, în special ale celor utilizate la podurile suspendate, la construcții civile și industriale moderne.

Capitolul 2.

Contribuții la studiul construcției și calității cablurilor din oțel

2. 1. Generalități

Dazvoltarea construcțiilor de masini și de utilaje la fel și al construcțiilor metalice industriale pe baza tendințelor tehnicii moderne impune cercetarea și experimentarea continuă a elementelor și sistemelor componente ale acestora în vederea realizării unor construcții, structuri cât mai perfecte, mai ușoare, mai sigure și cât mai fiabile.

Cablurile din oțel aparțin cu certitudine, a celor mai experimentate mijloace de tracțiune datorită principalelor lor avantaje tehnico-economice, satisfac cerințele impuse de funcționare și exploatare în diversele construcții, ca mecanisme de ridicat,

de transportat, funiculare, la fel și ca elemente de tracțiune în realizarea de construcții metalice moderne, ușoare cu deschideri relativ foarte mari și foarte ușoare, construite în perioada recentă pe plan național și mondial, poduri, pavilioane, stadioane etc., având în vedere avantajele pe care le conferă acestora, posibilitatea realizării unor construcții ușoare, zvelte cu aspecte deosebit de spectaculoase.

Cablurile din oțel sunt utilizate la transportul persoanelor și al materialelor, înainte de toate, în direcția verticală de la câțiva metri până la înălțimi mari. Astfel trebuie să fie asigurată siguranța persoanelor și nu numai ale celor transportate ci și ale acelor ce se află în zonele de acțiune ale acestor structuri în cauză.

Fiabilitatea cablurilor în aceleași condiții de utilizare au o perioadă de funcționare foarte variată –dispersată-, așa cum este pus în evidență prin observații practice și cercetările efectuate de Woernle [5], Mueller [6], Feyrer [1] und Wolf [7]. Cablurile rulante pot fi utilizate cu siguranță numai dacă sunt periodic verificate în privința cunoașterii și puneri în evidență a firelor rupte și a numărului acestora. Astfel de criterii de verificare și în cazul atingerii limitelor admise sunt cuprinse în norme, standarde, DIN15020, pentru majoritatea domeniilor de utilizare ale structurilor cu cabluri din oțel.

Două criterii importante de recunoaștere a atingerii limitei de fiabilitate sunt, *metoda vizuală* de verificare a numărului de fire exterioare rupte și cea mai nouă, prin *metoda magnetică* a punerii în evidență a numărului de fire rupte din interiorul cablului, și la atingerea numărului critic de fire rupte se procedează la înlocuirea cablului, cu cablu nou. Alte criterii suplimentare îmbunătățesc siguranța în funcționare a sistemelor cu cabluri.

Perioada de funcționare permisă –fiabilitatea- bazată pe numărul de fire rupte ale sistemelor cu cabluri flexibile a fost studiată în ultimul timp de cercetători și experiențele obținute au fost prezentate la simpozioanele naționale și internaționale.

Cercetările teoretice și experimentale asupra structurilor mecanice cu cabluri din oțel flexibile, inițiate pe plan mondial și național, desfășurate și în prezent începând cu lucrările pregătitoare din 1961 se constituie în 1963 Organizația Internațională pentru studiul durabilității cablurilor – O I P E E C – (Organisation Internationale pour l'Endurance des Câbles) (editează anual două buletine și în fiecare al doilea an o ediție dezvoltată), cu sediul în Paris Franța și în cadrul unor institute de cercetare, laboratoare, de ex. Universitatea di Timisoara și Laboratorul

de Rezistența materialelor din Timișoara și lucrări de doctorat, au reprezentat și reprezintă și în prezent un domeniu de investigare din ce în ce mai aprofundat și constituie un pas înainte în rezolvarea diferitelor probleme complexe ale acestor structuri mecanice.

Complexitatea proceselor funcționale și de solicitare a sârmelor componente ale cablurilor din oțel flexibile și caracterul unilateral și limitat ale posibilităților de cercetare teoretică și experimentală în lipsa mijloacelor de investigație cu aparatura adecvată modernă, nu au permis încă rezolvarea unor probleme care apar din solicitările complexe ale acestora, ca de exemplu: punerea în evidență împreună a tuturor sau a majorității detaliilor de solicitare, în multe cazuri de studii și experimente, doar unele tipuri de solicitări, neputând scoate în evidență interacțiunea dintre mai multe influențe și solicitări.

În centrul acestor cercetări au stat și stau și azi posibilitățile de îmbunătățire a durabilității cablurilor și posibilitatea de a se prognoștiza cu certitudine fiabilitatea cablurilor în diferite cazuri de utilizare.

În condițiile stadiului actual de cercetare al cablurilor din oțel flexibile și a noilor cerințe de exploatare la regimuri intensive și în mai mare siguranță, este necesară – așa cum se subliniază și în literatura de specialitate – de extinderea și aprofundarea cercetărilor teoretice și experimentale, în vederea îmbunătățirii bazei teoretice de calcul – cu noile posibilități de investigare Hard- și Software – și proiectare în vederea construcției și exploatării lor cât mai raționale.

Pentru garantarea calității momentane a unui cablu și prin aceasta a siguranței în funcționare, sunt necesare ambele metode de verificare, controlul vizual și magneto-inductiv. Controlul vizual cu ochiul este de durată relativ lungă și nu asigură o calitate constantă controlului cablurilor. Garantarea sigură a verificării tuturor firelor de pe circumferința cablului, la fel și ale firelor din interiorul cablului cu aparate megnetoinductive, se poate realiza numai cu videocamere din 4 direcții amplasate la câte 90° unul față de celălalt și transmiterea imaginilor prin intermediul unui computer la un monitor. Metoda permite verificarea firelor rupte, a diametrului cablului și a uzurii sârmelor, atât a cablurilor staționare cât și a celor în mișcare, înregistrarea datelor, analiza acestora, depozitarea și utilizarea acestor date independent de loc și de timp.

2. 2. Studiul calității cablurilor din oțel

Calitatea cablurilor din oțel trebuie examinată înainte de introducerea lor în exploatare, cât și la controalele periodice ale acestora, examinarea se face prin metoda distructivă, prin determinarea forței de rupere a epruvetei de cablu, fie prin încercarea fir cu fir a sârmelor componente, în conformitate cu standardele în vigoare.

În cadrul experimentărilor s-a constatat că, ruperea epruvetelor de cablu nu este concludentă, deoarece numai 3 % din cazurile experimentate s-a produs ruperea simultană în toate toroanele cablului. În felul acesta, s-a dovedit că toroanele nelucrând solidar, forța de rupere determinată de epruvetă nu reprezintă decât aproximativ comportarea cablului.

Experimentările distructive au acest dezavantajul să furnizează numai forța de rupere al cablului, fără alte date asupra calității cablului, necesare pentru o prognoză cu siguranță a fiabilității structurii cu cabluri în funcționare.

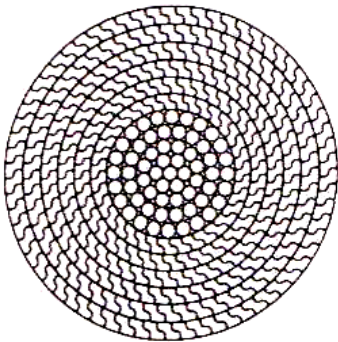


Fig.2.1

Încercările mecanice fir cu fir a sârmelor, ca: încercarea de tracțiune, îndoire alternantă rotativă, răsucire, încercare de reziliență, de presiune de contact și alungire după metoda Haigh – Robertson etc., furnizează date mai complete asupra proprietăților mecanice ale sârmelor, dar rezultatele acestor încercări sunt neconcludente pentru aprecierea calității și mai ales pentru durabilitatea cablurilor.

Datorită complexității acestor încercări, au rămas în vigoare în toate standardele încercările mecanice ale sârmelor mai sus menționate, încercări care furnizează date asupra rezistenței de rupere al cablului, a tenacității și omogenității materialului.

Cablurile nerulante de susținere și de ancorare, utilizate la construcțiile podurilor și a construcțiilor moderne, sunt expuse altor tipuri de solicitări decât cele care rulează pe role sau tobe. Aceste cabluri sunt în mare măsură cabluri cu secțiunea închisă, realizate din sârme profilate. Figura 2.1.

Pe lângă cablurile din sârme profilate sunt utilizate și cabluri din sârme rotunde, de construcție paralelă sau pachete de sârme protejate prin manta din tablă de oțel sau de mase plastice, Figura 2.2. *La aceste tipuri de domenii de utilizare și solicitări nu ne stau încă la dispoziție destulă documentație pentru durabilitatea cablurilor și în special pentru prognostizarea fiabilității lor.*

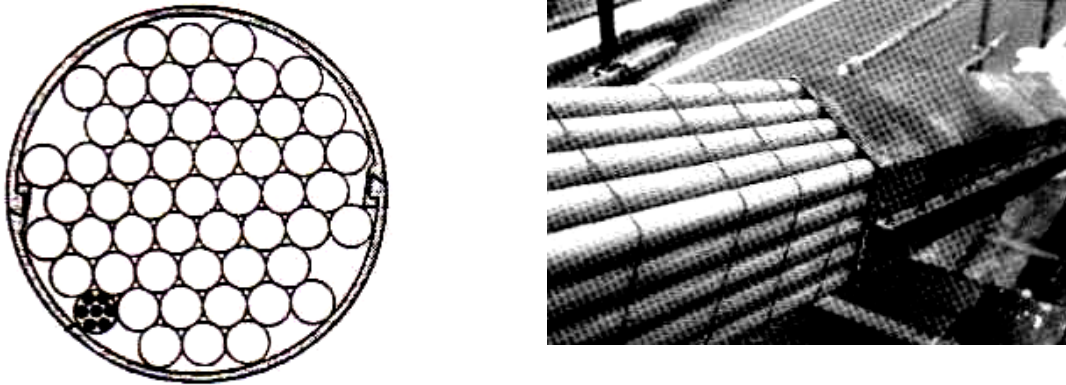


Fig.2.2-[59]

În acest sens se efectuează cercetări și în prezent în vederea măririi siguranței mai ales pe construcțiile deja existente, având în vedere necesitatea lărgirii, dezvoltării domeniilor de utilizare ale acestora în vederea realizării de construcții noi.

Criteriul pentru starea calității cablului este înainte de toate numărul firelor rupte în secțiunea cea mai solicitată al cablului.

*Astfel durabilitatea cablului este direct dependentă de solicitare și tensiunea din cablu. În comparație cu solicitarea unei bare de tracțiune din material plin, un cablu este un complex dintr-o legătură de mai multe fire, astfel un sistem redondat, la care în cazul ruperii unui sau a unor fire, solicitarea este preluată de celelalte elemente. Supunem un cablu unei forțe de tracțiune, sârmele sunt în cazul ideal solicitate în funcție de poziția lor geometrică față de axa cablului. Tensiunile provenite din această întindere se numesc *solicitări primare*, iar cele provenite din interacțiunea dintre fire și datorită pozițiilor lor geometrice se numesc *solicitări secundare* și împreună au o repartizare neuniformă.*

Din măsurătorile efectuate rezultă că distribuția valorii solicitărilor poate fi de la 1 până la 5 ori. Ca urmare durabilitatea cablurilor este influențată puternic de aceste variații ale solicitărilor și tensiunilor. În funcție de felul cablării se pot efectua determinări prin aproximare ale tensiuniilor prin calcule.

Acestate sunt cauzele pentru care până azi nu sa reușit determinarea precisă prin calcul a tensiunilor și al durabilității în funcție de tensiunile din cabluri.

Astfel *experimentările formează o parte importantă și de neînălțurat* al cercetării în stabilirea durabilității cablurilor. Întrucât experimentările sunt foarte costisitoare în bani și în timp, se impune cu strictețe elaborarea unor metode de determinare a fiabilității prin calcule și pentru structuri cu cabluri de susținere și de ancorare pentru diversele domenii de utilizare, făcând uz de posibilitățile și metodele noi conferite de calculatoarele numerice și programele moderne.

Determinarea fiabilității construcțiilor cu cabluri din oțel presupune analiza și cunoașterea tuturor factorilor care intervin și au o importanță deosebită în stabilirea capacității portante a acestora.

O inportanță deosebită prezintă coroziunea sârmelor din cabluri și protecția acestora împotriva coroziunii. La cablurile rulante la fel și uzura sârmelor exterioare. Se cunosc o serie de aprecieri calitative asupra factorilor care în anumită măsură accelerează, ruperea sârmelor din cablu. Conform recomandărilor OIPEEC Nr.4.

Din studiile întreprinse asupra rezistenței cablurilor se constată în mod cert un număr foarte mare de factori care intervin în definirea rezistenței cablurilor din oțel, după unii autori ajungându-se la 14 factori care influențează aceste mărimi, în cazul cablurilor rulante. Singura metodă eficace în asemenea cazuri este studiul statistic al mărimilor determinate, care trebuie să stabilească în final, tendințele de variație a parametrilor statistici aferenți acestori mărimi mecanice studiate.

Astfel de factori de influență sunt:

După felul cablului: construcția, calitatea materialului și duritatea, diametrul cablului d și d_{ef} , rezistența materialului, R_0 și R_m , felul lubrificării, protecția împotriva coroziunii,

După condițiile de cercetare sau funcționare: forța de tracțiune al cablului F , temperatura T (dacă e mai ridicată de 50°), unghiul de înfășurare (dacă e mai mic de 30°), lubrificarea repetată în timpul funcționării, etc.

Rezultatul urmărit: Punerea în evidență a dezvoltării ruperii sârmelor și a variației diametrului cablului.

Cablurile din sârme de secțiune rotundă se utilizează cu precădere la mașini de ridicat ca și cabluri de rulare care în construcțiile moderne au o utilizare limitată.

Elemente de legătură și de ancorare se fixează pe cabluri prin turnare, cu cleme presate din aluminiu și cleme presate din oțel. În stadiul actual se utilizează pentru fixarea elementelor de legătură prin turnare, compozite ca de exemplu Wirelock, cu avantajele că turnarea se face la rece și solidificarea compositului într-un timp relativ scurt, cca o oră, astfel nu influențează termic sârmele care sunt incluse în capătul de fixare.

2.3. Verificarea proprietății cablurilor de susținere și ancorare

Cablurile de susținere și ancorare se verifică la precizia geometrică a lungimii, ceea ce presupune ca după pretensionare și încărcare să prezinte precizia –lungimea- prescrisă. Înainte de toate se verifică modulul de elasticitate a fiecărui cablu la solicitare de 5 ori, încărcare și descărcare, și se ajunge la alungiri repetabile ca în Figura 2.3.

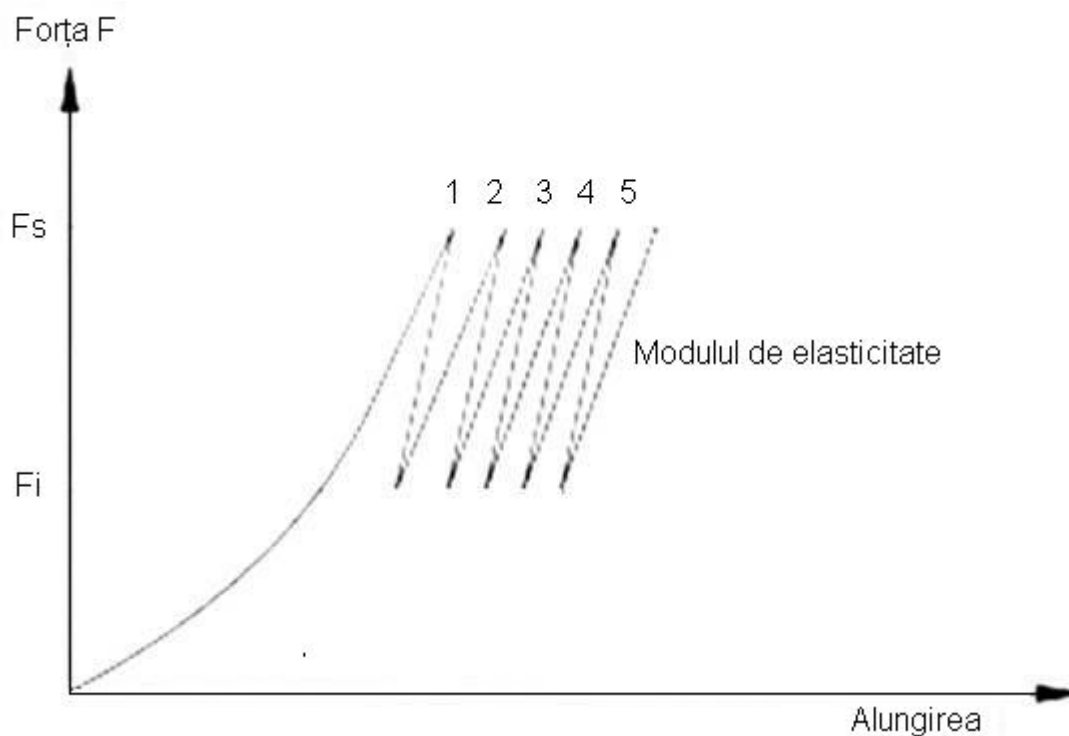


Fig. 2.3

Cablurile nesolicitate prezintă o diagrama Forță – Deformație neliniară. Chiar cabluri de aceeași construcție și același diametru pot avea lungimi comparabile după o solicitare definită. Alungirea în domeniul circulației a unui cablu poate fi prognostizată –prevăzută- numai după procedeul de îndreptare și pretensionare.

Din acest motiv, cablurile pentru domeniile de susținere și ancorare sunt îndreptate și lungimea necesară prescrisă se măsoară în stadiul pretensionat.

Geometria și pretensionarea cablurilor de susținere și ancorare de același fel, sunt asigurate și respectate la confecționarea lor la fabricare.

Prima dată se va stabili modulul de elasticitate pentru fiecare tip de cablu și pentru fiecare diametru după solicitări de 5 ori între F_i și F_s ca secantă, măsurată. La aceste încărcări și descărcări repetate se așează sârmele toroanelor din cabluri în așa fel la olaltă, ca la solicitările următoare să prezinte aceleași caracteristici de deformație la aceleași solicitări.

La execuție se țin cont de toleranțele prevăzute și de temperatura prevăzută controlată. În majoritatea cazurilor se prevede și se respectă o reducere a lungimii cablurilor, ca după montaj sub acțiunea greutateii proprii ale construcției să ajungă la lungimea prevăzută.

La pretensionarea lungimii cablurilor vor fi respectate următoarele :

- temperatura de pretensionare aceeași cu cea de măsurare,
- așezarea dispozitivelor de fixarea la capete, după răcire și solicitare lor
- alungirile suplimentare după așezarea elementelor pe cabluri

2. 4 Importanța protecției împotriva coroziunii

Protecția împotriva coroziunii are o importanță deosebită, trebuie să fie prevăzută în concordanță cu mediul ambiant și să aibă un efect de lungă durată. Putem deosebi 4 domenii deosebite :

- 1- Protecția împotriva coroziunii prin măsuri luate la execuția întregii construcții,
- 2- Protecția împotriva coroziunii a fiecărei sârme,
- 3- Protecția împotriva coroziunii ale cablurilor prin măduva interioară,
- 4- Protecția împotriva coroziunii ale cablurilor prin acoperirea suprafeței exterioare.

La construcții unde circulă autovehicole, cablurile trebuie să aibă o protecție față de stropire cu material de dezghețare, antigel, etc.

La zincarea sârmelor se prevăd grosimi de straturi diferite în clase A și B, la fel și în funcție de tipul și diametrul sârmelor, între 70 g/mq și 290 g/mq. La zincare GALFAN se atinge o greutate pe suprafață de 300 g/mq. La sârme până la 3 mm diametru, se utilizează în anumite cazuri și sârme inoxidabile. La protecții interioare trebuie să fie asigurată posibilitatea introducerii ulterioare a materialului de ungere.

Elementele de legătură și armăturile trebuie să fie protejate suplimentar, la fel și cablurile în zonele de contact cu acestea. Elementele și cablurile din oțel inox se polizează suplimentar.

Capitolul 3. Studii teoretice

Contribuții la studiul fiabilității cablurilor din oțel

Introducere

Stadiul actual, mereu cercetat, pentru a se putea desfășura o activitate utilă, pentru a se putea continua, pentru a aduce contribuții prin studiile întreprinse, sarcina revine în primul rând realizării și cunoașterii literaturii de specialitate în domeniul (OIPEEC – Bibliografie Review of O.I.P.E.E.C. Technical Publications 1963 – 1995).

OIPEEC are o gamă largă de preocupări pe care în mod sistematic le-a înregistrat, le prelucrează și contribuie la aprofundarea studiilor, la găsirea răspunsurilor la multe întrebări, la analize și expertize, acestea se împart în următoarele teme:

- Studii experimentale de fiabilitate,
- Metode de încercare a fiabilității,
- Mecanisme de degradare,
- Cercetarea cablurilor utilizate în ingineria civilă, construcții moderne.

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

3.1 Fiabilitatea structurilor cu cabluri din oțel

La structurile cu cabluri din oțel, elementul critic al structurii este considerat cablul. Ca urmare cablul determină portanța și fiabilitatea structurii (construcției) cu cablu. Formele de avariere ale cablului după natura principalelor cauze care le determină sunt: Degradarea prin oboseală, ruperea sârmelor și în final al cablului,

cauzate de solicitările de tarçțiune și încovoiere pulsantă, producând tensiuni complexe longitudinale, transversale și comprimări locale. Pierderea de secțiune prin uzură și coroziune. Modificări de structură și de elasticitate. Deteriorări prin lovituri, deformarea geotriei firelor și a compactității cablului.

Apariția acestor avarii după perioade de funcționare relativ reduse – fiabilitatea redusă – este favorizată de fenomenele cinematice și dinamice specifice, generate de efectele din procesul de funcționare.

După conceptele și termeni teoriei fiabilității, fiabilitatea – siguranța în funcționare – reprezintă proprietatea calitativă a unui produs de a-și păstra parametri de ieșire în limitele admise, în condiții de exploatare date. Fiabilitatea se apreciază cu ajutorul caracteristicilor de fiabilitate.

Pentru o construcție –structură- cu cabluri, principalele caracteristici de fiabilitate sunt : capacitatea de funcționare, menținerea acestei capacității pe durata de funcționare (viață) și eficacitatea.

Prin capacitatea de funcționare se înțelege proprietatea structurii cu cablu de a corespunde – la un moment de timp dat – tuturor cerințelor impuse prin documentațiile tehnice, parametrilor săi de lucru pentru funcționarea normală.

Durata de funcționare constituie proprietatea structurii de a-și păstra capacitatea de funcționare, cu pauzele necesare pentru întreținerea tehnică și reparații, - în cazul mecanismelor și al structurilor cu cablu -, până la starea extremă prevăzută în norme sau în documentația tehnică.

Dacă prin eficacitate înțelegem gradul de realizare de către mecanism a funcțiilor sale, în condițiile date, atunci este evident că pierderea parțială a capacității de funcționare determină reducerea eficacității.

Cresterea fiabilității se poate realiza prin rezervare, adică prin adăugare de elemente suplimentare față de cele minim necesare pentru realizarea funcțiilor respective. Aceste elemente în cazul general se numesc elemente de rezervă sau redondante. Cablul în sine este un sistem redondant. La ruperea unei sârme în cablu, sarcinile sunt preluate de celelalte sârme învecinate.

În cazul mecanismelor cu cablu, prin metodele uzuale elaborate în vederea reducerii variațiilor caracteristicilor cinematice și dinamice se asigură creșterea fiabilității lor, iar în cazul structurilor cu cabluri prin adăugarea de elemente elastice

în vederea reducerii, eliminării vibrațiilor. În cazul când adăugarea elementelor este cu caracter definitiv se numește *redondanță specială de tip 1*, iar în cazurile în care adăugarea elementelor ca piese de schimb se realizează la o durată și evoluție a uzurii bine determinată, se numește *redondanță specială de tip 2*.

Din cele de mai sus reiese că fiabilitatea mecanismelor și ale structurilor cu cabluri înglobează funcționarea fără defecțiuni, restabilirea și durata de funcționare.

În studiul fiabilității macanismelor și ale structurilor cu cabluri distingem fiabilitatea precalculată tehnică –nominală– și fiabilitatea operațională –în exploatare–.

Aprecierea aproximativă a nivelului de fiabilitate ale mecanismelor și structurilor cu cabluri, se poate obține utilizând metodele de calcul bazate pe datele statistice privind durabilitatea elementelor componente. Importanța acestui calcul constă în faptul că acesta permite prognostizarea fiabilității sistemului înainte de fabricarea lui, ceea ce duce la alegerea variantei optime ale soluției tehnice.

Fiabilitatea faptică-operațională și nominală se poate determina experimental, întrucât parametri de fiabilitate au caracter statistic și deci valoarea lor poate fi obținută numai aproximativ, gradul de aproximare depinzând de volumul materialului statistic obținut din exploatare sau din încercări.

Pentru sistemele tip mecanism și construcții cu cabluri, sunt caracteristice următoarele două stări principale de funcționare conform următoarelor Figura 3.1 și Figura 3.2.

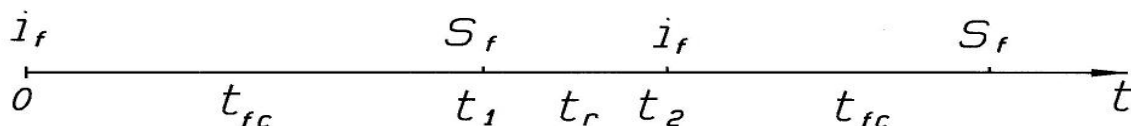


Fig. 3.1

a) Sistem cu funcționare continuă :

i_f – începutul funcționării; S_f – sfârșitul funcționării;

t_r – durata restabilirii ; t_{fc} – durata funcționării continue;

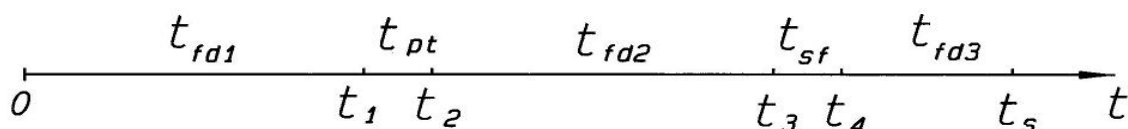


Fig 3.2

b) Sistem cu funcționare periodică :

t_{fdi} – durata funcționării fără defecțiuni; t_{pt} – durata pauzei tehnologice;

t_{sf} – durata stagnerii forțate (restabilire, revizie profilactică).

3.2 Parametri de fiabilitate ale structurilor cu cabluri din oțel

Pentru a determina căile de creștere a fiabilității unui sistem cu cabluri este necesar să se cunoască factori care au influență asupra fiabilității, să se analizeze cauzele defectărilor și să se evalueze calitativ fiabilitatea și diversele caracteristici de fiabilitate.

Prin parametri de fiabilitate se înțelege o măsură, cu ajutorul căreia se exprimă cantitativ fiabilitatea sau una din caracteristicile acesteia.

Foarte frecvent, drept măsură cantitativă principală a fiabilității se consideră probabilitatea funcționării fără defecțiuni care se exprimă prin relația:

$$p(t) = P(T > t) \quad 3.1$$

care este o funcție de timp necrescătoare.

Alt parametru, densitatea de probabilitate a timpului de funcționare fără defecțiuni $f(t)$ care se exprimă prin relația diferențială:

$$f(t) = -(dp(t))/dt \quad 3.2$$

Mărimea $\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (q_e(t + dt/t)) / \Delta t = 1/p_e(t) \cdot (dp_e(t)/dt)$ 3.3

se numește intensitatea defecțiunilor.

Rezolvând ecuația diferențială

$$\lambda(t) = (- (dp_e(t) / p_e(t)) / dt) \quad 3.4$$

cu condiția inițială $p_e(0) = 1$, obținem

$$p_e(t) = R_e(t) = \exp [- \int_0^t \lambda(t) / dt] \quad 3.5$$

Cunoașterea caracteristici $\lambda(t)$ permite să se aprecieze particularitățile defecțiunilor și să se stabilească procedeele de preîntâmpinare ale acestora. O caracteristică tipică $\lambda(t)$ pentru toată durata de funcționare este dată de diagrama din Figura 3.3

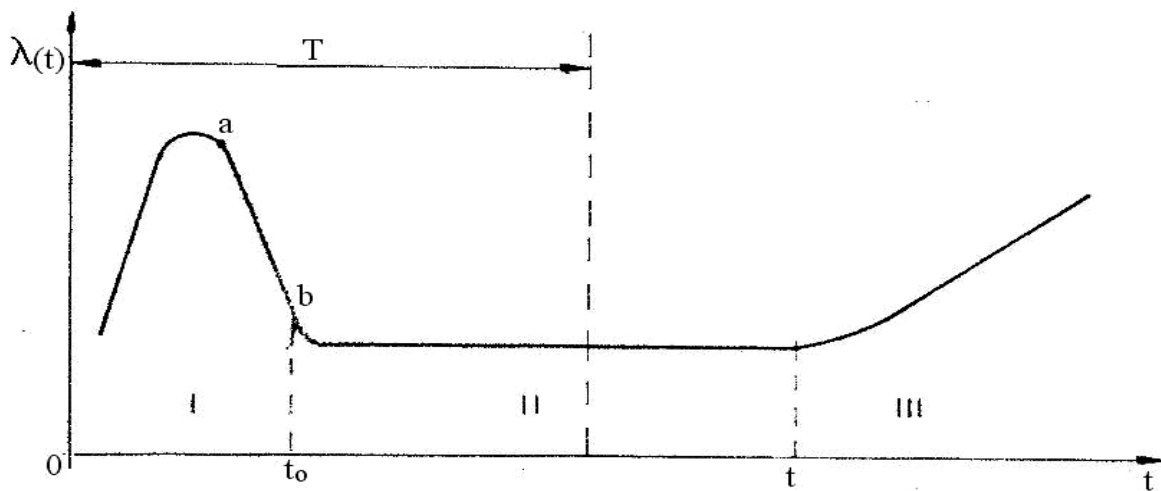


Fig. 3.3

Variația intensității defecțiunilor sistemului în funcție de timpul de funcționare se poate împărți în cele trei perioade notate cu cifre romane în Figura 3.3.

I – perioada inițială de funcționare, în care se produce o cantitate considerabilă de defecțiuni datorită erorilor de fabricație. Coeficientul unghiular al dreptei care unește punctele a și b pe graficul din Figura 3.3 servește ca indicator al nivelului tehnic al producției.

A II – perioadă este perioada de funcționare utilă, când intensitatea defecțiunilor este cea mai scăzută și de obicei, practic constantă, repartiția excepțională a timpului de funcționare este caracteristică pentru această perioadă. Defecțiunile în această perioadă au caracter instantaneu.

A III – perioadă este perioada finală de funcționare, când intensitatea defecțiunilor crește continuu datorită uzurii.

Dacă $\lambda(t) = \lambda = ct$. Se deduce ca funcția nonfiabilității:

$$q(t) = \lambda t \quad 3.6$$

de unde rezultă $\lambda = q(t) / t$ ceea ce arată că se poate lua ca unitate de măsură a intensității defecțiunilor, numărul de defecțiuni (în procente) raportat la 1000 ore de funcționare (% / 1000 ore).

În literatura de specialitate se consideră intensitatea defecțiunilor numai pentru perioada de funcționare normală (de viața utilă), perioada inițială și finală neluându-se în considerare.

După valoarea intensității defecțiunilor, elementele se împart în mai multe grupe (clase), cel mai adesea utilizându-se clasificările întrodusă în USA conf. tabelului alăturat. Considerând sistemul cu cabluri clasic un sistem fără restabilire. La ieșirea din funcție a unui element este perturbată funcționarea întregului sistem.

Tabelul 3.1

| clasa de fiabilitate | % 1000 ore |
|----------------------|---------------|
| I | 0,25 |
| II | 1,00 |
| III | 2,25 |
| VI | 6,50 |

Dacă admitem că au loc numai defecțiuni primare ale elementelor, -ruperi de fire ale cablului-, iar aceste defecțiuni sunt evenimente aleatoare independente, în cazul special al structurilor cu cabluri și se produce pe toată lungimea funcțională al cablului. Ipoteza care se face aici concordă bine cu realitatea deoarece defecțiunile secundare, - uzura cablului, alungirea, micșorarea diametrului,- sunt în parte consecințe ale defecțiunilor primare și apar în sistemul care a ieșit deja din funcție din cauza defecțiunilor primare.

Rezultă că :

$$p_s(t) = \prod_{j=1}^n p_{ej}(t) \quad 3.7$$

unde s-a examinat : n = 120 – numărul elementelor firelor din cablu – din sistemul s, a căror defectare poate conduce la defectarea sistemului; $p_{ej}(t)$ – funcția fiabilității elementului j ; $p_s(t)$ – funcția fiabilității sistemului.

Utilizând probabilitatea condiționată $p_s(t_1 / t_0)$ și ținînd cont de relația (3.5) se obține :

$$p_s(t_1 / t_0) = \exp \left[- \int_0^{t_1} \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j(t) \right) dt \right] \quad 3.8$$

unde $\lambda_j(t)$ reprezintă intensitatea defecțiunilor elementului j.

Notînd :

$$\mu(t) = \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j(t) \right) \quad 3.9$$

În perioada de funcționare utilă $\lambda(t) = \lambda_j = ct. = 1 / 1000$ relația 3.4 devine :

$$p_s(t_1 / t_0) = \exp \left[- \int_{t_0}^{t_1} \mu(t) dt \right] \quad 3.10$$

Întrucât elementul sistemului – cablul – este alcătuit din $n = i$ elemente identice – a căror defectare produce defectarea sistemului –, cu intensificarea defecțiunilor $\lambda(t)=1/1000$, atunci $\mu(t) = n \lambda(t) = 0,12$

$$P_s(t_1 / t_0) = \exp \left[- n \int_0^{t_1} \lambda(t) dt \right] \quad 3.11$$

Așadar, fiabilitatea unei structuri cu cablu clasic fără restabilire este determinată dacă se cunoaște unul din parametri $p_s(t)$, $f_s(t) = dp(t) / dt$ sau $\mu(t)$ în cazul cercetat $\mu(t) = 0,12$, mecanismul se încadrează în clasa I de fiabilitate pentru perioada de funcționare utilă al cablului.

Considerând construcția cu cablu clasic un sistem cu restabilire, când ieșirea sistemului din funcție este cauzată de defecțiuni ale elementelor – ruperea la oboseală a elementelor, firelor de sârme din cablu, sau a altor piese componente, restabilirea se face prin înlocuirea elementului defect cu altul de același tip, care se află în stare bună.

În studiul sistemelor cu restabilire este necesar să se ia în considerare – pe lângă timpul de funcționare până la prima defecțiune – și procesele de reînnoire a funcționării sistemului, de restabilire a proprietății elementelor defecte și – în consecință – de readucere în stare de funcționare a construcției –mecanismului–. Legea de repartiție a variabilei aleatoare care reprezintă momentul de începere a funcționării elementului restabilit coincide deci cu legea de repartiție a variabilei aleatoare care reprezintă momentul defectării elementului care l-a înlocuit. Prin urmare numărul mediu de reînnoiri în unitatea de timp tinde către o constantă.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (M(N(t))) / t = \lim_{t \rightarrow \infty} (U(t)) / t = 1 / M(T_e) = 1 / T_0 \quad 3.12$$

unde $U(t)$ este funcția de reînnoire a procesului.

În acest caz probabilitatea $P_k(t)$ ca în intervalul de lungime t să se producă exact k defecțiuni, este $P_{k(t)} = ((\psi \tau)^k / k!) \cdot e^{-\psi \tau}$, $k = 0,1,2,\dots$ 3.13

unde $\psi \tau$ reprezintă numărul mediu de defecțiuni în intervalul de lungime τ . Parametrul ψ , reprezintă intensitatea fluxului de defecțiuni, se mai numește și intensitatea reînnoirii.

La un sistem de restabilire bine proiectat, intensitatea fluxului de defecțiuni ale sistemului este egală cu suma intensităților fluxurilor de defecțiuni ale elementelor.

$$\psi_s(t) = U(t)/dt, \text{ - intensitatea fluxului de defecțiuni ale sistemului ;} \quad 3.14$$

$$\psi_{ej}(t), \text{ - intensitatea fluxului de defecțiuni ale elementului } j ;$$

N_1 – numărul elementelor cercetate care funcționează la momentul t ($t > 0$)

În cazul de față $N_1 = 120$;

$$\text{Avem } \psi_s(t) = \left(\sum_{j=1}^n \psi_{ej}(t) \right) ; \quad 3.14a$$

pentru $k = 0$, rezultă că probabilitatea condiționată a funcționării fără defecțiuni a sistemului în intervalul de timp $(t_0, t_0 + t_1)$ este :

$$p_s(t_1 / t_0) = \exp \left[- \int_{t_0}^{t_0+t_1} \psi_s(t) \cdot dt \right] = \exp \left[- \int_{t_0}^{t_1} \psi_s(t) \cdot dt \right] \quad 3.15$$

unde $t_1 = t_0 + \psi$.

Din (3.14) rezultă că pentru $t \rightarrow \infty$ (pentru un moment al exploatării suficient de îndepărtat de momentul inițial), are loc egalitatea :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (\psi_s(t)) = \psi_s = 1 / M(T_s) = 1 / T_0^x \quad 3.16$$

Se pune astfel în evidență faptul că după o perioadă de timp suficient de mare de exploatare, fluxul de defecțiuni al sistemului cu restabilire poate fi considerat ca fiind omogen (ordinar, staționar, fără postacțiune). În acest caz $\psi_m = \psi_s$ și rezultă relația intensității fluxului de defecțiuni ale sistemului sub formă :

$$p_s(\tau) = e^{-\tau \psi_s} = e^{-\tau / T_0^x} \quad 3.17$$

unde τ este intervalul de funcționare (cercetare), iar T_0^x timpul în decursul căruia elementul rămâne capabil să funcționeze (durata medie de serviciu).

Considerând probabilitatea apariției defectării unui element –cablu–, prin ruperea la oboseală a firelor, la $T_{0j} = 500$ ore (funcționare la sarcina nominală), iar $\tau = 1000$ ore, rezultă :

$$\psi_s = 1 / T_0^x = \sum_{j=1}^n (1 / T_{0j}^x) = 120 (1 / 500) = 0,24 \quad 3.18$$

Fiabilitatea unui sistem –mecanism– cu cablu clasic cu restabilire luând în considerare probabilitatea căderii sistemului din cauza ruperii la oboseală a elementelor, pentru cazul cercetat $\psi_s = 0,24$ sistemul se încadrează în clasa I de fiabilitate, dar numai pentru perioada de funcționare utilă al cablului.

3.3. Analiza influenței uzurii asupra fiabilității cablurilor din oțel

Generalități

Luând în considerare că parametrul determinant al fiabilității sistemului este cel obținut din condiția de uzură care după timpul τ atinge o valoare critică căreia îi corespunde starea nesatisfăcătoare a sistemului, adică starea în care este posibilă apariția defecțiunii.

În cazul uzurii, odată cu defecțiunile treptate apar și defecțiunile bruște ale elementelor și ale sistemelor. Presupunând că defecțiunea bruscă este o consecință a acumulării modificărilor ireversibile ale elementelor, această înseamnă că apariția defecțiunii bruște constituie o rezultată a procesului aleator de variație a unui parametru oarecare ale elementelor sistemului.

În cazul mecanismelor cu cabluri clasice în cadrul perioadei utile de funcționare parametrul determinant în raport cu care se poate aprecia apropierea unei defecțiuni bruște este: $\psi_s = 0,24 > \mu(t) = 0,12$, rezultă că parametrul determinant pentru stabilirea perioadei de funcționare utilă rezultă din condiția de uzură.

Aceste modificări ireversibile sunt de lungă durată apar ca rezultat al uzurii și sunt reprezentate prin procesele aleatoare nestaționare, numite procese de uzură și ele constituie cauza principală a apariției defecțiunilor.

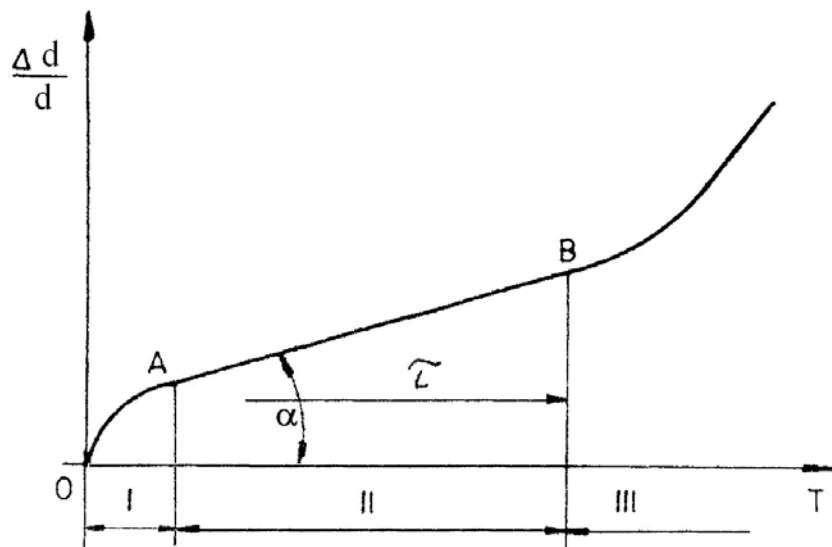


Fig.3.4

În Figura 3.4 se dă reprezentarea grafică a variației parametru-lui determinant $\Delta d/d$ al unui element în funcție de timpul de funcționare, cu luarea în considerare a procesului de uzură.

$$\Delta d = d_n (\text{nou}) - d_u (\text{uzat})$$

Prima perioadă este de cea de rodaj al elementului. Sub acțiunea factorilor externi, elementele suferă modificări, al cărui rezultat este adaptarea acestuia la condițiile reale de exploatare.

În perioada a doua, numită perioada de funcționare, viteza de uzură pe care au atins-o elementele sistemului la sfârșitul rodajului se păstrează aproximativ constantă.

Înbătrânirea, uzura elementelor sistemului, -firelor din cablu de diametrul d -constituie a treia perioadă. De obicei sistemele cu cabluri sunt proiectate și executate astfel încât această perioadă de uzură înaintată să nu fie atinsă în cadrul exploatării.

$$\text{Pentru procesul liniar de uzură avem } H(t) = A + Bt \quad 3.19$$

unde mărimile aleatoare A și B reprezintă respectiv valoarea inițială și viteza de variație a parametrului determinant.

$$\text{Caracteristic pentru funcția aleatoare liniară uniformă este } B(t) = b = ct.$$

$$\text{În acest caz relația 3.19 devine } H(t) = A + bt \quad 3.20$$

Calculul portanței cablului din condiția de rezistență la uzură se face în funcție de intensitatea lucrului mecanic W_f , al forțelor de frecare de alunecare dintre firele cablului și dintre firele exterioare cu rolele pe care se înfășoară, respectiv funcție de puterea P_f consumată prin învingerea acestor frecări.

Calculul durabilității cablului la condiția de rezistență la uzură are ca parametru geometric limitativ uzura maximă admisibilă Δd_{\max} al diametrului firelor cablului. Durabilitatea la uzură al cablului se consideră epuizată atunci când creșterea uzurii diametrului firelor atinge o valoare maximă Δd_{\max} și al unei pierderi critice de secțiune transversală ale firelor.

Pentru porțiunea rectilinie AB, Figura 3.4 a curbei procesului de uzare, care delimitează funcționarea normală a sistemului și ca urmare, durabilitatea acestuia – în cazul în care nu apar fire rupte în secțiunea cablului – se poate scrie :

$$\tau = [T_0(\Delta d_a - \Delta d_r)] / \Delta d_0 \quad (\text{ore}) \quad 3.21$$

în care : τ - este timpul în ore în care creșterea uzurii medie a unei sârme atinge mărimea valorii admisibile în calcule Δd_a ; T_0 – este perioada de timp de referință, în ore, în care creșterea uzurii diametrului mediu atinge Δd_0 (măsurată) ; Δd_r - creșterea uzurii medie în perioada de rodaj.

Creșterea maxim admisibilă în calcule Δd_a se determină cu relația :

$$\Delta d_a = \Delta d_{\max} - \Delta d_t \quad 3.22$$

în care Δd_t este abaterea tehnologică a diametrului mediu efectiv față de cel nominal. Pentru porțiunea rectilinie a diagramei funcției $\Delta d = f(ku)$, se poate scrie :

$$\Delta d_0 = ku \cdot \operatorname{tg} \alpha = ku \cdot kr ; \quad 3.23$$

kr fiind coeficientul de rezistență la uzură al sârmei cablului.

Dacă se introduce τ fiind egal cu h, se obține :

$$h = [T_0(\Delta d_a - \Delta d_r)] / ku \cdot kr \quad (\text{ore}) \quad 3.24$$

unde h este durabilitatea la condiția de rezistență la uzură a sârmei cablului.

La calculul sistemelor cu cabluri clasice, expresia factorului ku se poate scrie direct sub forma :

$$ku = p_c^m \cdot v_{rm} \quad (\text{N} \cdot \text{m} / \text{cm}^2 \cdot \text{s}) \quad 3.25$$

în care: p_c este presiunea de contact medie dintre suprafețele de contact, în (N/cm^2) , și v_{rm} – viteza relativă medie a suprafețelor de frecare, în (m/s) . În relația 3.25 presiunea de contact s-a introdus la exponentul m , deoarece în procesele de uzare aceasta are o pondere mai mare decât viteza v , mai ales la vitezele relativ mici ale acesteia.

$$\text{Din relația 3.25 rezultă : } k_u = \Delta d_0 / k_r \quad 3.26$$

Metodele de calcul actuale nu țin cont de pierderile prin frecare de rostogolire ale cablurilor pe diametrele rotelor și tobelor de cablu.

3.4 Analiza influenței coroziunii asupra fiabilității cablurilor din oțel

Generalități

O influență importantă asupra rezistenței la solicitări are protecția împotriva coroziunii. Până în prezent nu s-au elaborat norme de bază după care la prognostizarea durabilității s-ar putea orienta proiectantul cu certitudine.

O importanță deosebită au cercetările și urmărirea comportării cablurilor la construcțiile existente, cercetări ce se face în continuu și se stabilesc perioadele după care este necesară întreținerea anumitor părți ale construcției și felul întreținerilor și intervențiilor necesare.

În vederea reducerii coroziunii se urmărește cu interes deosebit asigurarea unei lubrificări cât mai adecvate în interiorul cablului și a reducerii forțelor de frecare dintre sârme, iar la sârmele exterioare prin forma sârmelor și prin aplicarea de cămăși protectoare și prin zincarea. O importanță deosebită are construcția elementelor de legătură între cabluri și celelalte părți ale construcției. Determinarea mărimii, și variației încărcărilor, felul și precizia măsurării sau aprecierea acestora. Jehmlich [8] a arătat că o coroziune relativ redusă are deja o influență negativă foarte mare asupra rezistenței sârmei din cablu. Prin zincare termică se reduce rezistența la oscilări, iar prin evitarea coroziunii se produce echivalarea acestui neajuns.

La cabluri nu s-a înregistrat, o diferență de fiabilitate între cabluri ne zincate și între cele normal zincate. Sa constatat, că numărul de îndoiri alternante medii, la încercările pe 37 cabluri nezincate și pe 15 cabluri zincate de tip standard ca

FE+6x19-sZ în mediul uscat au fost la fel. Woernle [5] a înregistrat la încercări comparative o creștere ușoară a durabilității în cazul cablurilor zincate.

La fel de important este, cunoașterea variației de temperaturi, care produc atât solicitări suplimentare, cât și variația viscozității materialului de lubrefiere, degradarea sau eliminarea acestuia. Mantalele de protecție trebuie să fie construite astfel încât să permită adaptarea lor la variațiile de temperaturi fără a se produce deformații, solicitări suplimentare din cauza dilatărilor care întervin în funcționare.

În urma experimentării asupra cablurilor de fabricații diferite se obțin rezultate cu valori limită diferită a tensiunilor la cablurile de ancorare. Experimentările pe construcții existente, poduri și construcții suspendate, ancorate au o importanță deosebită și se urmăresc variațiile de temperatură, alungiri sub sarcini și variația încărcărilor, fiind toate aceste influențe măsurate și determinate.

Protecția împotriva coroziunii este reglementată în Prescripții pentru protecția împotriva coroziunii cablurilor din oțel. Se prevede astfel atât pentru cabluri noi cât și pentru restabilirea calității cablurilor în utilizare sistemele de acoperire, de pulverizare, materialele de acoperire, de injectare metodele de aplicare și verificare ale acestora. Grosimea stratului de bază și de acoperire. Anduranța și reînnoirea protecției împotriva coroziunii.

3.5 Analiza influenței solicitărilor de contact asupra fiabilității cablurilor

Un parametru determinant care influențează fiabilitatea elementelor cablurilor este mărimea solicitării de contact maxime între firele cablului și între firele din cablu și rolele și tobele pe care se înfășoară.

Solicitarea de contact maximă σ_{kmax} – care reprezintă criteriul calitativ cel mai important – se calculează în general cu relația lui Herz :

$$\sigma_{kmax} = 0,418 [(N_{max} \cdot E) / (B_1 \cdot Re)]^{1/2} \quad 3.27$$

în care Re este raza de curbură echivalentă a elementelor în contact.

$$Re_f = (\delta_1 \cdot \delta_2) / (\delta_1 \pm \delta_2) \text{ pentru cazul fir pe fir} \quad 3.28$$

$$Re_r = (\delta_1 \cdot Rp) / (Rp \pm \delta_1) \text{ pentru cazul fir pe rolă} \quad 3.29$$

unde semnul plus se referă la contactul convex – convex; semnul minus la contactul convex – concav; R_p raza profilului rolei.

Pentru a arăta diferența între cazul concav-concav sau concav-convex se poate considera la un moment dat, forța de contact $N_{\max} = ct.$ Ca urmare, expresia lui $\sigma_{k\max}$ poate fi scisă ca funcție numai de geometria elementelor fire – rolă, sub forma :

$$\sigma_{k\max} = c [(2R_p \pm \delta_1) / (\delta_1 \cdot R_p)]^{1/2} \quad 3.30$$

Din relația 3.30 se constată că presiunea de contact minimă se obține în cazul contactului convex – concav, semnul minus în relația.

Pentru un caz concret, dacă se înlocuiesc valorile elementelor geometrice ale sârmelor cablului și a razei rolei se obțin în comparație, următoarele valori ale razei de curburi echivalente:

Cablu cu caracteristici:

II, 6x19,S/Z, $\delta_{1,2}=1,5/1,5\text{mm}$, $d = 32\text{mm}$, $R_{rolă} = 17\text{mm}$

$$\sigma_{k\max} (f) = c [(2\delta_1 + \delta_2) / (\delta_1 \cdot \delta_2)]^{1/2} = c [(4,50)/(2,25)]^{1/2} = c 0,471 \quad 3.31$$

$$\sigma_{k\max} (r) = c [(2R_p - \delta_1) / (\delta_1 \cdot R_p)]^{1/2} = c [(32,5)/(25,5)]^{1/2} = c 1,274 \quad 3.32$$

Făcând raportul dintre cele două solicitări rezultă coeficientul de creștere a solicitării locale:

$$c_1 = \sigma_{k\max} (r) / \sigma_{k\max} (f) = 2,70 \quad 3.33$$

Rezultă că solicitarea crește de 2,7 ori în cazul contactului convex-convex. În realitate suprafețele se deformează și valoarea tensiunilor efective se modifică.

3.6 Influența solicitărilor transversale asupra tensiunilor interne din cabluri și asupra fiabilității

La solicitarea unui cablului printr-o forță transversală se produc în firele cablului tensiuni de mai multe feluri. În afară de tensiunea de comprimare de la locul

solicitării iau naștere datorită acestei solicitări în elementele cablului tensiuni compuse complexe, care iau naștere și prin solicitarea de încovoiere printr-o șaibă.

Hotărâtor pentru aceasta este raza de îndoire al cablului. Îndoirea se consideră ca de valoare liberă exceptând cazul când aceasta se întâmplă cu o rolă de diametru mare.

Cu rigiditatea cablului EI, îndoirea și raza de îndoire la solicitarea unui cablu cu o forță transversală V este :

$$1/\rho = \omega \tan\alpha (\sinh \omega x / \cosh \omega x_1) = \omega(V/2S)(\sinh \omega x / \cosh \omega x_1) \quad 3.34$$

unde îndoirea maximă (cu raza minimă) corespunde relației următoare:

$$1/\rho_{\min} = 1/\rho_1 = \omega \tan\alpha = (V / 2S)(S/EI)^{1/2} \quad 3.35$$

După Woernle, [5] la solicitări transversale conform relației 3.35 cu tensiuni de tracțiune crescătoare și cu variații de rulare mai reduse este de așteptat o scădere a numărului de îndoiri admisibile. Aceste concluzii expuse au fost prezentate de Woernle după rezultatele experimentărilor de îndoiri de duranță efectuate. Aceste rezultate sunt prezentate în diagrama din Figura 3.5

În partea stînga a diagramei, unde cablul înfășoară mai mult rola, se arată că numărul de îndoiri admisibile până la ruperea firelor scade la o valoare a forței transversale constante V, cu valoarea crescătoare a tensiunii de întindere σ_z . În partea dreapta a diagramei crește numărul de îndoiri admisibile cu valoarea crescătoare a forței de tracțiune S și tensiunea de tracțiune datorită îndoirilor alternante descrește, cum rezultă din diagrama Figura 3.5.

Rigiditatea EI în dealungul cablului nu este constantă, ci este puternic influențată de forțele de frecare dintre sârmele cablului și prezintă o creștere pornind de la locul solicitării, unde sârmele se deplasează relativ pe distanța cea mai mare între ele. Ernst [9] a demonstrat că creșterea rigidității cablului pe lungiea acestuia nu are o influență prea mare asupra comportării cablului la încercările de îndoiri alternante și solicitare prin forță transversală.

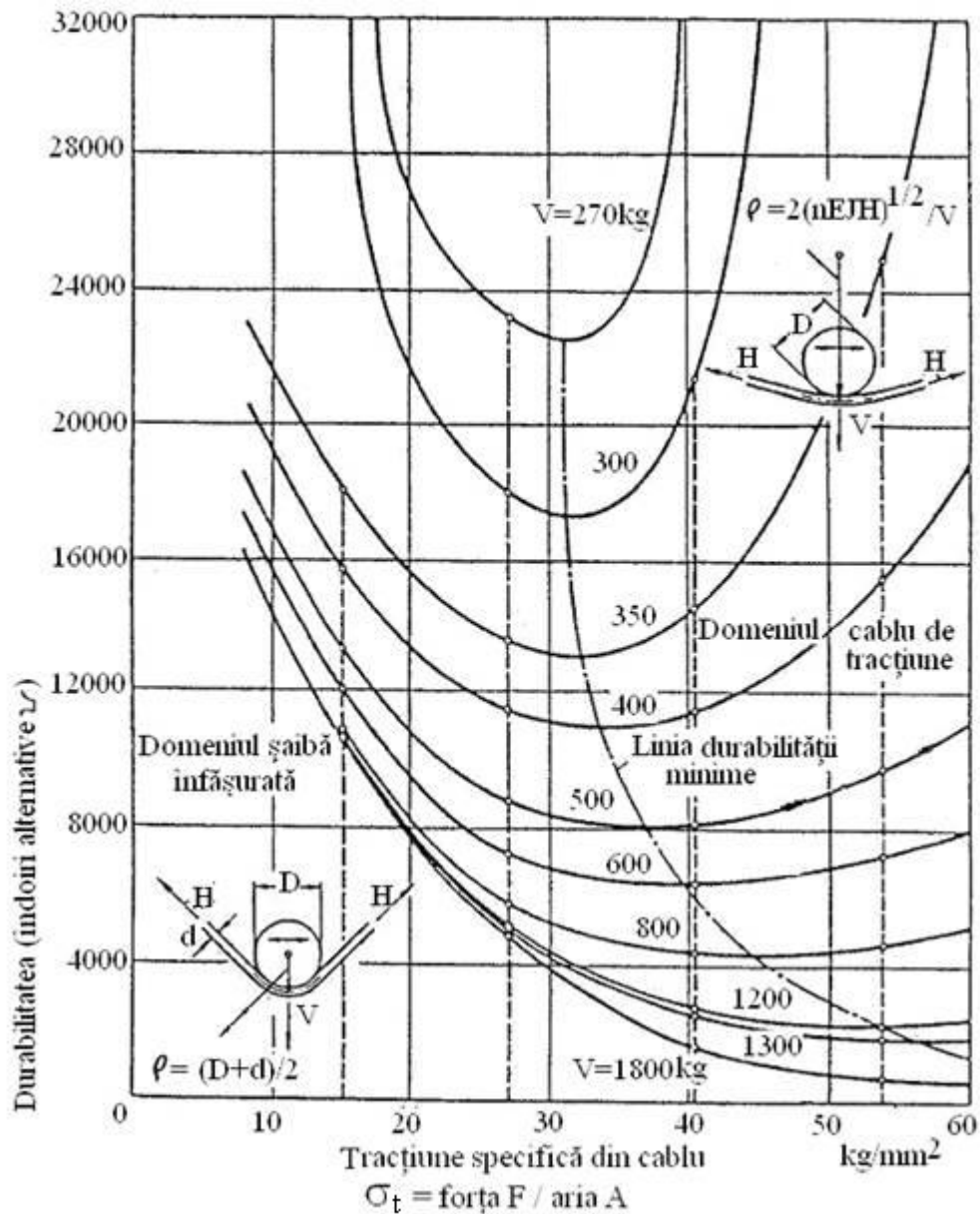


Fig.3.5

Diagrama durabilității determinată de Woernle prin numărul de cicluri de îndoiri alternante, la solicitării prin forță transversală V de valori diferite, a cablului : FE + 6x37 $d = 18$ mm, Rola $D = 150$ mm.

3.7 Influența frecării dintre sârmele cablului asupra rigidității la îndoire

Rigiditatea la îndoire a unui cablu, este puternic influențată de valorile foarte variabile al coeficientului de frecare dintre sârme, de construcția cablului și de solicitarea pe cablu.

La cablurile de tracțiune din sârme rotunde numite deschise, solicitate pe role, - cu neglijarea influenței structurii – se poate stabili diferența rigidității dintre cazurile cu frecare și fără frecare între sârme.

Ca de exemplu la un cablu spiral - deschis - din n sârme identice rotunde cu frecare și fără frecare între spire. În cazul cablului fără frecare, momentul de inerție equatorială a sârmelor cablului :

$$I_{\text{cablu } 0} = n (d^4 \pi / 64) = n A_{\text{sârmă}} (d^2 / 16) = A_{\text{cablu}} (d^2 / 16) \quad 3.36$$

Iar tensiunea de tracțiune rezultată din încovoiere :

$$\sigma_{1\text{max}} = \sigma_i = (V \delta / 4S) (ES / I_{\text{cablu } 0})^{1/2} = (V / S) (E \sigma_z)^{1/2} \quad 3.37$$

În acest caz tensiunea longitudinală datorată forței transversale V , constă doar din tensiunea de îndoire a sârmelor.

În cazul când frecarea dintre sârme ajunge la mărimea încât sârmele nu se pot deplasa relativ, rigiditatea cablului cu luarea în considerare a factorului de uplere este :

$$I_{\text{cablu } u} = f (d^4 \pi / 64) = f (d^2 \pi / 4) (d^2 / 16) = A_{\text{cablu}} (d^2 / 16) \quad 3.38$$

Tensiunea longitudinală maximă în acest caz :

$$\sigma_{1\text{max}} = \sigma_i + \sigma_{ts} = (V d / 4S) (ES / I_{\text{cablu } 0})^{1/2} = (V / S) (E \sigma_t)^{1/2} \quad 3.39$$

După cercetările lui Isaachsen [10] tensiunea longitudinală și în acest caz este egală cu cel al unui cablu din sârme nedeplasabile care au o comportare ca și cum ar forma o unitate.

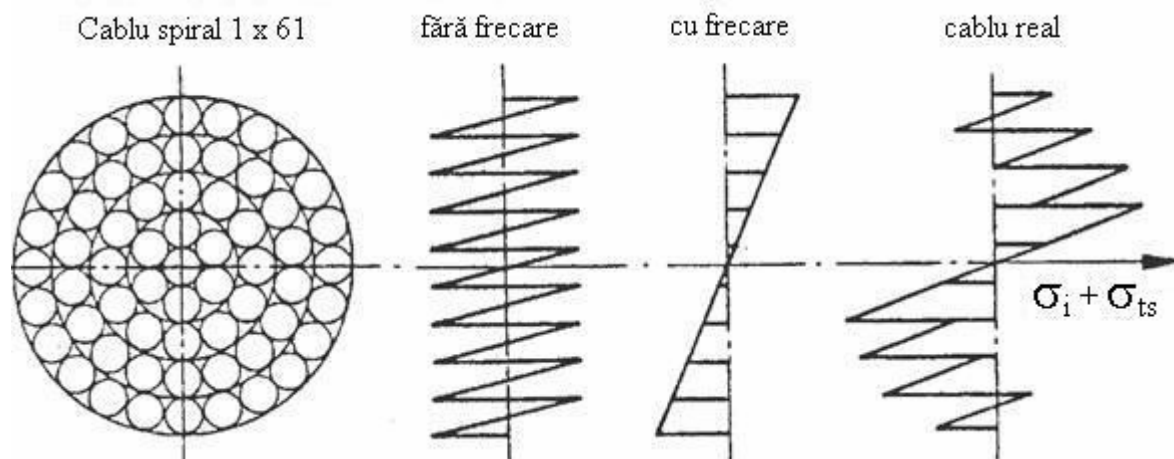


Fig. 3.6 –[10]

Repartizarea tensiunii longitudinale întrun cablu spiral din sârme rotunde.

Conform acestei observații și rezultate, stabilite de Isaachsen la îndoirea unui cablu alunecările și solicitarea firelor din cablu se începe de la cele exterioare și se propagă crescând spre firele interioare, astfel solicitarea reală a elementelor din cablu corespunde cu diagrama din partea dreaptă a Figura 3.6.

În vederea reducerii presiunii locale dintre firele exterioare ale cablului și canalul rolor, se utilizează la instalații de funiculare role de tracțiune și de sprijin cu canalul prevăzut cu un strat de *elastomer*. Astfel *se mărește lungimea de contact cablu – rolă*, se micșorează raza de curbură al cablului.

Se utilizează la astfel de instalații și role complet din poliamide și *sa constatat* că dacă în cazul rolor din fontă un cablu la cca 330 000 cicluri a fost complet distrus, la funcționare pe role din poliamid același cablu în aceleași condiții după 1.500.000 cicluri nu a prezentat nici o defecțiune. *Aceste rezultate subliniază importanța măsurilor care trebuiesc luate în vederea reducerii presiunilor locale și influența acestuia asupra fiabilității sistemelor cu cabluri din oțel.*

3.8 Contribuții la studiul tensiunii din cabluri solicitate la tracțiune

Introducere

În sârmele cablurilor din oțel se suprapun un număr mare de tensiuni constante și variabile alternant schimbătoare. Sârmele sunt încărcate cu tensiuni proprii din trefilare și din cablare. La punerea în funcționare, înainte de solicitări –influențe exterioare- există în sârmele cablurilor tensiuni de tracțiune, de încovoiere, de torsionare și de presare. După încărcarea lor în exploatare intervin tensiuni suplimentare de, tracțiune, încovoiere, torsiune și de presiune.

De la utilizarea industrială a cablurilor din oțel din ani 1834 de Wilhelm August Albert au fost elaborate și publicate un mare număr de lucrări, cu analiza, calculele și determinarea prin măsurători a tensiunilor din sârmele cablurilor. Reuleaux [11] a elaborat de prim dată un calcul de determinare al tensiunilor în cablurile îndoite. Dar la cablurile îndoite apar solicitări secundare care au fost studiate detaliat de Schmidt [12]. În ultimi ani studiile în acest sens au fost elaborate atât în străinătate cât și la noi în țară. Rezultatele obținute până în prezent sunt în continuare discutate și prezentate parțial.

Prin utilizarea senzorilor foarte sensibili de măsurare a deformațiilor s-a reușit de primată măsurarea tensiunilor. La măsurători nu s-a ajuns la un rezultat corespunzător cu cele determinate prin calcule.

Pe lângă mărimile tensiunilor măsurate nu s-a realizat înregistrarea caracteristicilor de variație ale tensiunilor, variația numărului de îndoiri și alte variante, nu corespund în măsură satisfăcătoare cu metodele de calcul.

Din această cauză metodele de calcul ale tensiunilor de tracțiune, îndoire și torsiune pe mai departe studiate, vor fi îmbunătățite și completate. Înainte de toate se conturează un interes deosebit pentru dezvoltarea determinării tensiunilor variabile. Pentru acesta este necesar să fie puse în evidență solicitările și variația acestora pe cât se poate de aproape de cazurile concrete din exploatare și influența și acțiunea acestora asupra tensiunilor din sârme, în toate părțile ale geometriei variabile ale acestora.

La cablurile rulante au fost și sunt elaborate cercetări experimentale în vederea stabilirii tensiunilor și în sfârșit a fiabilității acestora. *La cablurile de susținere și ancorare utilizate cu precădere în prezent și în viitor la construcția podurilor și hangarelor de construcție modernă, nu sunt elaborate cercetări suficiente și lucrări pentru stabilirea perioadei de utilizare permisă (a fiabilității) cablurilor din oțel și se întreprind studii și cercetări de stabilirea concretă a variației, derulării solicitărilor din exploatare, care sunt absolut necesare la calculele și determinarea fiabilității acestora.*

Tensiunile proprii și cele provenite din presiunile dintre sârmele din cabluri nu vor fi tratate mai pe de aproape în această lucrare. Tensiunile proprii sunt stagnante, invariabile și influența acestora asupra fiabilității cablului este redusă până când valorile lor rămâne între anumite limitele.

Presiunile dintre sârmele și dintre elementele de contact se stabilesc prin solicitarea inițială și deformațiile plastice ale suprafețelor în contact și prin dezvoltarea pe mai departe al deformațiilor. Modificările suprafețelor de contact este foarte variabilă și până în prezent necunoscute, de aceea calculele tensiunilor în aceste zone nu sunt posibile de calculat cu certitudine.

Comportarea în timp a cablurilor deteriorate prin uzură la fel nu este posibilă de determinat cu certitudine destulă prin calcule ca și când tensiunile ar fi cunoscute. Totuși determinarea prin calcul ale tensiunilor are o înportanță deosebită în vederea stabilirii influenței parametrilor de construcție și exploatare asupra fiabilității cablurilor.

Procesul de rupere al firelor din cabluri și dezvoltarea acestora se va studia și modela prin procesul Poisson și procesul de apariție, și se va urmări experimental. Astfel se va descrie repartiția ruperilor apărute în funcție de firele existente. Descrierea repartiției firelor rupte are în vedere și posibilitatea apariției de ruperi acumulate în vecinătatea celor rupte datorită preluării de solicitări și aceste apariții probabile vor fi urmărite experimental. Repartiția Poisson va fi studiat și prezentat ca un caz special al apariției ruperilor.

Durata de viață – fiabilitatea – cablurilor din oțel este limitată, fapt pentru care o importanță deosebită au studiile și cercetările în vederea cunoașterii și stabilirii acelor cauze care conduc la pierderea calităților și a siguranței în funcționare. O funcționare sigură este posibilă numai dacă starea cablurilor este verificată periodic și în caz de atingere a defecțiunilor conform normelor în vigoare acestea sunt schimbate.

Semnalele pierderii fiabilității sunt:

- Deformații, defecțiuni mari,
- Ruperi de toroane,
- Ruperi de sârme,
- Reducerea diametrului, lungirea porțiunilor de cabluri,
- Coroziunea, uzura și
- Durata de funcționare

La deformații și la ruperi de toroane cablurile se înlocuiesc imediat. Celelalte criterii cresc cu timpul de funcționare a cablului și ies în evidență comparativ cu aceasta în mod crescând. Criteriile de ieșire din uz sunt stabilite în Regulile tehnice, ca și DIN 15020 și BOSeil.

În mod normal la cablurile scurte este de ajuns verificarea vizuală periodică. La utilizări mai importante, în special la cablurile mai lungi, este necesară verificarea atât a sârmelor exterioare cât și a sârmelor interioare prin metoda magnetică, întrucât verificarea vizuală nu este suficientă. Verificarea sârmelor interioare cu aparate magnetice la ora actuală permite verificarea cu mai multă siguranță, înregistrarea datelor obținute electronic și prelucrarea, analiza lor ulterioară. Cu toate acestea prin această metodă nu se poate localiza precis poziția firelor rupte în secțiunea cablului și pierderea calității cablului nu constituie doar firele rupte, ci și celelalte criterii, astfel o diagnosticare de încredere se obține numai din combinația tuturor rezultatelor și criteriilor care cauzează pierderea calității de funcționare.

Verificări cu alte metode nedistructive ale materialelor, înainte de toate iradierea cu raze Roentgen, cu raze Gamma sau cu Ultrasunete nu sunt suficient de precise din cauza recunoașterii defecțiunilor, a costurilor ridicate pe care le cauzează și a vitezelor de lucru destul de reduse.

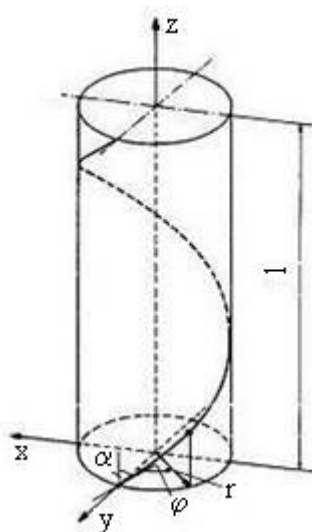
Conform experienței acumulate numărul pur de fire rupte nu exprimă în totalitate pierderea calității pentru că într-un interval scurt un fir rupt prin frecări și presiunea firelor vecine contribuie din nou la preluarea eforturilor. Din această cauză are o importanță deosebită distribuția, poziția firelor rupte în secțiunea cablurilor pe diverse intervale de lungime ale acestora și poziția numărului maxim al firelor rupte în secțiune.

3.9 Calculul tensiunilor din cablurile din oțel

Definiția tensiunilor

Forța de tracțiune pe un cablu se împarte conform geometriei cablului pe sârmele componente și acționează în acestea ca tensiune de tracțiune σ_t . Această tensiune nu este cea nominală, ea este quotientul forței de tracțiune al cablului și cea rezultată din secțiunea sârmei.

Solicitarea de tracțiune a unui cablu este în legătură cu deformația longitudinală și transversală al cablului, unde atât lungimea cât și raza de înfășurare al toroanelor și al sârmelor variază. Fiecare variație al geometriei cablului produc în sârme tensiuni de încovoiere σ_{it} și tensiuni de torsionare τ_t . Îndoirea cablului pe o rolă de cablu sau pe o altă piesă de sprijin de exemplu, cauzează tensiuni de încovoiere σ_i și tensiuni de torsionare τ_i . La îndoirea unui cablu, toroanele și sârmele se deplasează între ele. Se produc forțe de frecare



între sârme și toroane, la fel și între role. Se produc tensiuni secundare de tracțiune σ_{ts} . Pe role se deformează secțiunea cablului dintr-o secțiune rotundă într-una ovală. Se produc prin acestea în sârme tensiuni de încovoiere σ_{iov} și de torsionare τ_{ov} . După o perioadă de funcționare cablurile mențin o anumită formă ovală. Tensiunile de încovoiere și de torsionare se împart într-o parte stagnantă ($\sigma_{iov\ bl}$, $\tau_{ov\ il}$) și într-o parte variabilă ($\sigma_{iov\ sch}$, $\tau_{ov\ sch}$).

Fig. 3.7-[13]

3.9.1 Geometria sârmei în toronul drept

Traectoria sârmei într-un toron poate fi prezentată după Bronstein și Schiffner [13], sub forma parametrică în funcție de unghiul de înfășurare al sârmei după axa toronului. conform Figurii 3

$$x = -r \cdot \sin \varphi \quad (1)$$

$$y = r \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

$$z = l \cdot \varphi / 2 \cdot \pi \quad (3)$$

Unde r este raza de înfășurare al sârmei, iar l este lungimea de înfășurare pe toron.

Lungimea sârmei pe o lungime de înfășurare după Figura 3.7

$$s = \int_{\varphi_0}^{\varphi} [x'^2 + y'^2 + z'^2]^{1/2} \cdot d\varphi \quad 3.40$$

Înlocuind derivatele lui x, y, z integrând relația de la φ_0 la $\varphi = 2\pi$, 3.41

$$s = \int_0^{2\pi} [r^2 + l^2 / 4 \pi^2]^{1/2} \cdot d\varphi \quad 3.42$$

cu relația dintre raza r și unghiul α se obține lungimea sârmei pe o lungime de înfășurare

într-un toron $s = l / \cos \varphi$ 3.43

3.9.2 Calculul tensiunii de încovoire și de torsiune din deformarea sârmelor

Deformația unei curbe K ne dă cât de tare diferă o curbă față de o dreaptă. Raza de curbură într-un punct pe curbă $\rho = 1 / K$. Curbura și raza de curbură se calculează după Schiffner [13] din derivatele de gradul unu și gradul doi al coordonatelor punctului sub forma parametrică după cum urmează

$$K^2 = 1/\rho^2 = [(x'^2+y'^2+z'^2) \cdot (x''^2+y''^2+z''^2) - (x'x''+y'y''+z'z'')^2] / (x'^2+y'^2+z'^2)^3 \quad 3.44$$

Răsucirea T explică (cauzează) o curbă, în care măsura acestei curbe pe o lungime relativ mică abate dela un plan, de unde, cât de tare abate această curbă în apropierea unui punct dela planul de indoire. Pentru dezvoltarea răsucirii rezultă forma parametrică a curbei spațiale:

$$T = \rho^2 \cdot \frac{I x' y' z' I}{I x'' y'' z'' I / (x'^2 + y'^2 + z'^2)^3} \quad 3.45$$

Împreună cu relațiile (1), (2), (3) se obține relația cunoscută pentru curbura și pentru raza de curbură la răsucirea sârmei într-un toron drept.

$$K = 1/\rho = \sin^2 \alpha / r \quad 3.46$$

$$T = \sin \alpha \cdot \cos \alpha / r \quad 3.47$$

Din îndoirea și răsucirea unui element de sârmă se poate obține sub anumite condiții, dintre starea și momentele variației deformărilor, tensiunea de încovoiere :

$$\sigma_i = (K_1 - K_0) \cdot \delta / 2 \cdot E \quad 3.48$$

și tensiunea de torsiune

$$\tau = (T_1 - T_0) \cdot \delta / 2 \cdot G \quad 3.49$$

În aceste relații d este diametrul sârmei, E modulul de elasticitate și G modulul de elasticitate transversal. Pentru o sârmă într-un toron drept sollicitat la o forță de tracțiune rezultă tensiunea de încovoiere :

$$\sigma_{it} = [(\sin^2 \alpha_1 / r_1) - (\sin^2 \alpha_0 / r_0)] \cdot \delta / 2 \cdot E \quad 3.50$$

iar tensiunea de torsiune :

$$\tau_{it} = [(\sin \alpha_1 \cos \alpha_1 / r_1) - (\sin \alpha_0 \cos \alpha_0 / r_0)] \cdot \delta / 2 \cdot G \quad 3.51$$

Calculul tensiunilor din variația deformărilor, cu relațiile 3.48 și 3.49 este concludentă și corectă numai dacă variația deformațiilor au același sens și direcție.

3.9.3 Tensiuni de întindere, încovoiere și de torsiune din sollicitări axiale.

Tensiunea de tracțiune din sârmele cablului se exprimă prin tensiunea nominală σ_t . expresia pentru tensiunea nominală a fost folosită deja de cercetătorul Reuleaux [11]

$$\bar{\sigma}_t = S/A . \quad 3.52$$

Unde S este forța de tracțiune din cablu și A este suma secțiunilor metalice, suma secțiunilor tuturor sârmelor (VDI 2358).

Pentru calculul tensiunilor de tracțiune efective în sârmele unui toron, Benndorf [14] a stabilit luând în considerare comportarea geometrică a toronului, următoarea formulă :

$$\bar{\sigma}_{tk} = \frac{S \cdot \cos^2 \alpha_k}{\sum_{i=0}^{nD} Z_{Di} \cdot A_{Di} \cdot \cos^3 \alpha_i} \quad . \quad 3.53$$

Unde n_D este numărul sârmelor. Prin luarea în considerare a contracției transversale v ale sârmelor în toroane se obține :

$$\bar{\sigma}_{tk} = \frac{(S \cdot \cos^2 \alpha_k) / (1 + v_{Di} \cdot \sin^2 \alpha_k)}{\sum_{i=0}^{nD} Z_{Di} \cdot A_{Di} \cdot (\cos^3 \alpha_i) / (1 + v_{Di} \cdot \sin^2 \alpha_i)} \quad . \quad 3.54$$

$$\text{cu} \quad v_D = (-\Delta r / r) / (\Delta l / l) \quad 3.55$$

Benndorf a considerat în calculele sale conform reprezentării din Figura 3.8 și 3.9 , că sârma sub acțiunea forțelor se află în echilibru.

$$S = F \cdot \cos \alpha \quad 3.56$$



Fig. 3.8 Echilibrul forțelor după Benndorf

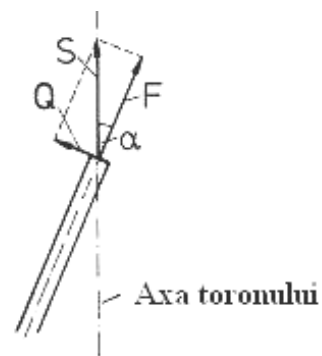


Fig. 3.9 Echilibrul forțelor după Dreher

Dreher a ales o formă diferită de reprezentare a forțelor și a obținut conform Figura 3.9

$$S = F / \cos \alpha \quad 3.57$$

tensiunea de tracțiune din sârmele unui toron :

$$\bar{\sigma}_{tk} = \frac{S \cdot \cos^2 \alpha_k}{\sum_{i=0}^{nD} Z_{Di} \cdot A_i \cdot \cos \alpha_i} \quad . \quad 3.58$$

Formula cu forțele alese de Dreher corespunde pentru toronare cu spirale simple, a cablurilor cu rotire împiedecată și pentru sârme în spirale, care sunt solificate sub acțiunea Forței S și care după axa toronului se pot roti liber. Sub acțiunea forței exterioare S în sârmă apare forța de tracțiune F în direcția axei sârmei, și forța transversală Q.

Pe de altă parte în realitate o sârmă încadrată într-un toron este tensionată astfel încât în jurul axei toronului nu se poate, sau poate să se rotească numai foarte puțin , rezultă în sârmă din forța exterioară S și U numai forță de tracțiune în direcția axei sârmei conform Figurii 3.8.

Prin neluare în considerare a sârmei centrale și considerând toate spirele de aceeași geometrie – poziție – în toron, se simplifică relația prezentată de Wiek [15]

$$\bar{\sigma}_t = \frac{S}{A \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta} \quad 3.59$$

Tote aceste considerații se bazează pe caracteristicile unui cablu din oțel ușor de îndoit și de torsionat.

Berg [16] și Heinrich [17] pentru cazul cablurilor greu da îndoit și de torsionat, au obținut pentru forțe de tracțiune a unei sârme după axa toronului :

$$S = F \cdot \cos \alpha \cdot - (\sin^2 \alpha / r) \cdot (M_i \cdot \cos \alpha - M_t \sin \alpha) \quad 3.60$$

unde pentru momentul de rotire al sârmei după axa toronului rezultă formula

$$M = F \cdot r \cdot \sin \alpha + M_i \cdot \sin \alpha \cdot (1 + \cos^2 \alpha) + M_t \cdot \cos^3 \alpha \quad . \quad 3.61$$

pentru cazurile în care sârmele întrun toron nu sunt solificate de forțe sau momente.

Iar în cazul solicitării toronului, cu geometrie, cu unghiul de înfășurare α și cu raza de înfășurare r ale sârmelor se stabilesc de Czitary [56] formulele pentru momentul de încovoiere

$$M_i = E \cdot J \cdot ((\sin^2 \alpha_1 / r_1) - (\sin^2 \alpha_0 / r_0)) \quad 3.62$$

iar momentul de torsiune :

$$M_t = G \cdot J_p \cdot ((\sin \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1 / r_1) - (\sin \alpha_0 \cdot \cos \alpha_0 / r_0)) \quad 3.63$$

Într-un exemplu se arată de autor că în toroanele nerotite aceste momente au valori reduse și pot fi neglijate.

3.9.4 Tensiuni de încovoiere și de torsiune în cablurile cu rotire neînpedecată

Utilizând relația 3.14, pentru un toron din cablu și observând că toroanele au elasticități diferite, se obține tensiunea de tracțiune medie în toronul din poziția 1:

$$\sigma_{t1} = \frac{(S \cdot E_{L1} \cdot \cos^2 \beta_1) / (1 + \nu_{L1} \cdot \sin^2 \beta_1)}{\sum_{j=0}^{nL} z_{Lj} \cdot A_{Lj} \cdot E_{Lj} (\cos^3 \beta_j) / (1 + \nu_{Lj} \cdot \sin^2 \beta_j)} \quad 3.64$$

$$\text{cu valoarea lui } \nu_{Lj} = (-\Delta R_j / R_j) / (\Delta L_j / L_j) \quad 3.65$$

Înlocuind în relația 3.24 forța de tracțiune cu forța de tracțiune al toronului:

$$S_1 = \bar{\sigma}_{t1} \cdot A_{L1}$$

se obține tensiunea de tracțiune a unei sârme de poziție k în toronul de poziție 1:

$$\sigma_{tk,1} = \frac{[(S \cdot E_{L1} \cdot A_{L1}) \cdot (\cos^2 \beta_1 / (1 + \nu_{L1} \cdot \sin^2 \beta_1))] \cdot [(\cos^2 \alpha_k) / (1 + \nu_{Lk} \cdot \sin^2 \alpha_k)]}{[\sum_{j=0}^{nL} (z_{Lj} \cdot A_{Lj} \cdot E_{Lj} \cdot (\cos^3 \beta_j) / (1 + \nu_{Lj} \cdot \sin^2 \beta_j))] \cdot [\sum_{i=0}^{nD} (z_{Di} \cdot A_{Di} \cdot (\cos^3 \alpha_i) / (1 + \nu_{Di} \cdot \sin^2 \alpha_i))]} \quad 3.66$$

În care modulul de elasticitate al toronului se înlocuiește după Bendorf [14]:

$$E_L = [\sum_{i=0}^{nD} (z_{Di} \cdot A_{Di} \cdot (\cos^3 \alpha_i) / (1 + \nu_{Di} \cdot \sin^2 \alpha_i))] / A_L \quad 3.67$$

Pentru cabluri cu toroane rotunde pe un rând cu inimă vegetală se simplifică relația 3.66

$$\sigma_{tk} = (S / z_L \cdot \cos \beta) \cdot [(\cos^2 \alpha_k) / (1 + \nu_{Dk} \cdot \sin^2 \alpha_k)] / [\sum_{i=0}^{nD} (z_{Di} \cdot A_{Di} \cdot (\cos^3 \alpha_i) / (1 + \nu_{Di} \cdot \sin^2 \alpha_i))] \quad 3.68$$

Modificarea dimensiunii toronului în cablu –contractia transversală- nu este posibil de determinat prin calcule. Se prezintă situații în care tensiunile în toroanele interioare sunt mai

mari decât în toroanele exterioare. Con tracția transversală a sârmelor în toroane, din cauza aplatizării sârmelor este puțin mai redusă decât a unei bare drepte.

Cu o abatere mai puțin decât 2 % pentru sârmele exterioare a unui cablu, cu cablarea paralelă a toroanelor con tracția transversală în această fază poate fi neglijată.

Astfel tensiunea de tracțiune dintr-o sârmă din poziția k se obține cu relația:

$$\sigma_{tk} = (S/z_L \cdot \cos \beta) \cdot [(\cos^2 \alpha_k) / [\sum_{i=0}^{nD} (z_{Di} \cdot A_{Di} \cdot (\cos^3 \alpha_i))] \quad 3.69$$

3.9.5 Curba de poziție ale sârmelor într-un cablu drept

Curba de poziție a unei sârme dintr-un cablu drept, se compune din suprapunerea curbei de toronare și cablare, rotirea sârmei în jurul axei toronului și al cablului.

Pentru curba de poziție după axa toronului rezultă :

$$X_L = -R \cdot \sin \varphi_L \quad 3.70$$

$$Y_L = R \cdot \cos \varphi_L \quad 3.71$$

$$Z_L = L \cdot \varphi_L / (2\pi) \quad 3.72$$

La aceste relații pentru curba de poziție se adaugă părțile din rotirea toronului în jurul axei cablului, prezentate în Figura 3.10.

$$\Delta x = -r \cdot (\cos(\varphi_D - \varphi_L) \cdot \sin \varphi_L + (\sin(\varphi_D - \varphi_L) \cdot \cos \beta \cdot \cos \varphi_L)) \quad 3.73$$

$$\Delta y = r \cdot (\cos(\varphi_D - \varphi_L) \cdot \cos \varphi_L - (\sin(\varphi_D - \varphi_L) \cdot \cos \beta \cdot \sin \varphi_L)) \quad 3.74$$

$$\Delta z = -r \cdot \sin(\varphi_D - \varphi_L) \cdot \sin \beta \quad 3.75$$

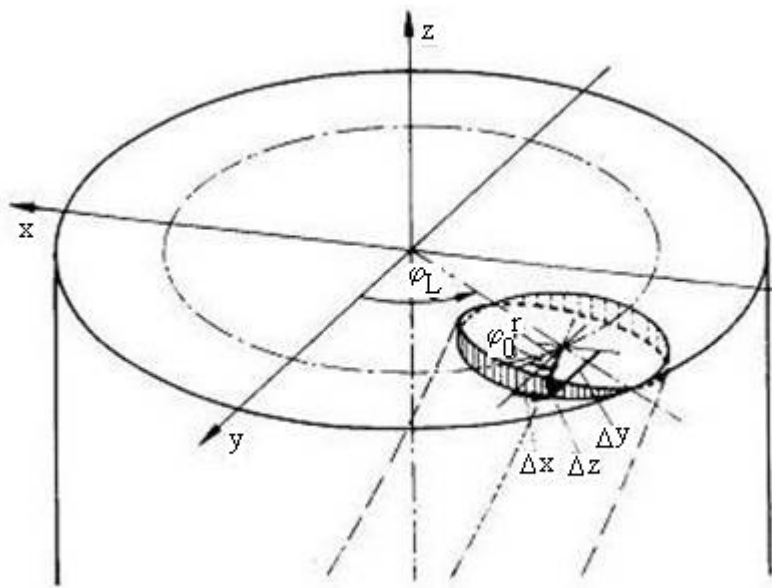


Fig 3.10-[170] Curba de poziție ale sârmei într-un cablu drept

Toronul se află în cablu într-o poziție curbată. Întrucât în general între sârmele unui toron există foarte puțin spațiu, o deplasare ca și la curba de poziție ale sârmelor înfășurate cu deplasare fixă, ar fi necesară, dar nu este posibilă.

Astfel relația dintre unghiurile de înfășurare se consideră constantă: φ_D / φ_L . 3.76

Lungimea unui toron într-o spirală de cablu este :

$$S_L = L / \cos \beta \quad 3.77$$

Dacă în această lungime de spirală se află m^* lungimi de toroane, rezultă :

$$\varphi_D / \varphi_0 + m^* \cdot \varphi_L ; \quad m^* = L / l \cdot \cos \beta \quad 3.78$$

Rezolvând sistemul de ecuații se obține traiectoria sârmei din cablul drept :

$$x = -R \cdot \sin \varphi_L - r \cdot [(\cos (\varphi_0 + m \varphi_L) \cdot \sin \varphi_L + (\sin (\varphi_0 + m \varphi_L) \cdot \cos \beta \cdot \cos \varphi_L)] \quad 3.79$$

$$y = R \cdot \cos \varphi_L + r \cdot [(\cos (\varphi_0 + m \varphi_L) \cdot \cos \varphi_L + (\sin (\varphi_0 + m \varphi_L) \cdot \cos \beta \cdot \sin \varphi_L)] \quad 3.80$$

$$z = (L \cdot \sin \varphi_L / 2\pi - r \cdot (\sin (\varphi_0 + m \varphi_L)) \cdot \sin \beta \quad 3.81$$

Această curbă corespunde cu cea prezentată de Andorfer [18] în forma parametrică și asigură același rezultate referitoare la curbura sârmelor ca și descrierea vectorială a lui Wolf.

3.9.6 Tensiuni de încovoiere și de torsiune într-un cablu drept, solicitat la întindere.

Tensiunea de tracțiune a unui cablu drept cauzează în cablu o deformare elastică, iar într-un cablu nou o deformare plastică de alungire în direcția axei cablului. Totodată se produc în funcție de construcția cablului deformații plastice și elastice transversale. Aceste deformații longitudinale și transversale cauzează modificări ale construcției geometrice ale cablului și modificarea curbei spațiale ale sârmelor.

Cunoscând curba spațială înainte și după modificări, pot fi calculate tensiunile cu relațiile din capitolul. 3.9.3. Calculul tensiunii de torsiune din cablul cu curba spațială a sârmei dublu cablată, pentru torsiunea:

$$T^* = d\varphi_D^* / ds, \quad 3.82$$

$$\text{cu } d\varphi_D^* = d\varphi_D \cdot \cos \alpha \quad 3.83$$

$$d\varphi_D^* = (L / l \cdot \cos \beta) \cdot d\varphi_D \cdot \cos \alpha \text{ înlocuite se obține torsiunea} \quad 3.84$$

$$T^* = (L \cdot \cos \varphi / l \cdot \cos \beta) / (x'^2 + y'^2 + z'^2)^{1/2} \quad 3.85$$

Iar din variația torsionării rezultată tensiunea de torsiune este

$$\tau = (T_1^* - T_0^*) \cdot \delta / 2 \cdot G, \quad 3.86$$

Considerând că în procesul de solicitare se modifică atât lungimea de înfășurare $L_0 \rightarrow L_1$, cât și diametrul $d_0 \rightarrow d_1$ este necesară ca variația acestor date geometrice să se calculeze prin metoda apropiării. Presupunând că variația diametrului toronului față de diametrul cablului este neglijabilă $d_{L1} \cong d_{L0}$, se obține raza de înfășurare al toronului

$$R_1 = (d_1 - d_L) / 2 \quad \text{respectiv} \quad R_1 = R_0 = (d_0 - d_1) / 2 \quad 3.87$$

Lungimea toronului S_L în cadrul unei lungimi de înfășurare pe cablu este conform Figurii 3.11

$$S_{L0} = [L_0^2 + (2 \cdot \pi \cdot R_0)^2]^{1/2} \quad 3.88$$

$$\text{respectiv } S_{L1} = [L_1^2 + (2 \cdot \pi \cdot R_1)^2]^{1/2} \quad 3.89$$

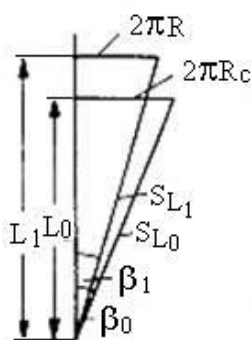


Fig.3.11

Variația geometriei cablului

Considerând pe mai departe că, toronul suferă doar o variație neglijabilă al diametrului, se obține astfel lungimea toronului S_L în cadrul unei lungimi de înfășurare pe cablu

$$S_{L1} = S_{L0} \cdot (1 + \varepsilon_L) \text{ sau} \quad 3.90$$

$$S_{L1} = S_{L0} \cdot (1 + \sigma_{tL} / E_L) \quad 3.91$$

Rezolvând sistemul de mai sus se obține următoarea relație

$$[L_0^2 + (2 \cdot \pi \cdot R_0)^2] \cdot (1 + \sigma_{tL} / E_L)^2 = [L_1^2 + (2 \cdot \pi \cdot R_1)^2] \quad 3.92$$

din care se poate calcula raza de înfășurare al toronului, când este cunoscută modificarea (variația) lungimii de cablare al cablului

$$R_1 = [(L_0^2 + (2 \cdot \pi \cdot R_0)^2) \cdot (1 + \sigma_{tL} / E_L)^2 - L_1^2]^{1/2} / (2 \cdot \pi) \quad 3.93$$

sau se poate calcula lungimea de înfășurare L_1 al cablului solicitat, când este cunoscută modificarea (variația) diametrului cablului.

$$L_1 = \{[L_0^2 + (2 \cdot \pi \cdot R_0)^2] \cdot (1 + \sigma_{tL} / E_L)^2 - L_1^2 - (2 \cdot \pi \cdot R_1)^2\}^{1/2} \quad 3.94$$

Unghiul de înfășurare al toronului nesolicitat este :

$$\beta_0 = \arctan (2 \pi R_0 / L_0) \quad 3.95$$

iar al cablului solicitat este

$$\beta_1 = \arctan (2 \pi R_1 / L_1) \quad 3.96$$

Din variația lungimii de înfășurare al toronului

$$l_1 = l_0 \cdot (1 + \varepsilon_L) \quad 3.97$$

$$l_1 = l_0 \cdot (1 + \sigma_{tL} / E_L) \quad 3.98$$

și modificarea razei de înfășurare al sârmei

$$(r_1 - r_0) / r_0 = - \nu \cdot (l_1 - l_0) / l_0 \quad 3.99$$

se obține contracția transversală al sârmei din toron $\nu = 0,3$ al unghiului de înfășurare al sârmei în cablul solicitat

$$\alpha_1 = \arctan (2 \pi r_1 / l_1) \quad 3.100$$

Exemplu de calcul pentru un cablu cu cablare încrucișată :

$$R_0 = 5,5 \text{ mm}$$

$$\beta_0 = 18^\circ$$

$$r_0 = 2,0 \text{ mm}$$

$$\alpha_0 = 18^\circ$$

$$E_L = 180 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{tL} = 300 \text{ N} / \text{mm}^2$$

Se modifică datele cablului la o alungire de 1%, în această nouă situația apare:

$$R_1 = 5,054 \text{ mm}$$

$$\beta_0 = 16,47^\circ$$

$$r_0 = 1,999 \text{ mm}$$

$$\alpha_0 = 17,964^\circ$$

La un diametru de sârmă de $\delta = 1,0 \text{ mm}$ rezultă din aceasta alungire de cablu care produce tensiuni de încovoiere și de torsiune așa cum sunt reprezentate în Figura 3.12 în funcție de unghiul de rotire Φ .

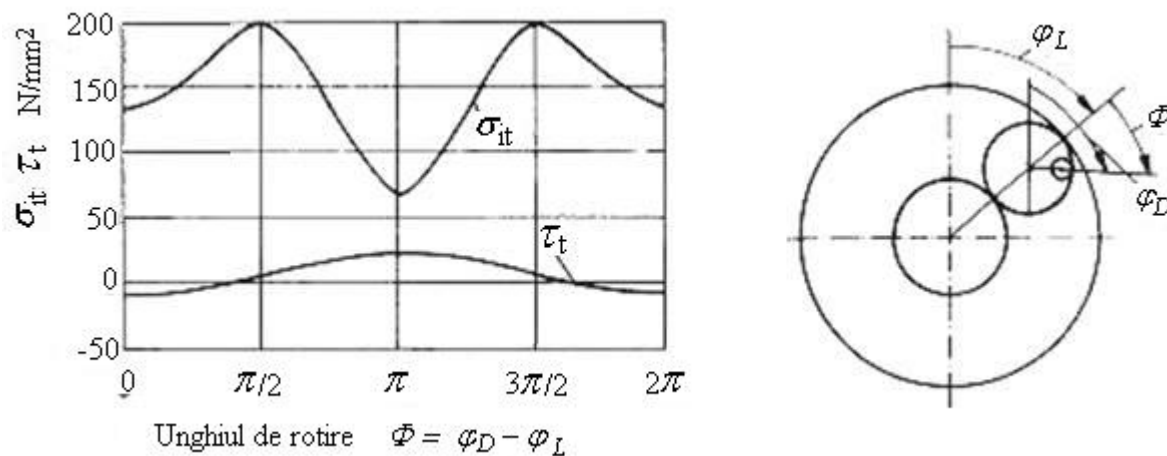


Fig. 3.12-[170]

Tensiunea de încovoiere maximă rezultată din alungirea cablului, produce de exemplu cca. 65 % din tensiunea de tracțiune. La cabluri cu sârme mai groase, deja și la solicitări mai mici, în toroane apar tensiuni rezultate și mai mari. În sârmele, în care tensiunea de încovoiere apare pozitiv, aceste momente sunt orientate în majoritatea lor spre centrul cablului. Tensiunile de torsiune reprezintă cca. 10 % din tensiunea maximă de încovoiere și se propune că în unele cazuri acestea pot fi neglijate.

Exemplu de calcul

Tensiuni de încovoiere și de torsiune într-un cablu drept
din sârme cu rigiditate ridicată, solicitat la întindere.

Forța de tracțiune și momentul de rotire din sârmele unui toron se poate însuma și exprima cu formulele 3.60 și 3.61 :

$$S_L = \sum_{i=0}^{nD} Z_{Di} \cdot [F_i \cdot \cos \alpha_i + (\sin^2 \alpha_i / r_i) \cdot (M_{iD} \cdot \cos \alpha_i - M_{tDi} \sin \alpha_i)] \quad 3.101$$

unde pentru momentul de rotire al sârmei după axa toronului rezultă formula :

$$M_{tL} = \sum_{i=0}^{nD} Z_{Di} \cdot [F_i \cdot r_i \cdot \sin \alpha_i + M_{iD} \cdot \sin \alpha_i \cdot (1 + \cos^2 \alpha) + M_{tDi} \cdot \cos^3 \alpha_i] \quad 3.102$$

Astfel rezultă momentul de încovoiere M_{iD} și de torsiune M_{tDi} prin deformarea și modificarea înfășurării sârmelor la solicitarea cablului, rezultând:

$$M_{iD} = W_i \cdot \sigma_{it} \quad \text{și} \quad M_{tD} = W_t \cdot \tau_t \quad 3.103$$

În relația 3.96 și 3.97 trebuiesc înlocuite unghiul și raza unghiulară al sârmei solicitate. Relația 3.96 trebuie folosită și pentru calculul forței de tracțiune din cablu, când M_{iD} prin M_{bL} se înlocuiește:

$$M_{iL} = \sum_{i=0}^{nD} Z_{Di} \cdot (M_{iD} \cdot \cos \alpha_i) - M_{tDi} \cdot \sin \alpha_i] \quad 3.104$$

unde M_{tD} cu M_{tL} se înlocuiește.

Folosind metoda și relațiile deduse mai înainte, se obține momentul de încovoiere mediu al unei sârme:

$$M_{iD} = \sim -1,5 \text{ Nmm},$$

iar momentul de torsiune medie:

$$M_{tD} = \sim -1,0 \text{ Nmm}$$

Considerând pentru simplitate un cablu [FE+6(FE+6)] cu 6 toroane cu inimă vegetală, toronul acestui cablu compus din 6 sârme, se obține la o solicitare de tracțiune în sârme de $\sigma_t = 300 \text{ N/mm}^2$ conform relației 3.96 forța de tracțiune din toron:

$$S_L = 1349,0 \text{ N}$$

iar cu relația 3.21a momentul de torsiune al toronului:

$$M_{tL} = 823,9 \text{ Nmm}$$

și cu relația 3.22a momentul de încovoiere al toronului

$$M_{iL} = 87,5 \text{ Nmm}$$

Prin folosirea relației 3.20a pentru toronul din cablu se obține forța de tracțiune pe cablu:

$$S = 7792,2 \text{ N}$$

Pentru exemplul de mai sus cazul cablului ales cu torsiune neîmpiedecată relația 3.58 se simplifică și exprimând forța de tracțiune, se obține relația:

$$S = \sigma_t \cdot z_L \cdot \cos\beta \cdot z_D \cdot A_D \cdot \cos\alpha \quad 3.105$$

Înlocuind în acesta la fel tensiunea de tracțiune al sârmei cu valoarea

$$\sigma_t = 300 \text{ N/mm}^2,$$

se obține forța pe cablu: $S = 7737,7 \text{ N}$

Concluzii

Forța de tracțiune calculată în cazul cablului din sârme cu rigiditate mică față de încovoiere și torsionare este cu cca 1% mai redusă ca și la calculul în cazul cablului din sârme cu rigiditate mai mare.

Pentru cablul din sârme cu rigiditate mică față de încovoiere și torsionare conform calculului a rezultat că cca. 99 %, din tensiunea de tracțiune, este cauzată de forța de tracțiune și numai cca. 1 % este cauzată de deformarea de încovoiere și de torsionare a sârmelor.

Abaterea rezultată prin calcul este de valoare redusă, dar în cazul sârmelor moi se prezintă o repartizare mai neuniformă a tensiunilor pe care nu se poate arăta prin calcul.

3.9.7 Repartizarea tensiunilor într-o secțiune reală al cablului, influența pretensionării asupra fiabilității

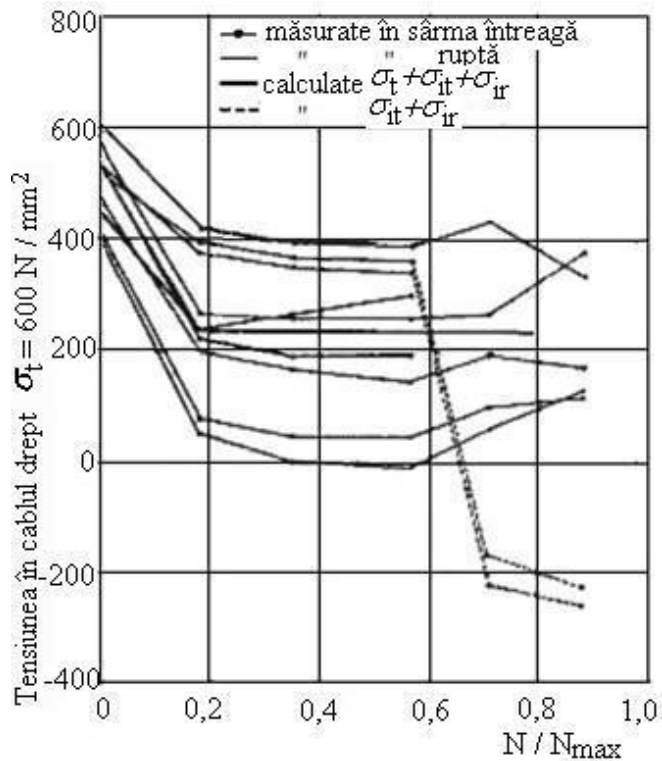


Fig. 3.13

Pentru clarificarea repartizării tensiunilor în sârmele toroanelor și în toroanele cablurilor stau următoarele rezultate ale măsurătorilor la dispoziție. Schiffner a întreprins în 1986 (la fel și Evans cu Chaplin în 1997) măsurători cu timbre de dilatare DMS pe un cablu de construcție încrucișată FEC+6(1+9+9) DIN 3062 de diametrul 36mm și a întreprins încercări de încovoiere de duranță. Figura 3.13.

În prima parte a încercărilor sa înregistrat o scădere a tensiunilor dar și o dispersie de până la 200 N/mm^2 . Ceeace a considerat cauza tensiunilor de încovoiere negative prin contracția definitivă a sârmelor. După un număr destul de mare al încercărilor au rămas tensiunile aproape nemodificate, dar au apărut diferențe mai mari până la 400 N/mm^2 . După 60% din durata încercărilor (N_{max}), au apărut două sârme rupte. Prin acesta au crescut tensiunile în sârmele învecinate. Prin aceste rezultate cuprinse și reprezentate în diagrama următoare a livrat Schiffner o prima demonstrație a repartizării neuniforme a tensiunilor în toroanele cablurilor.

În sârmele cablurilor solocitate la întindere pe lângă tensiunile primare iau nastere, tensiuni secundare datorată înfășurării sârmelor în toroane și înfășurării toroanelor în cablu. Andorfer în lucrarea sa în anul 1983 a adus o contribuție importantă la calculul repartizării, în special ale tensiunilor secundare într-o secțiune reală al unui cablu de oțel. A ajuns la concluzia că chiar prin luarea în considerare a forțelor de frecare între sârme, repartizările tensiunilor nu sunt cunoscute suficient de exact.

Evans și Chaplin au întreprins la fel cercetarea repartizării tensiunilor prin măsurarea cu timbre de dilatare, lipind timbre pe două sârme învecinate. Au efectuat 100.000 de cicluri și au observat o scădere a diferențelor dintre tensiuni.

Evans și Chaplin au constatat că rezultatele lui Schiffner sunt corecte, și că prin pretensionare se poate obține o creștere deosebită a fiabilității. Din rezultatele cercetărilor au tras concluzia că cablurile pretensionate au o fiabilitate de cca trei ori mai mare decât cele ne pretensionate.

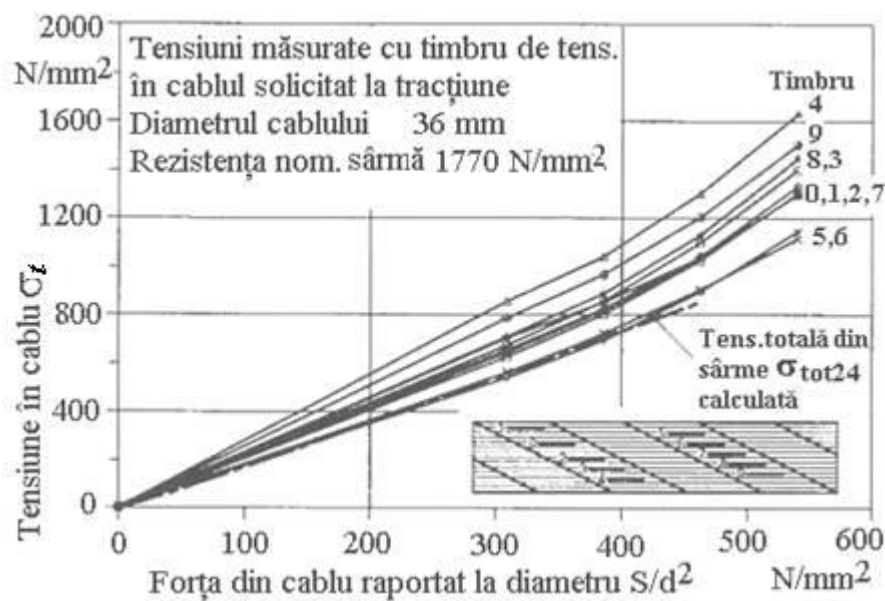


Fig.3.14

La institutul de la Stuttgart în puține încercări ale diferitelor cabluri s-a ajuns la concluzia că există o relație între forța de pretensionare și creșterea fiabilității cablului.

Dacă se pretensionează cablul cu 94% din forța reală de rupere F_u , astfel se poate ajunge la o creștere de zece ori a fiabilității. Această enormă creștere a fiabilității se datorează repartizării mai uniforme a sârmelor în toroane și a toroanelor în cablurile de oțel.

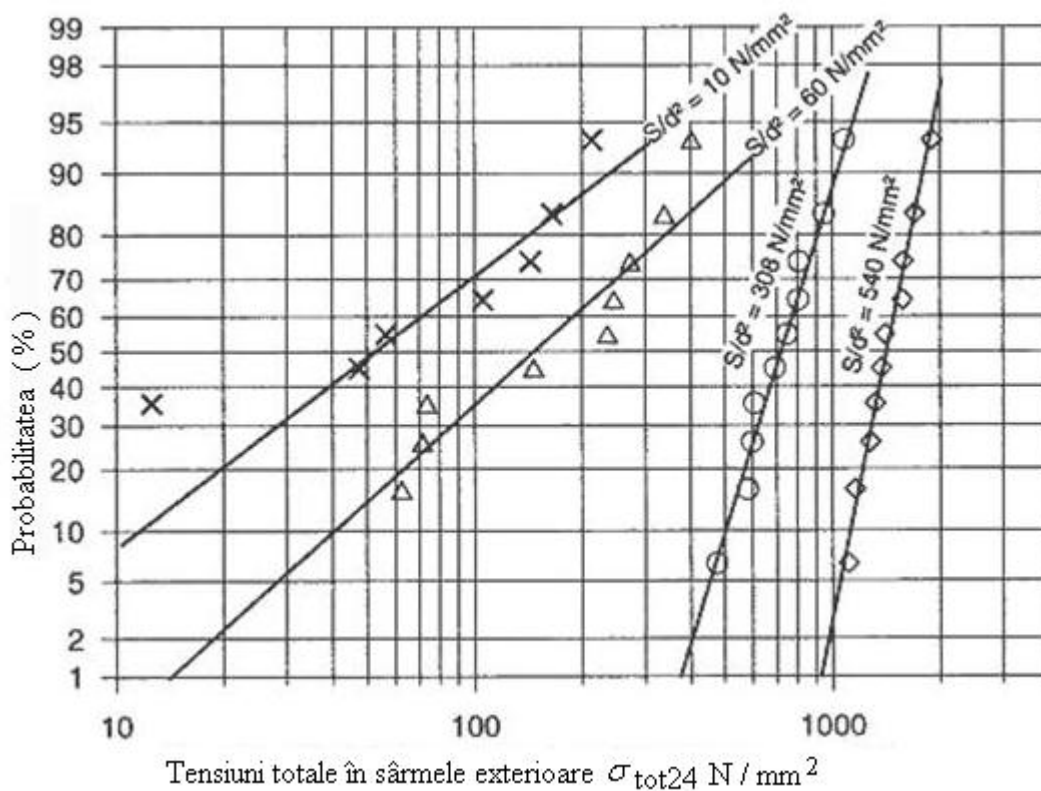


Fig. 3.15 –[170]

CONCLUZII

Rezultatele cercetărilor de laborator obținute sunt bazate pe solicitări regulat variate în cadrul cercetărilor și nu se potrivesc cu cele aleatoare din exploatare, din această cauză este necesară o precauție la stabilirea fiabilității unei structuri cu cabluri.

Cu această observație se aduce o contribuție la importanța țineri cont de neuniformitățile solicitărilor din sârmele cablurilor, neuniformități care pot ajunge la mărimi de mai multe ori mai mari decât cele calculate, cauze din care fiabilitatea stabilită în baza tensiunilor calculate nu se potrivesc pentru o fiabilitate de luat în seamă cu certitudine.

Un cablu de bună calitate trebuie să aibă o geometrie și cablare prin care asigură o repartizare cât se poate de uniformă a tensiunilor din toroanele și sârmele cablului. Aceste caracteristici ale unui cablu poate fi puse în evidență și garantat numai prin încercarea experimentală a cablului. Din această cauză se impune în continuare cercetarea experimentală a cablurilor din oțel și stabilirea cât mai precisă a fiabilității.

Capitolul 4

Contribuții la analiza cercetării cablurilor de susținere și ancorare,

Întroducere

Cablurile de susținere și de ancorare sunt supuse majoritar la solicitări de tracțiune constante cauzate de greutatea proprie a construcției și la solicitări variabile cauzate de influențe exterioare, vânt, ploaie, zăpadă, și încărcăturii aleatoare, ca rularea vehiculelor în cazul podurilor, etc.

În normele naționale și internaționale sunt prevăzute reguli de calcule și coeficienți pentru diverse influențe exterioare astfel pentru greutatea proprie, parte ale construcției care solicită un anumit element $c = 0,35$, greutatea zăpezii ca acțiune constantă $c = 0,50$, etc. și diverse combinații posibile ale acestor influențe, luând în considerare și în calcule în final cele mai defavorabile dintre toate combinațiile cercetate.

În majoritatea cazurilor este greu sau chiar imposibil stabilirea în mod corect pe cale teoretică, prin calcul ale valorilor influențelor, solicitărilor pe anumite elemente ale construcției. Din această cauză se impune cercetarea pe cale experimentală a valorilor și a variației diferitelor influențe care acționează asupra întregi construcției și asupra elementelor.

În vederea asigurării unei fiabilități ridicate se întreprinde măsuri începând de la confecționarea cablurilor, cablarea, introducerea materialului de protecție și ungere, compactarea cablului și depunerea stratului exterior de protecție împotriva coroziunii.

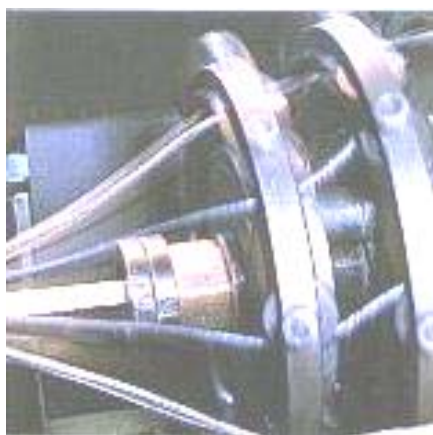


Fig. 4.1-[59] Masina de cablat tip Haspel



Fig. 4.2-[59] Introducerea materialului de protecție

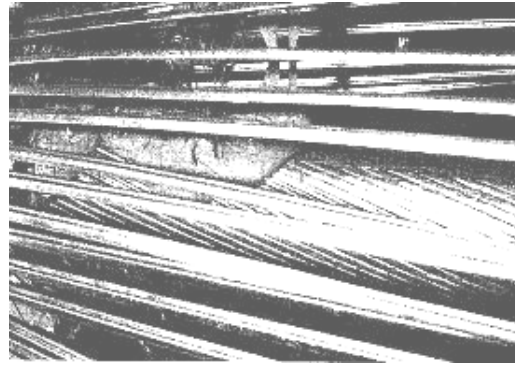
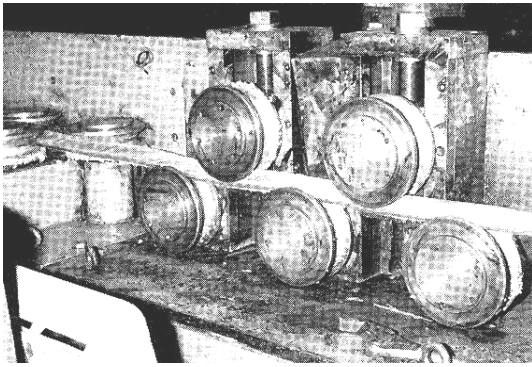


Fig. 4.3-[59] Compactarea din două direcții Fig. 4.4-[59] Eliminarea materialului de ungere în surplus

Acoperirea prin pulverizare a suprafețelor exterioare ale cablurilor se realizează după terminarea construcției cu o instalație mobilă prezentată în Figura 4.5.

Înainte de pulverizare se pregătește, se curăță suprafața cablurilor cu o instalație cu perie de sârmă rotitoare, prezentată în Figura 4.6.

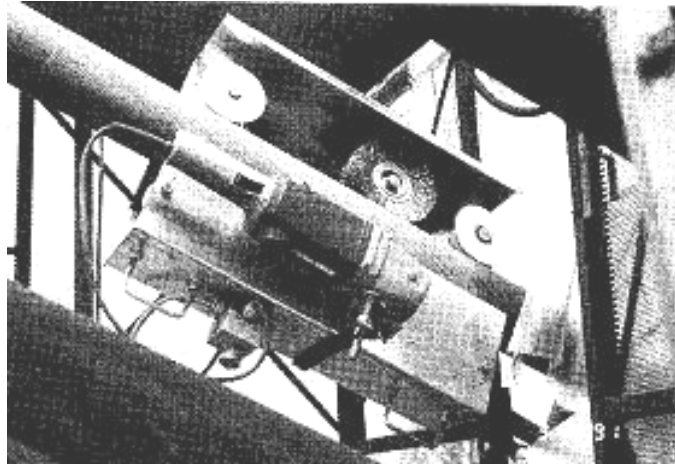
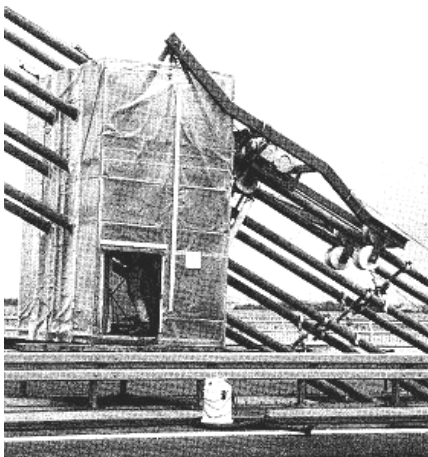


Fig. 4.5 -[59] Instalație de pulverizare Fig. 4.6-[59] Instalație cu perie rotativă

În vederea asigurării unei fiabilități de lungă durată se impune verificarea stării tehnice a tuturor elementelor construcției, dintre care în acest caz starea tehnică ale cablurilor.

Experimentări pentru stabilirea durabilității cablurilor din oțel de susținere și ancorare, de exemplu dela podurile construite în germania organizat executat și publicat de institutul de construcție și supraveghere drumuri și poduri din subordinea ministerului de construcții numit Bundesanstalt für Straßenwesen, au fost efectuate și s-au întreprins următoarele:

4.1 Studiul cablurilor pe porțiuni, a firelor rupte și a siguranței în exploatare

Măsurarea alungirii cablurilor în exploatare sub acțiunea solicitărilor datorită variației de temperatură, a circulației vehiculelor, acțiunii vântului și datorită vibrațiilor.

Măsurarea temperaturii mediului ambiant și a variației de temperatură pe suprafața exterioară a stratului protector și sub acest strat.

Analiza variației și frecvenței alungirii cablurilor

Determinarea solicitărilor și variația acestora provenite din solicitări inițiale, greutatea proprie a construcției, din rularea vehiculelor, prin măsurarea alungirii cablurilor și astfel determinarea forțelor apărute.

Urmărirea calității stratului de protecție ale cablurilor și înnoirea acestora în cazul degradării, a ieșirii materialului de ungere în timpul exploatării.

Măsurarea rugozității suprafețelor sârmelor cablurilor

Măsurarea alungirii cablurilor în paralel cu observarea în același moment cu înregistrarea video a vehiculelor care circulă pe pod.

Numărarea periodică a frecvenței vehiculelor care circulă pe pod.

Cercetările efectuate au cuprins observarea pe porțiuni ale cablurilor, atât a variației de temperaturi, a acțiunii intensității și direcției vântului, a intensității solicitărilor și a ieșirii dintre sârme a materialului de conservare. După montare au fost întocmite planurile de solicitare de alungire quasi-statice ale cablurilor, iar după luarea în funcțiune și rularea circulației, cele dinamice. Pentru verificare au fost alese porțiunile inferioare ale cablurilor la poduri. Au fost verificate comportările materialelor de ungere și conservare din cabluri, referitoare la solicitări și a variației de temperatură. Sau constatat că materialul din ulei de in cu plumb sa comportat mai bine decât celelalte materiale de exemplu. ulei cu praf de zinc.

4.2 Urmărirea calității stratului de protecție, înnoirea acestora în cazul degradării și urmărirea ieșiriilor de materiale de ungere în timpul exploatării.

În cadrul experiențelor de la [Bast], urmărirea ieșirii materialului de ungere și protecție dintre sârmele cablurilor la podul A42 de pe Rhein s-a înregistrat ieșirea unei mari cantități de material după punerea în funcție și încărcarea prin suprasolicitare, și încăodată în timpul verii următoare.

Pentru punerea în evidență a ieșirii materialului de ungere au fost marcate pe cablurile 6au, 6bu, 6cu și 16au, 16bu și 16cu lungimi de referințe în lungime de 2 m de pe care au fost adunate materialele de ungere ieșite și măsurate, greutatea acestora și reprezentate în diagramele din Figurile 4.9 și 4.10:



Fig. 4.7 -[59]



Fig.4.8-[59]

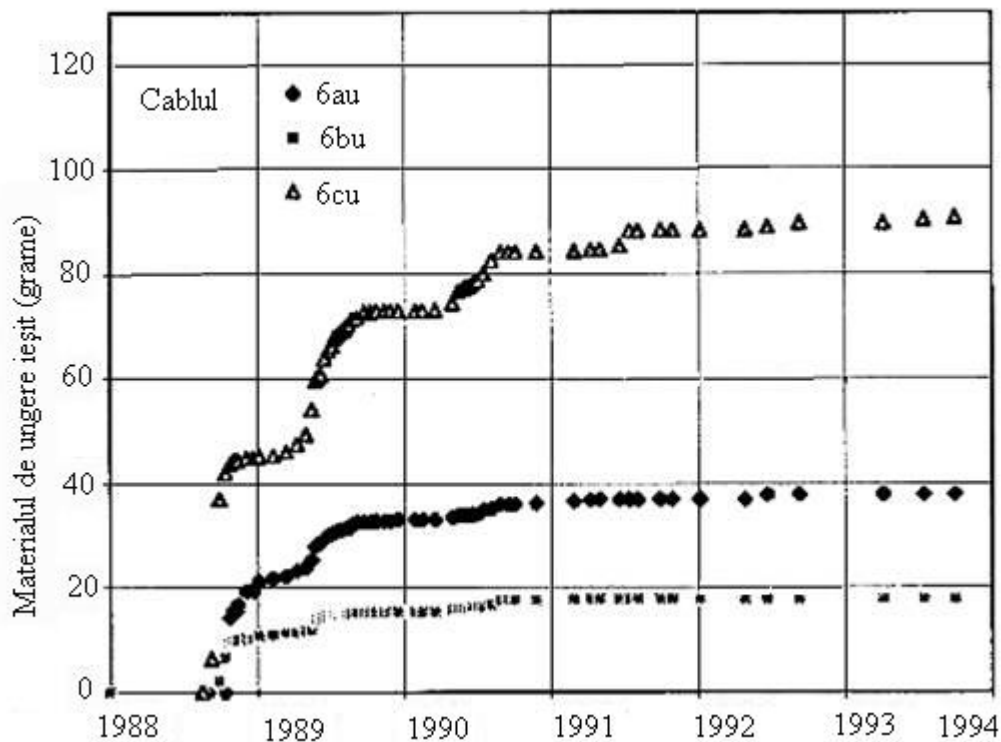
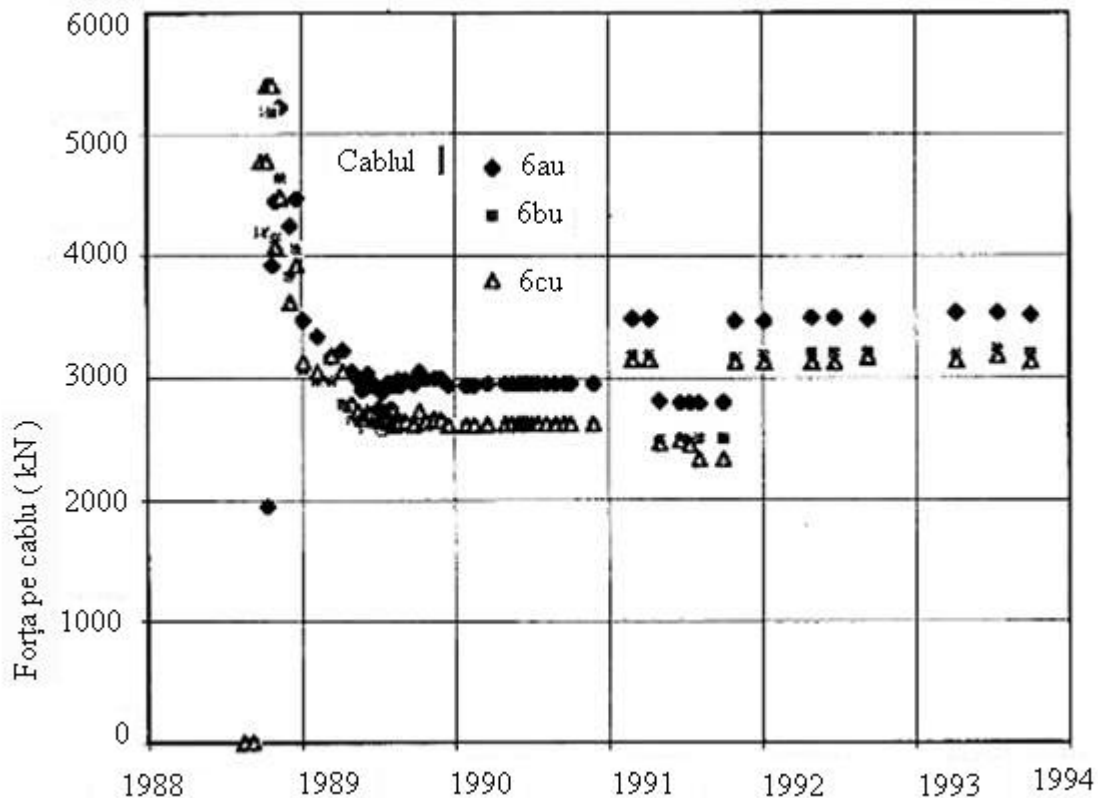


Fig.4.9-[59]

În Figura 4.9 s-au reprezentat cantitățile material de protecție ieșite în timpul exploatării.



În Fig.4.10-[59] sunt reprezentate forțele care au acționat în cazul urmăririi ieșirii materialului de protecție.

Sa urmărit dacă ieșirile de material de ungere se repetă în aceleași locuri și s-a constatat că ieșirile depind de calitatea și felul cablării cablurilor, de calitatea și felul materialului de ungere și de starea stratului de acoperire exterioară. După înnoirea stratului de protecție prin pulverizare, ieșirile s-au redus aproape complet. S-a urmărit și s-a constatat că există diferențe de cantitățile ieșite înregistrate dintre cele două materiale de ungere-unplere folosite,

Varianta 1. „ulei de in cu plumb”, și

Varianta 2 „Cordalen T.A este o ceară artificială”.

Varianta a2S-a comportat mai corespunzător.

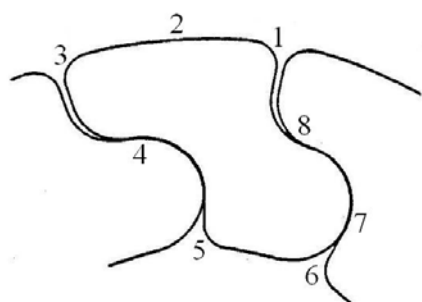
În afară de aceste două variante de material a fost folosit la podul A46 un material de ungere „A-Fax 600 Series Amorphous Polipropilen” fabricat de firma Engleză Hercules Incorporat care la fel este o ceară artificială și are calități mai bune decât celelalte două.

Se desprinde rezultatul că calitatea și comportarea materialul de ungere ale cablurilor la diverse temperaturi și la variația temperaturilor și ale forțelor din exploatare are o inportanță deosebită asupra nivelului de fiabilitate ale cablurilor.

4.3 Influența rugozității suprafețelor sârmelor asupra fiabilității.

Rugozitatea suprafețelor sârmelor din cablurile de oțel are o importanță deosebită asupra fiabilității, atât pentru evitarea ieșirii mai ușoare a materialului de ungere printre sârme cât și pentru îmbunătățirea rezistenței la oboseală ale cablurilor.

Măsurători au fost efectuate pe diferite cabluri de diferite proveniențe și execuție ca de la firma Trefil Abred și de la Thyssen epruvete de cabluri zincate și nezincate de cca 10 cm.



Toate cablurile examinate au fost cabluri închise din sârme profilate prezentate în Figura 4.11. Primele măsurători au fost efectuate pe epruvete de sârme de fabricație normală. Rugozitatea a fost examinată cu un instrument Hommel Tester T 1000 pe lungimi de 15 mm.

Fig.4.11-[59]

Au fost măsurate rugozitățile pe 8 locuri de forme diverse pe circumferința cablului notate pe Figura 4.11.

Din analiza înregistrărilor a rezultat că rugozitatea influențează în mare măsură fenomenul de ieșire a materialului de ungere și astfel fiabilitatea de lungă durată ale cablurilor.

Experiențele au fost efectuate înainte de bombardarea suprafețelor cu alicie și după acesta. Prin bombardare s-a modificat configurația suprafețelor dar rugozitatea nu s-a micșorat. S-a observat o diferență între suprafețele 1, 2 și 3 în favoarea fâșiei 2.

Rezultă că o importanță deosebită prezintă acoperirea suprafețelor exterioare ale cablurilor în stare montată și numai prin acesta se poate asigura o protecție bună a materialului de ungere și astfel asigura o fiabilitate de lungă durată a cablurilor la podurile ceea ce este de foarte mare importanță atât din punct de vedere al siguranței construcției cât și din punct de vedere economic.

4.4 Contribuții la analiza cercetării protecției împotriva coroziunii ale cablurilor din oțel

Generalități

Protecția împotriva coroziunii are o importanță deosebită asupra durabilității și fiabilității cablurilor din oțel, trebuie să fie prevăzută în concordanță cu mediul ambiant și să aibă un efect de lungă durată. Putem deosebi 4 domenii :

- 1- Protecția împotriva coroziunii prin măsuri luate la execuția întregii construcții,
- 2- Protecția împotriva coroziunii a fiecărei sârme,
- 3- Protecția împotriva coroziunii ale cablurilor prin măduva interioară,
- 4- Protecția împotriva coroziunii ale cablurilor prin acoperirea suprafeței exterioare.

La construcții unde circulă autovehicole, cablurile trebuie să aibă o protecție față de stropire cu material de dezghețare, antigel, etc.

La zincarea sârmelor se prevăd grosimi de straturi diferite în clase A și B, la fel și în funcție de tipul și diametrul sârmelor, între 70 g/mq și 290 g/mq. La zincare GALFAN se atinge o greutate pe suprafață de 300 g/mq.

La sârme până la 3 mm diametru, se utilizează în anumite cazuri și sârme inoxidabile.

La protecții interioare trebuie să fie asigurată posibilitatea introducerii ulterioare a materialului de ungere.

Elementele de legătură și armaturile trebuie să fie protejate suplimentar și la fel cablurile în zonele de contact cu acestea. Elementele și cablurile din oțel inox se polizează suplimentar.

introducere

Cablurile pentru podurile suspendate sunt construite prin înfășurare din numeroase sârme zincate și sunt tratate în vederea protecției împotriva coroziunii prin mai multe straturi de acoperire prin pulverizare.

Față de zincarea pură a sârmelor, azi stă la dispoziție o metodă nouă de acoperire, numită Galfan, cu un aliaj din zinc+aluminu, cu care se poate realiza o protecție mai bună împotriva coroziunii. Până acum nu a fost cunoscut dacă metoda nouă, acoperire cu Galfan este mai bună și conferă suprafețelor de oțel o fiabilitate mai bună.

În cadrul cercetărilor întreprinse la institutul de cercetare din cadrul ministerului pentru construcții din germania, s-a demonstrat (dovadit) că prin metoda Galfan se realizează o protecție împotriva coroziunii, prin aderență mai bună, decât prin zincare. Pentru acest scop s-au realizat epruvete, plăci din oțel, iar pentru verificarea aderenței

stratului de acoperire, s-au efectuat experimentări comparative între epruvetele tratate cu cele două metode, zincare și Galfan. Între cele două metode s-a obținut rezultate mai bune la piesele acoperite cu Galfan decât la cele acoperite cu zinc. Astfel metoda de acoperire poate fi folosită cu mai multă încredere decât cea prin zincare. Rezultatele obținute dovedesc în unanimitate că cablurile cu sârmele acoperite cu Galfan prezintă o utilizare pilot în practică.

Măsuri de întreținere al cablurilor pe construcții în exploatare

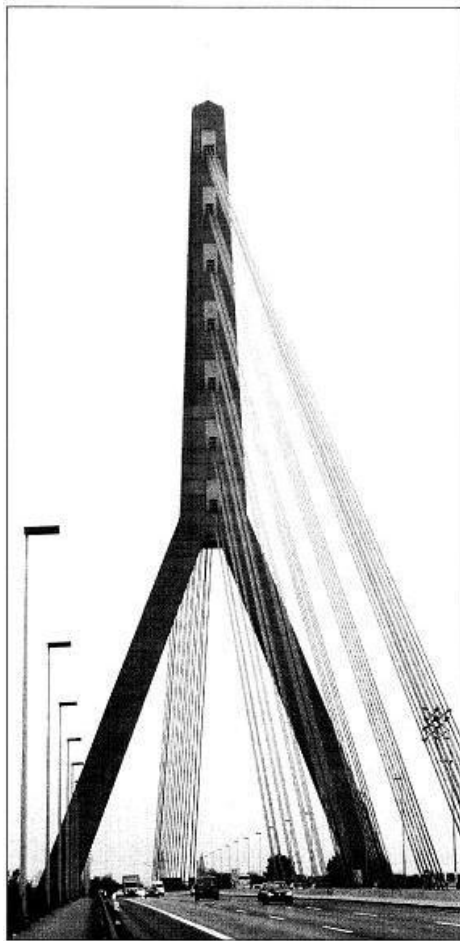


Fig.4.12 Podul Flehe de pe Rhein-[59]

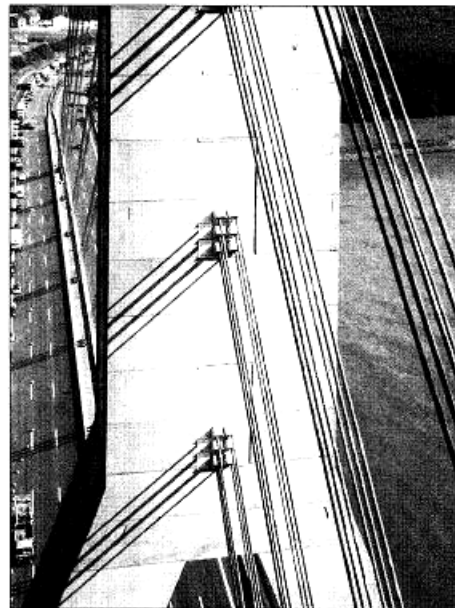


Fig.4.13 Podul Flehe, pilonul cu cabluri-[59]

Podul de pe Rhein în Düsseldorf-Flehe având o lungime de 368 m a fost construit în anul 1979. Cu pylonul cu înălțime de 145 m în forma de un Y inversat și cabluri, care constau din sârme paralele într-un singur șir reprezintă o raritate printre numeroasele poruri de pe Rhein.

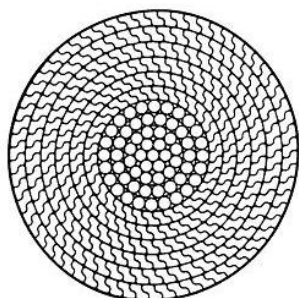


Fig. 4.14 Secțiune prin cablu complet închis

Cablurile în număr de 96, cu diametre de 93 mm și 111 mm, compuse formează o lungime de 18 km. Ca și la celălalte poduri din germania, au fost utilizate cabluri spirale din sârme profilate, complet închise. Un astfel de cablu constă dint-ro sârmă centrală înconjurată de alte straturi de sârme rotunde și în exterior înconjurate de sârme profilate de forma secțiunii cu profil Z.

Din cauza suprafețelor relativ mari ale sârmelor în contact, o importanță deosebită are realizarea unei aderențe durabile a stratului de acoperire în vedrea realizării protecției împotriva coroziunii, –al fiabilității– pe lungă durată. Se deosebește protecția interioară realizată prin materialul de umplere-ungere introdusă în golurile dintre sârmele cablului și cea exterioară, realizată prin acoperirea cu mai multe straturi a de protecție aplicată prin pulverizare.

Cu toate aceste măsuri de protecție la podul Flehe în cursul verificării cablurilor efectuate în anul 2003, au fost găsite la 33 de cabluri, total 120 de sârme rupte, dintre care majoritatea în zonele exterioare, conform Figura 4.15.

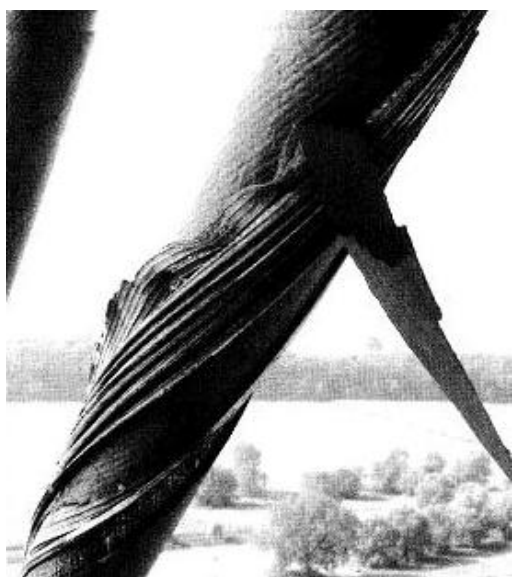


Fig.4.15-[59]

Ca și cauza ruperii sârmelor a fost stabilită apariția corziunii prin tensiunile produse de apa infiltrată producând ditrugerea straturilor de zinc și maideparte producând corodarea destul de puternică a sârmelor din oțel.

În baza acestor ruperi de sârme au fost prevăzute înlocuirea a 9 bucăți de cabluri. Astfel au fost de primadată folosite cabluri cu protecție împotriva coroziunii realizate cu acoperire galfan, care constă dint-un aliaj de zinc 95% și 5 % aluminiu, aliaj prin care se realizează o protecție

împotriva coroziunii mult mai bună decât prin acoperire cu zinc fără element de aliere.

Întrucât nu a fost cunoscut faptul dacă pe suprafața acoperită cu galfan se realizează o aderență la fel de bună a stratului depus prin pulverizare pe suprafața exterioară al cablului, ca și pe suprafață zincată, au fost efectuate cercetări de laborator pentru verificarea aderenței comparative la cele două variante. Cercetările au fost obținute cu rezultate pozitive în favoarea metodei de acoperire cu galfan.

Prezentarea comparativă al procedeelor de acoperire cu zinc și galfan

Pe lângă metoda de acoperire prin zincare cu flacăra, cunoscută și utilizată de decenii. Din ani 1980 stă la dispoziție o nouă metodă de protecție împotriva coroziunii cu aliaj de zinc 95 % cu 5 % Aluminiu, care în literatură este numit galfan. Denumirea provine din „Galvanisation Fantastique” de la cercetători belgieni Dewitte, M. și Vanhoutte, J. Pe mai departe se studiază comparativ proprietățile constructive și mecanismul de protecție și de comportare în timp ale acestor două metode.

Acoperire cu zinc

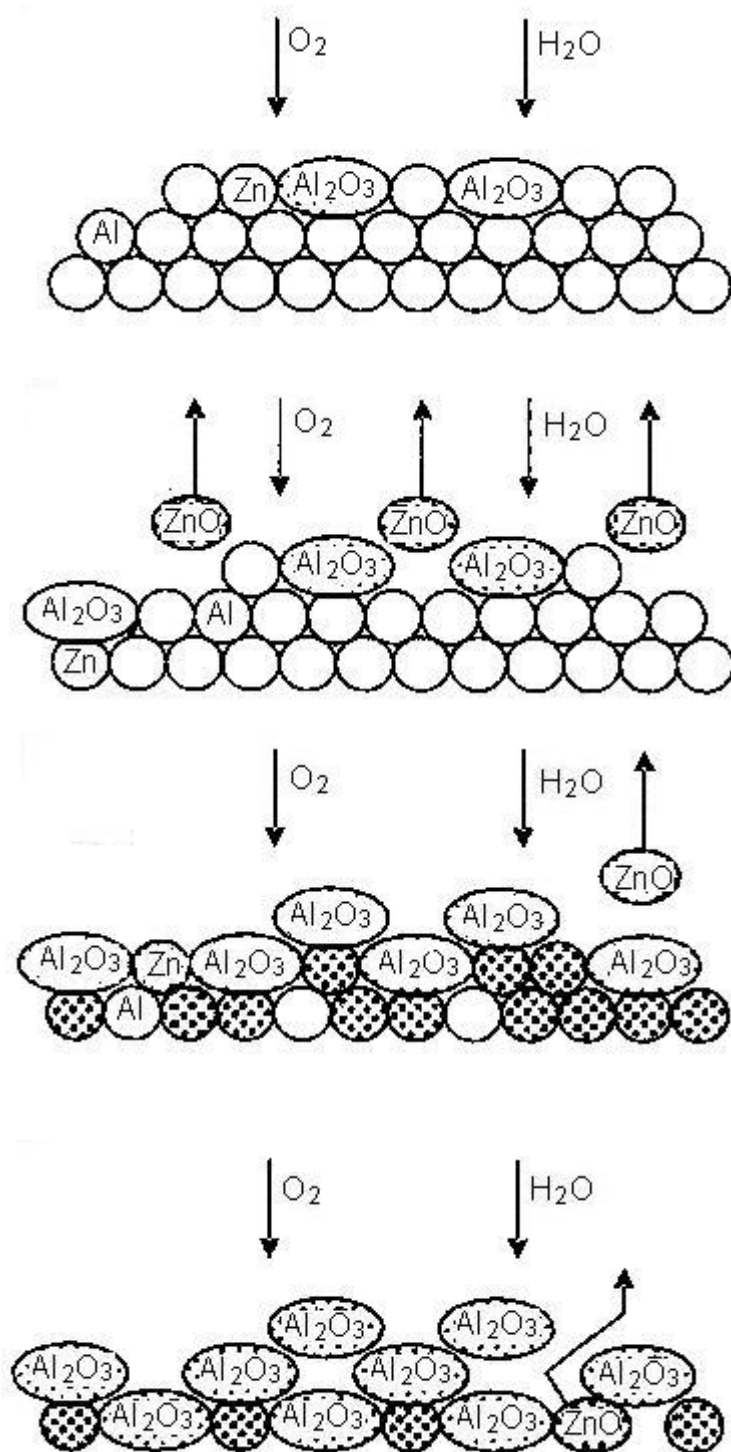
La acoperire cu zinc pur se formează pe suprafața oțelului un strat de aliaj oțel-zinc, iar pe acesta se formează stratul de protecție de zinc pur. Zincul pur este din punct de vedere electro-chimic mai puțin nobil decât oțelul, din această cauză la o solicitare corozivă se produce o dizolvare mai rapidă. Întrucât zincul formează o suprafață de protecție se obține o stabilitate prin formarea unui strat de zinc-carbonat bazic în prezența bioxidului de carbon din atmosferă. La solicitarea și îndepărtarea în timp a acestui strat, se formează cu restul materialului noi și noi straturi de zinc-carbonat bazic. Prin acest mecanism consumându-se stratul de zinc se ajunge la stratul de aliaj oțel-zinc și se formează produse de coroziune care se continuă cu corodarea oțelului.

Acoperire cu galfan

La acoperire cu galfan (Galvanisation Fantastique) se formează pe suprafața oțelului un strat de aliaj bogat în aluminiu, care pe lângă aluminiu conține zinc și oțel. Pe acest strat se formează un stratul de Eutectic-Zinc-Aluminiu cu cca. 5 volum % aluminiu, în care apar cristale mari cu conținut bogat în zinc.

Acțiunea anticorosivă a petecției galfan corespunde cu suprapunerea celor două mecanisme de protecție a celor două elemente de aliere. Aluminiul conferă un domeniu-pH de 4 – 8 prin formarea unui strat de oxid și prin acesta o protecție uniformă și stabilă. Acest oxid de aluminiu nu conferă o protecție catodică. Iar elementul de aliere zincul conferă o protecție catodică în aliaj și astfel aliajul dispune de o protecție catodică. Astfel prin suprapunerea celor două mecanisme de protecție, acoperirea de protecție cu procedeul galfan dispune de rezistență de protecție corosivă stabilă față de acoperire cu zinc pur.

Modelul de acțiune al mecanismului de protecție a procedului de acoperire cu galfan se prezintă în figurile următoare :



În Stadiul 1 se formează primardată pe suprafață un oxid de aluminiu Al_2O_3 , și afinitatea aluminiului la oxigen se dublează față de cea a zincului.

În faza următoare se oxidează zincul existent pe suprafață. Întrucât oxidul de zinc nu este stabil aderent pe suprafață, poate să se desprindă și procesul din stadiul 1 se repetă și se elimină

strat după strat de pe suprafețele sârmelor componente ale cablurilor până când pe suprafața rămâne un strat curat de oxid de aluminiu, bine aderent, compact și termodinamic stabil.

Acest proces de formare a oxidului de aluminiu conduce la încetinirea desmembrării stratului de protecție și astfel la îmbunătățirea protecției și al fiabilității sârmelor și ale cablurilor totodată contribuie și la dezvoltarea duratei de utilizare ale cablurilor.

Fig.4.16-[175]

În cadrul cercetării elaborate și conduse de institutul de cercetări pentru drumuri și poduri din cadrul ministerului de construcții din germania, scopul a fost demonstrarea faptului că prin procedeul de acoperire galfan se obține o protecție, respectiv o aderență a stratului de protecție de cel puțin așa de bună, sau și mai bună decât prin procedeul de acoperire prin zincare cu zinc pur.

Acest program pilot a fost necesar pentru a folosi acest procedeu, elaborat inițial de cercetători belgieni, la întreținerea și reînnoirea podului Flehe de pe Rhein.

La verificarea și constatarea defecțiunilor, sârmelor rupte în cablurile găsite la podul Flehe, s-a dovedit că infiltrarea apei sub stratul de protecție cu zinc este posibilă, și îmbunătățirea acestei acoperiri de protecție se impune cu desăvârșire. Utilizarea cablurilor cu acoperire cu galfan conferă o protecție mai superioară a elementelor interioare ale cablurilor. În cadrul cercetărilor au fost cercetate cazuri mai des utilizate în practică și s-a urmărit să se obțină rezultate concludente pe baza căreia să fie posibilă cu certitudine expunerea că procedeul de acoperire cu galfan asigură o aderență mai bună și mai durabilă, conferind o fiabilitate mai superioară cablurilor utilizate la construcția de poduri și la construcțiile moderne.

Cercetări complexe cu privire la fiabilitatea conferită de procedeul de acoperire cu galfan au fost realizate la institutul de diagnoze Boue in Belgia, pe cabluri concrete cu acoperiri de protecție corespunzător cazurilor din realitate. Iar la institutul (Bast) din germania au fost efectuate cercetări cu privire la verificarea aderenței stratului de protecție aplicat, pentru procedeele de acoperire cu zinc și cu galfan.

Pentru a avea certitudine că rezultatele obținute la verificarea aderenței, sau a diferenței de aderență, este realmente corectă, au fost pregătite diferite epruvete cu diferite calități mecanice ale suprafețelor.

Pentru a avea posibilitatea unei reproduceri, sau a verificări, au fost pregătite epruvete plane din tablă de oțel cu suprafețe omogen prelucrate. Conform scopului urmărit, jumătatea din epruvete au fost acoperite prin zincare, iar cealaltă jumătate au fost acoperite prin procedeul galfan.

Analiza rezistenței la coroziune

În vederea obținerii rezultatelor concludente au fost cercetate toate epruvetele, piesă cu piesă la următoarele probe de coroziune:

- Verificarea nullă, a calității fără solicitare la coroziune
- Stabilitatea la coroziune, conf. DIN-EU-ISO 6270-1, la care au fost expuse toate epruvetele cu acoperiri într-un mediu cu condens-continuu.
- Clima-Constantă- cu apă de condens, conf. DIN 50017
- Solicitat la temperaturi variabile, conf. TL/TP-Kor- Stahkbauten, în timp de 3 ore depozitate la temperaturi de + 60°, apoi 2 ore la temperaturi de -40° ș.a.m.d.

Această verificare la temperaturi variabile a fost o probă suplimentară la celelalte încercări.

Cercetările a fost continuate cu încercările de desprindere –aderență- a stratului de protecție anticorrosivă. În vederea examinării aderenței stratului de protecție anticorrosivă, s-a lipit pe suprafața acestora câte un poanson cu diametru de 20 mm print-run adeziv de Cyanacrilat. După solidificarea adezivului poansoanele au fost smulse cu ajutorul unei mașini hidraulice iar forțele, respectiv tensiunile au fost măsurate și înregistrate, obținând astfel indici reale despre forțele de adeziune dintre oțel și stratul de protecție, zinc respectiv galvan, având posibilitatea de comparație.

La examinarea suprafețelor de rupere Figura 4.17 au fost constatate următoarele scheme: A - desprinderea coeziunii stratului de bază,



A/B - desprinderea adeziunii dintre stratul de bază și stratul primar,

B - desprinderea coeziunii dintre stratul primar

B/Y - desprinderea adeziunii primar-adeziv. Y - desprindere în cadrul adezivului

Y/Z - desprindere între adeziv-poanson.

Ruperile mixte apărute des au fost constatate că au

Fig. 4.17-[175]

caracter de rupere adeziv – și de coeziune învecinat și au fost categorizate ca mărime în % de suprafață.

Prezentarea și aprecierea rezultatelor

În cadrul încercărilor au fost analizate comportarea și rezistența stratului de protecție aplicat cu procedeul de acoperire cu galvan față de acoperire prin zincare, în condițiile: fără solicitare corozivă, proba null, stabilitate stratului de acoperire în mediul umed, și în condiții de apă-condensată-clima constantă. Epruvetele au fost pregătite în două variante : suprafața netratată și cu suprafața radiată, bombardată cu sweep.

Cercetarea stabilității straturilor de protecție fără solicitare corozivă

La probele null, fără solicitare corozivă, cu procedeul de zincare suprafața netratată sa obținut o rezistență medie de $8,1 \text{ N/mm}^2$, iar la cele radiate și cu procedeul galvan o rezistență de $9,8 \text{ N/mm}^2$. La variantele cu zinc caracterul suprafețelor rupte arătau 44 % o cedare la adezivitate (A/B), iar la epruvetele cu galvan s-a observat o cedare 78 % (B) la coeziune. Proportia la cedarea materialului de lipire (B/Y,Y,Y/Z) a fost la ambele variante de cca. 20%, conf. Fig. 4.18 și 4.19

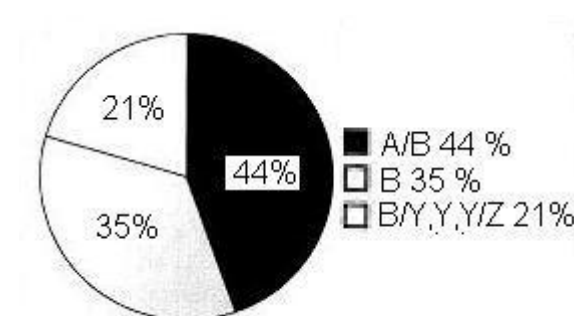


Fig. 4.18-[175]

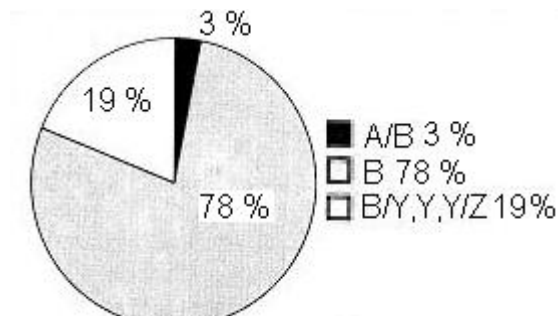
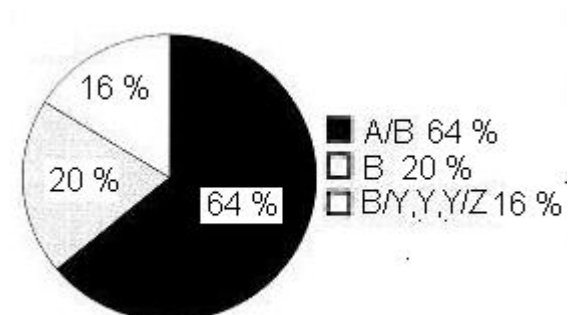


Fig. 4.19-[175]

În baza rezultatelor se constată că la probe null, la procedeul de acoperire cu galvan s-au obținut rezultate mult mai bune decât la acoperire cu zinc.

Cercetarea stabilității straturilor de protecție în mediu umed

La cercetarea stabilității straturilor de acoperire în mediul umed s-a obținut rezistența medie la desprindere de $5,7 \text{ N/mm}^2$ la epruvete zincate, iar la cele tratate cu galvan de $12,1 \text{ N/mm}^2$. Caracterul suprafețelor de rupere a fost analizată și în legătură cu perioada expusă de 7, 14, resp 28 zile, a probelor în mediul umed.



Din analiza caracterului suprafețelor dezprinse a rezultat că la suprafețele neradiate o mare parte a ruperilor a rezultat din cauza cedării adeziunii (A/B).

Fig. 4.20-[175]

Se constată că la probele cercetate în mediul umed cele tratate prin radiere cu sweep s-au obținut o rezistență mai bună.

Analiza stabilității straturilor de protecție în apă-condens-clima constantă

La cercetarea stabilității straturilor de acoperire în mediul apă-condens-climaconstantă s-a obținut rezistența medie la desprindere de $6,4 \text{ N/mm}^2$ la epruvete zincate, iar la cele tratate și acoperite cu galfan de $12,1 \text{ N/mm}^2$.

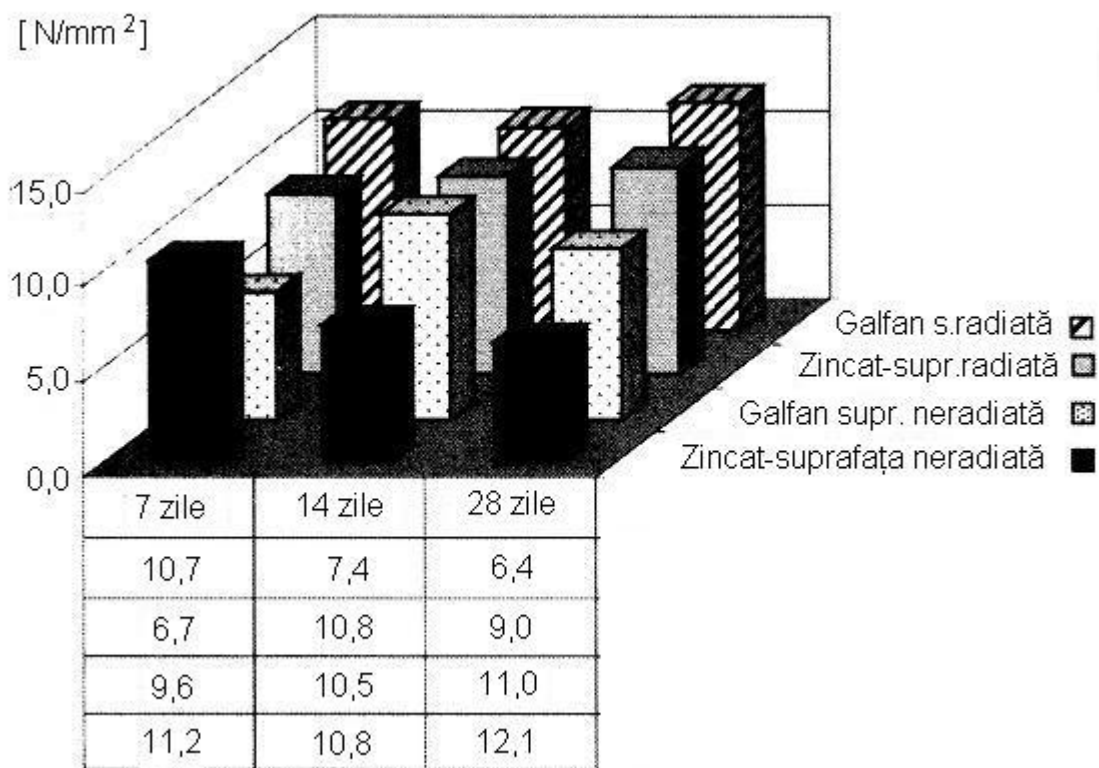


Fig. 4.21-[175]

Diagrama din Figura 4.21 arată diferențele rezultatelor obținute la experimentarea epruvetelor, și anume: Din datele obținute rezultă că o influență pozitivă are, felul suprafețelor și tratamentul de radiere –bombardare- a acestora cu sweepen, la fel tratamentul de acoperire cu galfan în toate cazurile este mai favorabilă, se obține o rezistență la desprindere mai mare, la fel și după expunerea în mediul corosiv de durată mai lungă, rezistența la desprinderea stratului de acoperire are valori mai mari.

Cercetările au fost efectuate și cu scopul de a aprecia comportarea epruvetelor și variația rezistenței la adeziune în condițiile de clima rece-cald. Variațiile de temperatură, la fel și extinderea perioadelor au fost stabilite conform ciclerle reale.

Rezultatele obținute au fost și în acest caz în favoarea variantei de acoperire cu galfan și a suprafețelor tratate prin (bombardare) radiere.

Din evaluarea datelor obținute și prelucrate rezultă în unanimitate că o importanță deosebită are calitatea suprafețelor, pregătirea și bombardele acestora, la fel și acoperirea cu precedul galfan conduc la o rezistență de aderență mai superioară, la fel și la o duranță mai lungă, conferind cablurilor o fiabilitate superioară.

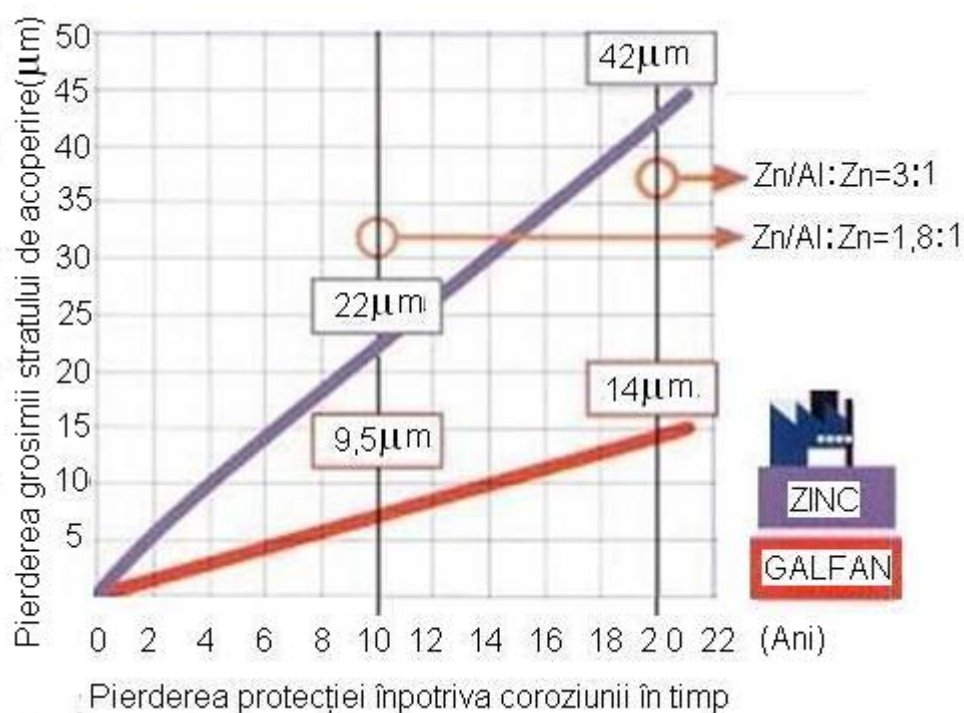


Fig. 4.22-[176]

În diagrama din Figura 4.22 se reprezintă pierderea grosimii protecției împotriva coroziunii ale sârmelor cablurilor de susținere și ancorare, ale celor două variante de acoperire, cea prin zincare cu zinc pur și comparativ ale variantei de acoperire cu procedul galfan, care conferă o fiabilitate mai ridicată prin aderență mai superioară la fel și protecției împotriva coroziunii rezistă la o perioadă mult mai îndelungată.

4.5 Contribuții la analiza cercetării procesului de rupere al sârmelor și al cablurilor

O calitate remarcabilă a cablurilor din oțel este construcția acestora dintr-un număr mare de sârme care participă la preluarea și transmiterea forțelor pe cablu.

Această calitate este conferită în mare măsură prin redundanță. În cazul ruperii unui fir, forța va fi preluată, ca suplimentară de celelalte sârme intacte. Prin înpletire și prin frecare această sârmă ruptă la distanță de câțiva pași funcționează, preia solicitări din plin. Astfel o sârmă ruptă înseamnă o reducere locală a capacității portante al cablului. Ruperi de sârme se produc în mod frecvent în cabluri rulante pe șaipe sau tobe, sau în cablurile de tracțiune solificate la forțe variabile, pulsante.

Cablurile trebuie să fie înlocuite înainte de a atinge o stare care periclitează funcționarea lor în condiții de siguranță prevăzute. Un criteriu important în stabilirea acestei stări de pierdere a capacității –calității- de funcționare este numărul de sârme rupte pe o lungime de referință stabilit în regulile tehnice. Lungimea de referință este după felul cablului, domeniul și felul utilizării în care o sârmă ruptă din nou poate participa la preluarea solicitărilor.

Suprafața reală a secțiunii sârmelor în cabluri

În afară de cablurile care sunt compuse din legături de sârme drepte, în general cablurile sunt realizate din multe sârme înpletite care participă paralel la preluarea sarcinilor. La cablurile spirale Fig.ura 4.23. sârmele sunt simplu înpletite, față de care la cablurile din toroane Figura 4.24. sârmele sunt doblu înpletite. Înpletirea se realizează în practică cu o anumită lungime și unghi de înpletire.

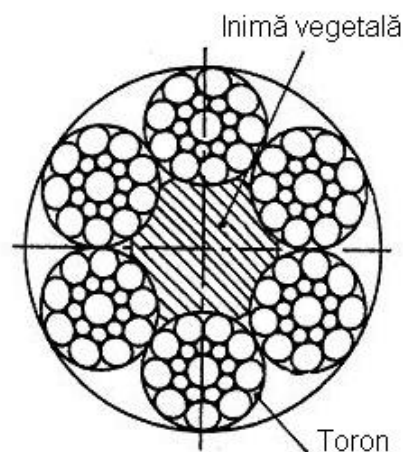
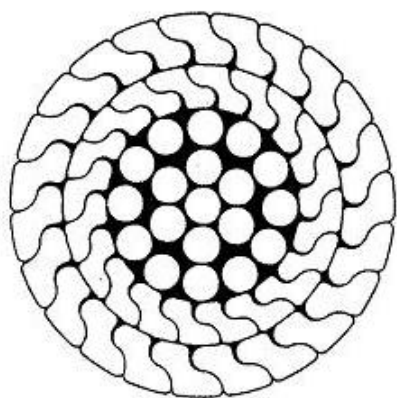


Fig. 4.23 Secțiunea unui cablu spiral Fig. 4.24 Secțiunea unui cablu din toroane

Definiția unghiului β și a lungimii L_2 de înpletire sunt prezentate în Figura 4.25.

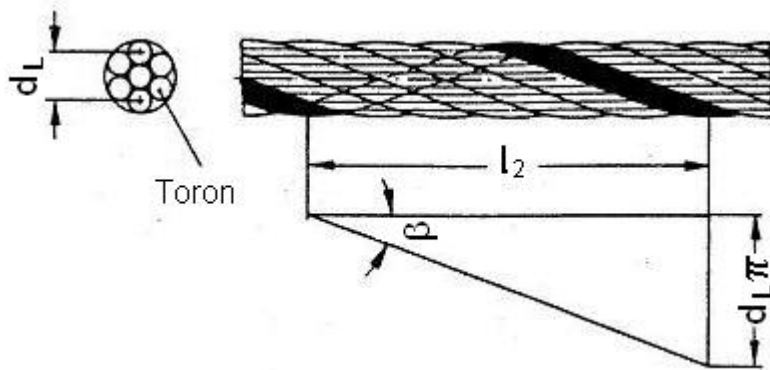


Fig. 4.25

Unghiul de înfășurare al unui cablu este dependent de un mare număr de factori, ca de exemplu, construcția cablului, construcția toroanelor, și de felul cablării.

Suprafața secțiunii unui cablu perpendicular pe axa lungimii cablului, la fel depinde de o serie de necunoscute. Sârmele nu sunt așezate paralel cu axa cablului, secțiunea acestora nu este perpendiculară pe axa lor, iar unghiul de înpletire la fel nu este în totdeauna exact. La realizarea unui cablu de obicei se ține cont de mărimile reale ale sârmelor, a toroanelor pentru compensarea abaterilor ulterioare. Suprafața reală a secțiunii unei sârme în cablu nu este o elipsă, ci are o formă asemenea cu forma unei boabe de fasole, așa cum apare în Figura 4.26 cablu cu inimă metalică 6x7+SE.

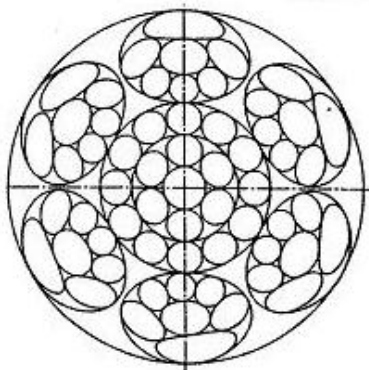


Fig. 4.26

La fel nu este cunoscut dacă fluxul magnetic în sârme se deplasează în lungul sârmelor sau trece, sare de pe o sârmă pe cealaltă. Se consideră cu mare probabilitate că se petrece o situație combinată din ambele variante.

Astfel nu numai suprafața metalică reală este necunoscută ci și suprafața magnetică reală.

Față de această situație, în tehnica cablurilor se consideră suprafața secțiunii transversale a cablului ca suma secțiunilor transversale a tuturor sârmelor

$$A_m = \sum A_{\text{sârmă}}$$

Controlul cablurilor prin metoda magneto-inductivă

Referitor la siguranța impusă, cablurile pot fi împărțite în trei categorii.

În categoria **1.** aparțin instalații din domeniile de utilizare la care ruperea unui cablu nu periclitează vieți omenești, de exemplu antrenorul unei marchize, sau a unui geam la un automobil. La acestea nu este prevăzută o verificare regulată, aparține funcționalității mecanismului.

În categoria **2.** aparțin instalații cu sarcini atârdate, de exemplu ca macaralele la care o verificare vizuală și o verificare periodică este de ajuns, întrucât la aceste instalații de obicei nu se află persoane în zonele de mișcare a sarcinilor transportate.

În categoria **3.** aparțin instalații de transport de persoane, la care cablul participă la transportul acestora. Aceste domenii se împart din nou în două categorii separate.

Cazul **a)** poate fi o instalație astfel construită de ex. pentru ascensoare–transport de persoane-, ca o verificare vizuală și periodică al cablurilor să fie suficientă astfel :

- verificarea sârmelor exterioare rupte admise,
- montarea a mai multor cabluri în paralel -redondanță activă- cabluri care în cazul ruperii unui cablu, împiedică căderea ascensorului.
- montarea unui dispozitiv –redondanță pasivă- care împiedică căderea ascensorului în cazul ruperii cablului.

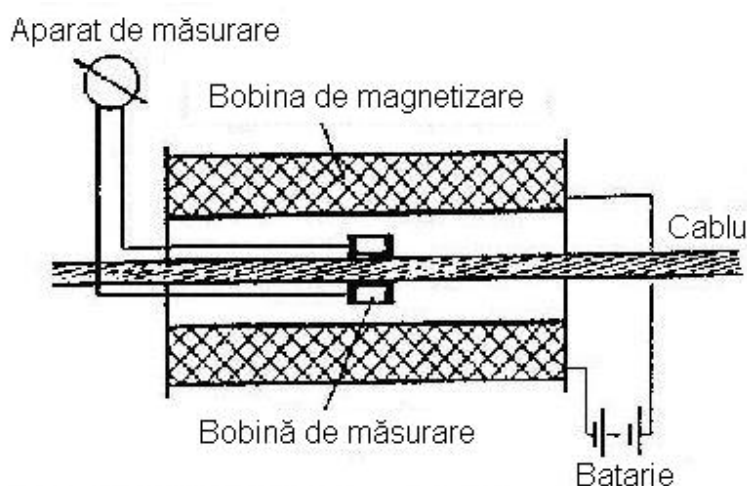
Cazul **b)** Când astfel de redondanțe pentru siguranță nu sunt posibile de prevăzut, este necesară verificare tehnică a stării cablului. Acestea sunt verificarea magneto-inductivă al cablului și verificarea prin radiații. Exemple pentru astfel de instalații sunt funicularele și lifturi de extracție. La funicularele, de obicei nu sunt prevăzute cabluri redondante. Existența sârmelor rupte la aceste instalații este posibilă, întrucât cablurile sunt staționare, dar pe acestea rulează role, de obicei prevăzute cu mantale moi și solicitările sunt aproape la fel ca și la cablurile rulante, de încovoiere și tracțiune variabile și cu șocuri. Astfel aceste cabluri trebuie să fie considerate ca și cablurile rulante.

Verificarea cablurilor cu metode magneto-inductive este practică de câteva decenii. Metoda permite o verificare a stării cablului cu încredere. Pot fi puse în evidență atât sârme rupte în interiorul cablului cât și pe suprafața acestuia. Lungimea verificabilă este practic nelimitată, verificarea cablului și prelucrarea rezultatelor poate fi în timp și spațiu separate. Este posibilă și verificarea și înregistrarea mărimii diametrului cablului.

Verificarea cu radiații radioactive este utilizat numai pe porțiuni scurte și numai în cazurile când metoda magneto-inductivă nu dă rezultate satisfăcătoare.

În Figura 4.27 este schematic reprezentată metoda de verificare magneto-inductivă. Cablul va fi magnetizat prin aparat cu un câmp magnetic constant în timp.

Deranjamentele câmpurilor magnetice provocate de sârmele rupte sunt puse în evidență de aparatul de măsurare care se deplasează concomitent cu aparatul de magnetizare. Schema aparatului de principiu este cea prezentată de Woernle- Müller din 1937. Aparatele sunt



perfectate și utilizate atât în domeniul mineritului cât și la verificarea cablurilor de la funiculare. Verificările în domeniul mineritului se efectuează în germania de DMT din Bochum, iar în domeniul funicularelor de IFT Uni. Stuttgart.

Fig 4.27-[68]

Condițiile de utilizări diferite au condus la dezvoltarea diferită a aparaturii de măsurare. La aparatele de măsurare utilizate la funiculare sunt utilizate magnete permanente din Cobalt-Samarium-Bazis sau din Neodim, ne fiind posibilă alimentarea în oțate regiunile cu curent de la rețea. În domeniul mineritului s-au dezvoltat aparate cu electromagneți. Sunt utilizate și aparate cu sintermagneți care au o greutate proprie relativ mare, unde stau la dispoziție aparate de ridicat și de manipulat corespunzătoare.

Pe lângă instituțiile amintite sunt în țările din europa și alte institute de cercetare care se ocupă de soluționarea problemelor de bază a cunoașterii și punerii în evidență a firelor rupte din cablurile, ca ETH Zürich, TU München, Uni.Krakau si altele.

Materialul sârmelor cablurilor

Sârmele cablurilor sunt realizate din materiale de bază feritice cu o concentrație de carbon dela 0,6 % până la 0,9 %, majoritatea conțin 0,85 % carbon. În procesul special de realizare al sârmelor acestea sunt supuse unui tratament de patentare și se atinge o rezistență de $R_m = 2000 \text{ N / mm}^2$, cu toate că materialul la pornire are o rezistență de $R_m=700 \text{ N / mm}^2$.

Astfel materialul sârmelor dispune de un fibraj longitudinal, tras și proprietățile magnetice sunt anisotrope. Proprietățile magnetice ale sârmelor pot fi încadrate ca feromagnetice, respectiv magnetice moi. Legătura între densitatea câmpului magnetic B al unui corp feromagnetic și între un câmp magnetic exterior cu densitatea câmpului H nu este liniară. Obișnuit se reprezintă schematic relația între B-H prin curba ca în Figura 4.28

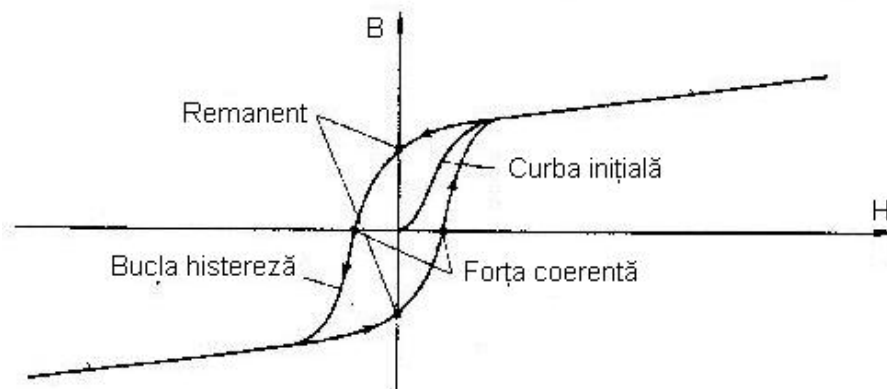


Fig. 4.28-[68]

Curba B – H de magnetizare inițială a unui material feritic (după Lehren 1996)

Se analizează doar quadrantul 1 și se împarte curba B – H în două părți. Prima parte este cea cu o creștere vertiginoasă a concentrației fluxului B, cu creștere a câmpului H. După o perioadă de tranziție se încheie porțiunea a doua al curbei, concentrația fluxului are o creștere tot mai lentă. Pentru câmpuri foarte tari curba B–H are forma paralelă cu curba de vacuum ($B = \mu_0 \cdot H$). Porțiunea a doua este cea constantă, numită în practică cea de funcționare sau de ancher și este de nedorit la motoare sau la generatoare.

Proprietățile magnetice ale sârmelor cablurilor

Determinarea proprietăților magnetice ale cablurilor din oțel se deosebește de metodele de cercetare în domeniul electrotehnicii a materialelor omogene. Din motive tehnice nu pot fi cercetate probe de lungimi scurte cca 10 cm, în Jochmagnet și o formă de toron la fel nu poate fi cercetat.

Magnetizarea se produce printr-un solenoid cu aparat de cercetare a cablurilor de tip III/60. Mărimea câmpului de lucru H este reglabil în domeniul dela 3500 A/m până la 25.000A/m cu factorul de umplere al bobinei în funcție de secțiunea metalică a probei cercetate. Pentru determinarea curbei B - H este fluxul Φ ca funcție de mărimea câmpului magnetului H măsurat cu un aparat de măsură concentrică în jurul cablului.

Fluxul magnetic se deosebește prin metal față de flux prin aer -distanțe- dintre sârme, care este mult mai redus, reprezentat înmulțit cu 100 în Figura 4.29.

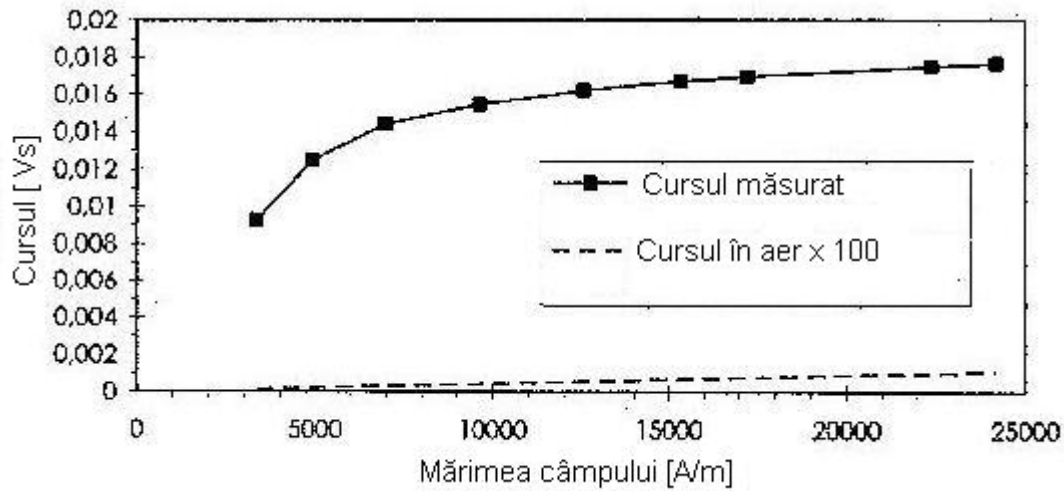


Fig. 4.29-[68]

La corecția –recalcularea- fluxului Φ în concentrația fluxului real B, trebuie să se țină cont de două particularități. Înainte de toate în realitate în cabluri pe lângă sârme există o anumite parte de aer sau alte materiale ca, unguent, care poate fi considerat ca vacuumul și astfel și din acest punct de vedere cablurile au un factor de umplere sub 100 %. Astfel în cazul cablurilor se formează două circuite conectate paralel, cum se reprezintă în Figura 4.30.

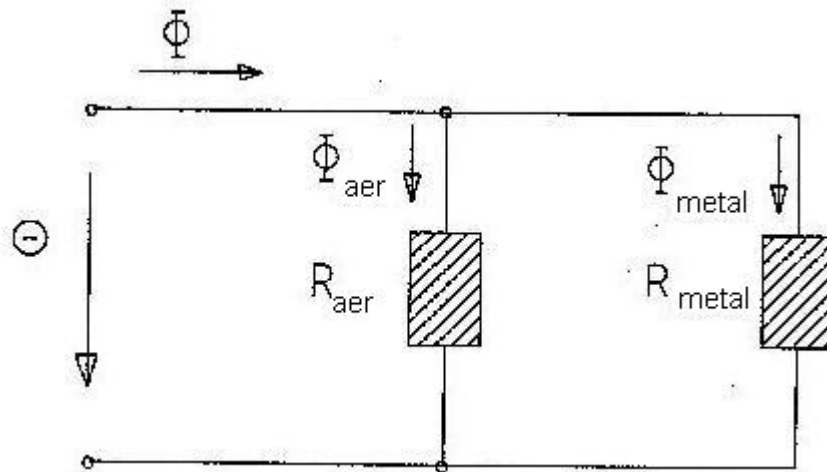


Fig.4.30-[68] Conectarea magnetică paralelă a unei probe feroase cu factor de umplere <100 %

Fluxul Φ total al unei bobine de inducție se împarte în două părți

$$\Phi = \Phi_{\text{aer}} + \Phi_{\text{metal}} \quad 4.1$$

Fluxul F_{aer} prin aer se poate determina prin cunoscuta metodă de calcul H

$$\Phi_{\text{aer}} = \mu_0 \cdot H \cdot A_{\text{aer}} \quad 4.2$$

Iar fluxul prin secțiunea metalică al cablului se obține astfel

$$\Phi_{\text{metal}} = \Phi - \Phi_{\text{aer}} \quad 4.3$$

Concentrația de flux în cablul B_{cablu} se calculează după cum urmează

$$B_{\text{cablu}} = \Phi_{\text{metal}} / A_{\text{metal}} \quad 4.4$$

Caracteristica B – H a unui cablu cercetat este prezentat în Figura 4.31.

Cablul cercetat și instrumentul de măsură al fluxului au următoarele caracteristici:

| | |
|----------------------|---|
| Diametrul cablului : | $d_{\text{cablu}} = 51,5 \text{ mm}$ |
| Secțiunea metalică | $A_{\text{metal}} = 1763 \text{ mm}^2$ |
| Lungimea cablului | $L = 6000 \text{ mm}$ |
| Suprafața bobinei | $A_{\text{bobină}} = 2124 \text{ mm}^2$ |
| Numărul de bobinare | $W = 5.$ |

În diagramă se prezintă comparativ și caracteristica unei bare metalice laminate.

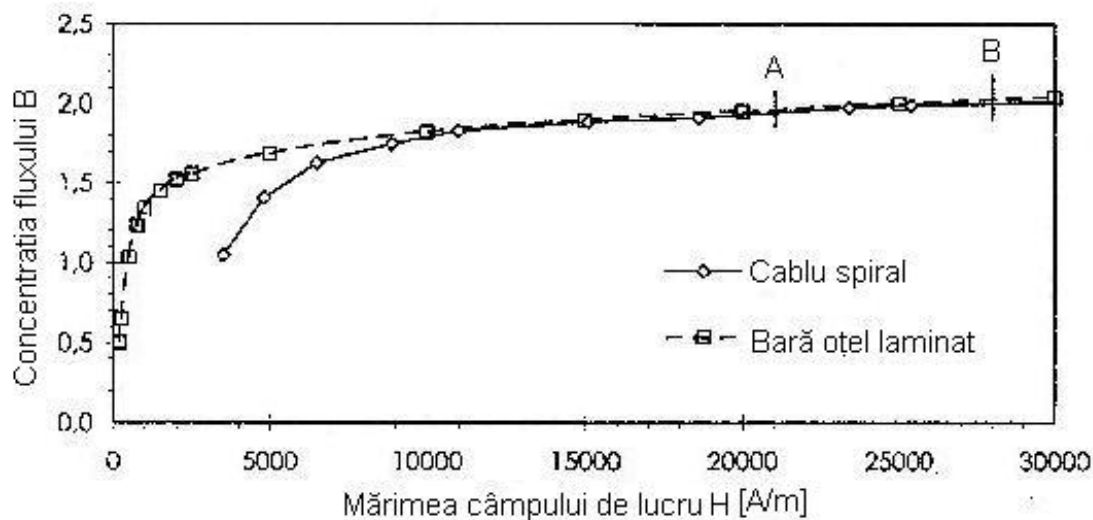


Fig. 4.31-[68]

Figura 4.31 Curbele caracteristice ale unui cablu comparativ cu o bară plină.

Prin comparația celor două curbe se observă că în zona $H > 10.000 \text{ A/m}$ nu mai există diferență între caracteristica cablului și al barei pline. Iar în zona câmpului $H < 10.000 \text{ A/m}$ există o diferență eclatantă. Cablul prezintă în această zonă proprietăți magnetice mai reduse, cauzate de conținutul de carbon mai ridicat și tensiuni mai ridicate ale sârmelor componente. Cum se cunoaște sârmele din cabluri prin trefilare au o textură prin care structura diferă de cea isotropă.

Auto-magnetizarea sârmelor din cablurile din oțel, în decursul solicitărilor

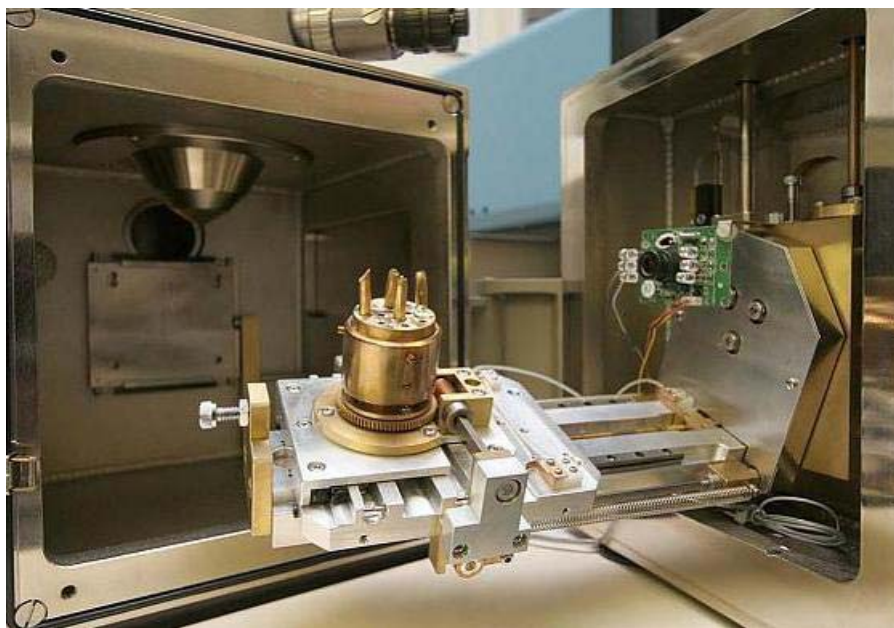
Proprietatea cablurilor din sârme din oțel de a se auto-magnetiza a fost observată de prima dată, întâmplător de către R.Verreet [158] în anul 1978, în timpul analizei unui cablu din sârmă de oțel cu ajutorul unui microscop cu jet de electroni.

Din acea observație și din numeroase alte încercări în dealungul anilor, Verreet a observat că epruvetele din cabluri din sârmă de oțel, supuse la solicitării la tracțiune de duranță, suferă o magnetizare ridicată, iar sârmele din cablurile supuse la solicitări de încovoiere de duranță suferă o magnetizare mai redusă decât cele solicitate la tracțiune.

Una din cauzele posibile de a fi auto-magnetizate sârmele din oțel este de a se magnetiza în timpul analizei (NDT) Non-destructiv Testing, metodă de analiza nedistructivă, după care acestea își păstrează această proprietate. Toate cablurile din sârmă din oțel sunt supuse permanent câmpului magnetic al planetei noastre. Rămâne întrebarea, din ce cauză unele cabluri se auto-magnetizează iar altele nu.

Una din ipotezele plausibile pentru auto-magnetizarea cablurilor din sârmă din oțel este că, acestea se magnetizează în timpul exploatării și anume în cazurile în care sunt supuse solicitărilor de tracțiune sau de încovoiere la oboseală.

Această proprietate a cablurilor a fost descoperită deoarece analiza epruvetelor cablurilor este posibilă numai în stare demagnetizată. În cazul probelor magnetizate microscopul cu electroni nu furnizează nici o imagine a probei, sau o imagine de o calitate foarte scăzută.



În timpul analizei unei epruvete într-un microscop cu electroni aceasta se afla într-o camera de vacum. După evacuarea aerului se aplică o tensiune înaltă pe catodul încălzit al microscopului, iar proba funghiază ca și anod.

Fig. 4.32 Microscopul cu jet de electroni-[158]

Electroni emiși și accelerați de catod înconjoară proba analizată. Detectorul microscopului detectează electroni secundari emiși de epruveta analizată, și se obține o imagine a suprafeței epruvetei.



Un exemplu practic este documentat de către R.Verreet din anul 2005 când a analizat un cablu de pornire a unui tren dintr-un parc de distracție din Suedia. Cablul a cedat din cauza oboselei, rupțura pornind din partea inferioară a secțiunii sârmelor.

O analiză detaliată a vecinătății locului cedării cablului a arătat un număr ridicat de ruperi la oboseală. Desigur o suprasolicitare de o singură dată nu crează ruperi la oboseală în firele cablului

Fig. 4.33 Secțiunea sârmei ruptă la oboseală –[158]

O examinare a celui de al doilea cablu care nu a cedat a arătat la fel un număr ridicat de ruperi cauzate de oboseală a firelor componente în aceeași regiune al cablului. Amândouă cabluri au arătat caracteristici magnetice ridicate. Cablurile în timpul exploataării nu au ajuns în apropierea materialelor care puteau să efectueze încărcări magnetice.

Analiza ulterioară a forțelor din sistemul de demarare a trenului, au arătat că cele două cabluri nu au fost tensionate uniform și că sistemul de pornire sa blocat de mai multe ori în timpul unui proces de pornire. Din această cauză cablurile au fost supratensionate și detensionate repetat în timpul unui proces de pornire.

Este clar că această observație subliniază ipoteza arătată anterior, deoarece cablul în cazul descris nu a ajuns nici odată în apropierea surselor de magnetizare.

Rezultă din cele de mai sus că solicitările de duranță au produs oboseala materialelor și au cauzat magnetizarea și ruperea cablului.

În concluzie se reține că în cazul examinării unor epruvete sau a unor construcții cu cabluri din oțel, prin metode de verificare magneto-inductive este necesară, și se impune cu desăvârșire, ca înainte de verificare cablurile să fie demagnetizate și numai după demagnetizarea acestora să se înceapă verificarea lor.

Principiul de funcționare a instalațiilor de verificare magnetoinductive

Fluxul magnetic prin sârme rupte

Pentru a pune în evidență corectitudinea metodei de măsurare magneto-inductive se fac măsurători separate pe fire de sârme. Din cauza că un cablu nu poate să fie desfăcut, în practică nu poate fi măsurat fluxul în mod exact. Fluxul pentru o sârmă (într-un exemplu) este de $B_{\text{sârmă}} = 1,92 - 1,89T$, iar în cazul cablului $B_{\text{cablu}}=1,95T$.

Cunoștințele despre scăderea fluxului la capătul sârmei rupte formează o informație importantă despre locul ruperii. Pentru metoda de calcul al mărimii scăderii fluxului la locul ruperii o importanță au rezultatele măsurătorilor prezentate de diferiți autori ca, Hofmann 1963, Messerschmidt 1971 și Riegel 1983 de la IFT-Stuttgart.

În Figura 4.34 se reprezintă diagrama scăderii fluxului magnetic la locul ruperii sârmei.

Domeniul 1. reprezintă zona ruperii cu mărimea fluxului către $B_0 = 0$.

Domeniul 2. la capătul sârmei rupte B_1 are o valoare în funcție de I_{rupere} și crește valoarea concentrației fluxului până la B_3 .

Domeniul 3. valoarea constantă a fluxului B_3 în sârmă cu distanța ruptă $z > 10 d_{\text{sârmă}}$

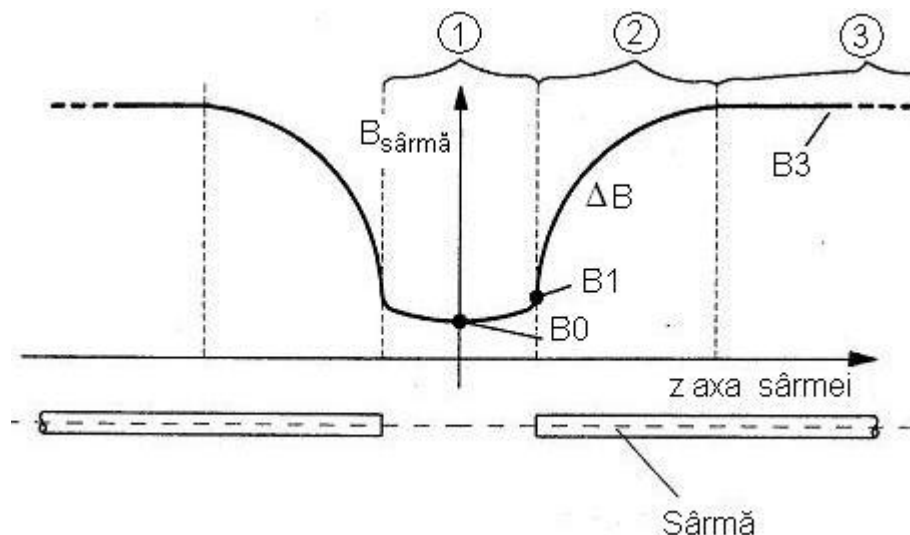


Fig. 4.34-[68] Diagrama de variație a concentrației fluxului în zona ruperii sârmei

Metoda de calcul al concentrației fluxului în sârmă și în zona ruperii

Pentru a stabili o metodă de calcul, Nussbaum [68] s-a referit la rezultatele experimentelor de mai sus, după cum urmează.

Se remarcă că la capătul sârmei concentrația fluxului magnetic este constant B_1 și crește cu ΔB la valoarea B_3 , care s-a determinat la sârma neîntreruptă prin măsurare $B_3 = 1,89$ Tesla.

Se consideră relațiile funcționii de calcul al creșterii concentrației fluxului:

$$B_2(z^*) = B_1 + (B_3 - B_1) \cdot \tanh(a_0 \cdot z^{*a_1} \cdot I^{*a_2}) \quad 4.5$$

iar relația cealaltă

$$B_2(z^*) = B_1 + (B_3 - B_1) \cdot [1 - e^{-(a_0 \cdot z^{*a_1} \cdot I^{*a_2})}] \quad 4.6$$

În aceste relații este

$$z^* = (z - I_{rupere} / 2) / d_{sârmă} \quad 4.7$$

$$\text{și} \quad I^* = I_{rupere} / d_{sârmă} \quad 4.8$$

Din calcule au rezultat că prima relație nu se potrivește și se utilizează numai cea de a doua.

$$\text{În relația a doua se introduce } -\ln(1 - ((B_2 - B_1)/(B_3 - B_1))) = a_0 \cdot z^{*a_1} \cdot I^{*a_2} \quad 4.9$$

Prin logaritmare se obține

$$\log[-\ln(1 - ((B_2 - B_1)/(B_3 - B_1)))] = \log(I^*) + a_1 \log(z^*) + a_2 \log(I^*) \quad 4.10$$

iar prin substituire

$$Y = \log[-\ln(1 - ((B_2 - B_1)/(B_3 - B_1)))] \quad 4.11$$

$$X_1 = \log(z^*) \quad X_2 = \log(I^*) \quad \text{și} \quad b_0 = \log(I^*) \quad 4.12$$

se obține relația cu doi parametri

$$Y = b_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 \quad 4.13$$

Valorile coeficienților b_0 , a_1 , a_2 s-au determinat pe baza măsurătorilor efectuate pe mai multe tipuri de cabluri.

$$b_0 = -0,328, \quad a_1 = 1,043, \quad a_2 = -0,077 \quad 4.14$$

Prin delogarimarea lui b_0 se obține valoarea lui a_0

$$a_0 = 0,47 \quad 4.15$$

cu care se obține relația de calcul concentrației fluxului în sârmă

$$B_2(z) = B_1 + (B_3 - B_1) \cdot [1 - e^{-(0,47 \cdot z^{1,043} \cdot I^{*-0,077})}] \quad 4.16$$

Pentru cazurile în care există abateri de la rezultatele măsurătorilor se utilizează formula de regresie

$$s = [(1 / (n-1)) \cdot \sum_{(k=1 - n)} (B_{\text{regr}} - B_{\text{măs}})^2]^{1/2} \quad 4.17$$

Cu relația 4.17 abaterile determinate prin calcul al concentrației fluxului magnetic pentru toate punctele cercetate a fost de $s = 0,03$ Tesla. Se poate conchide ca relația 4.17 determinată pentru variația concentrației fluxului magnetic în sârme și în vecinătatea sârmelor, în funcție de distanța ruperii z este corectă și pentru unele cazuri cercetate, rezultatele sunt prezentate în diagrama din Figura 4.35

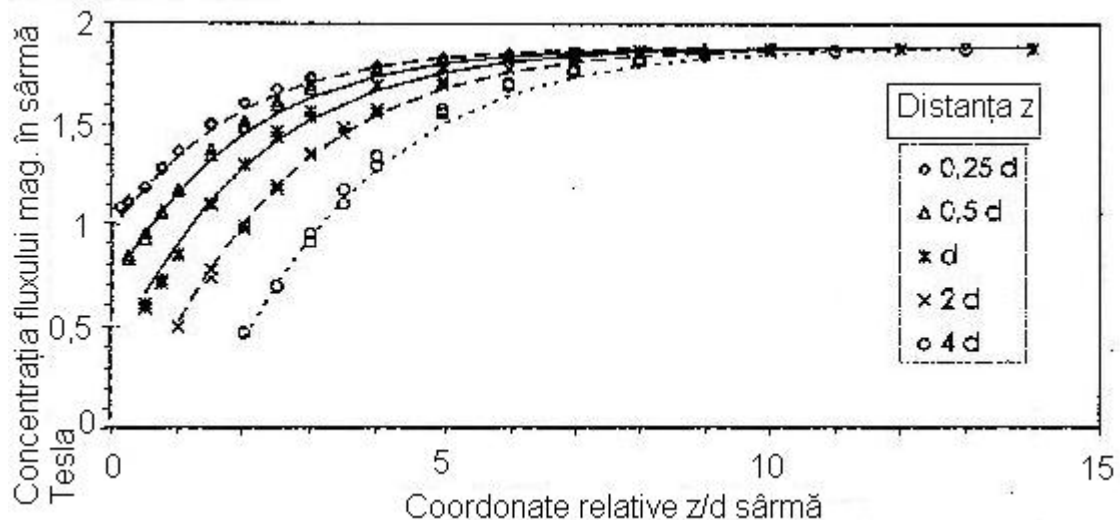


Fig. 4.35 -[68] Diagrama de variație a concentrației fluxului magnetic determinate prin calcul în comparație cu cele măsurate

Verificarea sârmelor rupte prin metodă vizuală și magneto-inductivă cu camere video

Pretențiile impuse controlul cablurilor.

Conform prescripțiilor ordinelor de funcționare a funicularelor, cablurile sunt prevăzute să fie varificate priodic vizual și magnetoinductiv. Controlul vizual servește pentru observarea

firelor rupte în stratul exterior, deteriorate prin solicitări, trăsnete, rugină, uzură, deformarea firelor, și a altor defecțiuni.

Controlul magneto-inductiv servește la determinarea defecțiunilor firelor din interiorul cablului. Pentru garantarea calității momentane a unui cablu și prin acesta a fiabilității, siguranței în funcționare, sunt necesare ambele metode de verificare.

Neajunsurile controlului vizual

Controlul vizual este de durata relativ lungă și nu asigură o garanție a calității controlului cablurilor, verificarea este posibil numai din două direcții opuse are o serie de neajunsuri și se pot verifica doar firele exterioare colorate în Figura 4.36 cu culuarea verde.

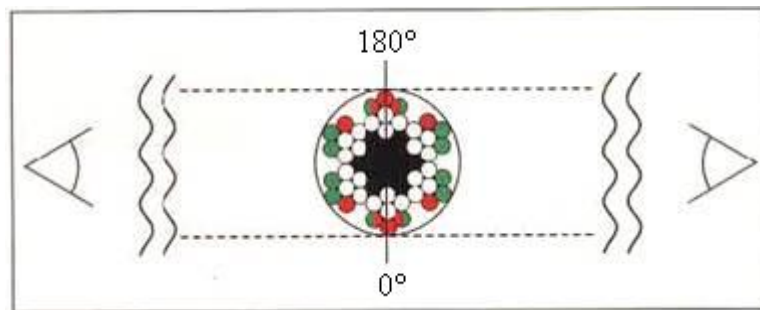


Fig. 4.36-[177]

Avantajele controlului cu videocamere

Garantarea sigură a verificării tuturor firelor depe circumferința cablului, se poate realiza numai cu videocamere din 4 direcții, amplasate la câte 90° unul față de celălalt, conform Figura 4.37 și Figura 4.38

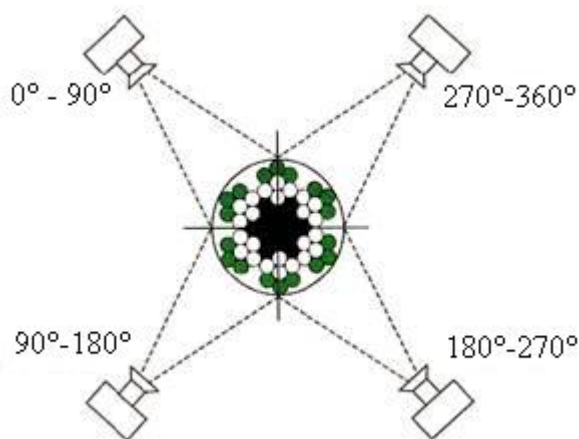


Fig. 4.37-[177]



Fig. 4.38-[177]

Secvențele digitale obținute dela camere video pot fi prelucrate independent de timp și spațiu pe calculator și reprezentate pe monitor, conf. Figura 4.39

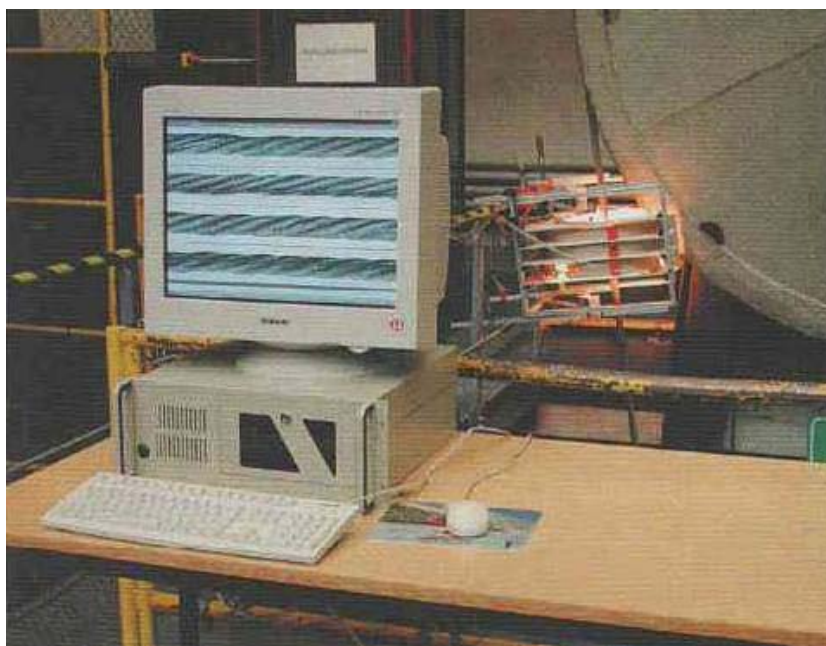


Fig. 4.39-[177]

Cu instalația construită decătre IFT Stuttgart se pot verifica atât cabluri în mișcare cât și cabluri în repaus, când instalația este pusă în mișcare față de acesta. Cele 4 poze obținute de la cele 4 camere, prin software aparținătoare metodei, apar unul sub celălalt și astfel se obține o desfășurată a suprafeței cablului.

Cu ajutorul instalației se poate verifica și diametrul efectiv al cablului, respectiv uzura acestuia. Domeniul de utilizare este pentru cablurile cu diametre inter 20 – 50 mm. Instalația concepută și construită conferă posibilitatea de a fi inzestrată cu instalații magnetoinductive pentru verificare firelor din interiorul cablurilor. Un alt avantaj este că instalația livrează date corecte, nu se obosește pe parcursul verificărilor. Pentru viitor se prevede examinare automată a datelor obținute prin această metodă și instalație, atât a firelor exterioare, cât și a datelor înregistrate prin metoda magnetoinductivă pentru firele din interiorul cablurilor.

Instalațiile astfel realizate pentru verificarea stării cablurilor conferă posibilitatea ca seria de date obținute și înregistrate pot fi verificate din mers, pot fi oprite sau rechemate, pentru verificarea mai profundă, operatorul are la dispoziție marcajul poziției prin distanța parcursă, imaginile pot fi mărite, prelucrate conform necesității și a transmite mai departe pentru examinare și luare de măsuri. Prin archivrea datelor registrate, acestea stau tot timpul la dispoziția celor interesați în cauză.

Defecțiuni care apar de regulă la măsurători

Cercetările verificării magneto-inductive ale sârmelor rupte întreprinse până în prezent are la baza importanța punerii în evidență prin semnale de la bobine. Prin această metodă se poate pune în evidență cu certitudine găsirea a câte unei sârme rupte. Dar în cazul aglomerării sârmelor rupte într-un anumit loc, deja punerea în evidență cu precizie lasă de dorit.

La apariția rupturilor sârmelor în cabluri din cauza oboselii, Feyrer [168] a arătat că există o distribuție a sârmelor rupte pe lungimi de cablu care se lasă determinat printr-o metodă de regula Poisson. De la această regulă apare o abatere la apariția ruperilor de sârme aglomerate în anumite locuri, numai în cazurile cauzate de calitatea necorespunzătoare ale materialelor, tehnologiei sau exploatărilor necorespunzătoare.

În domeniile funicularelor sunt cu precădere utilizate atât cablurile cu toroane cât și cele spirale. Ca și cabluri de tracțiune de susținere și ancorare, sunt utilizate cu precădere cabluri cu toroane cu inimă. Cablurile de susținere și ancorare închise din sârme profilate sunt mai problematice din punct de vedere al verificării lor, apar ruperi de sârme chiar aglomerate și acestea în straturile interioare. Cauza acestor defecțiuni este de regulă ungerea inițială incorectă și insuficiență locală ale cablurilor.

Un caz tipic de construcție al cablului închis din sârme profilate este prezentată în Figura 4.40

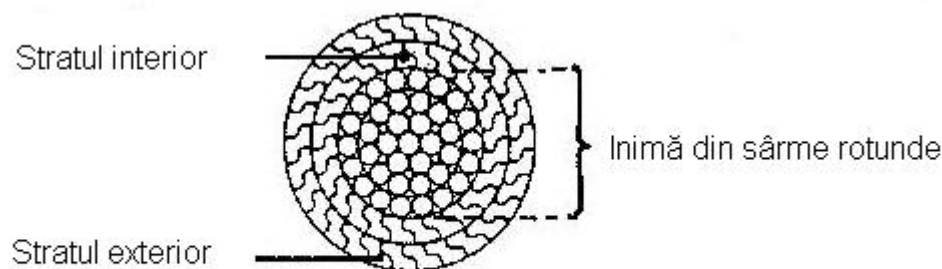


Fig. 4.40 Cablu spiral închis cu două rânduri de sârme profilate

Practica arată că există o tendință de rupere al sârmelor profilate din stratul interior. Cercetătorul Wang [65] 1990 arată prin calcul și prin încercări, existența acestui fenomen. La acest cablu sârmele profilate compun $2/3$ din secțiunea cablului, stratul exterior cca. 35% iar stratul interior 30%. Stratul exterior este posibil de verificat vizual, iar unele ruperi de sârme în stratul interior se poate pune în evidență printr-o metodă specială de verificare.

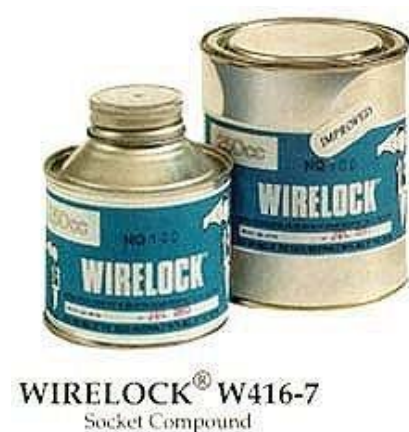
Sârmele rupte în stratul interior influențează de multe ori sârmele învecinate din stratul exterior, întrucât ruperile de obicei sunt apărute din cauza degradării prin coroziune și pe mai departe provoacă coroziunea firelor învecinate. Sârmele rotunde din inima cablurilor prezintă ruperi de obicei foarte rar pentru că solicitările în aceste sunt mai reduse, iar ungerea sârmelor este mai abundentă și coroziunea apare mult mai rar. Descoperirea sârmelor rupte din măduva cablurilor este de dorit dar nu e absolut necesar.

Fenomenul de degradare al sârmelor cablurilor în zonele de contact cu elementele de legături și de fixare

Cercetările din laboratoare și din practica, întreținerea și revizuirea instalațiilor și a construcțiilor în funcționare au pus în evidență că ruperea sârmelor din cauza degradării acestora este mult mai pronunțată în zonele și în apropierea îmbimărilor cablurilor cu elemente de legături de la capătul cablurilor, sau pe parcursul cablurilor, care servesc la prinderea cablurilor cu părțile construcției. Se arată că capacitate cablurilor, în special fiabilitatea scade în aceste zone cu cca. 10 -20%, mai ales în cazurile când fixarea capetelor de cabluri se realizează prin turnare cu compoziții metalice turnate la cald.

Cercetările de laborator au arătat că ruperile cablurilor fixate cu compoziții metalice turnate la cald se produce în toate cazurile în vecinătatea elementului de legătură și la o valoare a forței de rupere de cca 80- 85 % din forța de rupere al cablului. La încercările de laborator este foarte important ca elementul de legătură să fie identică cu cele din exploatare și condițiile de încărcare și solicitare să fie cât mai apropiate de cele din exploatare.

Avantajele fixării cablurilor cu compozit cuarț-poliamidă la rece



Față de această situație pentru a îmbunătăți capacitatea cablurilor la capetele fixate în elemente de legătură, s-a elaborat un material compozit din făină de cuarț și o soluție poliamidă cu care se fixează capetele cablurilor în elementele de legătură prin turnare la rece fără a influența termic sârmele în aceste zone și a diminua capacitatea portantă a acestora.

Fig. 4.41

Compozitul este un produs sub licență engleză sub denumirea de Wirelock, prezentat și pus la dispoziția consumatorilor, compozitul se amestecă la rece și se toarnă în locașul pregătit în elementul de legătură în care este introdus capătul cablului desfăcut în formă de mătură.

Avantajele utilizării materialului pe lângă faptul că nu reduce capacitatea și fiabilitatea cablului este că se toarnă la rece, se solidifică în timp de o oră, nu necesită instalații de încălzire, se poate realiza la fața locului construcției.

Descrierea procedurii de realizare a unei îmbinări al capătului cablului cu elementul de legătură pentru cercetări de laborator la firma Brugg din Elveția.

Pentru cercetări de laborator, în cadrul tezei, capetele cablurilor pentru încercări au fost pregătite conform locașului conic din elementul de legătură, cu sârmele desfăcute în formă de mătură cu capetele îndoite cu 180° conform Figurii 4.42.



Fig. 4.42 Epruveta pregătită pentru turnare cu Wirelock

Atât locașul cât și capetele cablurilor, sârmele desfăcute în formă de mătură, au fost degresate cu benzină de curățire, după care a urmat o curățire în baie de ultrasunete, în timp de 15 minute în fluid Scharrsol, și uscate înainte de turnare. Dispozitivele pregătite au fost așezate cu grijă pe stativele care au asigurat corectitudinea axială între elementul de legătură și cablul, pentru a elimina apariția solicitărilor suplimentare în sârmele cablurilor.

Componentele compozitului au fost amestecate și în timp de 10 minute s-a realizat turnarea efectivă între sârmele cablului, urmată de îndesarea compozitului și eliminarea eventualelor bule de aer prin vibrarea sistemului cu un vibrator. Înainte de începerea probelor de solicitare, zonele cablurilor apropiate de elementele de legături, unde înainte s-a efectuat degresarea cablului, au fost gresate din nou, pentru a avea aceeași condiții în cadrul experimentului ca și restul cablului.

Acesta este important pentru a asigura preluarea forțelor în mod egal de către toate sârmele. Important este în această fază să nu se introducă deformări suplimentare mai ales la rădăcina măturii, la desfacerea capătului de cablu.



Fig.4.43 Epruvetă cu compozit Wirelock



Fig.4.44 Epruvetă cu aliaj metalic

În cadrul încercărilor de tracțiune efectuate la –firma Brugg în Elveția – sa constatat în mod cert că epruvetele cu elementele fixate la capătul cablului cu compozit wirelock s-au comportat conform așteptărilor, ruperea cablurilor s-a produs pe partea liberă al cablului și s-a produs la forțele de rupere prescrise ale cablurilor, conform Figurii 4.45.



Fig. 4.45

Epruvetele la care fixarea elementelor de legătură s-a efectuat cu compoziție nemetalică, turnate la rece, cablurile s-au rupt pe parcursul cablului, conform Figurii 4.45, nu lângă elementul de fixare și forța de rupere a fost egală cu forța de rupere prevăzută pentru cablul respectiv.

Din aceste rezultate se reține cu desăvârșire avantajele tehnice și economice a noi metode de fixare a elementelor de legături cu Wirelock, atât pentru cazul experimentelor din laborator, cât și pentru cazul sistemelor de cabluri pregătite pentru exploatare, care trebuie să corespundă cu cele din laborator, pentru a se putea prognoza siguranța și fiabilitatea lor.



Fig.4.46

Epruvetele la care fixarea elementelor de legătură s-a efectuat cu compoziție metalică, turnate la cald, cablurile s-au rupt la rădăcina elementului de fixare și forța de rupere a fost cca 85 % din forța de rupere prevăzută pentru cabluri, conform Figurii 4.46

4.6 Contribuții la cercetarea solicitărilor secundare

Introducere

Cauza solicitărilor secundare din cabluri

Dacă o sârmă dreaptă, de secțiune circulară se întinde pe o saibă circulară, va apare pe lângă tensiunea de întindere și o tensiune de încovoiere, din această deformație elastică, după Reuleaux [11] $\sigma_i = (\delta / D) E$, (E modulul de elasticitate, δ diametrul sârmei și D diametrul de îndoire al sârmei).



Fig.4.47

Îndoind o legătură din aceste sârme, de forma secțiunii circulare pe aceeași saibă, încât forma secțiunii al legăturii de sârme rămâne circulară și sârmele nu se deplasează reciproc între ele, astfel linia –suprafața- neutrală de îndoire al legăturii de sârme se modifică, -se deplasează- corespunzător. Dacă nu se iau în considerare micile modificări ale tensiunii de

îndoire între unele sârme ale legăturii, cauzate de diferitele raze de îndoire și de solicitările de apăsare între sârme, această tensiune se va numi tensiune secundară de încovoiere.

Scopul realizării prin înfășurare este de a menține tensiunea de încovoiere cât mai redusă. Prin aceea că pozițiile sârmelor în toroane și al toroanelor în cablu au pe porțiuni mici poziții diferite față de axa -suprafața- neutrală a îndoirii, se modifică – variază- tensiunea secundară de tracțiune în fiecare sârmă pe aceste porțiuni mici.

În cazurile teoretice, în care frecarea între sârmele nu împiedică deplasarea acestora pe aceste porțiuni mici cu diferite deformații, și numărul și mărimea întinderii și comprimării este aceeași, poate ca în cadrul unor sârme, prin egalarea –compensarea- reciprocă a întinderii și comprimării, să se anuleze tensiunea secundară. Întru-cât sârmele din cabluri nu sunt deplasabile fără frecarea între ele, apar tensiuni de întindere secundare care trebuie să fie determinate prin calcul și prin experimentare.

Studiul determinării frecării și a tensiunilor secundare

De primată Hauer în 1985 [141] s-a ocupat de tensiunile de întindere secundare. El a scris față de teoria lui Reuleaux, că sârmele din cabluri nu funcționează separat unul față de celălalt în cabluri, ci prin frecare sunt legate împreună, astfel o deplasare este posibilă numai în limitele permise de frecarea, și astfel tensiunea în partea exterioară a porțiunilor de sârmele exterioare este mai mare decât σ , care ($\sigma = (\delta / D) E$).

Isaachsen [10] a cercetat de primată în 1907 tensiunile de tracțiune secundare să determine prin calcule. Dar el nu a luat în considerare, ceea ce a stabilit Benoit [139], că forțele de frecare din cauza înpletirii nu acționează numai la creșterea forțelor de tracțiune ci și la reducerea acestora. Isaachsen a calculat astfel valori prea mari ale tensiunilor de tracțiune.

Benoit și Woernle [5] au calculat potrivit tensiunile de tracțiune secundare în toroanele și cablurile de un rând. Ei se referă și țin cont de acțiune de tip lamelle a cablurilor de mai multe straturi și elaborează o metodă de scurgere a tensiunilor în cazul concret ținând cont de deformațiile și modificările unghiurilor de înfășurare la îndoirea cablurilor. Ei arată că la unghiurile de înfășurare obișnuite și la frecări sub $\mu = 0,4$ există o diferență foarte mică la calcule.

Schiffner [13] sa ocupat de forțele de frecare între sârmele cablurilor. Făcând numeroase măsurători de rigiditate prin care sa determinat solicitările din cablurile cauzate de forțele de frecare.

La fel H. Ernst [9] și Dreher [58] au cercetat frecările sârmelor din cabluri și influența acestora asupra tensiunilor secundare de tracțiune.

Cercetarea tensiunilor de tracțiune secundare se vor studia în prima linie din cauza deformațiilor cauzate de înpletire și forțele de frecare. Se vor studia ca tensiuni statice suplimentare de tracțiune și se vor compara cu tensiunile primare față de rezistența de tracțiune. Tensiunile de încovoiere și variabilele pulsații apar pe lângă forțele de presare și frecare și au efecte importante asupra durabilității cablurilor.

În cercetările lui arată Donandt [146] că tensiunile de tracțiune secundare sunt influențate foarte mult de frecările dintre sârmele cablurilor și chiar în cazurile cu ungere au valori considerabile, în special când compensarea pe lungimea sârmei între zonele cu întinder și comprimare nu este posibilă, ca de exemplu la încovoieri foarte pregnante sau la schimbarea direcției de încovoiere pe distanțe reduse, tensiunile secundare de tracțiune au valori și influențe ridicate asupra capacității și fiabilității cablurilor.

Donandt a arătat că solicitările variabile pulsante au efecte mult mai ridicate asupra fiabilității decât efectele arătate mai sus. Deci în toate cazurile solicitările variabile trebuie să fie verificate și luate în considerare. Aceste solicitări variabile apar în toate zonele de încovoiere și sârmele sunt mult mai sensibile pe acestea, decât pe solicitările de încovoiere care au sens schimbător.

Din această cauză studiul și cercetarea tensiunilor de tracțiune secundare care apar în urma solicitării pulsante din cauza înfășurării prin cablare, nu au fost studiate suficient și influența acestora asupra fiabilității cablurilor are o importanță deosebită.

Studiul frecărilor dintre sârmele cablurilor de susținere și ancorare

Măsurarea rigidității

Cercetările măsurătorilor de rigiditate exprimă o măsură a influenței frecării dintre sârmele cablurilor. Scopul primelor cercetări au fost măsurarea pierderilor de randament la îndoirea funiilor de cânepă peste o rolă. Primele cercetări cu cablurile din oțel efectuate de

Wiesbach aveau același scop. Multe cercetări au fost efectuate de Hirschland și Müller, Meebold, Baum 1906, Rubin 1920 și Hecker 1933.

Pe lângă pierderile prin frecare Hirschland a determinat și tensiunile cauzate de frecările dintre sârmele din cablurile din oțel, la fel și uzura cauzată de frecări. Iar Hecker a cercetat influența frecării dintre sârmele cablurilor și a rigidității asupra fiabilității cablurilor.

Hirschland a determinat rigiditatea unor cabluri în funcție de diametrul rolei, a forței din cablu și ale frecărilor. La creșterea și scăderea solicitărilor pe cablu a ridicat diferite curbe de tensiune-alungire, și din diferențe a –presupus- determinat frecările dintre sârme, care împiedică alungirile la solicitare și reducerea alungirilor la scăderea solicitării. În încheiere arată că rezultatele obținute de el nu sunt suficient de convingătoare, pentru a determina tensiunile din sârmele cablurilor.

Hirschland arată că în cablurile drepte, solicitate prin forțe de tracțiune variabile sunt zone de diferite lungimi ale sârmelor care au înclinații diferite față de axa cablului și la care apar alungiri și tensiuni diferite din cauza înclinațiilor diferite. Cu cât înclinațiile sârmelor este mai mare față de axa cablului cu atât este mai mare alungirea și tensiunea de tracțiune care apar pe aceste porțiuni al sârmelor respective conform Figurii 4.48.

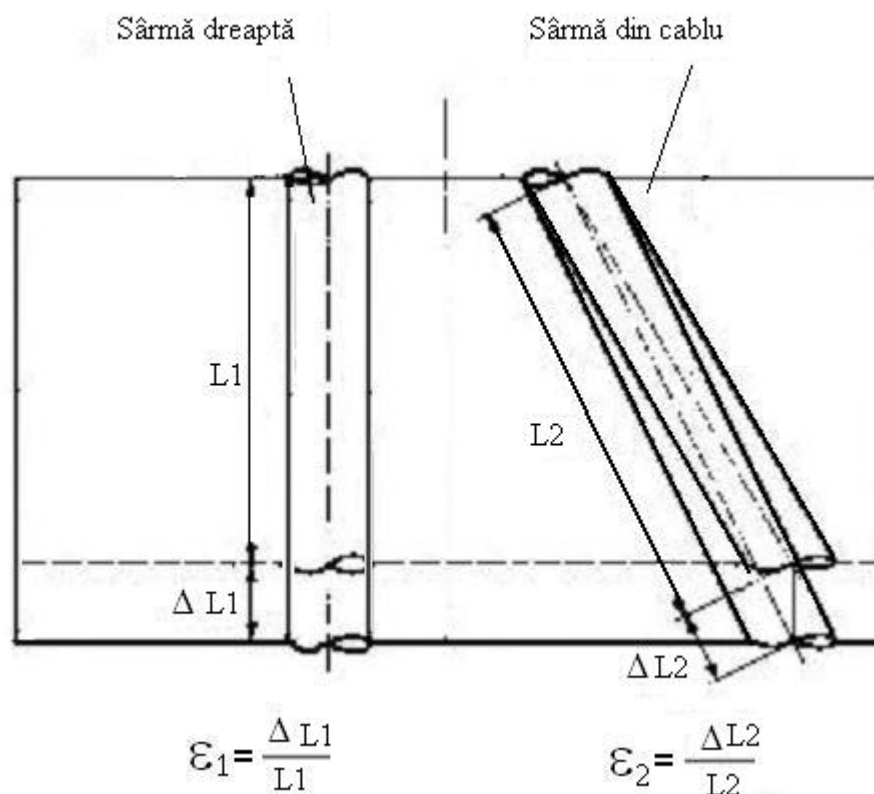


Fig. 4.48

O echilibrare reciprocă a porțiunilor de sârme din cablu nu poate să aibă loc, din cauza frecărilor dintre sârme și apar forțe în sârme și deformări locale care conduc la daformarea și rotirea cablului. O bucată de sârmă în această situație se deplasează reciproc față de altele atunci când forța internă de deformare cauzată de tensiunea longitudinală în acesta este mai mare decât forța de frecare locală între sârme. Prin deplasarea longitudinală se egalizează tensiunile longitudinale în sârme în urma deplasărilor permise de forțele de frecare. Tensiunile rămase în sârmele își schimbă sensul la încărcări și descărcări variabile. Aceste tensiuni se suprapun ca tensiuni secundare asupra tensiunilor primare de lucru, care se numesc și - folositoare- ale sârmelor și ridică tensiunile totale.

Schiffner [13] a determinat la un cablu de 42 sârme cu împletire încrucișată că tensiunile secundare de tracțiune cauzate din încovoierea cablului ajung la valoarea de 1/6 din tensiunea primară de tracțiune. Pentru un cablu de tip Albert a obținut o valoare mai redusă. La cablurile cablate cu mai multe rânduri de toroane valoarea tensiunilor secundare au fost experimentate și au rezultat valori mai ridicate.

Becker [128] a executat numeroase experimente cu cabluri de construcții diferite cu solicitări variabile și a arătat că rigiditatea cablurilor are o influență directă și destul de ridicată asupra fiabilității acestora.

La aprecierea măsurătorilor și a influențelor dintre rigiditatea, presiunea de contact și deplasările relative, Klein arată că se ajunge la valoarea tensiunilor secundare aproape de cele care se produc prin încovoierea sârmelor.

Din cercetările efectuate rezultă o legătură univocă între rigiditatea cablurilor și tensiunile secundare care se datorează rigidității. În afară de poziția sârmelor sau a toroane din cablu, o influență deosebită are felul cablării, diametrul cablului, rezistența sârmelor și calitatea suprafețelor acestora.

Studiul influenței frecări în cablurile de susținere și ancorare Considerații teoretice, a tensiunii de încovoiere

La calculul tensiunii de încovoiere în cablurile de tracțiune trebuie să se ia în considerare frecările dintre sârme. După prezentările lui H. Ernst [9] și Czitary [56] apare o situație de deformare a sârmelor – cu o relație între forța longitudinală și transversală de cca. 20 : 1 -, ca și când o sârmă se deformează față de o bară plină. La calcule se consideră relația dintre forța de tracțiune, forța transversală, starea secțiunii și se neglijează forțele de frecare la deformarea de încovoiere a sârmelor.

Studii referitoare la tensiunea de încovoiere

Din măsurătorile lui Wyss [68] referitoare la tensiunea de încovoiere ale cablurilor de tracțiune în zonele cu solicitări transversale a obținut la fel valori referitoare la forțele de frecare în cabluri. Efectele frecării apar îndeosebi în afara (pe lângă) domeniului de încovoiere. *Din cercetări a rezultat că deplasabilitate între sârme este dependentă de „construcția cablului, de mărimea forței de tracțiune, de forma și starea sârmelor, de ungerea cablului, și eventual de modulul de elasticitate al sârmelor.*

O evaluare cantitativă a tensiunii secundare de tracțiune din măsurători nu este posibilă, se anunță în lucrările de specialitate, întrucât lipsesc valorile momentelor de frecare între sârme. Din determinările teoretice ale solicitărilor maxime din încovoiere, din solicitările contactelor punctiforme între cablu și rolă, pot fi deduse tensiunile secundare de tracțiune.

Cele mai puternice solicitări din încovoiere au fost determinate la valoarea de $\sigma_{imax}=0,85 \sigma_{il}$, unde σ_{il} este tensiunea de încovoiere într-un cablu fără frecare, solicitat transversal. La un cablu calculat de Czitary a obținut pentru sârmele dintr-un cablu spiral cu două rânduri de toroane, o tensiune de încovoiere la valoarea de $0,87 \sigma_{il}$, care e foarte aproape de cele determinate prin măsurători. Pentru sârmele din interiorul cablului s-a obținut prin calcul valori pentru tensiunea de încovoiere în jur de $1,47 \sigma_{il}$, adică o solicitare mult mai ridicată în cazul încovoierii.

Din cercetările tensiunilor secundare din cabluri rezultă în unanimitate o valoroasă cunoaștere a existenței acestor tensiuni, chiar dacă nu rezultă influența lor asupra fiabilității cablurilor care este scopul final al cunoașterii comportării cablurilor de tracțiune de susținere și ancorare la solicitări variabile pulsatoare. Faptul că solicitările secundare și mărimea lor în anumite situații sunt de mare importanță, rezultă din cercetări și măsurători mai realizate mai devreme de numeroși autori, ca Benoit și Donandt.

Scopul acestei lucrări este de a cunoaște și clarifica solicitările sârmelor din cabluri în general, și în special apărute la forțele de tracțiune.

Calculul tensiunilor secundare

Îndoire cu curbură constantă, un toron pe un singur rând considerat
ca o bară quasi-plină la limita frecării într-un toron de cablu

La capătul unui toron de 7 sârme , necablat, cu diametrul sârmelor d , cu diferență de diametre neglijabile față de sârma centrală, și cu diametrul cilindrului considerat 2δ , pe mantaua acestuia acționează, o forță de tracțiune Z_L , în direcția axei toronului, și un moment M_{dL} , proporțional cu această forță, de natură ca toate sârmele din toron să fie solicitate numai la tracțiune, ca în Figura 4.49.

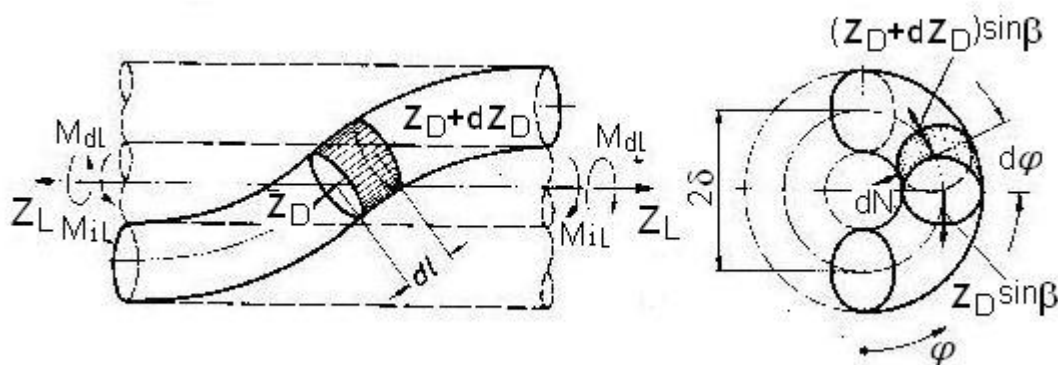


Fig. 4.49

Pentru a evita tensiunile de încovoiere și de torsiune cauzate de alungirile sârmelor, se consideră ca sârmele își păstrează poziția lor inițială pe toată lungimea epruvetei. Din solicitările forței Z_L și al momentului M_{dL} rezultă pentru o sârmă o forță de tracțiune Z_D . Această forță produce printr-un element de lungimea axei dL din sârmă o forță dN de apăsare normală, care acționează pe sârma centrală având valoarea de :

$$dN = Z_D \cdot d\alpha \text{ unde } d\alpha \text{ este elementul de unghi al cercului curbei spirale.} \quad 4.18$$

$$dL = \rho d\alpha, \text{ iar } \rho = d / \sin^2\beta \text{ este raza cercului curbei spirale.} \quad 4.19$$

$$\text{Înlocuind } d\alpha = dL / \rho = dL \cdot \sin^2\beta / \delta \text{ și } dL = \delta d\varphi / \sin\beta \quad 4.20$$

$$\text{deci } d\alpha = \sin\beta \cdot d\varphi \text{ și } dN = Z_D \cdot \sin\beta \cdot d\varphi \quad 4.21$$

În cazul în care toronul considerat pe toată lungimea se va îndoi cu o curbură constantă, astfel la mărimile și condițiile obținute mai sus este necesar să se adauge un moment de încovoiere, care pe momentele M_{dL} egalizează la capetele epruvetei cercetate.

Unul referitoare la curbura toronului, orientat pe dinafară și un moment M_{iL} constant, referitoare la lungimea toronului. Acest moment de încovoiere va fi preluat la îndoirea sârmelor din toron de tensiunile secundare. Până când raza de îndoire la care se îndoiește toronul este mare, aceste forțe și momente sunt preluate de forțele de frecare dintre sârmele toronului și toronul se comportă ca o bară quazi plină.

Depășirea forțelor de frecare la îndoirea toronului pe o curbură mai mică

Îndoind toronul pe o rază de curbură mai mică forțele (μdN), de frecare numai sunt suficiente pentru a prelua forțele dintre sârmele exterioare și dintre sârma centrală, cauzate de deformațiile elastice. Apar deplasarea sârmelor exterioare în direcția axei lor față de sârma centrală și lița numai apare ca o bară quazi plină. Astfel apar în sârme următoarele tensiuni cauzate de încovoierea lor:

- tensiunea cauzată prin îndoirea sârmei în lițe $\sigma_i = (\delta / D) E$, considerată cu abatere foarte mică ca și la îndoirea unei sârme necablate 4.22

- tensiunea secundară de tracțiune σ_{ts} care este orientată după axa sârmei

- O tensiune de torsionare care are de obicei valori neglijabile.

Înainte de deplasarea unui element de sârmă, există situația:

$$1 / \rho = M_{iL} / E \cdot I_L \quad \text{și} \quad \sigma_{ii} = (M_{iL} / I_L) y_i \quad \text{unde} \quad 4.23$$

I_L este momentul de inerție al secțiunii toronului în cazul sârmelor nedeplasabile și y_i este distanța suprafeței referitoare la suprafața neutrală de încovoiere al toronului.

Momentul de inerție după deplasările sârmelor este :

$$I_a = I_t + \Sigma I_s \quad \text{unde} \quad 4.24$$

I_t este momentul de inerție al secțiunii deplasate și ΣI_s este suma momentelor de tracțiune ale secțiunilor sârmelor.

La desfacerea completă a secțiunii toronului, pentru cele 7 sârme momentul de tracțiune va fi

$$I_a = \Sigma I_s = 7 I_s \quad 4.25$$

Momentul de inerție I_a preia elastic momentul încovoiitor M_{i1} , care se exprimă astfel :

$$M_{i1} = M_{iiL} - M_R \quad \text{unde} \quad M_R = \Sigma F D \cdot \sigma_{ts} \cdot y_i \cdot \cos\beta \quad 4.26$$

M_R este momentul de frecare care se măsoară în cadrul experimentelor și se determină la calcularea tensiunilor secundare.

Tensiunea secundară de tracțiune a unei înpletituri din sârme

Deplasările sârmelor descrise mai sus încep la suprafața neutrală a toronului și se continuă cu evoluarea încovoierii în cele două părți ale zonelor de tracțiune și de compresiune până la capătul elementelor de sârmă, acționând asupra sârmei centrale. Direcția de mișcare pentru fiecare element este în concordanță cu zona de tracțiune sau de compresiune, astfel ca în zonele de alunecare al toronului în înțelesul că se formează o cădere de tensiune de la zona de tracțiune spre zonele ce compresiune.

Calculul tensiuni de tracțiune secundare la toronul drept

Nu se ține cont de modificarea geometriei sârmelor din toron prin cablare.

$$d\sigma_{ts\varphi} - \mu (\sigma_{tp} + \sigma_{ts\varphi}) \sin\beta d\varphi = 0 \quad 4.27$$

$$\text{unde } \sigma_{tp} = \text{tensiunea de tracțiune primară} = Z_D / (\pi \delta^2 / 4) \quad 4.28$$

iar $\sigma_{ts\varphi}$ = tensiunea de tracțiune secundară la poziția unghiului φ

Prin integrare se obține :

$$d\sigma_{ts\varphi} / (\sigma_{tp} + \sigma_{ts\varphi}) = \mu \sin\beta \int d\varphi \quad 4.29$$

$$\ln (\sigma_{tp} + \sigma_{ts\varphi}) + C_1 = \mu \sin\beta \cdot \varphi + C_2 \quad 4.30$$

$$(\sigma_{tp} + \sigma_{ts\varphi}) = C \cdot e^{(\mu \sin\beta \cdot \varphi)} \quad 4.31$$

pentru determinarea lui C se va înlocui în $\sigma_{ts\varphi}$ valorile pentru $\varphi = \pi / 2$

și se obține zero. Rezultă că această considerare conduce la destulă exactitate.

$$C = \sigma_{tp} \cdot e^{-(\mu \sin\beta \cdot \pi / 2)} \quad 4.32$$

Și tensiunea de tracțiune din sârma unui toron cu un rând rezultă :

$$\sigma_{ts\varphi} = \sigma_{tp} [e^{(\mu \sin\beta (\varphi - \pi / 2) - 1)}] \quad 4.33$$

pentru $\varphi = 0$ se obține pentru parte comprimată valoarea maximă a tensiunii de comprimare

$$\sigma_{ts_{dmax}} = \sigma_{tp} [e^{(\mu \sin\beta (\varphi - \pi / 2) - 1)}] \quad 4.34$$

iar pentru $\varphi = \pi$ pe partea întinsă se obține valoarea maximă pozitivă

$$\sigma_{ts_{dmax}} = \sigma_{tp} [e^{(\mu \sin\beta (\varphi - \pi / 2) - 1)}] \quad 4.35$$

Înlocuind valorile lui $\mu = 0,25$ și $\beta = 14,5^\circ$ se obțin următoarele diferențe de valori :

$$\sigma_{ts \text{ tmax}} = \sigma_{tp} [e^{0,0982} - 1] = 0,103 \sigma_{tp} \quad 4.36$$

$$\sigma_{ts \text{ dmax}} = \sigma_{tp} [e^{-0,0982} - 1] = 0,093 \sigma_{tp} \quad 4.37$$

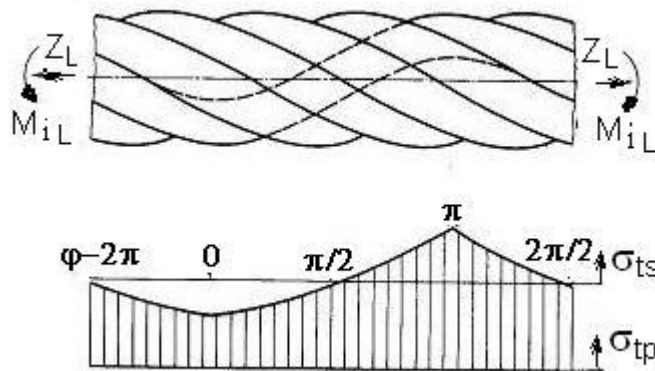
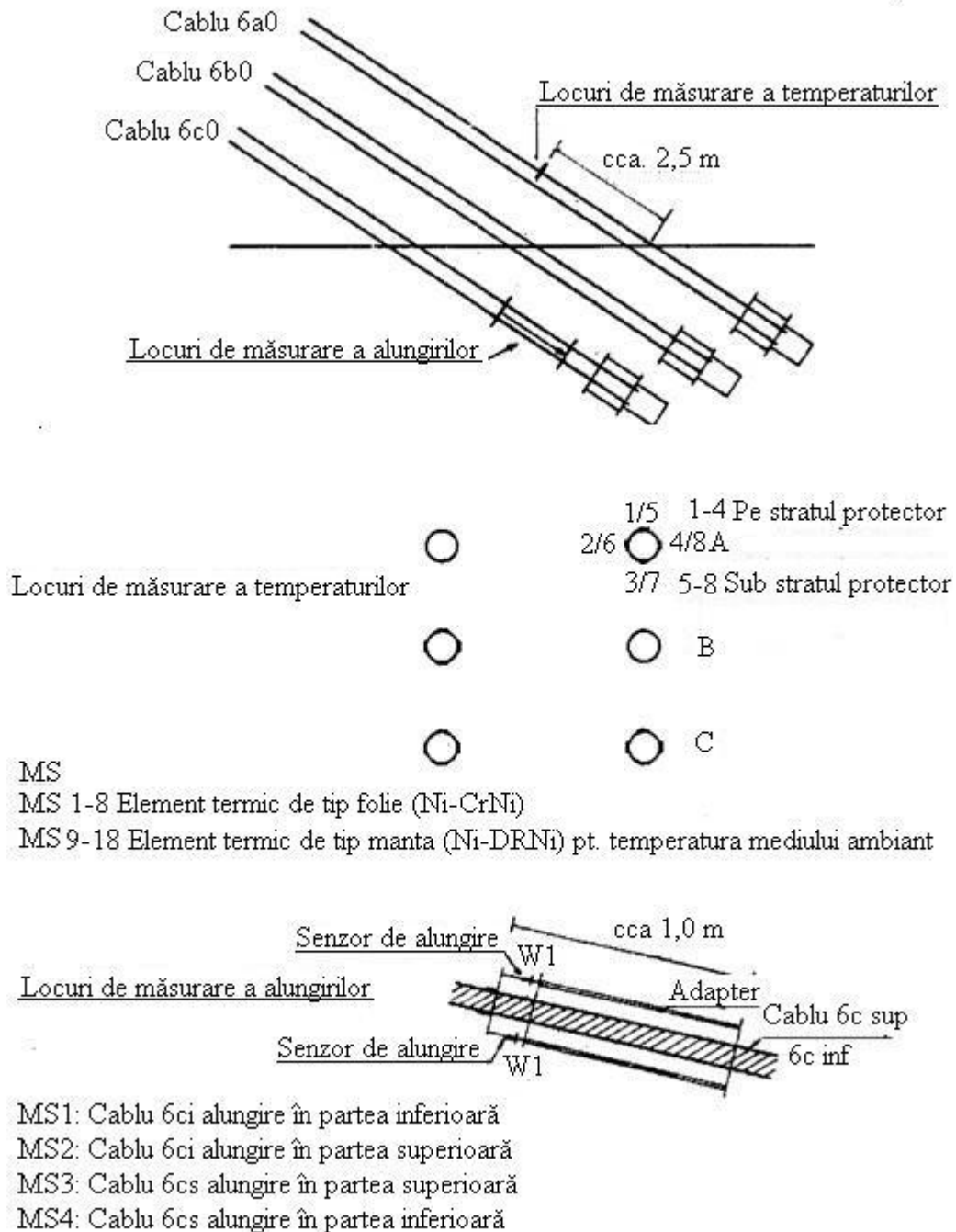


Fig. 4-50-[12]

În Figura 4.50 se reprezintă un toron de cablu și diagrama de repartizare a tensiunilor normale, de tracțiune secundare într-o sârmă al toronului.

Pentru a arăta că introducerea valorii lui $\sigma_{ts\varphi} \varphi = \pi / 2 = 0$ nu conduce la reducerea preciziei rezultatelor, se precizează următoarele, analizând porțiunea diagramei între poziția 0 și π , se observă că la poziția $\pi / 2$ valoarea tensiunii secundare este egală cu zero.

4.7 Măsurarea alungirii cablurilor datorită variației de temperatură, a circulației vehiculelor, acțiunii vântului și datorită vibrațiilor de către [Bast].



Amplasamentul locurilor de măsurare pe podul A 42

Fig. 4.51-[59]

Măsurătorile au fost efectuate pe podul A42 pe Rhein, unde s-au înregistrat alungirile cablurilor datorită variației de temperatură, a circulației vehiculelor, acțiunii vântului și datorită vibrațiilor.

S-au folosit senzori de alungire și pentru înregistrarea temperaturii elemente termice de tip folie pentru măsurători sub stratul de acoperire și de tip manta pe straturi de acoperire. Măsurătorile alungirilor s-au efectuat în apropierea locurilor de ancorare pe o lungime de 1 m cu ajutorul adaptoarelor și aparatelor inductive de tip w5tk cu precizie de 0,25 micrometri.

Măsurarea temperaturii mediului ambiant, pe stratul protector și sub acest strat de către [Bast].

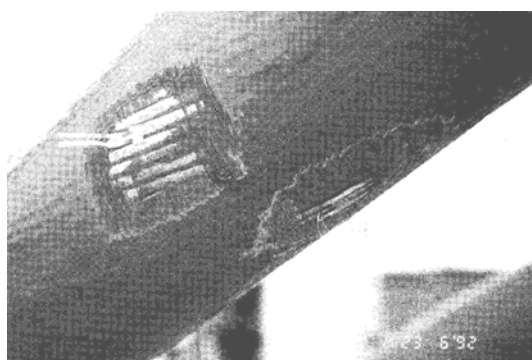


Fig. 4.52 –[59]

Măsurarea temperaturii cablurilor de suspendare 6a de la podul A42 de pe Rhein au fost efectuate atât pe suprafața stratului de acoperire cât și pe 4 cm² sub acesta unde a fost eliminat stratul de protecție, de pe cele 4 cabluri și sa aplicat termofolie. După aplicarea foliilor s-a procedat la aplicarea din nou a stratului de acoperire cu grosimea inițială.

Pe stratul de acoperire, lângă aceste locuri au fost montate elemente termice de tip manta. Rezultatele măsurătorilor de temperaturi pe podul A42 de pe Rhein în Germania și variația acestora sunt prezentate în diagrama din Figura 4.53

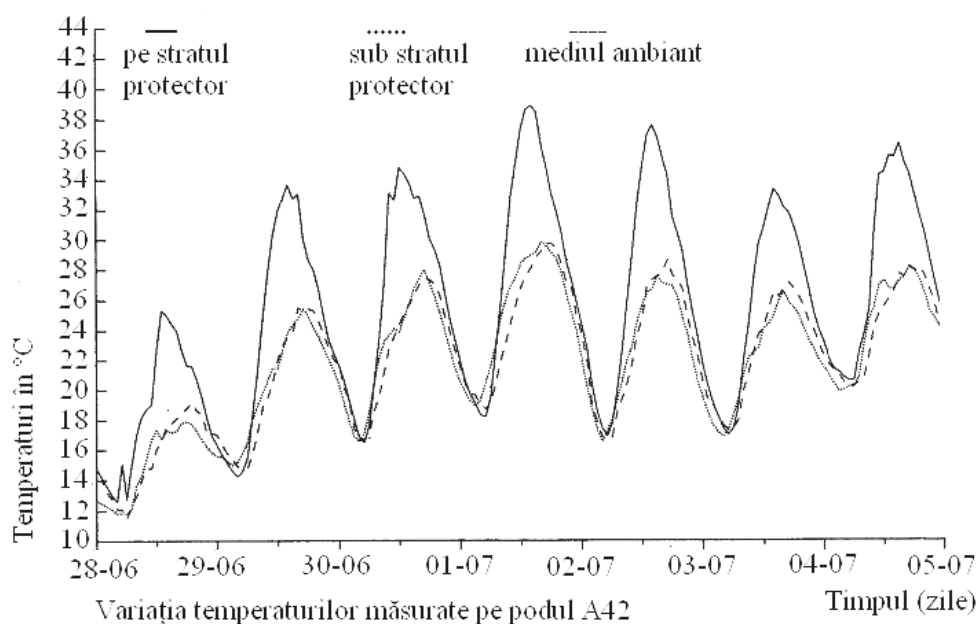


Fig. 4.53 –[59]

Se remarcă faptul că temperatura cea mai ridicată este pe suprafața exterioară a stratului de protecție ale cablurilor.

Analiza variației și a frecvenței alungirii cablurilor de către [Bast]

Frecvența proprie al cablurilor.

În decursul construcției și după terminarea acesteia au fost determinate forțele din cabluri prin calcule după frecvența proprie calculată cu formula :

$$S = 4 \cdot q/g \cdot La \cdot L \cdot f^2 \quad 4.38$$

Cu următoarele valori : $q = 0,7722 \text{ kg/cm}$ pt. cabluri 6 și 16

$q = 0.8711 \text{ kg/cm}$ pt. cablul 14

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$L =$ lungimea liberă al cablului

$La =$ lungimea vizuală al cablului

$f =$ frecvența proprie în Hz

Pentru cablurile 6a, 6b, 6c (identice cu 16a, 16b, 16c) și 14c datele obținute sunt cuprinse în tabelul 4.1 –[59]

| | $4 \cdot q/g$ | La fără tamponare | L fără tamponare | La cu tamponare | L cu tamponare |
|-----|---------------|-------------------|------------------|-----------------|----------------|
| 6a | 0,315 | 49,596 | 49,935 | 43,886 | 44,225 |
| 6b | 0,315 | 48,154 | 48,475 | 42,444 | 42,765 |
| 6c | 0,315 | 46,710 | 47,015 | 41,000 | 41,305 |
| 14c | 0,355 | 88,687 | 88,977 | 82,977 | 83,267 |

Tabelul 4.1

Vibrațiile au fost atenuate prin intermediul unor *tampoane din neopren*. Tamponanele, două la un capăt de cablu au și funcțiunea de a egaliza solicitările din cablu, în toata cazurile când acestea aproape permanent sub acțiunea vibrațiilor transversale își modifică direcția.

Din cauza volumului mare de date ce s-au obținut la măsurători, s-au efectuat măsurători de durată numai de 30 minute. Din măsurători s-au obținut 3 componente ale modificărilor alungirilor cablurilor:

Modificarea alungirii cablurilor datorită trecerii de camioane, cu o frecvență 0,1 Hz

Modificarea alungirii cablurilor datorită vibrațiilor construcției, cu o frecvență 0,5 Hz

Modificarea alungirii cablurilor datorită vibrațiilor proprii ale cablurilor, cu o frecvență de ca 0,8, 1,6 și 2,4 Hz.

Măsurătorile au fost efectuate într-o zi înainte de masă cu două măsurători de câte 30 min., la apariția circulației de intensitate mijlocie cu o frecvență a aparaturii de 20 Hz.

Din asimetria diagramei se deduce ușor direcțiile de deplasare a vehiculelor, de exemplu Camionul 1 s-a deplasat de la stânga la dreapta, a consumat până la locul măsurării -cablului- 9,8 sec deci (= 218m la 80 km/ h), și părăsește podul în cca. 3,6 sec (= 80m la 80 km/h).

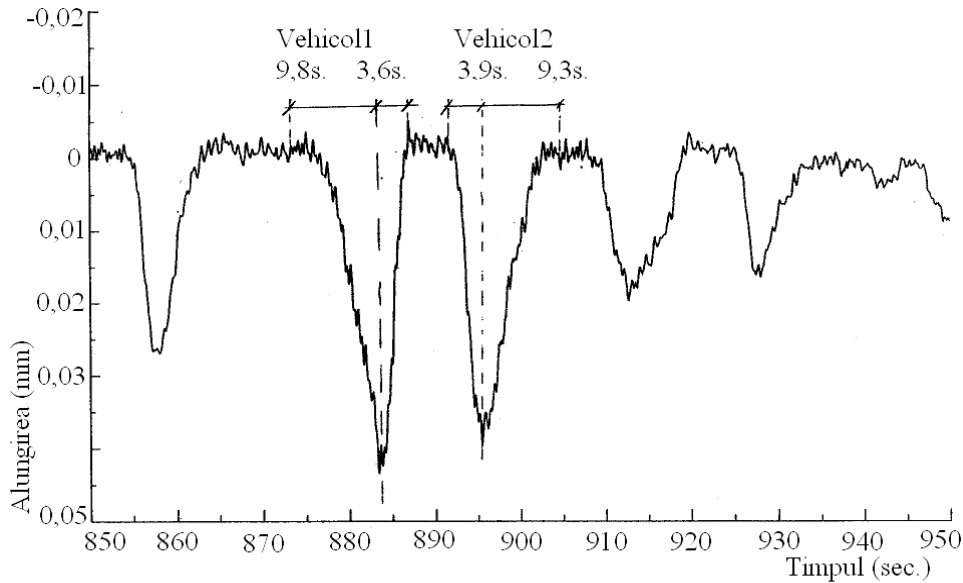


Diagrama de variație a alungirii cablurilor la trecerea pe pod a vehiculelor

Fig. 4.55-[59]

Determinarea solicitărilor și variația acestora din greutatea proprie a construcției, din rularea vehiculelor, prin măsurarea alungirii cablurilor.

În cazul trecerii a convoaielor de vehicule, diagrama creșterii alungirii cablurilor se prezintă în Figura 4.56, în care influența produsă de un vehicul durează doar 10 - 12 secunde.

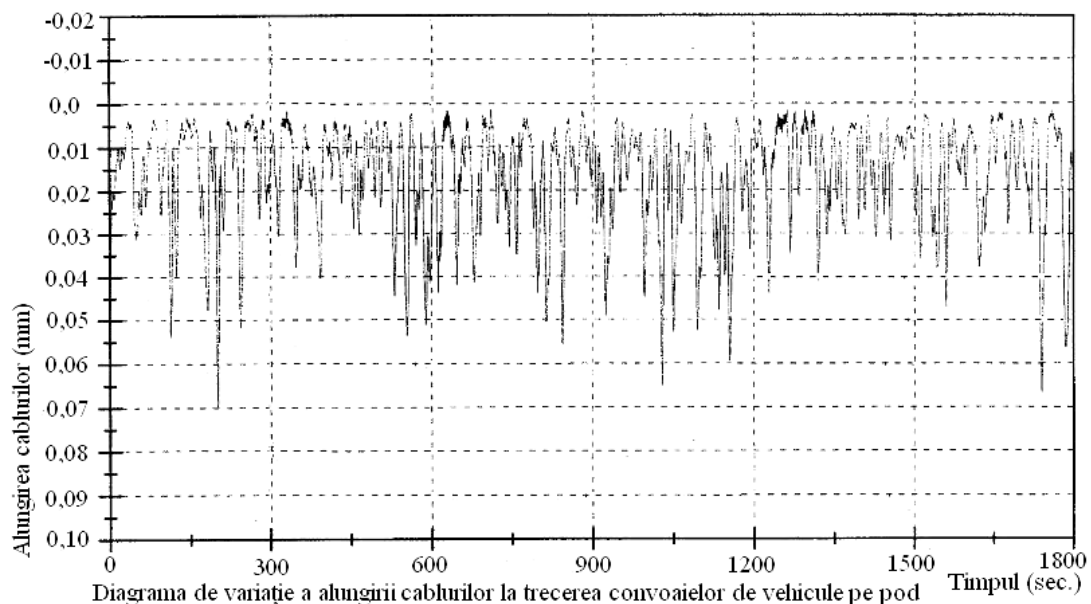


Fig. 4.56-[59]

Alungirile cablurilor produse de vibrațiile proprii ale construcției și ale cablurilor pot fi cauzate de acțiunea vântului sau de trecerea vehiculelor. Pentru a se putea reprezenta valorile alungirilor produse de vibrațiile proprii s-a procedat la extregerea prin filtrare din valorile măsurate a valorilor alungirilor rezultate de trecerea vehiculelor. Diagrama astfel obținută se prezintă în Figura 4.57, iar diagrama vibrațiilor verticale în Figura 4.58.

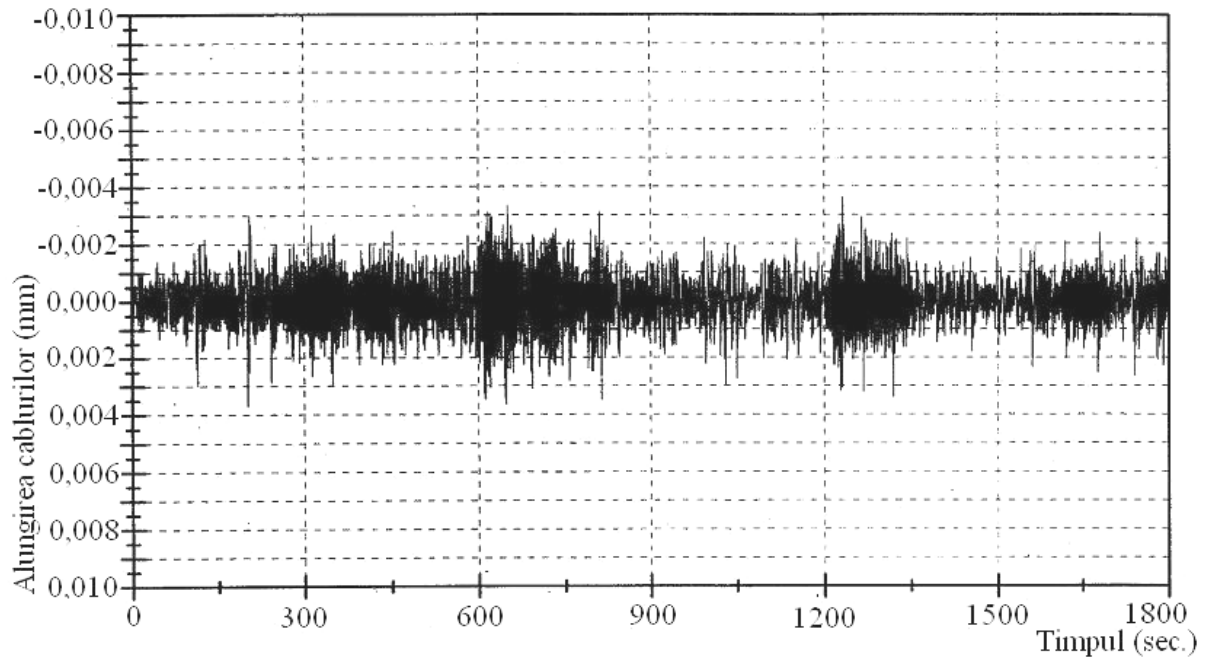


Diagrama alungirii cablurilor cauzate de vibrațiile proprii ale construcției și ale cablurilor

Fig. 4.57-[59]

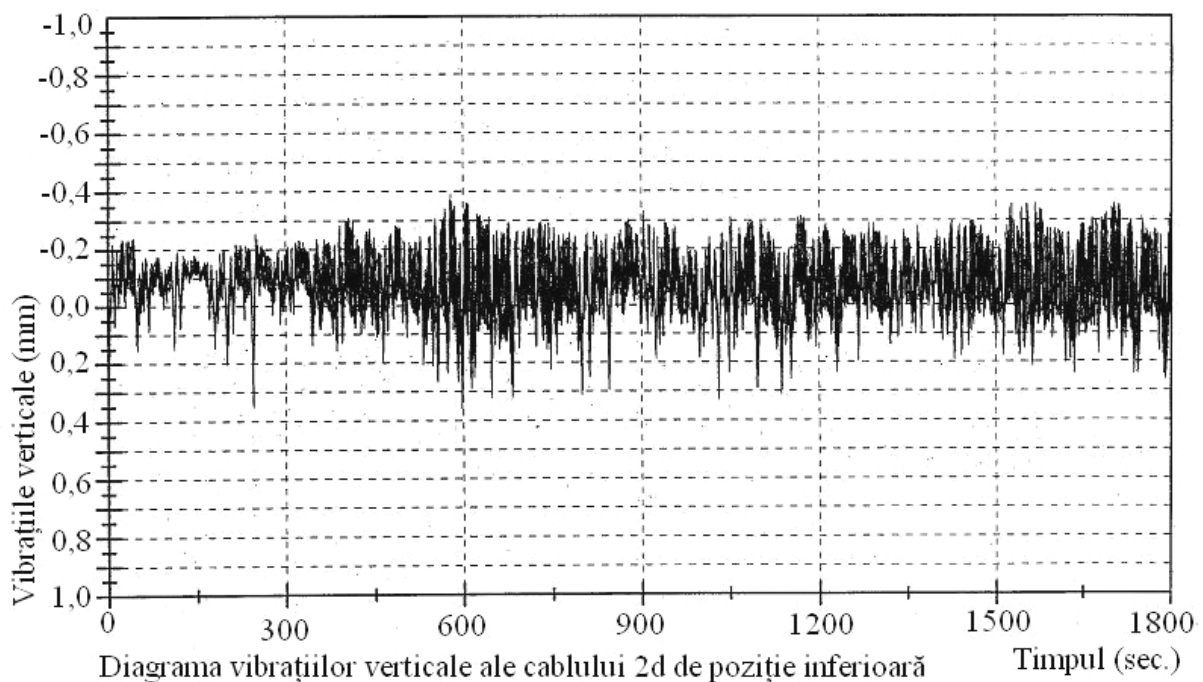


Diagrama vibrațiilor verticale ale cablului 2d de poziție inferioară

Fig. 4.58-[59]

Importante de determinat sunt vibrațiile construcției și ale cablurilor. În cadrul cercetărilor au fost produse manual vibrații orizontale pe cabluri care s-au amplificat după 850 sec. și după 1500 de secunde, prezentate în diagrama din Figura 4.49.

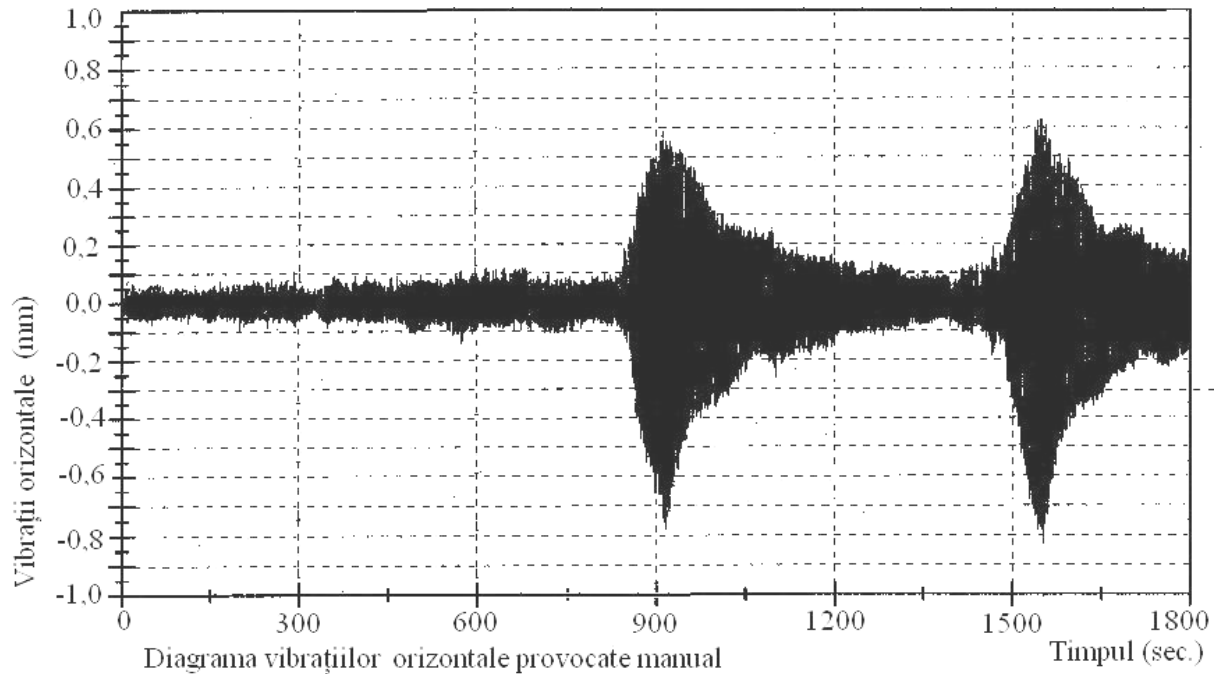


Fig. 4.59-[59]

Din analiza frecvenței vibrațiilor orizontale a rezultat valoarea frecvenței de bază 0,8 Hz.

Valoarea teoretică a frecvenței vibrațiilor se determină după cum urmează:

$$f = \text{sqr} \left(\frac{s}{4 \cdot q / g \cdot L^2} \right) \quad 4.39$$

Cu f : frecvența vibrației de bază

q = greutatea liniară al cablului pentru 1 m

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

L = lungimea de acțiune al cablului

$L = 128,5 \text{ m} - 2 \cdot 83 \cdot d$

d = diametrul cablului

Cu acestea s-a obținut frecvența calculată la valoarea de 0,82 Hz coresp., celor măsurate.
Determinarea alungirii cablurilor și a solicitărilor:

Concluzii

În cadrul măsurătorilor a fost determinată alungirea maximă al cablului la trecerea unui camion, care are valoarea de 0,044 mm. Această alungire corespunde unei creșteri a forțelor de 396 kN în grupe de 6 cabluri, adică 66 kN pe fiecare cablu. Alungirea maximă măsurată la trecerea unui grup de camioane a ajuns la valoarea de 0,065 mm ceea ce corespunde unei creșteri a forței dintr-un cablu 97,4 kN, sau 584,4 kN în grupa de 6 cabluri.

Măsurarea alungirii cablurilor în paralel cu observarea în același moment cu înregistrarea pe video a vehiculelor care circulă pe pod.

Prin măsurarea alungirii cablurilor în paralel cu observarea pe video a vehiculelor ce trec pe pod s-a putut ilustra din care solicitări de pe pod au rezultat forțele înregistrate în cabluri. Înregistrările pe video a pus în evidență că din cauza trecerii în momentul respectiv al camionului au rezultat solicitările, la fel și variația acestora. Măsurătorile au fost efectuate în aceleași condiții în două zile, iar din cauza volumului mare de date înregistrate se prezintă doar o diagramă, perioada dintre secundele 120-180 Figura 460, iar datele înregistrate pe o perioada de 600 sec. sunt centralizate în tabelul din Tabelul 4.3.

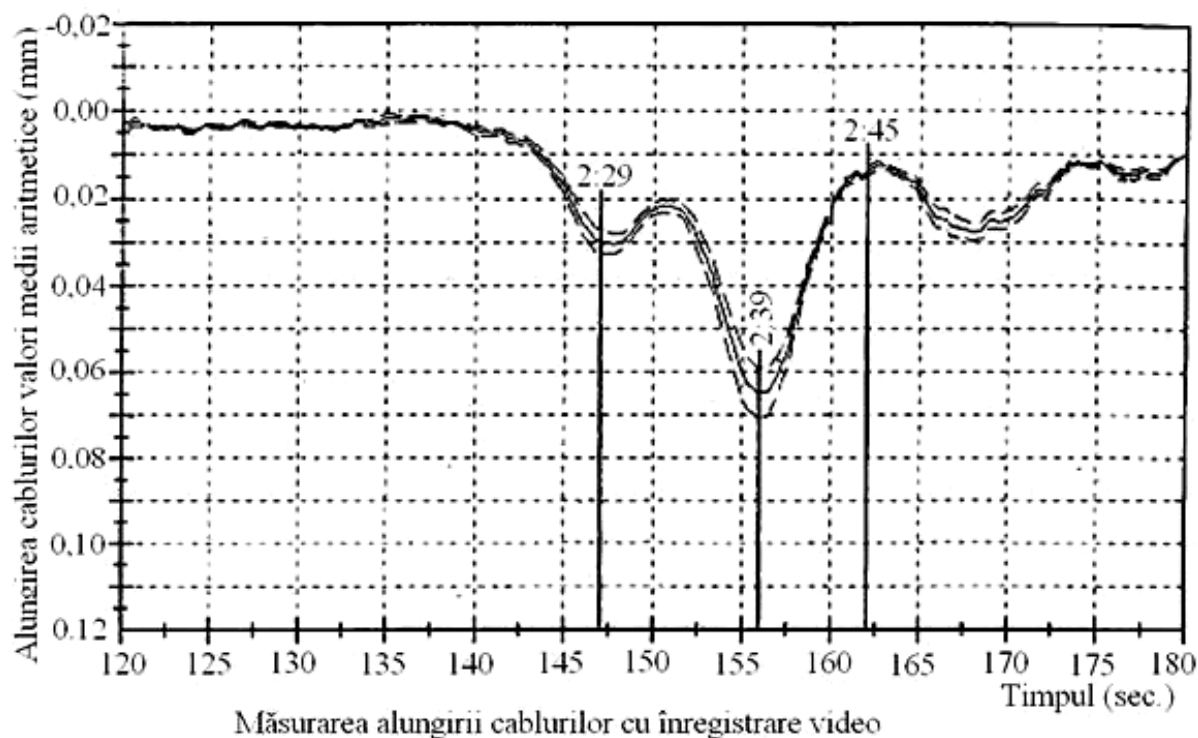


Fig. 4.60.-[59]



Fig. 4.61-[59]

Din datele înregistrate au fost eliminate componentele cauzate de vibrațiile proprii ale construcției și din rezultatele sau obținut datele referitoare la sumele alungirilor pe zi. După analiza acestor rezultate –valori pozitive și negative- prin extrapolare au fost formate datele alungirilor pe un an. Valoarea medie a alungirilor astfel calculată ale cablurilor verificate este de +20396 mm și -20394 mm prezentată în Tabelul 4.2

| Alungiri anuale prin extrapolarea datelor măsurătorilor pe o zi | | | | | |
|---|------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|-----------------|
| | Suma alungirilor pe zi | | Partea anuală în miime | Alungiri pe an | |
| | negativ [mm] | positiv [mm] | | negativ [mm] | positiv [mm] |
| | | | [1/1000] | | |
| 03.04.1995 | -84,623 | 84,61 | 3,69518 | -22901 | 22897 |
| 04.04.1995 | -77,554 | 77,497 | 3,82382 | -20282 | 20267 |
| 05.04.1995 | -75,674 | 75,706 | 3,93974 | -19208 | 19216 |
| 06.04.1995 | -75,692 | 75,715 | 4,13538 | -18304 | 18309 |
| 07.04.1995 | -54,476 | 54,519 | 2,58872 | -21044 | 21060 |
| 10.04.1995 | -74,917 | 74,903 | 3,65498 | -20497 | 20493 |
| 11.04.1995 | -81,697 | 81,666 | 3,84861 | -21228 | 21220 |
| 12.04.1995 | -82,502 | 82,513 | 4,03354 | -20454 | 20457 |
| 13.04.1995 | -41,716 | 41,739 | 2,12498 | -19631 | 19642 |
| | Valoarea medie | | | -210394 | 20396 |
| | Abaterea Standard | | | 1313 | 1310 |
| | Inprecizie medie | | | 438 | 437 |

Tabelul 4.2-[59]

Au fost efectuate 600 de înregistrări timp de 600 secunde și rezultatele au fost centralizate în tabelele 4.3-1 și 4.3-2.

| Măs | Vid | Măs | Vid | Măs | Vid | Măs | Vid | Măs | Vid | Măs | Vid |
|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|
| 1 | 0:01 | 51 | 0:52 | 101 | 1:43 | 151 | 2:34 | 201 | 3:24 | 251 | 4:15 |
| 2 | 0:02 | 52 | 0:53 | 102 | 1:44 | 152 | 2:35 | 202 | 3:25 | 252 | 4:16 |
| 3 | 0:03 | 53 | 0:54 | 103 | 1:45 | 153 | 2:36 | 203 | 3:26 | 253 | 4:17 |
| 4 | 0:04 | 54 | 0:55 | 104 | 1:46 | 154 | 2:37 | 204 | 3:27 | 254 | 4:18 |
| 5 | 0:05 | 55 | 0:56 | 105 | 1:47 | 155 | 2:38 | 205 | 3:28 | 255 | 4:19 |
| 6 | 0:06 | 56 | 0:57 | 106 | 1:48 | 156 | 2:39 | 206 | 3:29 | 256 | 4:20 |
| 7 | 0:07 | 57 | 0:58 | 107 | 1:49 | 157 | 2:40 | 207 | 3:30 | 257 | 4:21 |
| 8 | 0:08 | 58 | 0:59 | 108 | 1:50 | 158 | 2:41 | 208 | 3:31 | 258 | 4:22 |
| 9 | 0:09 | 59 | 0:60 | 109 | 1:51 | 159 | 2:42 | 209 | 3:32 | 259 | 4:23 |
| 10 | 0:10 | 60 | 1:01 | 110 | 1:52 | 160 | 2:43 | 210 | 3:34 | 260 | 4:24 |
| 11 | 0:11 | 61 | 1:02 | 111 | 1:53 | 161 | 2:44 | 211 | 3:34 | 261 | 4:25 |
| 12 | 0:12 | 62 | 1:03 | 112 | 1:54 | 162 | 2:45 | 212 | 3:35 | 262 | 4:26 |
| 13 | 0:13 | 63 | 1:04 | 113 | 1:55 | 163 | 2:46 | 213 | 3:36 | 263 | 4:27 |
| 14 | 0:14 | 64 | 1:05 | 114 | 1:56 | 164 | 2:47 | 214 | 3:37 | 264 | 4:28 |
| 15 | 0:15 | 65 | 1:06 | 115 | 1:57 | 165 | 2:48 | 215 | 3:38 | 265 | 4:29 |
| 16 | 0:16 | 66 | 1:07 | 116 | 1:58 | 166 | 2:49 | 216 | 3:39 | 266 | 4:30 |
| 17 | 0:17 | 67 | 1:08 | 117 | 1:59 | 167 | 2:50 | 217 | 3:40 | 267 | 4:31 |
| 18 | 0:18 | 68 | 1:09 | 118 | 1:60 | 168 | 2:51 | 218 | 3:41 | 268 | 4:32 |
| 19 | 0:19 | 69 | 1:10 | 119 | 2:01 | 169 | 2:52 | 219 | 3:42 | 269 | 4:33 |
| 20 | 0:20 | 70 | 1:11 | 120 | 2:02 | 170 | 2:53 | 220 | 3:43 | 270 | 4:35 |
| 21 | 0:21 | 71 | 1:12 | 121 | 2:03 | 171 | 2:54 | 221 | 3:44 | 271 | 4:36 |
| 22 | 0:22 | 72 | 1:13 | 122 | 2:04 | 172 | 2:55 | 222 | 3:45 | 272 | 4:37 |
| 23 | 0:23 | 73 | 1:14 | 123 | 2:05 | 173 | 2:56 | 223 | 3:46 | 273 | 4:38 |
| 24 | 0:24 | 74 | 1:15 | 124 | 2:06 | 174 | 2:57 | 224 | 3:47 | 274 | 4:39 |
| 25 | 0:25 | 75 | 1:16 | 125 | 2:07 | 175 | 2:58 | 225 | 3:48 | 275 | 4:40 |
| 26 | 0:26 | 76 | 1:17 | 126 | 2:08 | 176 | 2:59 | 226 | 3:49 | 276 | 4:41 |
| 27 | 0:27 | 77 | 1:18 | 127 | 2:09 | 177 | 2:60 | 227 | 3:50 | 277 | 4:42 |
| 28 | 0:28 | 78 | 1:19 | 128 | 2:10 | 178 | 3:01 | 228 | 3:51 | 278 | 4:43 |
| 29 | 0:29 | 79 | 1:20 | 129 | 2:11 | 179 | 3:02 | 229 | 3:52 | 279 | 4:44 |
| 30 | 0:31 | 80 | 1:21 | 130 | 2:12 | 180 | 3:03 | 230 | 3:53 | 280 | 4:45 |
| 31 | 0:32 | 81 | 1:22 | 131 | 2:13 | 181 | 3:04 | 231 | 3:54 | 281 | 4:46 |
| 32 | 0:33 | 82 | 1:23 | 132 | 2:14 | 182 | 3:05 | 232 | 3:55 | 282 | 4:47 |
| 33 | 0:34 | 83 | 1:24 | 133 | 2:15 | 183 | 3:06 | 233 | 3:56 | 283 | 4:48 |
| 34 | 0:35 | 84 | 1:25 | 134 | 2:16 | 184 | 3:07 | 234 | 3:57 | 284 | 4:49 |
| 35 | 0:36 | 85 | 1:26 | 135 | 2:17 | 185 | 3:08 | 235 | 3:58 | 285 | 4:50 |
| 36 | 0:37 | 86 | 1:27 | 136 | 2:18 | 186 | 3:09 | 236 | 3:59 | 286 | 4:51 |
| 37 | 0:38 | 87 | 1:28 | 137 | 2:19 | 187 | 3:10 | 237 | 3:60 | 287 | 4:52 |
| 38 | 0:39 | 88 | 1:29 | 138 | 2:20 | 188 | 3:11 | 238 | 4:01 | 288 | 4:53 |
| 39 | 0:40 | 89 | 1:30 | 139 | 2:21 | 189 | 3:12 | 239 | 4:02 | 289 | 4:54 |
| 40 | 0:41 | 90 | 1:32 | 140 | 2:22 | 190 | 3:13 | 240 | 4:03 | 290 | 4:55 |
| 41 | 0:42 | 91 | 1:33 | 141 | 2:23 | 191 | 3:14 | 241 | 4:05 | 291 | 4:56 |
| 42 | 0:43 | 92 | 1:34 | 142 | 2:24 | 192 | 3:15 | 242 | 4:06 | 292 | 4:57 |
| 43 | 0:44 | 93 | 1:35 | 143 | 2:25 | 193 | 3:16 | 243 | 4:07 | 293 | 4:58 |
| 44 | 0:45 | 94 | 1:36 | 144 | 2:26 | 194 | 3:17 | 244 | 4:08 | 294 | 4:59 |
| 45 | 0:46 | 95 | 1:37 | 145 | 2:27 | 195 | 3:18 | 245 | 4:09 | 295 | 4:60 |
| 46 | 0:47 | 96 | 1:38 | 146 | 2:28 | 196 | 3:19 | 246 | 4:10 | 296 | 5:01 |
| 47 | 0:48 | 97 | 1:39 | 147 | 2:29 | 197 | 3:20 | 247 | 4:11 | 297 | 5:02 |
| 48 | 0:49 | 98 | 1:40 | 148 | 2:30 | 198 | 3:21 | 248 | 4:12 | 298 | 5:03 |
| 49 | 0:50 | 99 | 1:41 | 149 | 2:31 | 199 | 3:22 | 249 | 4:13 | 299 | 5:04 |
| 50 | 0:51 | 100 | 1:42 | 150 | 2:33 | 200 | 3:23 | 250 | 4:14 | 300 | 5:05 |

Tabelul 4.3-1-[59]

| Măs | Vid | Măs | Vid | Măs | Vid | Măs | Vid | Măs | Vid | Măs | Vid |
|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-------|
| 301 | 5:06 | 351 | 5:57 | 401 | 6:48 | 451 | 7:39 | 501 | 8:29 | 551 | 9:20 |
| 302 | 5:07 | 352 | 5:58 | 402 | 6:49 | 452 | 7:40 | 502 | 8:30 | 552 | 9:21 |
| 303 | 5:08 | 353 | 5:59 | 403 | 6:50 | 453 | 7:41 | 503 | 8:31 | 553 | 9:22 |
| 304 | 5:09 | 354 | 5:60 | 404 | 6:51 | 454 | 7:42 | 504 | 8:32 | 554 | 9:23 |
| 305 | 5:10 | 355 | 6:01 | 405 | 6:52 | 455 | 7:43 | 505 | 8:33 | 555 | 9:24 |
| 306 | 5:11 | 356 | 6:02 | 406 | 6:53 | 456 | 7:44 | 506 | 8:34 | 556 | 9:25 |
| 307 | 5:12 | 357 | 6:03 | 407 | 6:54 | 457 | 7:45 | 507 | 8:35 | 557 | 9:26 |
| 308 | 5:13 | 358 | 6:04 | 408 | 6:55 | 458 | 7:46 | 508 | 8:36 | 558 | 9:27 |
| 309 | 5:14 | 359 | 6:05 | 409 | 6:56 | 459 | 7:47 | 509 | 8:37 | 559 | 9:28 |
| 310 | 5:15 | 360 | 6:06 | 410 | 6:57 | 460 | 7:48 | 510 | 8:39 | 560 | 9:29 |
| 311 | 5:16 | 361 | 6:07 | 411 | 6:58 | 461 | 7:49 | 511 | 8:40 | 561 | 9:30 |
| 312 | 5:17 | 362 | 6:08 | 412 | 6:59 | 462 | 7:50 | 512 | 8:41 | 562 | 9:31 |
| 313 | 5:18 | 363 | 6:09 | 413 | 6:60 | 463 | 7:51 | 513 | 8:42 | 563 | 9:32 |
| 314 | 5:19 | 364 | 6:10 | 414 | 7:01 | 464 | 7:52 | 514 | 8:43 | 564 | 9:33 |
| 315 | 5:20 | 365 | 6:11 | 415 | 7:02 | 465 | 7:53 | 515 | 8:44 | 565 | 9:34 |
| 316 | 5:21 | 366 | 6:12 | 416 | 7:03 | 466 | 7:54 | 516 | 8:45 | 566 | 9:35 |
| 317 | 5:22 | 367 | 6:13 | 417 | 7:04 | 467 | 7:55 | 517 | 8:46 | 567 | 9:36 |
| 318 | 5:23 | 368 | 6:14 | 418 | 7:05 | 468 | 7:56 | 518 | 8:47 | 568 | 9:37 |
| 319 | 5:24 | 369 | 6:15 | 419 | 7:06 | 469 | 7:57 | 519 | 8:48 | 569 | 9:38 |
| 320 | 5:25 | 370 | 6:16 | 420 | 7:07 | 470 | 7:58 | 520 | 8:49 | 570 | 9:40 |
| 321 | 5:26 | 371 | 6:17 | 421 | 7:08 | 471 | 7:59 | 521 | 8:50 | 571 | 9:41 |
| 322 | 5:27 | 372 | 6:18 | 422 | 7:09 | 472 | 7:60 | 522 | 8:51 | 572 | 9:42 |
| 323 | 5:28 | 373 | 6:19 | 423 | 7:10 | 473 | 8:01 | 523 | 8:52 | 573 | 9:43 |
| 324 | 5:29 | 374 | 6:20 | 424 | 7:11 | 474 | 8:02 | 524 | 8:53 | 574 | 9:44 |
| 325 | 5:30 | 375 | 6:21 | 425 | 7:12 | 475 | 8:03 | 525 | 8:54 | 575 | 9:45 |
| 326 | 5:31 | 376 | 6:22 | 426 | 7:13 | 476 | 8:04 | 526 | 8:55 | 576 | 9:46 |
| 327 | 5:32 | 377 | 6:23 | 427 | 7:14 | 477 | 8:05 | 527 | 8:56 | 577 | 9:47 |
| 328 | 5:33 | 378 | 6:24 | 428 | 7:15 | 478 | 8:06 | 528 | 8:57 | 578 | 9:48 |
| 329 | 5:34 | 379 | 6:25 | 429 | 7:16 | 479 | 8:07 | 529 | 8:58 | 579 | 9:49 |
| 330 | 5:36 | 380 | 6:26 | 430 | 7:17 | 480 | 8:08 | 530 | 8:59 | 580 | 9:50 |
| 331 | 5:37 | 381 | 6:27 | 431 | 7:18 | 481 | 8:09 | 531 | 8:60 | 581 | 9:51 |
| 332 | 5:38 | 382 | 6:28 | 432 | 7:19 | 482 | 8:10 | 532 | 9:01 | 582 | 9:52 |
| 333 | 5:39 | 383 | 6:29 | 433 | 7:20 | 483 | 8:11 | 533 | 9:02 | 583 | 9:53 |
| 334 | 5:40 | 384 | 6:30 | 434 | 7:21 | 484 | 8:12 | 534 | 9:03 | 584 | 9:54 |
| 335 | 5:41 | 385 | 6:31 | 435 | 7:22 | 485 | 8:13 | 535 | 9:04 | 585 | 9:55 |
| 336 | 5:42 | 386 | 6:32 | 436 | 7:23 | 486 | 8:14 | 536 | 9:05 | 586 | 9:56 |
| 337 | 5:43 | 387 | 6:33 | 437 | 7:24 | 487 | 8:15 | 537 | 9:06 | 587 | 9:57 |
| 338 | 5:44 | 388 | 6:34 | 438 | 7:25 | 488 | 8:16 | 538 | 9:07 | 588 | 9:58 |
| 339 | 5:45 | 389 | 6:35 | 439 | 7:26 | 489 | 8:17 | 539 | 9:08 | 589 | 9:59 |
| 340 | 5:46 | 390 | 6:37 | 440 | 7:27 | 490 | 8:18 | 540 | 9:09 | 590 | 9:60 |
| 341 | 5:47 | 391 | 6:38 | 441 | 7:28 | 491 | 8:19 | 541 | 9:10 | 591 | 10:01 |
| 342 | 5:48 | 392 | 6:39 | 442 | 7:29 | 492 | 8:20 | 542 | 9:11 | 592 | 10:02 |
| 343 | 5:49 | 393 | 6:40 | 443 | 7:30 | 493 | 8:21 | 543 | 9:12 | 593 | 10:03 |
| 344 | 5:50 | 394 | 6:41 | 444 | 7:31 | 494 | 8:22 | 544 | 9:13 | 594 | 10:04 |
| 345 | 5:51 | 395 | 6:42 | 445 | 7:32 | 495 | 8:23 | 545 | 9:14 | 595 | 10:05 |
| 346 | 5:52 | 396 | 6:43 | 446 | 7:33 | 496 | 8:24 | 546 | 9:15 | 596 | 10:06 |
| 347 | 5:53 | 397 | 6:44 | 447 | 7:34 | 497 | 8:25 | 547 | 9:16 | 597 | 10:07 |
| 348 | 5:54 | 398 | 6:45 | 448 | 7:35 | 498 | 8:26 | 548 | 9:17 | 598 | 10:08 |
| 349 | 5:55 | 399 | 6:46 | 449 | 7:36 | 499 | 8:27 | 549 | 9:18 | 599 | 10:09 |
| 350 | 5:56 | 400 | 6:47 | 450 | 7:38 | 500 | 8:28 | 550 | 9:19 | 600 | 10:10 |

Tabelul 4.3-2-[59]

4.8 Aspecte specifice fiabilității cablurilor din oțel

Metoda de calcul de prognostizare a fiabilității elaborat de Prof. Feyrer pentru cablurile din oțel, ia în considerare următorii parametri de construcție și de funcționare :

Construcția cablului, diametrul nominal, diametrul rolei pe care rulează cablul, forța de tracțiune, Rezistența nominală ale sârmelor, și lungimea cablului în zona cel mai mult solicitată pentru calculul numărului N de îndoiri admisibile și până la ruperea cu probabilitate de 95 % din 90 % a tuturor cablurilor, numărul de îndoiri de N10.

Astfel rezultă pentru o structură cu cabluri, diametrul cablului de 30 mm, cu diametrul rolei de 600 mm, o forță de tracțiune de 40.000 N, cu rezistență nominală de 1770 N/mm² și o lungime de cablu cel mai solicitat de 20.000 mm următoarele :

400.000 îndoiri până la valori admisibile

900.000 îndoiri până la rupere.

Programul permite o reprezentare a rezultatelor în funcție de acești factori de influență. În diagrama următoare este reprezentată variația valorii medii al numărului N admisibil (curba inferioară), și numărul maxim de îndoiri până la rupere (curba superioară) în funcție de diametrul cablului.

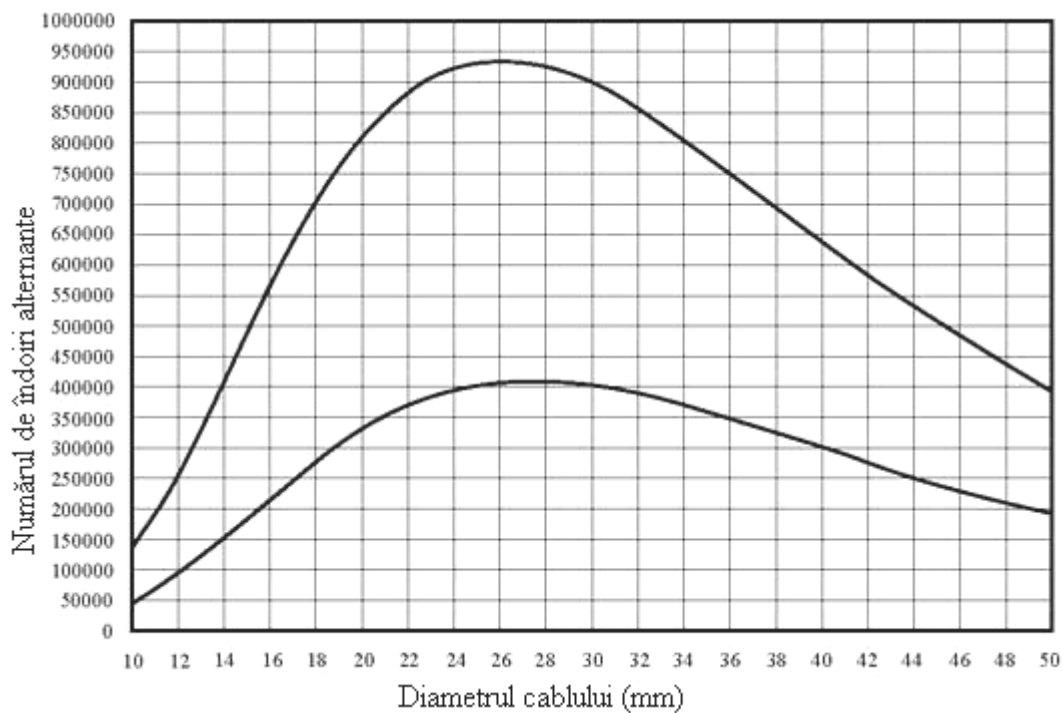


Fig. 4.62-[178]

În diagrama din Figura 4.63 se arată numărul de îndoiri admisibile (curba inferioară), și până la rupere (curba superioară) în funcție de diametrul rolei. Cu creșterea diametrului rolei crește numărul de îndoiri admisibile.

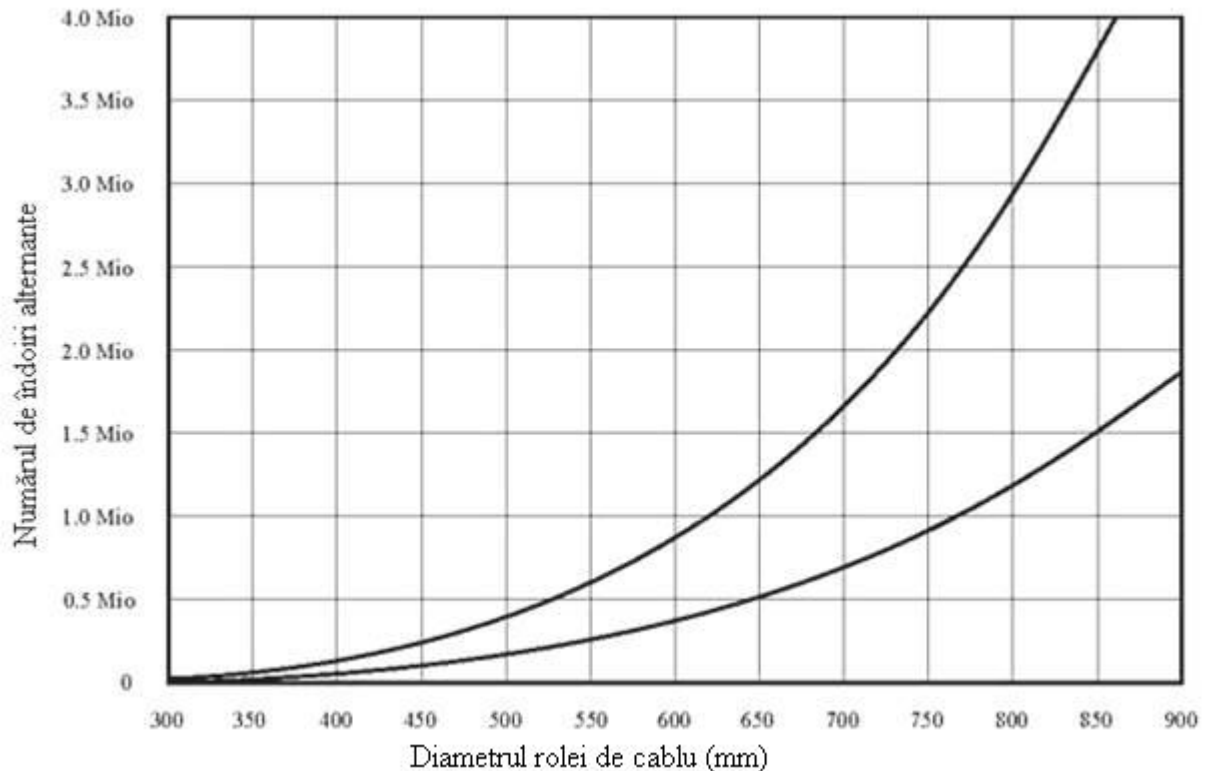


Fig. 4.63-[178]

Astfel în acest caz cablul cu un diametru de rolă de 600 mm ajunge la un număr admisibil de îndoiri alternante de 400.000. Cu o mărire al diametrului rolei cu 25 % , la 750 mm numărul admisibil se dublează.

În diagrama din Figura 4.64 se reprezintă variația numărului admisibil de îndoiri alternante (curba inferioară) și până la rupere (curba superioară) în funcție de forța de tracțiune. Din curba rezultă că odată cu creșterea încărcării scade vertiginos numărul admis de îndoiri alternante.

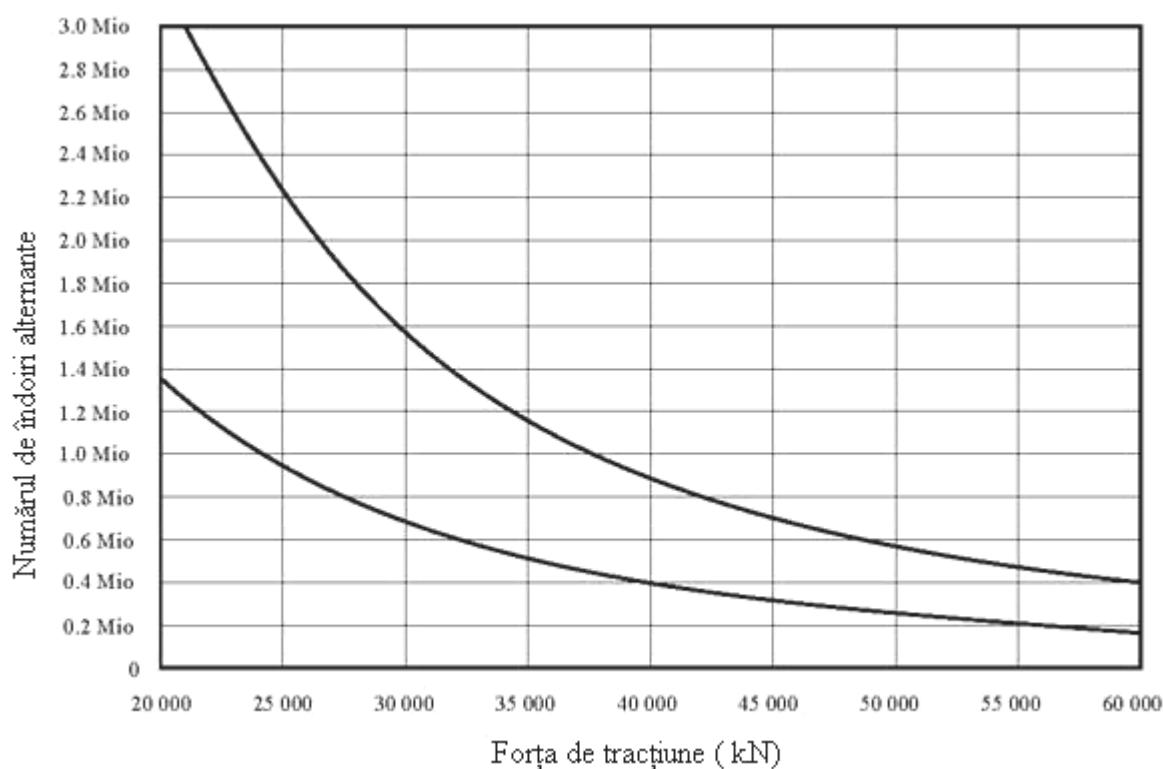


Fig. 4.64-[178]

Diametrul optimal pentru un cablu de oțel.

Din analiza factorilor mai sus arătați, rezulă că odată cu creșterea diametrului rolei crește fiabilitatea, iar cu creșterea forței scade vertiginos. Dacă se alege un diametru al cablului superior, acesta dispune de o fiabilitate mai ridicată, dar din punct de vedere economic nu este corect. Diametrul cablului cu care se ajunge la un număr maxim de îndoiri alternante este diametrul optimal.

Diametrul economic pentru un cablu de oțel.

Un constructor nu trebuie să aleagă un diametru al cablului superior optimal, pentru că în acest caz costul instalației este mai ridicat. Este de recomandat să fie ales un diametru imediat sub cel optimal necesar din punct de vedere al fiabilității. Din Figura 4.62 rezultă că cu un cablu de diametru 24 mm aproape se ajunge la o fiabilitate ca și cu un cablu de 27 mm diametru. Rezultă o economie de cca 10 %, la fel și a celorlalte elemente care urmează să fie construite pentru instalația. Rezultă că diametrul economic al cablului este de exemplu cca. 90% din diametrul optimal al cablului ales, din punct de vedere al fiabilității.

Capitolul 5

Contribuții la cercetări experimentale în laborator

În vederea îmbunătățirii metodelor de calcul și în special al prognostizării durabilității și fiabilității cablurilor se întreprinde analiza următoarelor influențe.

Parametri urmăriți în experimente

Pe lângă cercetarea comportării cablurilor supuse la solicitări de tracțiune s-au urmărit pentru caracterizarea cablurilor următoarele aspecte :

- Încercarea la rupere a cablurilor pentru punerea în evidență a forței de rupere efective și urmărirea procesului de rupere a sârmelor.
- Măsurarea modulului de elasticitate pentru punerea în evidență a deformabilității a sârmelor.
- Încercarea pachetelor de sârme drepte, necablate, de număr și diametru și de aceeași calitate ca și ale cablului, pentru a studia și a pune în evidență forțele secundare ce apar în timpul solicitării cablurilor, datorită toronării sârmelor și cablării toroanelor.
- Pentru o mai bună punere în evidență a forțelor secundare mai sus menționate am procedat și la încercarea tuturor sârmelor fir cu fir.
- Cercetarea și punerea în evidență a influenței elementelor de legătură, a capetelor de prindere realizate în varianta turnată la cald cu aliaj metalic și în variantă nouă, modernă cu composit Wirelock turnate la rece.

Aceste cercetări multilaterale contribuie la determinare comportării cablurilor la solicitări de tracțiune în condiții de laborator și în exploatare.

În acest capitol se prezintă instalația de încercare, cablurile încercate, parametri de încercare urmăriți, la fel și realizarea încercărilor și evaluarea rezultatelor, urmărind în special punerea în evidență a solicitărilor secundare cauzate de deformarea sârmelor și a toroanelor la cablare și influența termică negativă a sârmelor prin metoda de fixare a capetelor cablurilor în bușele de fixare cu compoziție metalică la cald, față de metoda nouă cu composit Wirelock turnat și fixat la rece.

Datele tehnice ale cablurilor analizate

| I Cablu I | Notația I | Clasa de I | Diam.(mm) I | Dir. de I | Rezistența I | Secțiunea I | Forța de rupere (KN) I | Starea I | | | |
|-----------|-------------|------------|----------------|-----------|---------------|-------------|------------------------|-----------|-----------|--------------|----------------|
| I Nr. I | Firma I | calitate I | Inom. efect. I | cabl. I | IRo I | IRm I | IA(mm ²) I | Fr I | Fmin I | suprafeței I | |
| I C1 I | I D915CZ I | I 1770 I | I 10 I | 10,1 I | I dreapta I | I 1770 I | I 1879 I | I 50,56 I | I 89,5 I | I 72,3 I | I Inezincată I |
| I C2 I | I D915CZ I | I 1960 I | I 10 I | 10,1 I | I stânga I | I 1960 I | I 1981 I | I 50,56 I | I 99,2 I | I 82,3 I | I zincată I |
| I C3 I | I P502 I | I 2160 I | I 10 I | 10,1 I | I dreaptaXI I | I 2160 I | I 2185 I | I 43,36 I | I 101,9 I | I 83,0 I | I zincată I |
| I C4 I | I PAWO819WI | I 1770 I | I 10 I | 10,1 I | I sZ spa I | I 1770 I | I 1876 I | I 42,08 I | I 82,7 I | I 67,3 I | I unsă I |
| I C5 I | I 9S19 N I | I 1960 I | I 10 I | 10,1 I | I sZ I | I 1960 I | I 1981 I | I 47,18 I | I 89,0 I | I 71,0 I | I zincată I |
| I C6 I | I 9S19 N I | I 2160 I | I 10 I | 10,1 I | I sZ I | I 2160 I | I 2185 I | I 53,20 I | I 98,0 I | I 81,2 I | I zincată I |
| I C7 I | I 14SRS I | I 1960 I | I 10 I | 10,1 I | I sZ I | I 1960 I | I 1981 I | I 52,67 I | I 68,7 I | I 57,0 I | I zincată I |

Tabelul 5.1

Caracteristicile sârmelor componente ale cablului P502, Clasa de rezistență 2160 N/ mm²
 Sârma Nr. 1 central, diam. d = 0,90 mm buc.1 în cablu, în toronul central: S1 = 0,636 mm²
 Sârma Nr. 2 central în toroanele int. și ext. în toronul central, diam. d = 0,80 mm, buc.1 în toroanele interioare și buc. 6 în toronul central, total buc 12 în cablu: S2 = 6,0288 mm²
 Sârma Nr. 3 central în toroanele ext. și ext. în toroanele inter., diam. d = 0,70 mm, buc.1 în toroanele exterioare și buc. 6 în toroanele interioare, total buc 47 în cablu: S3 = 18,078 mm²
 Sârma Nr. 4 exterior în toroanele exterioare, diam. d = 0,62 mm, buc.6 în toroanele exterioare, total buc 66 în cablu: S4 = 19,916 mm²
 Secțiunea totală metalică al cablului: At = S1+S2+S3+S4= 45,36 mm²

Instalații de încercare

La Universitatea Politehnică din Timișoara, Facultatea de Mecanică, Catedra de Rezistența Materialelor pe lângă instalațiile multiple și adecvate pentru încercarea cablurilor, există o tradiție bogată și personal tehnic cu multă experiență pentru realizarea epruvetelor de încercare. În special pentru realizarea capetelor de legătură prin turnare, ceea ce impune măsuri tehnice deosebit de pretențioase.

Întrucât la ora actuală locuiesc în Germania iar deplasarea și urmărirea cercetărilor la Timișoara necesită timp destul de îndelungat și cheltuieli destul de ridicate, am recurs la efectuarea cercetărilor în Germania și în Elveția la firme

specializate în construirea și cercetarea cablurilor de susținere și ancorare și a celor utilizate la ascensoare, fiind interesate pentru cercetările efectuate și pentru rezultatele obținute.

Pentru a efectua o investigație asupra materialului sârmelor componente ale cablurilor, s-au executat încercări de rupere fir cu fir pentru sortimentul de cablu C3 în clasa de rezistență 2160 N/mm².

Încercările de rupere fir cu fir

Încercările s-a executat conform STAS 2172 pe o mașină de 50 kN, cu acționare mecanică de la firma Brugg din Elveția



Fig. 5.1

Valorile medii ale datelor măsurate

| Parametri mecanici | Denumirea | Unitatea de măsură | A | B | C | D |
|-------------------------|----------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|
| Diametrul sârmei | d-nom. | [mm] | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,62 |
| | d-măsurat | [mm] | 0,91 | 0,80 | 0,70 | 0,62 |
| Aria Sârmei | Am | [mm ²] | 0,636 | 0,500 | 0,380 | 0,300 |
| Forța de rupere | F-nom. | [N] | 1374,13 | 1085,73 | 831,27 | 651,72 |
| | F-măsurat | [N] | 1535,51 | 1214,58 | 849,35 | 800,19 |
| Alungirea la rupere | ε[%] | [%] | 1,97 | 2,03 | 1,70 | 1,57 |
| Lungimea probei | L | [mm] | 500 | 500 | 500 | 500 |
| Lungimea de măsurare | L ₁ | [mm] | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Rezistența | R ₀ | [N/mm ²] | 2160 | 2160 | 2160 | 2161 |
| | R _m | [N/mm ²] | 2413,66 | 2416,33 | 2207 | 2653,33 |
| Modulul de elasticitate | E | [KN/mm ²] | 196,3 | 191,1 | 192,3 | 181,4 |
| Suprafața sârmei | | | Zincată | Zincată | Zincată | Zincată |

Tabelul.5.2

Rezultatele încercărilor tensiune-dilatate-rupere au fost înregistrate în computer și diagramele trasate cu aceste rezultate, pe aceeași diagramă cu deplasări horizontale separat pentru fiecare fir încercat ca în exemplul prezentat în Figura 5.2.

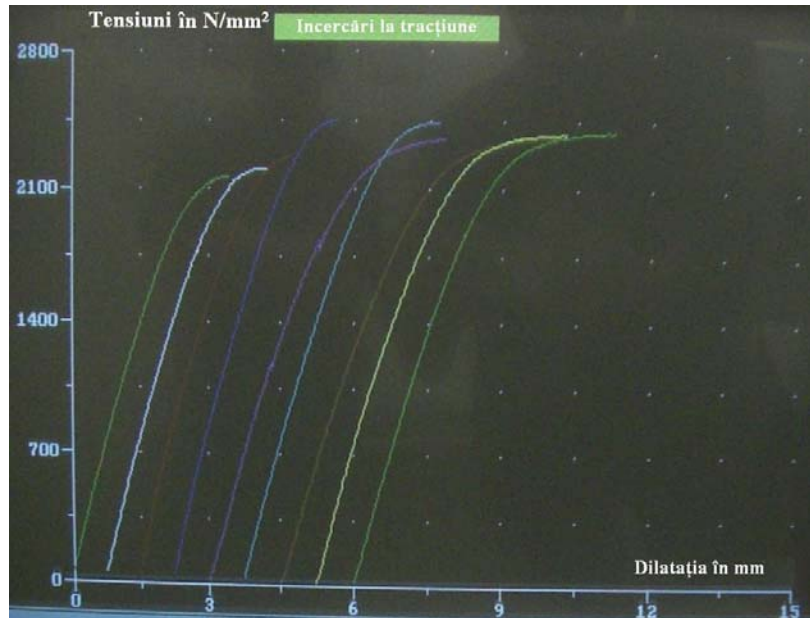


Fig. 5.2 Diagrama tensiuni – dilatație – rupere

Pentru încercarea cablurilor și a pachetelor de sârma s-a folosit mașina de încercat la tracțiune de tip hidraulic în posesia firmei Brugg din Elveția,



Fig. 5.3 Mașina de încercat la tracțiune

Capetele –elementele- de legătură a epruvetelor s-au realizat în două variante, una cea clasică turnare la cald cu material metalic și pentru a scoate în evidență desavantajele influențării termice a sârmelor și a caracteristicilor mecanice ale acestora în zonele de legături, am utilizat o variantă nouă, modernă cu compozit Wirelock de concepție din Anglia, fabricată în Belgia, de unde am achiziționat.

Realizarea capetelor de prindere al epruvetelor cablurilor

În mașina de încercat cabluri fixarea epruvetelor și încărcarea lor s-a efectuat pe partea frontală a bușelor de formă cilindrică realizate cu un locaș de formă conică pentru fixarea capetelor epruvetelor de cabluri și al pachetelor de sârme drepte pregătite în formă de mătură, toate firele din toroanele desfăcute și cu capetele sârmelor îndoite la 180° pentru a realiza o fixare sigură în aliajul metalic și în compozitul cu cuarț Wirelock.



Fig. 5.4



Fig. 5.5

CONCLUZII

La fixarea cablurilor cu compozit Wirelock, ruperea cablurilor s-a produs la partea liberă ale epruvetelor de cablu, ceea ce atestă că calitatea sârmelor nu a fost influențată. Pentru fiecare tip de cablu au fost realizate bușe de dimensiuni și forme corespunzătoare.

Capetele cablurilor numite măhuri au fost efectuate având în vedere că la baza acestora, legate cu manșete, sârmele să nu fie deteriorate, îndoite pentru a evita introducerea tensiunilor suplimentare care s-ar fi avut ca urmare apariția ruperi de sârme și de cabluri în această zonă.

Astfel pregătite epruvete, măhuri și bușe au fost curățate de grăsimi cu benzină și urmat de o curățire cu ultrasunete timp de 15 minute în fluid de curățire numit Scharrsol.

Epruvetele curățate au fost poziționate axial, cablul față de bucsă pentru a evita apariția tensiunilor suplimentare nedorite la încărcarea epruvetelor. Cele două componente ale materialului Wirelock, făina de quaț au fost amestecate cu lichidul întăritor și în timp de 10 minute turnate între sârmele măturilor și cu un vibrator a fost asigurată umplerea corectă și completă a golurilor dintre sârmele. După 24 de ore conurile turnate au fost complet solidificate.



Fig.5.6 Bucsă cu Wirelock



Fig. 5.7 Bucsă de legătură cu aliaj metalic

Epruvetele cablurilor au aut o lungime liberă între bucșele de 100 x diametrul cablului, adică 1000 mm. În standardele se recomandă lungimi de 40 x diametrul cablului, de 60 x d și mai lungi.

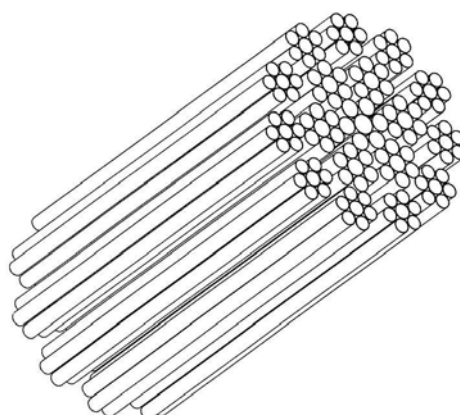


Fig 5.8

Epruvetele sârmelor componente ale cablurilor de exemplu „cablul P502” compuse din 4 tipuri de sârme de diametru 0,90mm, 0,80mm, 0,70 mm și 0,62 mm, comandate la firma Pfeifer, livrat cu Nr.524974 din 13.07.06, calitatea sârmelor clasa de rezistență 2160 N/mm², secțiune totală $A_t=45,36 \text{ mm}^2$. Figura 5.8.



Fig. 5.9 Epruveta înainte de rupere



Fig. 5.10 Epruveta după rupere

Rezultatele încercărilor de rupere a legăturilor de sârme P502, forță-dilatare

| Nr. probe | 1 | | 2 | | 3 | |
|-------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| Notăție Nr. | Forță(kN) | Dilat.(mm) | Forță(kN) | Dilat.(mm) | Forță(kN) | Dilat.(mm) |
| 1 | 10 | 5,0 | 10 | 5,1 | 10 | 5,0 |
| 2 | 20 | 5,5 | 20 | 5,6 | 20 | 5,6 |
| 3 | 30 | 6,0 | 30 | 6,1 | 30 | 6,2 |
| 4 | 40 | 6,8 | 40 | 6,9 | 40 | 6,8 |
| 5 | 50 | 7,8 | 50 | 7,9 | 50 | 7,8 |
| 6 | 60 | 9,2 | 60 | 9,2 | 60 | 9,2 |
| 7 | 70 | 11,0 | 70 | 11,1 | 70 | 11,0 |
| 8 | 80 | 14,0 | 80 | 14,1 | 80 | 14,0 |
| 9 | 90 | 19,0 | 90 | 19,2 | 90 | 19,2 |
| 10 rupere | 99 | 27,0 | 101 | 28,0 | 98 | 27,5 |

Tabelul 5.3

Rezultatele încercărilor de rupere al cablurilor P502, forță–dilatare

| Cablul P502 Nr. probe | 1 | | 2 | | 3 | |
|-----------------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| Notăție Nr. | Forță(kN) | Dilat.(mm) | Forță(kN) | Dilat.(mm) | Forță(kN) | Dilat.(mm) |
| 1 | 10 | 4,0 | 10 | 4,1 | 10 | 3,9 |
| 2 | 20 | 8,1 | 20 | 8,1 | 20 | 8,0 |
| 3 | 30 | 12,1 | 30 | 12,1 | 30 | 11,9 |
| 4 | 40 | 15,0 | 40 | 15,1 | 40 | 14,9 |
| 5 | 50 | 20,1 | 50 | 20,15 | 50 | 19,8 |
| 6 | 60 | 35,1 | 60 | 35,2 | 60 | 35,0 |
| 7 | 70 | 40,1 | 70 | 39,8 | 70 | 39,9 |
| 8 rupere | 80 | 53,0 | 78 | 52,0 | 82 | 53,0 |

Tabelul 5.4

Din datele măsurate, trecute în tabelele 5.3 și 5.4 rezultă valoarea globală a solicitărilor secundare, care se mai numeste în literatura de specialitate și „pierderi prin cablare”, care în cazul cablului P502 are valoarea de cca. 20 %.

Evaluarea rezultatelor încercărilor cablurilor și al legăturilor de sârme

CONCLUZII

Din analiza rezultatelor obținute se reține în mod univoc existența și valorile solicitărilor secundare care apar la solicitările cablurilor și care au fost puse în evidență prin încercările de laborator ale cablurilor cercetate, în special la cercetarea comparativă al cablului P502 – cu legături de sârme P502a – de același sârme drepte și de același număr. În tabelele 5.3 și 5.4, sunt prezentate valorile – Forță- Dilatare- obținute la probe solicitate până la rupere, iar în Fig.5-11 și Fig. 5-12 sunt prezentate valorile obținute, sub forma de diagramă.

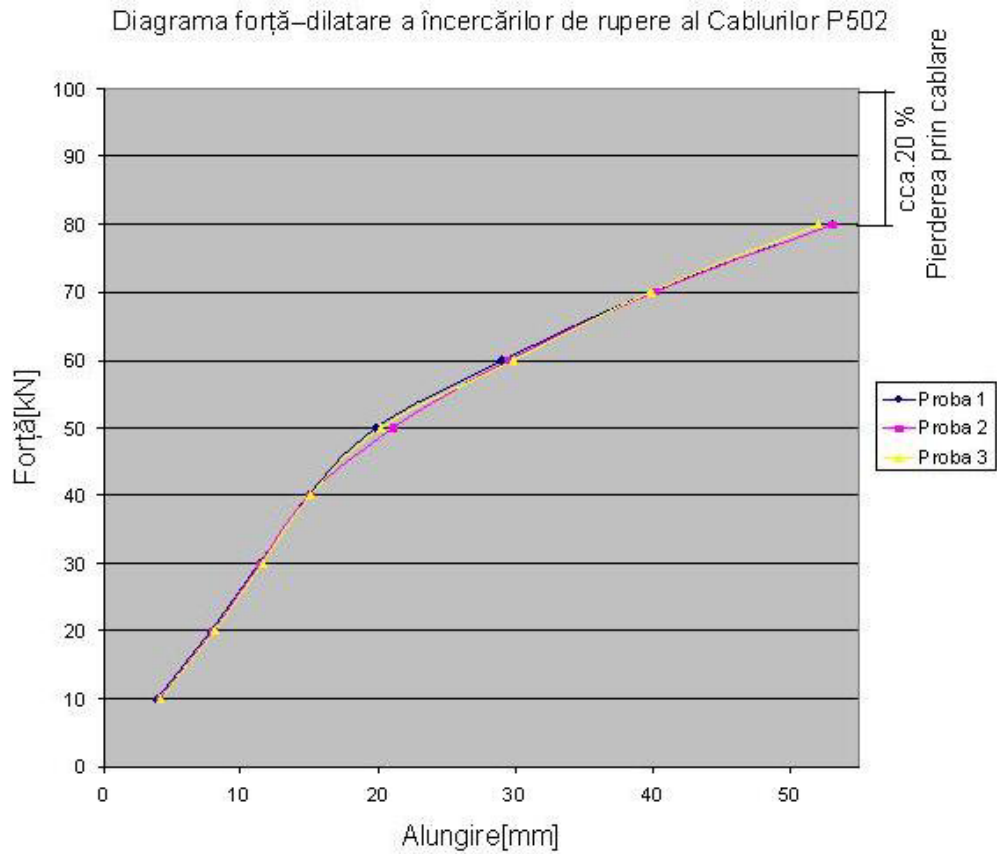


Diagrama Fig.5.11

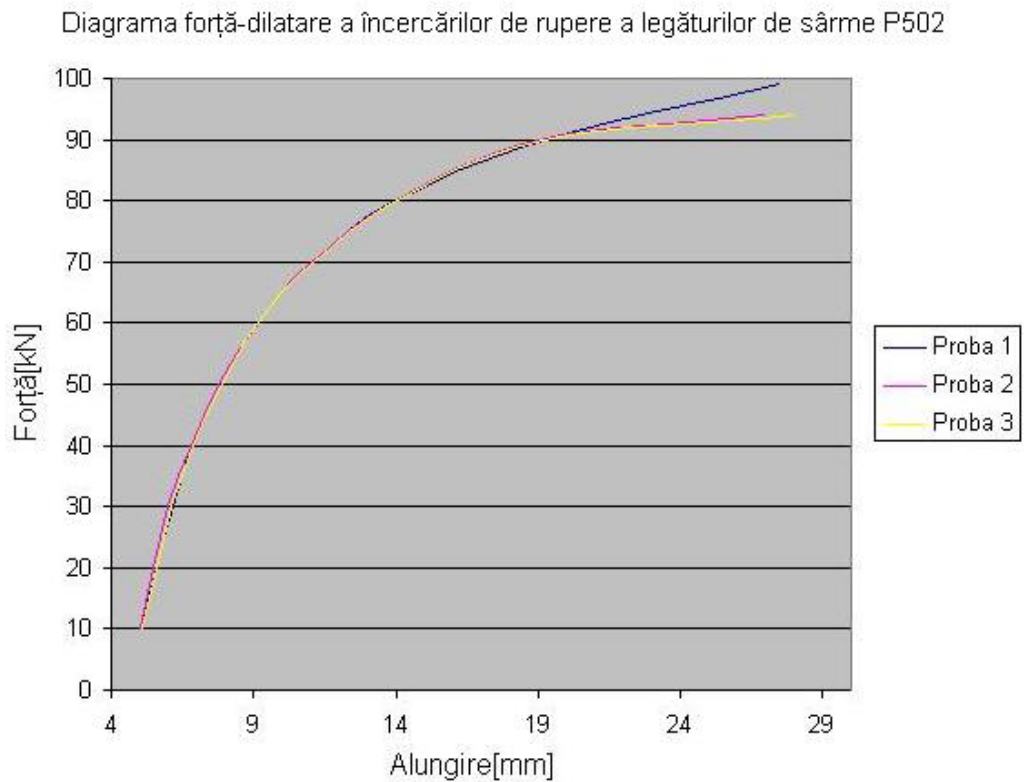


Diagrama Fig.5.12

Concluzii finale și contribuții proprii

În cadrul tezei:

- S-au realizat cercetări ample al stadiului actual în domeniul cablurilor din oțel,
- Se prezintă sistematizat influențele construcției principalelor tipuri constructive de cabluri mai uzuale de susținere și ancorare, caracteristicile sârmelor folosite la fabricarea cablurilor de tracțiune.
- La studiul și cercetare al parametrilor de fiabilitate au fost cuprinse influențele uzurii, a coroziunii și a ruperii sârmelor din aceste cauze din cablurile de susținere și ancorare, prezentând și aspecte specifice a fiabilității cablurilor din oțel.
- Punerea în evidență a tensiunilor secundare s-a realizat atât prin calcule cât și în cadrul cercetărilor experimentale în laborator. Pe lângă încercările cablurilor s-a efectuat încercarea comparativă a pachetelor de sârme de același număr și calitate, obținând astfel valoarea tensiunilor globale, numite și pierderi prin cablare.
- La cercetarea sârmelor cablurilor s-au realizat sisteme de fixare a epruvetelor, folosind compozit cuarț-poliamidă Wirelock, turnat la rece care nu influențează caracteristicile sârmelor, comparativ cu metoda fixării cu aliaj metalic la cald. La cablurile fixate cu Wirelock ruperea s-a produs pe porțiunea liberă al cablurilor, iar la epruvetele fixate cu aliaj metalic ruperile au apărut la rădăcina sistemelor de fixare și la valori ale forțelor de rupere scăzute.
- Din experiența obținută se desprind avantajele folosirii cablurilor cu înpletire paralelă sau al pachetelor de sârme necablate, la structurile cu cabluri de susținere și ancorare, obținând reducerea sau eliminarea tensiunilor secundare.
- La fel se impune realizarea fixării cablurilor în piesele de legătură cu materiale compozit turnate la rece, având în vedere avantajele acestora.

B I B L I O G R A F I E

1. Feyrer, K.: Statistische Auswertung der Ergebnisse von Drahtseil-Biegeversuchen, DRAHT 31 (1980) 6, 8. 404-407 und 7. S. 489-493.
Feyrer, K.: Seil-Lebensdauer unter Zugschwellbeanspruchung, Draht 47 (1996) S.230-233
Feyrer, K.: Drahtseile-Bemessung, Betrieb, Sicherheit Berlin: SpringerVerlag 1994
Feyrer, K.: Drahtseile-Bemessung, Betrieb, Sicherheit Berlin: SpringerVerlag 2000,
Feyrer, K., Equivalent formulator wire ropes under fluct. tension, OIPEEC Bull.70.
Feyrer, K., Wire ropes under fluct. tension and bending., Bull. OIPEEC 63 (1992)
Feyrer, K., The application of a new meth. of wire rope calculation, Bull. OIPEEC 55
Feyrer, K., Endurance calculat. of wire rope ruining over sheaves, OIPEEC (1993)
Feyrer, K., Analytical interpretation of fatigue bending tests, Bull. OIPEEC 49 (1985)
Feyrer, K., The number of bending cycles of parallel ropes, OIPEEC-Glasgow (1983),
2. Chaplin und Plotts 1991 Chaplin, C.R., Potts, A.E.: Wire rope offshore—a critical review of wire rope endurance research affecting offshore applications. OTH 91341. HMSO
3. Andorfer, K.: Die Zugkraftverteilung in schwingend beanspruchten geraden Drahtseilen. Dissertation T.U. Graz 1983.
4. Andreas Klöpfer: Untersuchung zur Lebensdauer von zugschwellbeanspruchten Drahtseilen, Teza de doctorat 2002, Universität Stuttgart.
5. Woernle, R.: Zur Beurteilung der Drahtseilschwebbahnen für Personenbeförderung, Habilitationsschrift T.H. Karlsruhe 1913.
6. Müller, H.: Fragen der Seilauswahl und Seilbemessung an Turmdrehkränen. Technische Überwachung 4 (1963) 2, S. 62-66.
7. Wolf, E.: Seilbedingte Einflüsse auf die Lebensdauer laufender Seile: Dissertation Universität Stuttgart. Kurzfassung: Draht 39 (1988) 11, S. 1088-1093.
8. Jemlich, G.: Über den Einfluss von Smierung, Korrosionsschutz, Seilkonstruktion und Dauerhaltigkeit von Schachtförderseilen. Draht 18 (1967) 3, S. 138-142
Jemlich, G., Endurance and damage behaviour of wire ropes in onestep and olystep tests under the effect of diftsent influencing factors as a basis for deriving criteria of reliability in service and dimensioning principls' Krakow (1981)
9. Ernst, H.: Beitrag zur Beurteilung der behördlichen Vorschriften für die Seile von Personenschwebbahnen, Dissertation T.H. Danzig 1933

10. Isachsen, J.: Die Beanspruchungen von Drahtseilen. In: Zeitschrift VDI 51 (1907)
11. Reuleaux, F.: Neue Betrachtungen, Versuche über Zapfenreibung. VDI 35 (1891)
Reuleaux, F.: Der Konstrukteur 1. Auflage, Braunschweig, Vieweg 1861
12. Schmidt, K.: Die sekundäre Zugbeanspruchung der Drahtseile bei Biegung.
Universität Karlsruhe: Dissertation 1965
13. Schiffner, G.: Spannungen in laufenden Drahtseilen. Uni. Stuttgart, Dissert. 1987
14. Benndorf, H.: Beitrag zur Theorie der Drahtseile, Zeitschrift der österreichischen
Ing. und Architekten-Vereins 56 (1904) 30 S 433-437, 31 S. 449-453
15. Wiek, L.: Strain gauge measurements at multistrand non spinning ropes, OIPEEC-
Bulletin Nr. 37, S. 30-53 Turin 1980
16. Berg, F.: Der Spannungszustand einfach geschlungener Drahtseile, Diss. T.H 1907
17. Heinrich, G.: Zur Statik des Drahtseiles, Wasserwirt. u. Technik (1937) 30, S. 267-271
18. Andorfer, K.: Die Zugkraftverteilung in schwingend beanspruchten geraden
Seilen, Dissertation T.U. Graz 1983
19. Jenner, T.: Ein Beitrag zur Geometrie der Drahtseile, Dissert. Uni. Stuttgart 1992
20. Jahne, K.: Zuverlässigkeit des Ablegekriteriums Drahtbruchzahl bei laufenden
Seilen, Dissertation Uni. Stuttgart 1992
Jahne, K.: Reliability of the number of wire breaks as discarding criterion for steel
wire ropes running over sheaves, Bull. OIPEEC 66 (1993), 13-24
21. BOLEANTU, L., Letter in response to enquiry on a standard machine Working
group 1: wire rope, Bull. OIPEEC 16 (1970), 35-36
22. BOLEANTU, L. & BABEU, T., Sur l'interprétation des résultats aux essais de
durabilité des câbles, (On the interpretation of the results of tests on the
endurance of wire ropes), Bull. OIPEEC 30 (1977) 32-37
23. BOLEANTU, L. & BABEU, T., Des considérations sur les résultats de l'
interpolation isoprobable des courbes pour les câbles OIPEEC
RTC-Milan (1973), 201-207
24. BOLEANTU, L., Des considérations sur les résultats de l'interpolation
isoprobable des courbes de l'endurance pour les câbles, OIPEEC RTC-Milan
(1973), p. 201/207
25. BOLEANTU L. & BABEU T., Au sujet de la nouvelle méthode d'interprétation
des résultats des essais de fatigue (On the subject of the new method to
interpret the results of fatigue tests on ropes), Bull. OIPEEC 26 (1978), 13-15

26. BABEU, T.: Considerations about wire rope fatigue testing, OIPEEC, RIG-Delft (1993),
27. BABEU, T.: Considerations concerning the service life of wire rop, OIPEEC, Bul.71
28. BABEU, T.: BABEU, S.D., Diagrame ale ciclurilor limită și simularea în laborator a durabilității cablurilor, in „Analele Univ. «Eftimie Murgu»“, Resita, 1996
29. BABEU, T., BABEU, S.D., Consideratii privind rezistența în exploatare a cablurilor de la utilajele miniere, Seminar științific „Metode pentru determinarea rezervei de viață“ Academia Română, Filiala Timișoara, Subcom. St. mat. „Politehnica“ Timisoara, 1996
30. BABEU, S.D., Comportarea mecanică a cablurilor în dimensiun. timp, Diss.2002
31. BABEU, S.D., Cumularea degradărilor pentru cablurile din oțel, Lucr. ses. de com. șt. ale Univ. „Aurel Vlaicu“ Arad, vol. XIII, „Rezistența materialelor“, 1997, p. 183/192
32. BABEU, S.D., Infliuenta suprasolicitărilor asupra durabilității cablurilor, Lucr. ses. De com. șt. ale Univ. „Aurel Vlaicu“ Arad, vol. XIII, „Rezist. Materiale“, 1997, p.179/182
33. BABEU, T., Considerations about wire rope fatigue testing, OIPEEC RTC-Delft, 13-19
34. DUMITRU, I., BABEU, T., MARSAVINA, L., BABEU, S.D., Effect of prestressing on durability at repeated impacts, Euromech Collogium 386-Dynamics of Wibro-Impact Systems, Longhborungh-U.K., 1998, p.1/8
35. OPLATKA, G ROTH, M., Endurance of wire rope under fluctuating tension and twist: influence of the rope lay‘ OIPEEC, Bull. No.71 (1996), p.13 / 22
36. OPLATKA, G., WOODTIL, J., Fatigue behaviour of a wire rope under simultaneous fluctuating tensile and bending stress, OIPEEC Bull., No 64 (1992), p. 29/47.
37. OPLATKA, G., ROTH, M, Fatigue tests with repeated bending on Seale ropes OIPEEC RTC-Luxemburg 1977, 1.6-1.7
38. OPLATKA, G., ROTH, M., Einfluss der Schlagart und der Seele auf die Lebensdauer von Seale-Seilen-Diskussion der Ergebnisse der Dauerbiegeversuche „Brugg“ der OIPEEC, Bull. No. 24(1975), 19-26

39. Toth, G.L.: Analiza factorilor care influențează fiabilitatea construcțiilor cu cabluri din oțel., A VI conferință multidisciplinară, Sebiș 2006-11-13 Pagina 123-125
40. Toth, G.L.: Influența solicitării de contact și de frecare asupra tensiunilor interne, a rigidității de încovoiere și a durabilității cablurilor din oțel, Sebiș 2006
41. Toth, G.L.: Verificarea cablurilor din oțel prin metoda vizuală și magnetoinductivă cu camere video, Petroșani 2006 Pagina 126-127
42. Toth, G.L.: Studiul fiabilității structurilor cu cabluri din oțel, Petroșani 2006
43. Toth, G.L.: Studiul stabilirii influenței înfășurării cablului pe mai multe straturi, pe tobe de macarale, Petroșani 2006
44. DIN 15020 Grundsätze für Seiltrieben, Blatt 1: Berechnung und Ausführung, 1974-02 Blatt 2: Überwachung im Gebrauch, 1974-04
45. DIN 50320 Verschleiß, Begriffe, Systemanalyse von Verschleißvorgängen, Gliederung des Verschleißgebietes, 1979-12 (1977-11 zurückgezogen).
46. DIN 15018 1984, Krane Grundsätze für Stahltragwerke Nov. 1984 Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien und Zürich
47. DIN 18800 1990, Stahlbauten Bemessung und Konstruktion Nov. 1990, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien und Zürich
48. EN12385-1 Drahtseile aus Stahldraht–Sicherheit– Teil1, Allgem. Anford.:2002
49. EN12385-2 Drahtseile aus Stahldraht–Sicherheit–Teil2, Begriffe, Bezeich. 2002
50. EN12385-3 Drahtseile aus Stahldraht–Sicherheit–Teil3, Gebr.u. Instand.2004
51. EN12385-4 Drahtseile aus Stahldraht–Sicherheit–Teil 4, Liezens f. Hebez. 2002
52. ISO12076Drahtseile-Stahldraht–Ermittlung des scheinb. Elastizitätsmod. 2002
53. ISO 4309 Wire ropes – Care, maintenanse, instalation, examination and discard, 2004-08
54. OIPEEC recomandation 1-6, OIPEEC Buletin 56, Torino Nov. 1988.
55. VDI2358 Richtlinie, Drahtseile für Fördermittel, Okt.1984, Beuth Verlag 1984-10
56. Czitary, E.: Seilschwebbahnen. Wien, Springer 1952
57. Costello, G. A. and Sinha, 5. K.:Torsional stiffness of twisted wire cables. Journal of the Eng. Mechanics Division. ASCE, Vol. 103 (1977) No EM4, pp. 766-770
58. Dreher, F.: Ein Beitrag zur Theorie der Drehung und Spannungsverteilung bei zugbelasteten Litzen und Seilen. Dias. TH Karlsruhe 1933
59. Eilers M., A.H. Halswick Seilverfüllmittel- Mechanische Randbedingungen für Brückenseile Berichte der BAST Heft B 16.

60. Heinrich, O.: Ober die Verdrehung der zugbelasteten Litzen. Der Stahlbau (Beilage zur Zeitschrift Die Bautechnik“). Berlin 15 (1942) 12/13, S.41—45
61. Wiek, L.: Strain gauge measurements at multi-strand non spinning ropes. OIPEEC Bul. Nr. 37, 5. 30—53, Turin 1980
62. Bock, E.: Die Bruchgefahr der Drahtseile. Diss. Hannover 1909
63. Leider, M.G: Krümmung und Biegespannungen von Drähten in gebogenen Drahtseilen DRAHT 28 (1977) 1, 5. 1—8
64. Wolf, R.: Zur Beschreibung der vollständigen Seilkinetik. For. IngWes. 50(1984)
65. Schmidt, K.: Die sekundäre Zugbeanspruchung der Drahtseile aus der Biegung. Diss. TH Karlsruhe 1965
66. Wang, Ning: Spannungen in einem geraden Rundlitzenseil. Studienarbeit am Institut für Fördertechnik der Universität Stuttgart 1989
67. Feyrer, K. und Jahne, K.: Seilelastizitätsmodul von Rundlitzenseilen. DRAHT 41 (1990) 4, S.498—504
68. Nussbaum, J.M. Zur Erkennbarkeit von Drahtbrücken, Dissertation, Uni Stuttgart 1999
69. Wyss, Th.: Stahldrahtseile der Transport- und Förderanlagen. Schweizer Druck- und Verlagshaus AG Zürich. 1957
70. Jehmlich, O.: Anwendung und Überwachung von Drahtseilen. VEB Verlag. Berlin 1985
71. Hankus, J.: Längsverformungen von Förderseilen. Glückauf – Forschungshefte 37 (1976)
72. Hankus, J.: Regressionsmodelle der Längsverformungen und des Elastizitätsmoduls von Förderseilen. Glückauf-Forschungshefte 39(1978)6, S.252—256
73. Hankus, J.: Mechanische Eigenschaften von Draht. Drahtwelt 75(1989)4, S.9-17
74. Woernle, R.: Ein Beitrag zur Klärung der Drahtseilfrage VDI 72(1929)13, 5.417426
75. Stange, K.: Angewandte Statistik. Zweiter Teil, Mehrdimensionale Probleme Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 1971
76. Costello, G. A. and Sinha, S. K.: Static Behavior of Wire Rope. Journal of the Engineering Mechanics. ASCE, Vol. 103 (1977) No EM6, pp. 1011—1022
77. Costello, G. A. and Miller R. E.: Lay Effect of Wire Rope. Journal of the Engineering Mechanics. ASCE, Vol. 105 (1979) No EM4, pp. 597—608

78. Engel, E.: Das Drehbestreben der Seile und ihre Drehsteifigkeit.
österreichische Ingenieur-Zeitschrift 1 (1958) 1, S.33-39
79. Kollros, W.: Der Zusammenhang zwischen Torsionsmoment, Zugkraft und
Verdrillung in Seilen. Internationale Berg- und Seilbahn-Rundschau 18.
(1974)2, 5.49-58 und DRAHT 26 (1975) 10, S.475—480
80. Hruska, F. H.: Tangential Forces in Wire Ropes. Wire and Wire Products.
Vol. 28 (1953) 5, pp. 455—460
81. Haid, K-D: Zur Bestimmung der Kräfte in Litzendräht. DRAHT 33 (1982) 6 S.398-401
82. Gräbner, P. und Thomasch, A.: Zur Dimensionierung drehungsarmer Seile.
Hebezeuge und Fördermittel 23 (1983) 6, 5. 166—169
83. Feyrer, K. und Schiffner, G.: Drehmoment und Drehsteifigkeit von Drahtseilen.
DRAHT 37 (1986) 1, S. 20—22 und S. 2, S. 62—66
84. Unterberg, H.-W.: Das Verdrillen der Seilstränge bei Kranen mit großen
Hakenwegen. Fördern und Heben 29 (1972) 2, S.90—92
85. Engel, E.: Ein Beitrag zur Berechnung der Verdrehungen von Seilen und deren
Bedeutung bei Seilbahnen. Diss. TH Wien. 1957
86. Engel, E.: Der Selldrall. Internationale Berg- und Seilbahn-Runds. 9 (1966) 2 S.33-35
87. Feyrer, K.: Reference values for the evaluation of wire rope tests. OIPEEC
Bulletin No 63, pp. 74—78. Reading UK, May 1992, ISSN 1018—8819.
Nachdruck: Wire Industry 55 (1992) August, S. 593—594
88. Chaplin, C. R. and Potts, A. E.: Wire Rope Offshore — A Critical Review
of Wire Rope Endurance Research Affecting Offshore Applications.
HSE publication OTH. 91341, HMSO, London, June 1991
89. Tension-Tension Fatigue Test. OIPEEC Recommendation Nr.7.
OIPEEC Bulletin Nr. 61, p. 50. Torino, May 1991, ISSN 1018—8819
90. Yeung, Y. T. and Walton, J. M.: Accelerated Block Tension Fatigue Testing of
Wire Ropes for Offshore Use. 2.5.1—2.5.14 OIPEEC Round Table 1985,
East Kilbride Glasgow, Scotland
90. Matsukawa, A., Kamei, M., Fukui, Y. und Sasaki, Y.: Fatigue Resistance Analysis
of Parallel Wire Strand Gables Based on Statistical Theory of Extreme. Stahlbau 54
92. Steckroth, B.: Auswertung von Zugschwellversuchen an Drahtseilen und Deutung
der Ergebnisse. Diplomarbeit Universität Stuttgart, Inst. für Fördert. Mai 1992

93. Setzer, M.: Feststellung der an die Dauerfestigkeit von Drähten, Litzen und Seilen für Schachtfördereinrichtungen zu stellenden Anforderungen.
Forschungsbericht der Westfälischen Berggewerkschaftskasse Seliprüfstelle.
Bochum, November 1976
94. Becker, K.: On the fatigue strength of wire ropes. OIPEEC Round Table „New Ways for Ropes“.Luxembourg, 4.-6. Octobre 1977, Chapt. 1-3
for the UK Department of Energy. March 1984
95. Gabriel, K.:Anwendungen von statistischen Methoden und Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen auf das Verhalten von Bündeln und Seilen als Zugglieder aus vielen und langen Drähten. Vorbericht zum 2.
Internationalen Symposium des Sonderforschungsbereiches 64.Stuttgart1979
96. Castillo, E.: Fernández-Canteli, A., Ruiz-Tolosa und Sarabis, J. M.: Statistical Models for Analysis of Fatigue Life of Long Elements. Transactions of the ASCE J. of Eng. Mechanics 116 (1990) 5, pp. 1036—1049. Paper No. 24618
97. Castillo, E.: Fernández-Canteli A.: Statistieal Models for Fatigue Analysis of Long Elements. Introductory Leetures of the IABSE-Workshop,„Length Effeet on the Fatigue of Wires and Strands“. Madrid, September 1992
98. Feyrer, K.: Biegewechselzahl von Drahtseilen bei verschiedenen Biegelängen.
Drahtwelt 67 (1981) 4, 5.86—90
99. Gabriel, K. und Nürnberger, U.: Failure Mechanisms in Fatigue. Introductory Lecturca of the IABSE-Workslsop „Length Efl‘ect on the Fatigue of Wires and Strands“. Madrid, September 1992
100. Pomp, A.: Stahldraht seine Herstellung und Eigenschaften. Düsseldorf:
Verlag Stahleisen m.b.H. 1952
101. Delille, J.: Flender, H.C. u. a.: Herstellung von Stahldraht, Teil 1 und 2,
Düsseldorf: Verlag Stahleisen mbH 1969
102. Unterberg, H.-W.: Die Dauerfestigkeit von Seildrähten bei Biegung und Zug.
Dissertation T.H. Karlsruhe 1967
103. Apel, O. u. Nünninghoff, R.: Einfluß der Werkstoffalterung auf die Eigenschaften hochfester dünner Stahldrähte. Stahl u. Eisen 103 (1983) 24, 5. 1275-1281
104. Schmidt, W. u. Dietrich, H.: Mechanische Eigenschaften kaltgezogener Drähte verschiedener rostfreier Stähle bei unterschiedlicher Beanspruchung.
DRAHT 33 (1982) 3, 8.111-115 und 4, 5. 166-169

105. Theis, K. u. Klemm M.: Herstellung von kontrolliert abgekühltem Walzdraht aus Knüppelstranggußmaterial. DRAHT 33 (1982) 5, S.225-2.30,
106. Cioclov, D.: Rezistența și fiabilitatea la solicitări variabile. Ed. Facla, Timi. 1975.
107. Marcol J. u. Mikulec, Z.: Problematik des Patentierens von Stahldraht.
DRAHT-WELT 72 (1986) 1/2, 8.3-7
108. Siebel, E.: Der derzeitige Stand der Erkenntnisse über die mechanischen Vorgänge beim Drahtziehen. Stahl und Eisen, Düsseldorf 66/67(1947)S.171-180
109. Funke, P.: Das Walzziehen im Vergleich zum Gleitziehen. DRAHT 33(1982)5, S.237-242 Gebhardt, J. u. Funke, P.: Ziehen von Drähten mit überlagerten Ultraschallschwingungen. DRAHT 34 (1983) 5, 5. 199-204 und 6, S.297-301
110. Blanpain, J.: Einfluß der Hartzinkschicht auf die mechanischen Eigenschaften feuerverzinkter Drähte. Stahl u. Eisen 84 (1964) 24, 5. 1576-1585
111. Apel, G. u. Nünninghoff, R.: Einflüsse des Zinkachichtaufbaus auf das Ziehergebnis beim Naßziehen feuerverzinkter dünner, hochfester Stahldrähte. Stahl u. Eisen 99 (1979) Nr. 25/26, S. 1482-1486
112. Jerzy. 5.: Brüchigwerden der Hartzinkschicht während des Ziehens verzinkter, hoch gekohlter Stahldrähte. DRAHT 37 (1986) 2, S.83-86
113. Nünninghoff, R. u. Fischer, H.: Korrosionsverhalten von Zink-Aluminium-Legierungen auf Stahldrähten. Stahl u. Eisen 105 (1985) 9, S.517-522
114. Nünninghoff, R. u. Sczepanski, K.: Galfan — ein neuartiger, verbesserter Korrosionsschutz für Stahldrähte. DRAHT38(1987)1,S.42-45und 2,S.125-129
115. Becker, K. u. Nöller, H.: Feindehnungsmessungen an Stahldrähten. Arch. Eisenhüttenwesen 46 (1975) 7, S. 441-445
116. Wyss, Th.: Die Stahldrahtseile. Zürich: Schweizer Druck- und Verlagshaus 1956
117. Shitkow, D. G. u. Pospechow, IT.: Drahtseile. Berlin: VEB Verlag Technik 1957
118. Wolf, E.: Seilbedingte Einflüsse auf die Lebensdauer laufender Seile: Dr.-Ing. Diss. Universität Stuttgart. Kurzfassung: DRAHT39(1988)11, 5.1088-1093
119. Pomp, A. u. Duckwitz, C.A.: Dauerprüfung unter wechselnden Zugbeanspruchungen an Stahldr. Mitteilung Kaiser-Wilh.-Inst.F. Eisenforschung, Düs. 1931
120. Pomp, A. u. Hempel, M.: Dauerprüfung von Stahldrähten unter wechselnder Zugbelastung. Mitt. Kaiser-Wilh.-Institut für Eisenforschung. (1938) Düsseldorf
121. Votta, FA.: New Wire Fatigue Testing Meth. The IRONAGE (1948) August, P78-81

122. Püster, H.R.: Dauerprüfung von Seildrähten. Diss. T.Hochschule Stuttgart 1964
123. Oplatka, G.: Dauerbiegefestigkeit von Drahtseilen, Bau einer Prüfanlage für kleine Ablenkwinkel. ETH Zürich, Mitt.Inst. für Mas.uTransportwesen Zürich: 1965
124. Lutz, D.: Entwicklung eines Dauerprüfverfahrens zur Ermittlung der Verwendbarkeit von Seildraht. Dissertation Techn. Hochschule Aachen 1972
125. Pantucek, P.: Pressung von Seildraht unter statischer und dynamischer Beanspruchung, Dissertation Universität Karlsruhe 1977
126. Haid, K.-D.: Einfluß der Pressung auf die Lebensdauer von Stahldrahtseilen. Dissertation Universität Karlsruhe 1984
127. Greis, P.: Untersuchung über die Lebensdauer von Drähten und Seilen für Krananlagen. Stahl und Eisen 99 (1979) 10, S.518-524
128. Hempel, M.: Untersuchungen über den Verlauf der Wöhler-Linien und der Schadenslinien von Stalsdrähten. Archiv für das Eisenhüttenwesen 31 (1960) 6, S. 373-383
129. Becker, K.: Zur Frage der Dauerfestigkeit v.Stahldr. Stahl u.Eisen 92 (1972) 18.
130. Bennit, O.: Die Drahtseilfrage. Karlsruhe: Verlag Friedrich Gutsch 1915
131. Matsukawa, A. u.a.: Fatigue Resistance Analysis of Parallel Wire Strand Cables (Part 2). Stahlbau 57 (1988) 7, S.205-210
132. Birkenmaier, M.: Fatigue Resistant Tendons for Cable-Stayed Constructions. IABSE-Periodics 2. 1980 P. 65-79. Hersg. ETH Zürich, IABSE
133. Dillmann, U. u. Gabriel, K.: Die Streuung von Werkstoffkennwerten - Hochfester Stahldraht. Arch. Eisenhüttenwesen 53(1982) 5, S. 181-188
134. Feyrer, K.: Biegewechselzahl von Drahtseilen bei verschiedenen Biegelängen. DRAHIWELT 67 (1981) 4, S.86-90
135. Faulhaber, R.: Über den Einfluß des Probestabdurchmessers auf die Biegeschwingfestigkeit von Stahl. Mitt. Forschg.-Inst. Verein Stahlwerke AG, Dortmund 3(1932/33) 5.153-172
136. Hempel, M.: Stand der Erkenntnisse über den Einfluß der Probengröße auf die Dauerfestigkeit. DRAHT 8 (1957) 9, S.385-394
137. Jehmlich, G.: Einfluß der Korrosion auf die Wöhlerkurve von Seildrähten. Bergakademie 21(1969)1, S.45-47

138. Greis, F. u. Ruppik, H.: Einfluß des Feuerverzinkens auf die Biege-wechselfestigkeit und die Gleichmäßigkeit der Festigkeitseigenschaften. Arch. Eisenhüttenwe 10(1936)
139. Woernle, R.: Ein Beitrag zur Klärung der Drahtseilfrage. Z. VDI 72
(1929)13, S.417-426
140. Benoit, O.: Zum Gedächtnis von W. A. J. Albert und die Erfindung des
Drahtseiles. Berlin: VDI Verlag 1935
141. Verreet, R.: 100 Jahre Parallelsehlaglitzen. DRAHT 38(1987)11, S.854-855
142. von Hauer, J.: Die Fördermaschinen der Bergwerke, Leipzig, Verlag Artur F.
143. Singestroth, F.: Das Herz des Drahtseiles-eine Beurteilung von Einlagen.
Internationales Kol., 150 Jahre Drahtseil“ Technische Akademie
Esslingen 13. und 14. September 1984
144. Sivatz, F.: Einflüsse der Seilkonstruktion auf die Einlagenbemessung.
Seilbahnbuch 1975, S.63-66. Beilage zur IRS (Intern. Seilbahn-Rundschau)
145. Perret, J., Fischer, E., Wullschleger, K.: Untersuchungen über Schmier- und
Imprägnierungsmittel für Drahtseile von Seilbahnen. Schweiz. Bauzeitung
81(1963)40, S.697-700
146. Neumann, P.: Untersuchungen zum Einfluß tribologischer Beanspruchung auf
die Seilschädigung. Dr.-Ing. Diss. TH Aachen 1987
147. Donandt, H.: Über den Stand unserer Kenntnisse in der Frage der
Grenzschmierung. Z. VDI 80 (1936) 27, S.821-829
148. Meebold, R.: Die Drahtseile in der Praxis. Berlin, Göttingen, Heidelberg:
Springer-Verlag 1959
149. Naumann, B. u. Gedecke, G.: Einfluß von Seilsehmerstotten auf Synthese-
Fasereinlagen für Drahtseile. DRAHT 22 (1971) 8, S.542-545
150. Molkow, M.: Die Treibfähigkeit von gehärteten Treibscheiben mit Kejlrollen.
Diss. Uni. Stuttgart 1982. Kurzfassung dhf 29 (1983) 7/8, S.209-217
151. Gräbner, P. u. Hübner, A.: Schmierstoffaufnahme von ausgewählten
Drahtseilfasereinlagen Hebezeuge u. Fördermittel 31(1991)10, S.391-393
152. Schneider, A.: Seilgrundschmierung in der Praxis. Sonderdruck ~Zweites
Schmier mittelsymposium 1979“. Beilage zur Seilbahn-rundschau, S.2-11
153. Müller, H.: Drahtseile im Kranbau, Auswahl und Betriebsverhalten. VDI-
Berichte Nr.98 und dhf 12 (1966) 11, S.714-716 und 12, S.766-773

154. Müller, H.: Bericht aus dem Forschungsinstitut für Fördertechnik der Uni. Stuttgart. Vortrag bei der Jahreshauptversammlung der Drahtseilvereinigung 1977
155. Winkler, L.; Beitrag zum Fragenkomplex Schmierung von Drahtseilen.
Diss. TH Karl-Marx-Stadt 1971
156. Oplalka, G.: Nachschmierung von Drahtseilen. Internationales Kolloquium ~150 Jahre Drahtseile“, 13-14. September 1984, S. 11-1.16. Verlag T. Ak. Esslingen
157. Verreet, R.: Seile im Betrieb, in Lauf. Drahtseile“Expert-Verlag, ISBN 3816904920
158. Verreet R. Magnetism in rope wires OIPEEC Bulletin 92.2006
159. VDI 2358, Drahtseile für Fördermittel. VDI-Richtlinie Okt. 1984, Beuth Verlag GmbH, 63. Reading May 1992. ISSN 1018-8819. Nachdr.: Wire Industry 55(1992)
160. Chaplin, C. R. and Potts, A. E.: Wire Rope Offshore - a Critical Review of Wire Rope Endurance Research Affecting Offshore Applications HSE.
Publication OTH 91 341,
161. Hoefler, K.: Der Verseilungsverlust von Stahldr.. VDI-Z. 83(1939)26, 5.775-780
162. Apel, G.: Der Verseilfaktor. DRAHT 36(1985)11, S.541-544 u 37(1986)1, S.16-19
163. Hruska, F.: Geometrie im Drahtseil. DRAHT 4 (1953) 5, 5. 173-176
164. Groß, S.: Ein Beitrag z. Geometrie des Drahtseiles. DRAHT 5(1954)5, 5.173-176
165. Wiek, L.: Beziehung zwischen Theorie, Versuch, Anwendung und Herstellung von Drahtseilen. DRAHT 36 (1985) 1, 5. 12-15
166. Wolf, R.: Zur Beschreibung der vollständigen Seilkinematik.
Forschung Ing-Wes. 50 (1984) 8, S.81-86
167. Voigt, P-G: Fortschritt b. Fertigen v. Stahldrahts. Drahtwelt 69(1983)6, 5.146-148
168. Fuchs, D.: Die Verbesserung der Qualität von Förderseilen durch Optimierung des Litzenaufbaues und des Seilaufbaues. Bergbau 35 (1984) 2, S.48-51
169. Wiek, L.: Computerized rope design and endurance OIPEEC Round Table 1977
170. Schiffner, G.: Spannungen in laufenden Drahtseilen. Diss. Uni. Stuttgart 1986
171. Feyrer K. u. Jenner, T.: Der Querschnitt eines Spiralseiles mit beliebig profilierten Drähten. DRAHT 38 (1987) 12, 5.939-94
172. Griffioen, W. u. Wiek, L.: Eine exakte Methode zur Lösung des Berührungproblems in Stahldrahtseilen in Verseillage DRAHT 43(1992)3, S.236-239
173. Szivatz, F.: Einflüsse der Seilkonstruktion auf die Einlagenbemessung.
Internationale Seilbahnrundschau, Seilbahnbuch 1975, S.63-66
174. Brugg-Drahtseile, Seilkonfigurator Firma Brugg Schweiz, Katalog 2005

175. Fridrich,H., Staeck,M. Brückenseile mit GALFAN Überzug BAST 52 2007
176. Pfeifer Katalog 2006 Pfeifer Seil und Hebetechnik GmbH
177. Winter,S. IFL Univ. Stuttgart Visuelle Seilkontrolle wird zuverlässig-2005
178. CASAR Spezialdrahtseile Technische Eigenschaften Katalog