



**MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
ȘCOALA DOCTORALĂ**



TEZĂ DE DOCTORAT

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL ECHIPAMENTELOR MINIERE
DE EXCAVARE PRIN MODELARE ȘI SIMULARE ÎN
VEDEREA ÎMBUNĂȚĂȚIRII PERFORMANȚELOR
FUNCȚIONALE ALE ACESTORA
- REZUMAT -**

Coordonator:

Prof.univ.dr.ing. Popescu Florin Dumitru

Doctorand:

Ing.ec.Kertesz (Brînaș) Ildiko

2019

CUPRINS

INTRODUCERE

CAPITOLUL 1

ASPECTE TEORETICE PRIVIND DISLOCAREA PRIN AȘCHIERE A CĂRBUNELUI

- 1.1 Caracteristicile cărbunelui la tăiere mecanică
- 1.2 Caracterul aleatoriu al forțelor de așchiere a cărbunelui

CAPITOLUL 2

ÎMBUNĂTĂȚIREA PERFORMANȚELOR FUNCȚIONALE ALE DINȚILOR EXCAVATOARELOR CU ROTOR UTILIZÂND METODA ELEMENTULUI FINIT

- 2.1 Metoda elementului finit – concepte fundamentale
 - 2.1.1 Pași fundamentali pentru realizarea unui proiect FEA
 - 2.1.2 Construirea modelului cu elemente finite
 - 2.1.3 Rezolvarea modelului cu elemente finite
 - 2.1.4 Analiza rezultatelor
- 2.2 Criteriul Von Mises de rupere
 - 2.2.1 Criteriul tensiunilor maxime normale de eșec
 - 2.2.2 Limitările analizei statice
- 2.3 Analiza cu element finit a comportamentului dinților excavatoarelor cu rotor
 - 2.3.1 Parametri geometrici ai dinților excavatoarelor cu rotor
 - 2.3.2 Influența amplasării dinților pe cupă asupra parametrilor geometrici și de rezistență
 - 2.3.3 Analiza formei și parametrilor geometrici ai dinților – analiza FEA
- 2.4 Soluție pentru reducerea solicitărilor în dinte
 - 2.4.1 Analiza FEA în varianta suportului portdinte nou
 - 2.4.2 Analiza FEA a unei game de tipodimensiuni ale dinților

CAPITOLUL 3

SIMULAREA ȘI MODELAREA PARAMETRILOR DE FUNCȚIONARE A ROTORULUI

EXCAVATOARELOR ÎN TIMPUL PROCESULUI DE EXCAVARE

- 3.1 Considerații generale privind excavatoarele cu rotor
- 3.2 Rotorul cu cupe
- 3.3 Definierea parametrilor de excavare și calculul acestora
- 3.4 Definierea și calculul parametrilor de așchiere
- 3.5 Calculul caracteristicilor de forță și energetice
- 3.6 Metodă de determinare prin procedee grafo – numerice a puterii de acționare a rotorului excavatorului
- 3.7 Metodă de determinare prin modelare și simulare a puterii de acționare a rotorului excavatorului
- 3.8 Determinarea solicitărilor la care este supus axul rotorului excavatorului

CAPITOLUL 4

MODEL AL BRAȚULUI EXCAVATORULUI EsRc 1400 30/7 DESTINAT SIMULĂRII PROCESULUI DE EXCAVARE

- 4.1 Prezentare generală a brațului excavatorului ERc 1400-30/7
- 4.2 Elemente fundamentale privind utilizarea analizei cu elemente finite la structurile de grinzi cu zăbrele

- 4.3 Modelarea brațului (săgeții) excavatorului
 - 4.3.1 Modelarea roții portcupe
 - 4.3.2 Modelarea lanțului cinematic de acționare a roții portcupe
 - 4.3.3 Modelarea benzii transportoare de pe săgeata excavatorului
 - 4.3.4 Modelarea cablurilor de ridicare a brațului excavatorului
- 4.4 Obiectivele procesului de simulare a funcționării brațului excavatorului

CAPITOLUL 5

ANALIZA MODALĂ A MODELULUI BRAȚULUI EXCAVATORULUI EsRc 1400

- 5.1 Considerații teoretice asupra analizei modale
 - 5.1.1 Grade de libertate ale sistemelor discrete și ale celor distribuite
 - 5.1.2 Aspecte generale ale analizei modale
 - 5.1.3 Rezonanța structurilor vibrante
- 5.2 Analiza frecvențelor modale ale brațului excavatorului EsRc 1400
 - 5.2.1 Analiza frecvențelor modale în prezența cablurilor de ridicare a săgeții
 - 5.2.2 Analiza frecvențelor modale în absența cablurilor de ridicare a săgeții
 - 5.2.3 Analiza frecvențelor modale în prezența cablurilor de ridicare a săgeții fără accelerație gravitațională

CAPITOLUL 6

ANALIZA DINAMICĂ LINIARĂ A RĂSPUNSULUI ÎN TIMP A MODELULUI BRAȚULUI EXCAVATORULUI EsRc 1400

- 6.1 Prezentarea principiului de analiză dinamică a răspunsului în timp a structurii
- 6.2 Analiza dinamică a răspunsului în timp în regim permanent pentru amortizare globală constantă
 - 6.2.1 Analiza dinamică a răspunsului în timp în regim permanent pentru amortizarea globală de 10%
 - 6.2.2 Analiza dinamică a răspunsului în timp în regim permanent pentru amortizarea globală de 5%
 - 6.2.3 Analiza dinamică a răspunsului în timp în regim permanent pentru amortizarea globală de 2%
- 6.3 Analiza dinamică a răspunsului în timp la suprasarcină pentru amortizare globală constantă
 - 6.3.1 Analiza dinamică a răspunsului în timp la suprasarcină pentru amortizarea globală de 10%
 - 6.3.2 Analiza dinamică a răspunsului în timp la suprasarcină pentru amortizarea globală de 5%
 - 6.3.3 Analiza dinamică a răspunsului în timp la suprasarcină pentru amortizarea globală de 2%
- 6.4 Analiza dinamică a răspunsului în timp pentru amortizare globală variabilă în funcție de frecvențele modale
 - 6.4.1 Analiza dinamică a răspunsului în timp în regim permanent pentru amortizare globală variabilă în funcție de frecvențele modale
 - 6.4.2 Analiza dinamică a răspunsului în timp la suprasarcină pentru amortizare globală variabilă în funcție de frecvențele modale

CAPITOLUL 7

ANALIZA DINAMICĂ LINIARĂ A RĂSPUNSULUI ÎN FRECVENȚĂ A MODELULUI BRAȚULUI EXCAVATORULUI EsRc 1400

- 7.1 Prezentarea principiului de analiză dinamică a răspunsului în frecvență a structurii
- 7.2 Analiza dinamică a răspunsului în frecvență considerând amortizarea globală constantă.

- 7.2.1 Analiza dinamică a răspunsului în frecvență pentru direcția X pentru amortizare globală constantă
- 7.2.2 Analiza dinamică a răspunsului în frecvență pentru direcția Y pentru amortizare globală constantă
- 7.2.3 Analiza dinamică a răspunsului în frecvență pentru direcția Z pentru amortizare globală constantă
- 7.2.4 Analiza dinamică în frecvență a răspunsului rezultat pentru amortizare globală constantă
- 7.3 Analiza dinamică a răspunsului în frecvență considerând amortizarea variabilă în funcție de frecvențele modale
 - 7.3.1 Analiza dinamică a răspunsului în frecvență pentru direcția X pentru amortizare variabilă
 - 7.3.2 Analiza dinamică a răspunsului în frecvență pentru direcția Y pentru amortizare variabilă
 - 7.3.3 Analiza dinamică a răspunsului în frecvență pentru direcția Z pentru amortizare variabilă
 - 7.3.4 Analiza dinamică în frecvență a răspunsului rezultat pentru amortizare variabilă

CAPITOLUL 8

ANALIZA DINAMICĂ A MODELULUI BRAȚULUI EXCAVATORULUI EsRc 1400 UTILIZÂND AMORTIZARE RAYLEIGH

- 8.1 Considerații generale asupra amortizării Rayleigh
- 8.2 Determinarea constantelor de amortizare α și β
- 8.3 Analiza dinamică a răspunsului în timp pentru amortizare Rayleigh
- 8.4 Analiza dinamică a răspunsului în frecvență pentru amortizare Rayleigh

CAPITOLUL 9

ANALIZA STATICĂ A MODELULUI BRAȚULUI EXCAVATORULUI EsRc 1400 CONCLUZIILE GENERALE, CONTRIBUȚII PROPRII ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

BIBLIOGRAFIE

ANEXA 1

Exploatarea zăcămintelor din cariere se realizează prin funcționarea continuă a echipamentelor din fluxul de producție constând în excavatoarele cu rotor, mașinile de haldat și utilajele de depozitare.

Excavatorul cu rotor este un utilaj cu acțiune continuă utilizat în exploatarea miniere de suprafață. Acesta taie roca cu ajutorul cupelor montate pe rotor, executând în același timp și transportul materialului dislocat cu ajutorul benzii montate pe brațul rotorului și a benzilor de preluare și de predare spre mijlocul de transport continuu din carieră. Organul de lucru este rotorul, care execută prin intermediul brațului o mișcare de rotație în plan vertical sub acțiunea cablurilor de ridicare și o mișcare de pivotare în planul orizontal prin intermediul mecanismului de rotire.

Pentru excavatoarele cu rotor procesul de tăiere-așchiere este influențat de forțele care se opun la înaintarea organelor de lucru și așchietoare. În funcție de aceste forțe se determină alegerea metodei de exploatare, a utilajelor utilizate și a parametrilor de funcționare a excavatoarelor.

Valoarea forțelor de tăiere se poate determina prin calcul sau prin metode experimentale. Mărimile lor va impune parametri constructivi ai organelor de lucru și poziția acestora în timpul procesului de exploatare.

Rezistența la săpare a rocilor este influențată și de poziția pe care o are partea așchietoare a organului de lucru față de stratul în care se efectuează tăierea. În acest sens sunt determinante unghiurile dintre organul de lucru și suprafața de contact a rocii excavate.

Analiza cauzelor care determină întreruperea funcționării excavatoarelor a evidențiat că defecțiunile sistemului de tăiere și încărcare, în care este inclusă și structura portantă a roții portcupe, au o pondere de aproximativ 32% din totalul defecțiunilor subansamblelor mecanice.

Obiectivul principal urmărit în Teza de doctorat este realizarea unui model virtual al sistemului de tăiere și încărcare care să permită simularea efectelor produse de procesul de excavare. Astfel, modelul virtual va putea fi utilizat în studiul oboselii care apare în special la structura portantă a roții portcupe. Defectele care afectează această structură pot genera evenimente grave care pot conduce atât la pierderi economice însemnate cât și la pierderi de vieți omenești.

Sistemul de tăiere și încărcare este supus acțiunii unor forțe variabile în timp, cu caracter periodic, produse de:

- funcționarea benzii transportoare montate de-a lungul structurii portante;
- sistemul de acționare a roții portcupe;
- forțele de excavare, care sunt compuse din:
 - forțele corespunzătoare rezistenței la săpare;
 - forțele corespunzătoare greutateii materialului excavat.

Trebuie precizat faptul că dintre forțele periodice enumerate, cele mai mari valori sunt înregistrate de forțele de excavare.

Metoda de cercetare aplicată în vederea realizării obiectivului enunțat s-a axat în principal pe:

- analiza cu element finit a comportamentului dinților de pe cupele excavatoarelor cu rotor;
- determinarea puterii de acționare a roții portcupe;
- determinarea momentului motor și a forțelor care acționează la nivelul axului roții portcupe;
- crearea unui model virtual utilizând aplicația SOLIDWORKS al sistemului de tăiere și încărcare;
- analiza modală a modelului virtual al brațului excavatorului;
- analiza răspunsului în timp a modelului sistemului de tăiere și încărcare sub acțiunea forțelor de excavare;
- analiza răspunsului în frecvență a modelului sistemului de tăiere și încărcare sub acțiunea forțelor de excavare;
- propunerea unor direcții de cercetare referitoare la studiul oboselii pentru structura portantă a roții portcupe și la studiul răspunsului dinamic în frecvență a acesteia pentru valori diferite ale unghiului de înclinare a săgeții excavatorului.

Obiectivele propuse au determinat organizarea Tezei de doctorat în nouă capitole:

CAPITOLUL 1 – ASPECTE TEORETICE PRIVIND DISLOCAREA PRIN AȘCHIERE A CĂRBUNELUI. În cadrul acestui capitol sunt prezentate caracteristicile cărbunelui la tăiere mecanică și este evidențiat caracterul aleatoriu al forțelor de așchiere.

CAPITOLUL 2 – ÎMBUNĂTĂȚIREA PERFORMANȚELOR FUNCȚIONALE ALE DINȚILOR EXCAVATOARELOR CU ROTOR UTILIZÂND METODA ELEMENTULUI FINIT. Aici sunt prezentate conceptele fundamentale ale metodei elementului finit, pașii fundamentali ai realizării analizei cu element finit, construirea și rezolvarea modelului, precum și interpretarea rezultatelor. O parte importantă a acestui capitol este dedicată analizei cu element finit a comportamentului dinților excavatoarelor cu rotor. Aici sunt prezentați

parametri geometrici ai dinților excavatoarelor cu rotor, evidențiindu-se influența amplasării dinților pe muchia tăietoare a cupelor asupra parametrilor geometrici și de rezistență. La finalul capitolului sunt prezentate o serie de soluții pentru reducerea solicitărilor din dinte.

CAPITOLUL 3 – SIMULAREA ȘI MODELAREA PARAMETRILOR DE FUNCȚIONARE A ROTORULUI EXCAVATOARELOR ÎN TIMPUL PROCESULUI DE EXCAVARE. La începutul capitolului sunt prezentate o serie de considerații generale referitoare la excavatoarele cu rotor. Sunt definiți parametri de excavare și se prezintă modul de calcul al acestora. Definierea și calculul parametrilor de așchiere constituie punctul de pornire pentru realizarea în cadrul acestui capitol a unei metode grafo-numerice de calcul a puterii de acționare a rotorului excavatorului. În ultima parte a capitolului 3 este prezentată o metodă de determinare prin modelare și simulare a puterii de acționare a rotorului excavatorului utilizând aplicația SOLIDWORKS®.

CAPITOLUL 4 – MODEL AL BRAȚULUI EXCAVATORULUI EsRc 1400 30/7 DESTINAT SIMULĂRII PROCESULUI DE EXCAVARE. Scopul urmărit în cadrul acestui capitol îl constituie realizarea unui model al brațului excavatorului ERc 1400-30/7. Acest model va fi utilizat pentru modelarea și simularea comportamentului săgeții excavatorului la solicitarea de excavare. Pentru aceasta am considerat că brațul excavatorului este compus din trei tronsoane, pe care le-am construit și asamblat cu aplicația SOLIDWORKS®. Complexitatea constructivă a roții portcupe a impus realizarea unui rotor virtual care să aibă aceeași masă și formă cu a rotorului real. Toate echipamentele și utilajele montate pe săgeata excavatorului au fost impuse prin elemente specifice aplicației SOLIDWORKS®. Cele zece cabluri de ridicare a săgeții excavatorului au fost modelate prin elemente de tip resort care au o constantă elastică echivalentă, egală cu cea a sistemului de cabluri.

CAPITOLUL 5 – ANALIZA MODALĂ A MODELULUI BRAȚULUI EXCAVATORULUI EsRc 1400. La începutul capitolului 5 sunt prezentate considerațiile teoretice referitoare la analiza modală și se introduc conceptele de sisteme discrete și sisteme distribuite. Acestea din urmă stau la baza metodei de analiză modală prin superpoziție. Scopul analizei modale îl constituie determinarea numărului de moduri care trebuie să fie considerat la analiza dinamică a brațului excavatorului pentru solicitarea de excavare. În acest sens este fundamentală determinarea factorilor efectivi cumulativi de participare a maselor pe cele trei direcții ale sistemului de coordonate.

CAPITOLUL 6 – ANALIZA DINAMICĂ LINIARĂ A RĂSPUNSULUI ÎN TIMP A MODELULUI BRAȚULUI EXCAVATORULUI EsRc 1400. Capitolul debutează prin prezentarea principiului de analiză dinamică a răspunsului în timp a brațului excavatorului.

Forțele care simulează solicitarea de excavare atât în regim permanent cât și la suprasarcină au fost determinate în cadrul Capitolului 3. Analiza a fost efectuată pentru cele trei direcții ale sistemului de coordonate pentru amortizări globale de 2%, 5% și 10% din amortizarea critică cât și pentru amortizare variabilă în funcție de frecvențele modale. Au fost determinate graficele de variație ale accelerației și cele ale deformărilor sub acțiunea forțelor de excavare. Rezultatele referitoare la accelerații prin comparare cu determinările experimentale validează modelul de simulare a brațului excavatorului.

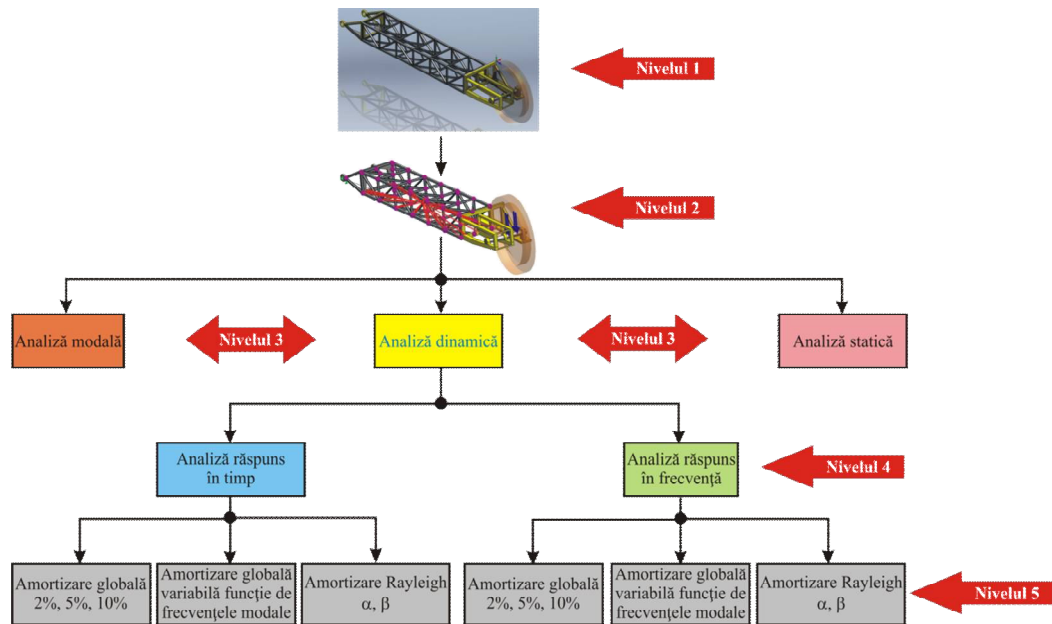
CAPITOLUL 7 – ANALIZA DINAMICĂ LINIARĂ A RĂSPUNSULUI ÎN FRECVENȚĂ A MODELULUI BRAȚULUI EXCAVATORULUI EsRc 1400. Ca și în capitolul precedent este prezentat pentru început principiul de analiză dinamică a răspunsului în frecvență a brațului excavatorului. Acum am considerat variația forței periodice din regimul permanent pe un interval de timp corespunzător unei perioade. Am aproximat variația forței printr-o serie Fourier. Acest lucru a permis trasarea graficului de variație a forței în funcție de frecvență. Valorile corespunzătoare acestui grafic au fost utilizate în aplicația SOLIDWORKS® pentru determinarea răspunsului în frecvență a structurii brațului excavatorului.

CAPITOLUL 8 – ANALIZA DINAMICĂ A MODELULUI BRAȚULUI EXCAVATORULUI EsRc 1400 UTILIZÂND AMORTIZARE RAYLEIGH. Pentru început sunt prezentate considerațiile generale asupra amortizării Rayleigh. Pentru aceasta, utilizând rezultatele analizei modale am determinat valorile celor două constante de amortizare specifice vâscozității și elasticității. Utilizând aplicația SOLIDWORKS® și impunând o amortizare de tip Rayleigh am determinat răspunsul dinamic în timp și în frecvență a structurii brațului excavatorului pentru cele trei direcții ale sistemului de coordonate. Totodată în cadrul acestui capitol am evidențiat deformările rezultate asupra brațului excavatorului în urma analizei dinamice a răspunsului în timp.

CAPITOLUL 9 - ANALIZA STATICĂ A MODELULUI BRAȚULUI EXCAVATORULUI EsRc 1400. Analiza statică a modelului brațului excavatorului a fost efectuată luând în considerare greutatea proprie a săgeții excavatorului, greutatea lanțului cinematic de acționare a roții portcupe, greutatea transportorului montat în interiorul brațului excavatorului, greutatea rotorului virtual și valoarea efectivă a forței rezultată în urma procesului de excavare. Am determinat astfel deformările structurii brațului excavatorului, diagramele forțelor axiale și de forfecare precum și diagrama momentelor corespunzătoare solicitării statice.

CONCLUZIILE GENERALE, CONTRIBUȚII PROPRII ȘI DIRECȚII VIITOARE DE

CERCETARE



Obiectivele analizei brațului excavatorului în timpul procesului de excavare

La finalul tezei sunt prezentate propuneri pentru direcțiile viitoare de cercetare și contribuțiile proprii care constau în:

- analiza cu element finit a tensiunii von Mises și a deformării dinților cu care sunt echipate excavatoarele din Bazinul Olteniei, ținând cont de condițiile de prindere a acestora de cupe;
- proiectarea unor dispozitive portdinte care să îmbrace mai bine coada dintelui în vederea creșterii fiabilității acestora, prin diminuarea tensiunii von Mises și a deformării dinților;
- conceperea unei metode grafonumerice de determinare a puterii de acționare a rotorului excavatoarelor, pornind de la determinarea volumului unei felii excavate la o trecere a brațului și ținând cont de consumul specific de energie la excavare;
- conceperea unei metode numerice de determinare a puterii de acționare a rotorului excavatoarelor. Această metodă permite determinarea graficului de variație în timp a forței de excavare, care reprezintă sursa vibrațiilor în studiul regimului dinamic al săgeții excavatorului;
- am realizat un model virtual al brațului excavatorului EsRc 1400. Validarea acestuia prin compararea rezultatelor simulării referitoare la răspunsul în timp al

structurii portante cu determinările experimentale, permite utilizarea conceptelor constructive ale acestuia la studiul brațului portcupe a altor tipuri de excavatoare;