

# Rezumatul Tezei de doctorat: “Contribuții la studiul durabilității cablurilor din oțel și oțel-aluminiu”

autor ing. Segal Herman

Conducător științific: Prof.Eur.Ing.dr.Ing. Tiberiu Dimitrie Babeu

Membru titular al Academiei de Științe tehnice din România

Prezenta teză cuprinde 4 capitole, 175 pagini, 87 de figuri, 350 relații matematice, 24 de tabele și diagrame, 104 titluri bibliografice.

În **capitolul 1**, se prezintă un succint istoric al etapelor din dezvoltarea producției și utilizării cablurilor. Se evidențiază complexitatea și dificultățile de corelare a caracteristicilor mecanice, a solicitării sârmelor și comportării cablului în ansamblu. Tot în capitolul 1 sunt prezentate obiectivele tezei:

-corelarea și sistematizarea materialului bibliografic ce ar permite o urmărire logică a problematicii durabilității cablurilor.

-efectuarea de încercări experimentale asupra unor cabluri de oțel și a unor conductori oțel-aluminiu și interpretarea lor.

-să sistematizeze factorii ce influențează durabilitatea cablurilor de oțel.

-studiul unui extensiometru cu transductori electrici rezistivi și bandă elastică, calculul dimensiunilor sale pt încadrarea într-o anumită eroare.

-cercetări privind variația microdurității longitudinale pe sârme din oțel și aluminiu, corelarea acestora cu variația acruisării probelor.

-utilizarea bazei materiale a Laboratorului de Rezistența materialelor din cadrul Facultății de Mecanică.

-noi direcții de cercetare, pornind de la microduritate-interdependență factori din mecanica ruperii.

În **capitolul 2** se analizează elementele generale privitoare la construcția, geometria, aspectele teoretice, materialele și solicitările mecanice ale cablurilor.

După ce sunt prezentate elementele constructive ale cablurilor (fire, toroane, miez, tipuri de toroane, structuri speciale), sunt trecute în revistă aspectele legate de geometria și de solicitările la care este supus un cablu. Sunt analizate aspectele analitice ale razelor de curbură ale firelor, unghiurile de așezare a sârmelor. Apoi se prezintă modelarea legăturii dintre întinderea și răsucirea unui cablu. Se prezintă de asemenea legătura dintre efortul de tracțiune și cuplu ce solicită un cablu.

Tot în acest capitol se arată modul de determinare a coeficienților de torsiune în variantă teoretică și empirică (după Kolloos) respectiv metoda Feyrer.

În continuare se studiază tensiunile ce apar în sârmele unui cablu solicitat la tracțiune cum ar fi solicitările statice (întindere, încovoiere, încovoiere secundară) respectiv dinamice consecință a mișcării în exploatare a cablurilor.

Astfel apar tensiuni datorate încovoierii și răsucirii, tensiuni secundare de tracțiune, de încovoiere și răsucire datorate ovalizării cablului, solicitări de compresiune locală (strivire). Sunt evidențiate solicitările variabile ce apar în sârmele cablului solicitat la tracțiune în timpul exploatării. Totodată se precizează elementele ciclului de solicitare ( $\sigma_{max}$ ,  $\sigma_{min}$ ,  $\sigma_{am}$ ,  $\sigma_{med}$  și R) corespunzătoare trecerii cablului peste rolă. Privitor la

trecerea de la ciclul real la ciclul limită se arată că cea mai potrivită situație ar fi cea în care coeficientul de asimetrie rămâne constant ( $R = ct$ ).

Dacă se ia în discuție durabilitatea limitată a cablului, se impune alegerea unui ciclu limită pentru sârma necablata corespunzător unui anumit număr de cicluri (în general se acceptă  $10^6$  cicluri). În general este dificil de construit prin puncte diagrama ciclurilor limită pentru diferite asimetri ale ciclului, de aceea se stabilesc doar pentru câteva situații urmând ca restul diagramei ciclurilor limită să se ridice prin interpolare.

În continuarea capitolului 2 se prezintă metoda de determinare a coeficientului de reducere a rezistenței la oboseală a sârmelor cablate față de cele necablate ce implică patru etape:

- a) efectuarea unor probe de durabilitate pentru sârme la încovoiere alternant simetrică pentru trasarea curbei Wöhler;
- b) executarea unor probe de durabilitate ale cablurilor la diferite valori ale tensiunii de tracțiune, respectiv încovoiere, obținându-se dreptele  $\sigma_t - \lg N$ ;
- c) se calculează mărimile caracteristice ale ciclului de solicitare, corespunzător tensiunii  $\sigma_t$  ( $\sigma_{\max} = \sigma_t$ ;  $\sigma_{\min} = \sigma_t - \sigma_i$ ;  $R = \sigma_t - \sigma_i / \sigma_t$ );
- d) punctele caracteristice se reprezintă în sistemul de axe  $\sigma_{\max} - R$ , considerându-se că pentru sârme și cabluri rezistența la rupere este aceeași. Se calculează coeficientul de reducere a rezistenței cablului față de sârma necablata. În acest mod se ajunge la expresia coeficientului de siguranță al cablului în funcție de rezistența la rupere a sârmei,  $\sigma_r$ , de rezistența ei la oboseală la încovoiere alternant simetrică  $\sigma_{-1}$ , coeficientul de asimetrie  $R$  și tensiunea maximă din cablu  $\sigma_t$ .

**Capitolul 3** se ocupă de aspectele experimentale privind aprecierea durabilității cablurilor. Pentru început se prezintă aspectele ce intervin în aprecierea durabilității cablurilor, criteriile ce stau la baza scoaterii din exploatare a acestora (atingerea duratei de serviciu, atingerea unui anumit număr de sârme rupte, scăderea forței reale de rupere, scăderea rezistenței la rupere a sârmelor componente, uzură pronunțată etc.).

Se menționează necesitatea urmăririi periodice a caracteristicilor mecanice a sârmelor și a cablului în ansamblu, a comportării la oboseală a sârmelor ce permite o mai bună apreciere a degradării cablului.

În continuare se prezintă o sistematizare (realizată de autor) a factorilor ce influențează durabilitatea cablurilor. Multitudinea acestora, precum și interdependența dintre ei face ca studiul durabilității cablurilor să fie o problemă deosebit de complexă ce momentan nu poate fi complet abordată. Studiile, încercările experimentale, încercările de teoretizare acoperă domenii restrânse ale fenomenului, fiind necesare desigur investigații mult mai multe.

În continuarea capitolului (3.2) se trec în revistă încercările mecanice ale sârmelor din componența cablului. Încercarea la tracțiune, cu ridicarea curbei caracteristice, la care se face și o estimare a erorilor ce pot să apară la determinarea rezistenței la rupere.

Încercarea la îndoire alternantă, respectiv la răsucire a sârmelor, este analizată în continuare, menținându-se concluziile ce pot fi desprinse în urma încercărilor. Deasemenea, este prezentată și încercarea la forfecare a sârmelor cablului.

În paragraful 3.2.6 sunt prezentate încercările mecanice asupra unor conductori oțel-aluminiu (aflați în exploatare timp de 20 de ani pe o linie aeriană din țară) efectuate

în cadrul Catedrei de rezistența materialelor a Univ.”Politehnica” din Timișoara. Autorul a încercat, pe baza analizei rezultatelor obținute, să completeze concluziile ce se desprind.

În continuarea capitolului 3 sunt trecute în revistă o serie de mașini de încercat la oboseală a sârmelor din cablu, unele aflate în dotarea Laboratorului de rezistența materialelor a Catedrei. Astfel este prezentată mașina Robertson (fabricație Schenk) ce permite efectuarea unor cicluri alternant simetrice de încovoiere, mașina N.B. (Nădășan – Boleanțu) ce realizează cicluri pulsatoare de încovoiere cu compresiune locală, mașina Nakamura ce permite realizarea încercărilor la oboseală la încovoiere alternant simetrică cu moment încovoiator constant.

În paragraful 3.3. sunt analizate încercările mecanice ale cablurilor întregi. Pentru început se prezintă încercarea la tracțiune a cablurilor de oțel, cu condițiile ce trebuie să le îndeplinească epruveta precum și mașina de încercat. În vederea trasării diagramei forță-deformație ( $F - \Delta \ell$ ) se folosesc diferite extensometre dintre care autorul a selectat un extensometru semicircular cu traductori rezistivi. Analizând acest extensometru se constată că trebuie să existe un raport minim între lățimea lamelei extensometrului și raza sa peste care pot să apară erori de măsurare dacă calculul tensiunilor din dreptul traductorilor se face nu ca un calcul de bară curbă ci ca un calcul de încovoiere excentrică (cu formula lui Navier).

Deaceea autorul își propune și reușește stabilirea unei relații simple între raza extensometrului și lățimea lamelei (pe direcția razei) astfel încât eroarea să nu depășească o anumită valoare.

În paragraful 3.3.3 se prezintă încercările efectuate asupra unor conductori OL-AL în catedră de prof.Boleanțu ce au vizat determinarea modului de elasticitate global a conductorului, precum și caracteristicilor de rezistență. În toate cazurile se determină și modulul de elasticitate secant. În continuare sunt prezentate încercările efectuate de un colectiv, din care a făcut parte și autorul, asupra unor conductori OL-AL (50/30 și 500/65). La conductorul 50/30 forța maximă de rupere a fost de 46,74 kN (față de 44,280 kN impusă de standarde), iar la conductorul 500/65 forța maximă de rupere a fost de 158,75 kN (față de 157,5 kN).

În primul caz modulul de elasticitate secant a fost 79009 MPa iar în al doilea 50959 MPa.

În paragraful 3.3.4 sunt prezentate aspecte ale durabilității cablurilor la încovoiere oscilantă sau alternantă. Problema este tratată atât în privința încercărilor efectuate în laborator (sunt analizate două mașini de încercat) cât și a urmăririi cablurilor în exploatare. Pentru aprecierea durabilității până la rupere ( $N$  – numărul de cicluri până la rupere) se utilizează numeroase relații cu un grad mai mic sau mai mare de credibilitate.

Paragraful 3.3.5 prezintă încercările efectuate de KLÖPFER A. Asupra unor cabluri de tracțiune solicitate la tracțiune pulsatoare. Asemenea solicitări apar la cablurile de suspendare sau ancorare. În urma încercărilor se trasează diagrama dependenței numărul de cicluri și forța minimă de referință din cablu ( $S_u / d_c^2$ ). Totodată se prezintă și diagrama Haigh pentru un cablu Warrington-seale SES + 6 x 36 SZ. Se constată că comportamentul cablului ascultă de cel descris de dreapta Goodman doar la valori mici ale forței minime de referință. KLÖPFER explică scăderea dramatică a durabilității la forțe de tracțiune mici, prin deformarea spirelor toronului și sârmelor ceea ce determină tensiuni suplimentare.

Capitolul 3 se încheie cu cercetările efectuate de autorul prezentei teze asupra microdurității superficiale a unor sârme prelevate dintr-un conductor oțel aluminiu. Autorul și-a propus să studieze modul de variație a microdurității dealungul unor sârme de AL și OL prelevate dintr-un conductor aflat în exploatare de cca.20 de ani. Determinarea microdurității s-a realizat pe câte 3 probe din aluminiu și oțel care după înglobare au fost șlefuite și examinate în mai multe puncte longitudinale.

Pe baza acestor încercări s-au desprins următoarele concluzii:

**1.** La unele sârme de oțel se constată oscilații destul de mari ale microdurității HVD100 dealungul firului ceea ce atestă o ecrusare neuniformă a materialului. În zonele cu duritate mai mare pot apărea microfisuri cu consecințe directe asupra durabilității cablului.

**2.** Microduritatea probelor 1 de aluminiu este mult mai mare decât a celorlalte probe, ceea ce denotă că provin din loturi diferite. Cercetările efectuate de autor privitor la microduritatea pe lungimea sârmelor unui cablu sau conductor reprezintă un pionerat. Desigur numărul mic de probe nu permite stabilirea unor concluzii definitive dar constituie un început ce merită să fie continuat.

**Capitolul 4** prezintă conținutul comentat al tezei,concluziile și contribuțiile autorului,realizări conform cu obiectivele propuse și noi perspective de cercetare,comentate și argumentate pe larg.Drept concluzii și contribuții pot cita pe scurt:

- 1) Se realizează o selectare și o sistematizare a materialului bibliografic ce permite o urmărire logică a problematicii durabilității cablurilor.
- 2) Se stabilește, pentru un extensometru echipat cu traductori tensometrici rezistivi, o relație simplă de calcul a dimensiunilor geometrice pentru încadrarea acestuia sub o anumită eroare.
- 3) Se efectuează o serie de încercări experimentale asupra unor conductori de oțel aluminiu în urma cărora se trag concluzii interesante.
- 4) Se sistematizează factori ce influențează durabilitatea cablurilor care evidențiază multitudinea acestor factori și a interdependenței dintre ei, ceea ce face ca momentan problema să nu poată fi abordată în ansamblul ei.
- 5) S-au realizat cercetări (în premieră după cunoștințele noastre) privind variația longitudinală a microdurității pe sârme de OL și AL prelevate dintr-un conductor oțel-aluminiu. Creșterea numărului de probe se consideră că poate conduce la concluzii interesante.

Teza cuprinde la final lista lucrărilor bibliografice.