



UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
ȘCOALA DOCTORALĂ



TEZĂ DE DOCTORAT

2024



UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
ȘCOALA DOCTORALĂ



TEZĂ DE DOCTORAT

**STUDIUL OBOSELII DETERMINATĂ DE SOLICITĂRILE
TERMO-MECANICE ALE SISTEMELOR DE FRÂNARE CU
SABOȚI LA INSTALAȚIILE DE EXTRACȚIE MINIERĂ
UTILIZÂND METODELE INFORMATICE DE MODELARE ȘI
SIMULARE**

Coordonator:

Prof.univ.dr.ing. Popescu Florin Dumitru

Doctorand:

Ing. Draica Manuel-Ionuț

2024

REZUMAT

Pentru scoaterea la suprafață sau la alte orizonturi a substanțelor minerale utile sau a sterilului precum și pentru coborârea și urcarea oamenilor sau materialelor necesare lucrărilor de exploatare a minelor sunt utilizate instalațiile de extracție. Acestea sunt definite ca fiind un complex de utilaje, aparate și mecanisme fără de care nu ar fi posibilă activitatea de exploatare minieră.

Exploatarea zăcămintelor subterane, minereuri sau cărbune impune transportul la suprafață prin puțuri de extracție. Acestea pot fi verticale sau înclinate.

Mașinile de extracție sunt părți componente ale instalațiilor de extracție având rolul de a pune în mișcare cablurile de tracțiune și implicit vasele de transport. Acestea au în componența lor sisteme de frânare care au un rol important în asigurarea funcționării sigure a instalațiilor de extracție. Astfel caracteristicile sistemului de frânare sunt determinate de particularitățile constructive ale puțului de extracție (aici putând aminti adâncimea acestuia și numărul de orizonturi), de masa utilă extrasă la o cursă de transport precum și de particularitățile constructive ale organului sau elementului de antrenare sau de înfășurare a cablurilor.

În general putem spune că mașinile de extracție au în componența lor următoarele sisteme de frânare:

- cu saboți și obadă;
- cu plăcuțe de frânare și discuri.

Aceste sisteme au un dublu rol fiind utilizate la:

- frânarea de manevră care presupune adaptarea vitezei de extracție în conformitate cu parametrii tehnologici impuși;
- frânarea de urgență sau de siguranță care presupune oprirea de urgență în cazul în care apar o serie de evenimente care pot determina pierderea de vieți omenești sau daune materiale majore. Declanșarea frânării de urgență nu necesită intervenția factorului uman trebuind să se producă în mod automat.

Atât la frânarea repetitivă de manevră cât și la frânarea fermă de urgență frecarea dintre elementele active (saboți sau plăcuțe de frânare) și elementele pasive (obadă sau



UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI

ȘCOALA DOCTORALĂ



discuri) determină creșterea temperaturii ca urmare a transformării energiei cinetice în căldură. Reducerea performanțelor sistemelor de frânare prin uzura timpurie a elementelor lor componente poate fi determinată și de temperatura ridicată a acestora.

Funcționarea ciclică a instalațiilor de extracție conduce la încălzirea repetitivă urmată de răcirea sistemelor de frânare, fenomen care apare la finalul fiecărui ciclu de transport. Acest proces termic periodic conduce la dilatarea elementelor componente ale sistemelor de frânare, cu precădere a celor pasive. Astfel poate apărea oboseala materialelor constitutive ale elementelor pasive.

De-a lungul timpului analiza regimului termic al frânelor a fost abordată de diferiți cercetători. Aceștia au utilizat diferite metode de studiu cu caracter analitic și teoretic, metode cu caracter experimental sau combinații dintre acestea precum și metode numerice de tipul metodei elementului finit pentru diferite configurații și materiale ale sistemelor de frânare.

În marea lor majoritate studiile efectuate cu privire la încălzirea frânelor se limitează la sistemele de frânare cu raze ale suprafețelor de frecare de dimensiuni reduse și viteze mari de rotație caracteristice transportului auto sau feroviar.

Teza de doctorat abordează studiul oboselii determinată de solicitările termo-mecanice ale sistemelor de frânare cu saboți la instalațiile de extracție minieră utilizând metodele informatice de modelare și simulare. În comparație cu sistemele de frânare ale vehiculelor feroviare sau auto, în cazul instalațiilor de extracție elementele pasive (obezi sau discuri) sunt caracterizate de viteze de rotație scăzute.

Simularea în vederea studiului oboselii la frânarea ciclică de manevră a fost realizată pentru un model virtual construit la scara 1:1 corespunzător sistemului de frânare cu obadă și saboți de la mașina de extracție MK 5x2. Acest model a fost realizat în aplicația SOLIDWORKS. Simularea regimului termo-mecanic în vederea determinării oboselii s-a efectuat cu ajutorul aplicației Comsol Multiphysics.

Rezultatele obținute în urma simulării pot fi folosite în vederea diminuării costurilor de întreținere și operaționale cât și pentru creșterea capacității de transport și a fiabilității instalației. Rezultatele constituie totodată un sprijin în proiectarea și fabricația acestor sisteme de frânare a mașinilor de extracție.

Metoda de studiu utilizată în teză abordează modelarea și simularea regimului termo-dinamic și studiul oboselii generate pentru un model flexibil al sistemului virtual de frânare cu



UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI

ȘCOALA DOCTORALĂ



saboți care este ușor de adaptat diferitelor regimuri de funcționare ale instalațiilor de extracție. Avantajul noii metode utilizate constă în faptul că aceasta nu conduce la supradimensionări și incompatibilități care pot deveni evidente numai după construirea finală a produsului proiectat.

În Teză problemele au fost abordate pornind de la elementele teoretice ajungându-se în final la aplicații concrete.

Prezenta lucrare intitulată *STUDIUL OBOSELII DETERMINATĂ DE SOLICITĂRILE TERMO-MECANICE ALE SISTEMELOR DE FRÂNARE CU SABOȚI LA INSTALAȚIILE DE EXTRACȚIE MINIERĂ UTILIZÂND METODELE INFORMATICE DE MODELARE ȘI SIMULARE* este structurată în șapte capitole de conținut, o introducere și un capitol final cu concluzii, contribuții personale și direcții viitoare de cercetare.

În primul Capitol al Tezei intitulat *INSTALAȚII DE EXTRACȚIE MINIERE – GENERALITĂȚI* s-a evidențiat importanța instalațiilor de extracție în exploatarea zăcămintelor subterane prezentându-se și principalele lor componente precum și clasificarea acestora. S-au prezentat de asemenea principalele caracteristici funcționale ale mașinilor de extracție cu tobe precum și a celor cu roată motoare (Koepe). În ceea ce privește mașinile de extracție echipate cu roată motoare au fost evidențiate o serie de avantaje și dezavantaje specifice utilizării roților Koepe mono și multicablu.

O parte semnificativă a Capitolului 1 este dedicată prezentării sistemelor de frânare. A fost evidențiată importanța acestor sisteme în funcționarea sigură a instalațiilor de extracție. Au fost prezentate cerințele funcționale impuse sistemelor de frânare, structura acestora precum și modul de generare a forței de frânare. Având în vedere că teza de doctorat vizează simularea regimului termo-mecanic al frânelor cu obadă și saboți s-a acordat o atenție deosebită prezentării acestora fiind evidențiate în mod deosebit cerințele lor funcționale.

În Capitolul 2 intitulat *CINEMATICA INSTALAȚIILOR DE EXTRACȚIE* se prezintă pentru început funcționarea ciclică pe baza unei tahograme a acestor instalații. Sunt prezentați în continuare factorii care influențează forma tahogramei. Aceștia sunt: modul de acționare, adâncimea de extracție, cerințele de siguranță precum și condițiile de exploatare. A fost prezentată cinematica instalațiilor de extracție corespunzătoare diferitelor vase de transport și diferitelor moduri de acționare.



UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI

ȘCOALA DOCTORALĂ



Capitolul 3 intitulat *ASPECTE LEGATE DE DINAMICA INSTALAȚIILOR DE EXTRACȚIE* are în structura sa noțiunile teoretice utilizate în calculele de dimensionare și de verificare privind dinamica instalațiilor de extracție. Au fost prezentate și analizate forțele (stative, de frecare și dinamice) care apar la funcționarea instalațiilor. De asemenea a fost prezentată relația empirică de calcul a masei reduse a componentelor aflate în mișcare. De asemenea s-au trasat pentru un ciclu de extracție graficele variației parametrilor caracteristici cinematicii și dinamicii la o instalație de extracție cu colivii nebasculante la care acționarea se efectuează cu motor asincron sau cu motor de c.c.

Capitolul 4 denumit *NOȚIUNI TEORETICE PRIVIND TRANSFERUL DE CĂLDURĂ* cuprinde noțiuni teoretice fundamentale privind transferul de căldură. A fost analizat transferul căldurii prin fenomenele fizice de conducție, de radiație și de convecție. Transferul căldurii între medii solide a fost prezentat în situația limitării acestora prin suprafețe plane paralele cât și prin suprafețe cilindrice coaxiale.

În Capitolul 5 intitulat *CARACTERISTICILE SPECIFICE REGIMULUI TERMIC ALFRÂNELOR CU SABOȚIALE INSTALAȚIILOR DE EXTRACȚIE* am arătat pentru început că frecarea dintre saboți și obadă conduce la transformarea energiei cinetice în căldură. Astfel are loc creșterea temperaturii elementelor pasive și active ale sistemului de frânare. Acest fenomen apare deopotrivă la frânarea de siguranță și la frânarea de manevră. Dacă frânarea de manevră se face cu scopul opririi instalației de extracție la rampe atunci căldura degajată este egală cu cea de la frânarea de siguranță. Deosebirea dintre situațiile prezentate mai sus este determinată de timpul necesar transformării energiei cinetice în căldură. Deoarece la frânarea de siguranță timpul de frânare este mult mai mic decât la cea de manevră înseamnă că puterea transmisă prin frecare este mai mare la frânarea de urgență. În continuarea capitolului am prezentat relațiile de calcul analitic pentru regimul termic al frânelor instalațiilor de extracție. Pentru abordarea calculului numeric al încălzirii frânelor instalațiilor de extracție am conceput o schema logică structurală a calculului regimului termo-mecanic prin metode numerice. În cadrul acestui capitol au fost determinați parametrii mecanici și termici necesari simulării regimului termic al frânelor cu saboți. Astfel am determinat parametrii cinematici pentru o instalație de extracție MK 5x2, parametrii care stau la baza trasării tahogramei care va fi implementată în aplicația Comsol. Aici a fost determinat și numărul de cicluri orare de extracție. De asemenea au fost determinați pentru aceeași instalație de extracție și parametrii

dinamici, respectiv valoarea masei reduse, puterea dezvoltată în timpul frânării precum și puterea termică. În continuare au fost determinați parametrii termici necesari simulării. Astfel pentru dimensiunile și parametrii de funcționare ai instalației de extracție analizate s-a calculat valoarea conductivității termice a aerului și în funcție de valoarea numărului lui Reynolds, transmisivitatea prin convecție pentru o curgere laminară.

La sfârșitul capitolului sunt prezentate dimensiunile geometrice și principalele caracteristici funcționale ale mașinii de extracție MK 5x2.

În Capitolul 6 al Tezei de doctorat care se intitulează *NOȚIUNI TEORETICE PRIVIND OBOSEALA MATERIALELOR* au fost prezentate principiile generale specifice aplicației Comsol pentru studiul oboselii. Aplicația Comsol are implementate opt tipuri de analiză în vederea evaluării oboselii, respectiv: analiză stres-durată de viață pentru oboseala cu ciclu înalt (HCF - high-cycle fatigue); analiză deformare-durată de viață pentru oboseală cu ciclu scăzut (LCF - low-cycle fatigue); analiză bazată pe stres pentru oboseala cu ciclu înalt (HCF); analiză bazată pe deformare pentru oboseală cu ciclu scăzut (LCF); analiză bazată pe energie atunci când energia disipată controlează formarea fisurilor și dezvoltarea acestora; analiza cumulativă a daunelor pentru oboseala la sarcină variabilă; analiza vibrațiilor armonice pe baza rezultatelor unei baleieri a unui domeniu de frecvențe; analiza aleatorie a oboselii prin vibrații bazată pe rezultatele unei analize aleatorii a vibrațiilor unde încărcarea este PSD - power spectral density. Am prezentat o schemă logică cu întrebări cheie care poate fi utilizată la selectarea modelului de studiu al oboselii. În continuare am evidențiat modelele de evaluare a oboselii de tipul stres – perioadă de viață (Modelul curbei $S - N$, Modelul Basquin, Modelul curbei aproximative $S - N$); modelele de evaluare a oboselii de tipul deformare – perioadă de viață (Modelul curbei $E - N$, Modelul Coffin – Manson, Modelul combinat Basquin, Coffin – Manson). De asemenea au fost analizate modelele de evaluare a oboselii bazate pe stres fundamentate pe metoda planului critic (Criteriul Findley, Criteriul Mataka, Criteriul tensiunii normale maxime, Criteriul Dang Van). Criteriile Findley și Mataka au fost utilizate în aplicația Comsol pentru evaluarea oboselii elementelor componente ale sistemului de frânare cu saboți la solicitarea termo-mecanică datorată frânării de manevră cu caracter periodic la încheierea ciclului de extracție. În cadrul capitolului au mai fost prezentate pe larg o serie de alte modele de evaluare a oboselii. Pornind de la schema logică structurală a calculului regimului termo-mecanic prin metode numerice prezentată în cadrul



UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI

ȘCOALA DOCTORALĂ



Capitolului 5 am propus o schemă logică structurală de calcul a oboselii pe baza rezultatelor simulării solicitării termo-mecanice a frânelor cu obadă și saboți ale instalațiilor de extracție.

În Capitolul 7 intitulat *SIMULAREA OBOSELII SISTEMELOR DE FRÂNARE CU SABOȚI* am realizat pentru început modelul virtual al sistemului de frânare cu obadă și saboți al mașinii MK 5x2. Acest model constituie un ansamblu constituit din patru părți componente. Geometria acestui ansamblu a fost importată în aplicația Comsol unde s-a realizat studiul fizic de transfer al căldurii cu variația în timp a mărimilor. Rezultatele astfel obținute au constituit date de intrare pentru studiul mecanic determinându-se astfel tensiunile mecanice și deformările modelului supus simulării. Au fost implementate valorile parametrilor mecanici și termici necesari simulării regimului termic al frânelor cu saboți, valori care au fost calculate în cadrul Capitolului 5. A fost descrisă analitic și grafic partea corespunzătoare frânării din tahograma trasată de asemenea în cadrul Capitolului 5. Pe baza acesteia a fost determinată variația accelerației de frânare a instalației de extracție. De asemenea au fost implementate valorile caracteristice ale proprietăților materialelor din care sunt construite elementele componente ale modelului sistemului de frânare. În continuare au fost stabiliți parametrii transferului de căldură, parametrii corespunzători modulului de mecanică a solidului precum și parametrii criteriilor de evaluare a oboselii Findley și Mataka. Realizarea calculelor de simulare a debutat cu realizarea geometriei cu elemente finite. Pentru început s-au obținut rezultatele referitoare la transferul căldurii generate de frecarea saboților de obada de frânare. Încălzirea părților componente ale modelului supus simulării determină apariția tensiunilor mecanice și a deformării părților componente. Ciclicitatea procesului frânării de manevră determină solicitări mecanice periodice ale componentelor modelului analizat, solicitări care pot determina apariția fenomenului de oboseală a materialelor din care acestea sunt construite. În teză a fost prezentată variația temperaturii la suprafața obezii de frânare. Au fost trasate diagramele de variație a temperaturii pentru întreaga perioadă de simulare corespunzătoare celor trei puncte stabilite și anume: punctul de la intrarea obezii sub sabot, punctul de la mijlocul sabotului și punctul de la ieșirea obezii de sub sabot. De asemenea s-a trasat profilul temperaturii în funcție de timp în lungul unei drepte de tăiere transversale 3D precum și variația în timp a temperaturii de-a lungul curbei parametrizate circulare 3D. Pentru a avea o imagine asupra cantității de căldură produsă și a cantității de căldură disipată au fost trasate la scară logaritmică curbele de variație ale acestor mărimi pe



UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI

ȘCOALA DOCTORALĂ



Întregul interval de timp al simulării. Rezultatele simulării regimului mecanic al frânelor cu saboți au fost prezentate printr-o serie de grafice și imagini 3D ale variației tensiunii von Mises. În continuare au fost prezentate deformările părților componente din care este compus modelul pentru care s-a efectuat simularea prin grafice și imagini 3D. Rezultatele finale obținute se referă la variația factorilor de utilizare la oboseală conform criteriului Findley și criteriului Mataka. Valorile maxime ale acestor factori sunt pentru ambele criterii de evaluare a oboselii subunitare. O valoare subunitară a acestui factor arată că sarcinile care solicită obada sunt sub limita de oboseală a materialului acesteia.

Analizând conținutul acestei Teze, felul cum a fost abordată problematica din titlu, structurarea informațiilor, metodele utilizate precum și diseminarea rezultatelor obținute se poate afirma că lucrarea constituie un pas în evoluția cercetării oboselii frânelor instalațiilor industriale de dimensiuni mari putând reprezenta punctul de pornire al unor direcții viitoare de cercetare în acest domeniu.