MINISTERUL EDUCAŢIEI NAŢIONALE

UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI

FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICǍ ŞI MECANICǍ

**REZUMAT**

**TEZA DE DOCTORAT**

„CERCETĂRI PRIVIND CREȘTEREA DURATEI DE VIAȚĂ

A STRUCTURILOR PORTANTE ȘI ELEMENTELOR ELASTICE

ALE VEHICULELOR FEROVIARE PENTRU TRANSPORT

PRODUSE PETROLIERE”

CONDUCǍTOR ŞTIINŢIFIC:

Prof.univ.dr.ing. RADU SORIN MIHAI

DOCTORAND:

Ing. TǍNǍSOIU BOGDAN FLORIN

PETROŞANI

2014

**Capitolul I. Introducere**

Acest capitol se ocupă de necesitatea şi perspectivele transportului feroviar. Este descrisă în detaliu importanța curentă, dar mai ales viitoare, a transportului produselor petroliere pe calea ferată. Exemplele de transfer modal de succes din şapte ţări europene demonstrează că transportul feroviar de mărfuri devine mai atractiv pentru și o alternativă competitivă la transportul rutier atât în termeni de calitate cât şi de eficienţă a costurilor. În consecinţă, transportul produselor petroliere va constitui în viitor o provocare a transportului feroviar ce va trebui să fie pregătit pentru această sarcină prin realizarea în viitor a unor vehicule de cale ferată care să răspundă competitiv în raport cu cele rutiere. Astfel, vehiculele feroviare urmează să satisfacă următoarele condiţii esenţiale: siguranţa în circulaţie, creşterea greutăţii pe osie în scopul ridicării volumului de fluid transportat; structuri portante şi cisterne montate care să asigure rezistenţa necesară in scopul eliminării accidentelor.

Aceste condiţii sunt realizabile dacă în cercetare, proiectare, construcţie şi exploatarea vehiculelor feroviare ”VAGOANE CISTERNǍ” sunt luate în considerare condiţiile de interacţiune vehicul-cale, ce sunt hotărâtoare asupra posibilităţii de respectare a condiţiilor consemnate anterior.

Relaţia vehicul-cale are ca rezultat excitațiile în sistemul mecanic al vehiculului feroviar provocate de calea de rulare, acestea provenind ca urmare a două cauze esențiale: neregularitățile căii de rulare împreună cu imperfecțiunile geometrice, imperfecțiunile alături de profilul specific al geometriei căii.

Excitațiile ce se manifestă ca funcție de intratre în sistemul mecanic provoacă vibrații și implicit solicitări mecanice ca funcții de răspuns a sistemului mecanic a căror amplitudine hotărăște definitoriu durata de viață a structurilor portante și elementelor elastice ce echipează vehiculul feroviar.

**Capitolul II: Studiul asupra vibrațiilor și șocurilor ca factori determinanți ai duratei de viață a structurilor portante și elementelor elastice ale vehiculelor feroviare**

Acest capitol prezintă un studiu al excitaţiilor oferite de calea de rulare, adoptând o serie de modele mecanice supuse unor vibraţii aleatoare. Se consemnează necesitatea de diminuare a excitaţiilor provocate de neregularităţile căii de rulare şi imperfecţiunile geometriei ei, prin adoptarea unor îmbunătăţiri ale suprastructurii căii și a îmbunătăţirii elasticităţii căii.

Am prezentat o serie de soluţii tehnice care vizează calea de rulare în scopul de a diminua amplitudinile parametrilor cinematici sau dinamici ai excitaţiei induse şi aplicate în contactul roată-şină. Toate acestea conduc la aprofundarea răspunsului vehiculului feroviar tratat în detaliu în continuare, preponderente fiind elementele ce definesc şi structurează „durata de viață” a unei structuri portante la solicitările în circulaţie.

In continuare, am prezentat un studiu asupra solicitărilor longitudinale de tip şoc repetat ce provoacă un grad ridicat de deteriorare, datorită numărului şi amplitudinii şocurilor suportate de vehicule, în speţă vagoanele cisternă, pe durata exploatării lor, fie în circulaţie, fie la formarea garniturilor în triajele feroviare. Am făcut o descriere a procesului de tamponare şi am subliniat caracteristicile energetice specifice.

Împotriva şocurilor care solicită în exploatare în sens longitudinal, vehiculele feroviare sunt echipate cu izolatori de şoc (tampoane, amortizori cuplă centrală). Cu cât capacitatea de înmagazinare a energiei potenţiale de deformaţie a izolatorului de şoc este mai ridicată cu atât energia potenţială înmagazinată care revine vehiculelor este mai mică. Capacitatea de înmagazinare a energiei potenţiale de deformaţie a izolatorilor de şoc, evidenţiată de factorul 2β, influenţează direct mărimea forţelor şi acceleraţiilor transmise vehiculelor, precum şi nivelul energiei potenţiale (1 - 2β)Ep care revine vehiculelor. În consecinţă, la proiectarea şi construcţia vehiculelor feroviare există tendinţa creşterii capacităţii de înmagazinare a energiei potenţiale de deformaţie a izolatorilor de şoc în scopul scăderii nivelelor forţelor şi acceleraţiilor transmise vehiculelor la tamponare [9].

Studiul comportării vagoanelor la tamponare trebuie să cuprindă:

1. Verificarea răspunsului structurii de rezistenţă la şocul provocat de tamponare. Aceasta trebuie să se ţină seamă de îmbunătăţirea caracteristicilor mecanice ale oţelurilor odată cu creşterea vitezei de deformare. Pentru oţelurile folosite în industria constructoare de vagoane, limitele de elasticitate dinamică la solicitarea axială se majorează cu 20 - 30 % faţă de limita de elasticitate statică atunci când viteza de deformare este de 50 - 400 sec -1 .

2. Verificarea structurii de rezistenţă la şocuri repetate. Încercările trebuie să asigure numărul şocurilor şi mărimea forţei transmise vagoanelor în acord cu nivelul deteriorărilor cumulate ale structurilor de rezistenţă, care determină o durată de viaţă acceptată în exploatare. UIC impune încercarea la 40 de şocuri cu forţa transmisă de 3MN, care corespunde unei durate de viaţă de aproximativ 16 ani.

3. Urmărirea efectelor forţelor de inerţie datorate acceleraţiilor imprimate vagoanelor. După încercări, starea tehnică generală şi funcţiunile vagonului trebuie să se păstreze în limite acceptate de condiţiile de exploatare.

4. Verificarea bunei funcţionări a tampoanelor sau amortizorilor cuplă centrală și a modului lor de fixare. În urma încercărilor se stabileşte dacă izolatorii de şoc au capacitatea de înmagazinare a energiei potenţiale de deformaţie la nivelul necesar sau se impune înlocuirea lor cu izolatori de şoc de capacitate mărită .

5. Adoptarea unor soluţii constructive care să elimine posibilitatea apariţiei unor deformaţii permanente sau, după caz, a unor deformaţii permanente cumulate peste valoarea de 2 în urma seriei de 40 tamponări.

6. Urmărirea relaţiei boghiu-şasiu şi a suspensiei boghiurilor, care trebuie să răspundă favorabil la solicitările de şoc, garantând astfel siguranţa în circulaţie a vagoanelor.

**Capitolul III: Studiu şi calculul teoretic în vederea stabilirii soluţiilor constructive ale structurilor portante şi elementelor elastice ale vehiculelor feroviare pentru transport produse petroliere**

In **capitolul III** am prezentat calcule teoretice ale structurilor portante şi ale elementelor elastice ca parte a boghiurilor ce echipează vagoanele cisternă pentru transport produse petroliere.

Atât excitațiile cât și răspunsurile în domeniul aleator sunt vibrații ale maselor vehiculului ce provoacă oboseala materialelor din care ele sunt construite. Amplitudinea excitațiilor determină în funcție de elementele elastice protectoare solicitarea reală a componentelor vehiculului. Vibrația produce fenomenul de oboseală.

Trecând în domeniul variabil caracteristica stării limită – *rezistenţa la oboseală* – nu mai este o mărime unică, ci poate lua o infinitate de valori, în funcţie de o serie de factori. Ca urmare, proiectarea de rezistenţă nu se poate limita, în acest caz, la simpla aplicare a unor relaţii de dimensionare sau verificare; este necesar ca proiectantul să asigure, în afara unor dimensiuni geometrice, toate condiţiile tehnologice, constructive şi funcţionale, care să garanteze o anumită rezistenţă la oboseală. Capitolul prezintă factorii care influențează rezistența la oboseală și implicit durata de viață, după cum urmează: factori de lucru determinaţi de condiţiile de exploatare, factori constructivi, factori tehnologici.

Pentru un material dat din care este construită structura portantă sau elementele elastice ale unui vehicul feroviar, factorii sunt grupați în: modul de solicitare; influența tensiunii medii; variația amplitudinii tensiunilor; frecvența ciclurilor de solicitare; temperatura de lucru; oboseala tensometrică; influența acțiunii corozive a mediului; influența iradierii; factori constructivi; factori tehnologici; tensiuni reziduale; acoperiri anticorozive.

Calculul teoretic este un îndrumar de orientare asupra soluțiilor constructive adoptate de proiectanți la realizarea prototipurilor de vehicule. Prin cercetarea experimentală se adoptă de regulă soluțiile definitive promovate în exploatare.

Am prezentat un calcul teoretic prin metoda elementelor finite (M.E.F.) la vagonul cisternă de 70 mc studiat, evidenţiind cu precădere zonele puternic solicitate. Ȋn continuare am prezentat calculul elementelor elastice metalice care echipează boghiul vagoanelor cisternă. Am prezentat metoda de calcul utilizată în detaliu şi rezultatele obţinute, alături de o serie de observaţii.

Arcurile metalice constituie elemente elastice cu o largă folosire atât la suspensia vehiculelor feroviare ca şi izolatori de vibraţii cât şi la echiparea tampoanelor, cuplelor centrale şi sistemelor de legare ca izolatori de şoc. Marele impediment al arcurilor metalice este că la orice ciclu de funcţionare energia potenţială înmagazinată de deformaţie este redată complet sistemului mecanic sub formă de energie cinetică dacă nu sunt însoţite de elemente care să asigure amortizarea. De aceea în mod imperios desprindem două tipuri de arcuri metalice: arcuri metalice fără amortizare care de regulă funcţionează în paralel cu elemente elastice ce pot asigura o amortizare; arcuri metalice cum sunt arcurile cu foi sau de tip Ringfeder care datorită mişcării relative dintre anumite suprafeţe, prin frecare columbiană dobândesc calitatea de amortizare.

În acest capitol au fost prezentate tipurile de arcuri metalice utilizate la echiparea vehiculelor feroviare. S-a făcut de asemenea un studiu asupra comportării dinamice atât pe direcţie verticală cît şi pe direcţie transversală a arcurilor elicoidale cel mai des folosite. Studiul teoretic subliniază o serie de particularităţi ce pot fi utilizate în proiectarea acestor arcuri. S-a prezentat metode de calcul atât în regim static cât şi în regim dinamic pentru majoritatea tipurilor de arc ce pot fi utilizate de proiectanţi atunci când apare problema proiectării unui arc metalic cu anumite caracteristici impuse.

În cadrul acestui capitol s-a recurs la folosirea unor metode moderne de calcul, cum este cea a elementului finit propunând utilizarea unui program pe care l-am agreat datorită conformităţii cu rezultatele experimentale pe care le-am obţinut, programul ALGOR. La evaluarea rezultatelor tensiunilor programul oferă depistarea uşoară a zonelor critice în condiţiile existenţei valorilor tensiunilor: tensiune echivalentă von Mises, tensiuni principale etc.. În consecinţă compararea acestor rezultate teoretice cu eventuale rezultate experimentale este extrem de facilă.

Se subliniază faptul că rezultatele asupra tensiunilor determinate cu programul ALGOR s-au dovedit a fi foarte apropiate de rezultatele experimentale. În baza studiilor teoretice prezentate în acest capitol ce au fost confirmate de studiile experimentale consider că modul de abordare în proiectarea arcurilor metalice trebuie să se bazeze pe metoda elementului finit.

**Capitolul IV: Cercetări experimentale pentru structurile portante și elementele elastice supuse solicitărilor din exploatare în scopul ratificării și promovării lor în circulația pe calea ferată**

În a am prezentat un studiu experimental pentru structura portantă a vagonului cisternă de 70 mc şi pentru arcurile elicoidale care echipează boghiul Y25L5di al vagonului.

Astfel avem desfășurarea studiilor experimentale în regim static unde forțele aplicate pentru realizarea solicitărilor au fost apreciate prin simulare și în regim dinamic.

Cercetarea experimentală urmărește comportarea soluțiilor adoptate pentru structurile portante și elementele elastice în scopul stabilirii definitive a capacității vehiculului de a circula pe cale în exploatare cu o anumită ”DURATĂ DE VIAȚĂ” atât din punct de vedere al rezistenței la oboseală la sarcini aleatoare cât și din punct de vedere la șocul repetat provocat de tamponare.

Datorită multitudinii factorilor care hotărăsc modul de răspuns al pieselor şi structurilor portante, dispersia rezultatelor este descurajator de mare, datele asupra variaţiei solicitărilor şi tensiunilor rezultate sunt edificatoare numai pentru tipul de vehicul studiat neputând fi generalizate.

Capacitatea materialelor de a rezista în timp solicitărilor variabile deterministe care cauzează fenomenul de oboseală este exprimată de o mărime caracteristică stării limită folosită în calculele de oboseală – *rezistenţa la oboseală*.

Capacitatea unei piese sau structuri portante a unui vehicul de a rezista în timp la acţiunea solicitărilor aleatoare, în funcţie de materialele folosite, caracteristicile lor mecanice, forma şi secţiunile adoptate, tehnologiile de execuţie, tratamente termice, acţiuni chimice, ş.a. se materializează în conceptul de *rezistenţă în exploatare*.

Problema rezistenţei în exploatare a unui vehicul, datorită naturii diferite ale solicitărilor subansamblelor ce-l compun, impune un studiu separat pe subansamble sau piese.

Structura portantă a fost supusă încercărilor de rezistenţă în regim static, dinamic, pe calea de rulare şi de şoc (tamponare). Structura portantă în final a răspuns pozitiv la toate încercările.

Lucrarea prezintă de asemenea un studiu experimental asupra elementului elastic metalic, arc elicoidal, cu diametrul barei de 24,4 mm, utilizat la echiparea boghiurilor Y25Lsdi destinat vagoanelor de marfă. Au fost efectuate încercări la oboseală, determinări ale deformaţiilor relative, respectiv a tensiunilor şi de durată de viaţă.

Pentru verificarea tehnologiei de fabricaţie şi a tratamentelor termice şi mecanice aplicate a fost încercat un set de arcuri la oboseală în scopul depistării cauzelor ruperilor în exploatare. Obiectivul impus de cercetarea pe care am efectuat-o este acela de a realiza arcuri a căror rezistenţă la oboseală să fie la nivelul prevăzut de cerinţe (4000000 cicluri în trei regimuri de încercare), ale UIC (Uniunea Internaţională a căilor ferate Europene).

Setul de arcuri are caracteristicile mecanice ce indică valori ale limitei de curgere de 1489-1551 N/mm2 (faţă de min. 1370-1670 N/mm2 prescris) şi valori ale alungirii la rupere de 10,8-12,8% (faţă de min. 6% admis). Diametrele iniţiale ale barelor au valori de 24,33 – 24,34 mm încadrându-se în intervalul prescris (24,4±0,1 mm). Materialul din care a fost confecţionat arcul a fost 50CrV4 conform DIN 17221.

Se constată că tensiunile cele mai mari apar la fibra interioară unde durata de viaţă estimată este aproape de cerinţele impuse pentru fiecare treaptă de solicitare. Există diferenţe mari între durata de viaţă estimată pentru fibra interioară faţă de cea exterioară datorită diferenţelor mari a deformaţiilor relative respectiv a tensiunilor măsurate experimental. Estimarea duratei de viaţă utilizând curbele Wohler dau rezultate foarte apropiate de numărul de cicluri prevăzut pentru treptele de solicitare impuse ce să asigure o bună rezistenţă în exploatare.

**Capitolul V: Concluzii finale, contribuţii personale şi propuneri**

În acest capitol sunt prezentate concluziile ale studiului, contribuțiile personale si propuneri pentru viitoare proiecte de cercetare. În urma studiului experimental efectuat se desprind o serie de concluzii, din care amintesc:

1. ruperea arcurilor elicoidale datorată solicitării la oboseală se produce fie în spira de capăt fie în general la prima spiră activă unde în mod practic apar cele mai mari solicitări;
2. poziţiile diferitelor zone de rupere şi împrăştierea mare a lor conduc la concluzia că ruperea prematură la oboseală este fevorizată de mai mulţi factori tehnologici ce acţionează fie separat fie simultan;
3. variaţiile mari ale dimensiunilor formei geometrice a arcului precum şi elemente ce vizează starea suprafeţei şi nivelul tensiunilor interne pot fi evident cauze ce să conducă la ruperi premature;
4. din analiza suprafeţelor de rupere rezultă că fisura se poate amorsa în fibra interioară a spirei ce prezintă reziduri provocate de dorn la realizarea arcului;
5. microfisurile provocate de bile în timpul tratamentului de ecruisare pot fi amorse de fisură ce să determine o micşorare a rezistenţei la oboseală;
6. eventualele exfolieri pot fi cauza propagării fisurii de la suprafaţă spre interior;
7. încercările de oboseală efectuate pentru arcul Ø31mm şi Ø24,4mm oferă un răspuns pozitiv neconstatându-se nici o defecţiune după aplicarea regimurilor de încercare ce urmau să ratifice rezistenţa la oboseală a acestor arcuri.
8. În urma încercărilor de oboseală pentru arcurile cu Ø31mm si Ø30mm, se alege ca soluţie constructivă arcul elicoidal cu diametrul sârmei Ø31mm.