



ȘCOALA DOCTORALĂ
Domeniul de doctorat: Mine, Petrol și Gaze

TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

ANALIZA FENOMENULUI DE OBOSEALĂ A STRUCTURII PORTANTE LA UTILAJELE DE EXTRAGERE ȘI DEPOZITARE

Conducător de doctorat:
Prof.univ.dr.habil.ing. **TODERAȘ Mihaela**

Student doctorand:
Ing.ec. LIHOACĂ Alexandra

PETROSANI
2024

CUPRINS

	Pag.
INTRODUCERE	3
CAPITOLUL 1	
UTILAJE GRELE MOBILE CU ROATĂ PORTCUPE ÎN CARIERELE DE EXTRACȚIE ȘI DEPOZITELE DE CĂRBUNE	10
1.1 Amplasament și modul de utilizare a utilajelor cu roată portcupe	10
1.2. Utilaje grele mobile utilizate în depozitele de cărbune	14
1.2.1. Mașini combinate de scos din depozit și stivuit cu rotor tip T3855, KsS 5600	16
1.2.2 Mașina de depus cărbune în stivă tip AsG	18
1.3. Utilajele grele mobile cu rotor utilizate la extragerea lignitului	20
1.3.1 Excavatorul cu roată portcupe tip SRs 1300–26/3,5	22
1.3.2 Excavator cu roată portcupe tip ERc1400 – 30/7	24
1.3.3 Excavator cu roată portcupe tip SRs 2000-30/7	27
CAPITOLUL 2	
BAZELE TEORETICE ALE FENOMENULUI DE OBOSEALĂ LA UTILAJELE MINIERE	30
2.1 Mecanica forțelor de excavare. Influența asupra structurii portante	30
2.2 Materiale metalice utilizate în structura de rezistență	33
2.3 Analiza fenomenului de oboseală – degradare mecanică	37
2.4 Abordarea tensiunilor mecanice la îmbinările sudate	45
2.4.1 Abordarea prin metoda tensiunii nominale	47
2.4.2 Abordarea prin metoda tensiunii structurale	51
CAPITOLUL 3	
ANALIZA STRUCTURILOR METALICE PORTANTE A UTILAJELOR GRELE MOBILE	58
3.1 Incărcări asupra structurilor metalice portante ale utilajelor	59
3.2 Caracteristici de rezistență ale materialelor componente	64
3.2.1 Stabilirea gradului de degradare structurală	65
3.2.2. Proceduri experimentale în determinarea degradării structural	67
3.3 Analiza fenomenului de oboseală prin vibrații aleatoare în structurile portante	75
3.3.1 Transformata Fourier	84
3.3.2. Densitatea spectrală de putere	86
3.3.3 Metoda Dirlik	87
CAPITOLUL 4	
MECANICA RUPERII ELASTICE LINIARE ÎN ESTIMAREA DURATEI REMANENTE DE FUNCȚIONARE A UTILAJELOR GRELE MOBILE DIN CADRUL EXPLOATĂRII ÎN CARIERĂ A CĂRBUNELUI	92
4.1. Studiu bibliografic	94

4.2. Mecanica fracturării liniare elastice (LEFM)	97
4.3. Studiul propagării fisurii folosind factorul de intensitate a tensiunii	101
4.4. Rezultatele aplicării metodei mecanicii ruperii elastice liniare	111
4.5. Concluzii	119
CAPITOLUL 5	
INSTRUMENTAȚIE ȘI MODELARE STRUCTURALĂ ÎN ANALIZA UTILAJELOR MINIERE	123
5.1. Introducere	123
5.2. Tensometria electrorezistivă	125
5.2.1 Principii și tehnici de tensometrie	125
5.2.2 Utilizarea tensometriei în măsurători statice/dinamice	131
5.3. Analiza cu accelerometre	133
5.3.1. Principiile analizei cu accelerometre	133
5.3.2 Utilizarea accelerometrelor în măsurători de vibrații	133
5.4. Modelarea utilajelor miniere prin metoda elementului finit	137
5.5. Aplicarea metodei Dirlik în analiza la oboseală la utilajele miniere	147
5.5.1. Procedura de aplicare pe utilaje miniere	147
5.5.2 Aplicarea metodei Dirlik în analiza oboselii la utilajul tip Kss 5600/5600	149
5.6. Concluzii generale și recomandări	160
CONSIDERAȚII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE, DIRECȚII VIITORE DE CERCETARE	162
Considerații și concluzii finale	162
Contribuții originale	174
Recomandări și direcții viitoare de cercetare	176
BIBLIOGRAFIE	177

Cuvinte cheie: utilaje miniere grele; fenomen de oboseală; degradare mecanică; mecanica ruperii liniare elastice; analiză spectrală; metoda elementului finit; wavelet; analiza Weibull; curbele S-N (Wöhler) și Miner-Palmgren; tensometrie

Cărbunele va rămâne totuși una din singurele surse de energie fosilă care poate să aibă un rol deosebit de important ca sursă de energie de tranziție, în etapele de trecere la un sistem economic bazat pe sistemele energetice neepuizabile sau regenerabile. În cadrul sistemului energetic național, exploatarea zăcămintelor de cărbune ocupă un loc prioritar în vederea asigurării din resurse proprii, într-o proporție cât mai mare, a necesităților interne de energie electrică.

În domeniul minier, extragerea zăcămintelor implică parcurgerea continuă a operațiunilor tehnologice specifice, operații în care se folosesc tehnologii și utilaje de mare complexitate și productivitate, care urmăresc, prin ridicarea gradului de mecanizare, creșterea eficienței operațiilor de tăiere, încărcare și transport și implicit creșterea eficienței economice.

Obiectivul acestei teze de doctorat constă în analiza și evaluarea fenomenului de oboseală care se manifestă în elementele structurale de rezistență (a structurii portante) a utilajelor miniere grele folosite la extragerea și depozitarea în carierele de lignit. În funcție de locul unde se utilizează, aceste utilaje se pot grupa astfel: mașini, instalații și utilaje specifice exploatării subterane a substanțelor minerale utile; mașini, instalații și utilaje specifice exploatării și manipulării la suprafață a substanțelor minerale utile.

Teza de doctorat se înscrie în direcția analizei structurii metalice a excavatoarelor cu rotor, precum și a evaluării duratei de funcționare remanente în siguranță a acestora prin metode nedistructive.

Structura Tezei de doctorat

În **capitolul 1** am realizat o prezentare: a fluxului tehnologic pentru exploatare, transport și încărcare a cărbunelui în carieră; a utilajelor grele mobile utilizate în depozitele de cărbune și a celor cinci funcții succesive pe care le îndeplinește o mașină combinată de depunere și încărcare; mașinile combinate de scos din depozit și stivuit cu rotor tip T3855, KsS 5600/5600-40 și principalele mecanisme de acționare a acestora; utilajele grele mobile cu rotor utilizate la extragerea lignitului (excavatoarele cu roată portcupe).

În **capitolul 2** am analizat, din punct de vedere teoretic, fenomenul de oboseală manifestat în cadrul utilajelor miniere grele. Inițial, am realizat o analiză a mecanismului excavării la utilajele miniere și a componentelor spațiale ale sarcinii la adâncimea de tăiere, a forței de așchiere și am analizat influența variabilelor care apar în timpul excavării prin măsurarea tensometrică a deformațiilor specifice pe structura portantă a utilajelor miniere de excavare. Pentru a evidenția distribuția forței de excavare am efectuat o interpolare grafică cubică "splines cubice" a deformației specifice folosind timbre tensometrice poziționate pe utilaj. Fenomenul de oboseală a fost abordat prin prisma solicitărilor variabile care influențează structura mecanică. Capitolul include și analiza durabilității în condițiile solicitărilor ciclice, prin utilizarea curbelor Wöhler și a curbelor Miner-Palmgren și analiza Weibull pentru modelarea distribuției temporale a deteriorărilor. De asemenea, este abordată problema tensiunilor mecanice care se manifestă la îmbinările sudate ale structurilor

portante ale utilajelor miniere, în special la tiranții din tablă laminată cu grosimi diferite (prin metoda tensiunii nominale, prin metoda tensiunii structurale).

Capitolul 3 prezintă contribuțiile în analiza structurilor metalice portante ale utilajelor miniere grele. Determinarea gradului de degradare structurală și mecanică s-a realizat prin prelevarea materialului pentru execuția epruvetelor din structura metalică portantă a utilajului tip KSs5600/3800-40, având un număr de 76.138 de ore de funcționare de la punere în funcțiune. Epruvetele au fost supuse la încercări distructive pentru stabilirea degradării structurale a materialului supus forțelor de excavare, iar rezultatele au fost folosite la conturarea profilului comportamental al materialelor utilizate în structura portantă a echipamentelor de extracție și depozitare. Pe lângă aceste încercări, m realizat și analiza chimică a probelor de material, prin analiza spectrografică. Analiza Weibull a fost efectuată pentru a evalua distribuția probabilității de rupere și degradare a materialului din care sunt realizate epruvetele, prelevate din utilajul KSa5600. Evaluarea la oboseală pentru un utilaj minier acționat de forțe variabile, neperiodice, l-am efectuat utilizând analiza spectrală și metoda Dirlik.

În **capitolul 4** am prezentat o soluție de estimare a duratei remanente de funcționare a utilajelor miniere grele mobile utilizate în extragerea în carieră a lignitului. Pentru aceasta, având în vedere faptul că în cazul utilajelor de excavare și depunere, care au o durată de funcționare mai mare de 10^5 cicluri și un timp de operare de peste 115000 ore, este necesară o abordare combinată, în teza de doctorat am utilizat metoda σ -N pentru elementele structurale și metoda mecanicii ruperii, deoarece unele elemente prezintă deja fisuri sau inițieri de fisuri. Metoda de analiză statică a fracturării a fost aplicată în teza de doctorat pentru a determina integritatea structurală și punctele potențiale de rupere ale unei componente în condiții de încărcare constantă. Originalitatea constă în aplicarea metodei LEFM pentru analiza dezvoltării fisurilor, determinarea caracteristicilor materialului component al subansamblelor utilajelor miniere grele, dar și verificarea aplicabilității metodei și compararea rezultatelor modelării, folosind software-ul Fracture Mechanics Calculator, cu cele obținute din încercările efectuate. Această metodă a fost aplicată și pentru determinarea caracteristicilor mecanice ale probelor realizate din materialul prelevat din subansamblele a două utilaje de îndepărtare sau depunere a cărbunelui utilizate în cadrul exploatărilor miniere, și anume utilaj tip T2052, utilaj conceput după modelul este german KSa5600/5600. A fost verificată și aplicabilitatea metodei mecanicii ruperii elastice liniare LEFM la situația analizată. În acest capitol, a fost analizat și factorul de corecție de scalare geometrică, Y, pentru probele luate în considerare.

În **capitolul 5** este prezentată o analiză a instrumentației (aparatura) și modelarea structurală în analiza utilajelor miniere, concentrându-ne pe tehnici precum tensometria electrorezistivă, analiza cu accelerometru și metoda elementului finit. Analiza cu elemente finite include analiza tensiunilor și

deformațiilor sub diferite încărcături și condiții de funcționare. Este prezentată o abordare detaliată bazată pe analiza spectrală și la oboseală prin metoda Dirlik, pentru a investiga comportamentul utilajului Bucket Wheel Stacker – Reclaimer KsS 5600/3800×40 în mediul său operațional. Metodologia propusă implică evaluarea răspunsurilor dinamice ale utilajului în frecvență, utilizând datele din măsurători in situ, obținute în timpul procesului tehnologic de excavare. Pentru înțelegerea mecanismelor subiacente care contribuie la deformarea structurii a fost folosită analiza Wavelet, aceasta fiind o metodă este deosebit de utilă pentru a investiga detaliile locale ale semnalelor complexe în funcție de timp și frecvență, oferind astfel o perspectivă mai fină și mai detaliată decât alte metode de analiză spectrală. La finalul acestui capitol se stabilește și se exemplifică metodologia de lucru pentru stabilirea duratei de viață remanente prin aplicarea metodei Dirlik în analiza la oboseală.

Ultima parte a tezei de doctorat include **considerațiile finale ale studiilor efectuate, contribuțiile originale** în ceea ce privește analiza modului de manifestare a fenomenului de oboseală în structura portantă a utilajelor miniere grele mobile folosite în carierele de lignit și calculul duratei remanente de funcționare a acestor utilaje, precum și unele **recomandări și direcții de cercetare viitoare** în continuarea studierii acestei problematici.

Concluzii finale

Pentru a răspunde obiectivului principal al tezei, prima etapă în cercetare a constat în cunoașterea tipurilor de utilaje miniere utilizate în carierele de lignit din bazinul Olteniei. Analiza s-a focusat în special pe mașinile combinate de depunere și încărcare, mașinile combinate de scos materialul din depozit și stivuitorul cu rotor tip T3855, KsS 5600 și principalele mecanisme de acționare a acestora, precum și pe utilajele grele mobile cu rotor utilizate la extragerea lignitului (în cazul de față fiind vorba de excavatoarele cu roată portcupe). În concluzie, analiza utilajelor grele mobile cu roată portcupe în carierele de extracție și depozitele de cărbune relevă o serie de aspecte esențiale pentru industria minieră. Concluziile personale finale la analiza acestor utilaje se referă la: *caracteristicile și performanțele utilajelor: impactul factorilor externi asupra utilajelor.*

Capitolul 2 al tezei de doctorat prezintă o analiză detaliată a fenomenului de oboseală și degradare mecanică la structurile metalice ale utilajelor miniere. În acest capitol am evidențiat importanța unei analize detaliate și a unei monitorizări constante a fenomenului de oboseală la utilajele miniere, utilizând metode avansate de evaluare și materiale de înaltă calitate pentru a asigura durabilitatea și siguranța în operare. În urma studiului realizat, am formulat următoarele concluzii principale cu privire la: *mecanica forțelor de excavare; materiale metalice utilizate; analiza*

fenomenului de oboseală; analiza tensiunilor la îmbinările sudate (metoda tensiunii nominale, metoda tensiunii locale, utilizarea traductoarelor electrorezistive); analiza durabilității (analiza Weibull).

Capitolul 3 al lucrării se concentrează pe analiza structurilor metalice portante ale utilajelor grele mobile utilizate în minieră, cu accent pe identificarea și evaluarea încărcărilor care acționează asupra acestor structuri, caracteristicile mecanice ale materialelor componente și analiza fenomenului de oboseală prin vibrații aleatoare. În acest capitol este subliniată importanța unei analize detaliate și riguroase a structurilor metalice portante ale utilajelor grele mobile, utilizând metode avansate de evaluare a încărcărilor, caracteristicilor mecanice și fenomenelor de oboseală. Aceste analize sunt esențiale pentru asigurarea siguranței și durabilității structurilor în condițiile solicitante ale exploatarea miniere. Principalele concluzii sunt prezentate în continuare:

- 1) *Încărcările asupra structurilor metalice portante;*
- 2) *Caracteristicile mecanice de rezistență ale materialelor componente;*
- 3) *Determinarea gradului de degradare structurală și mecanică;*
- 4) *Analiza fenomenului de oboseală prin vibrații aleatoare (metoda lui Wohler și analiza vibrațiilor pentru evaluarea durabilității și performanței structurilor sub solicitări repetate);*
- 5) *Metoda Dirlik pentru evaluarea oboselii.*

În capitolul 4 a fost estimată durata remanentă de funcționare a utilajelor grele mobile utilizate în exploatarea în carieră a cărbunelui, pe baza mecanicii ruperii elastice liniare. Din cercetările și analizele efectuate, pot fi menționate următoarele concluzii principale:

- 1) *Creșterea fisurii în funcție de numărul de cicluri (a-N);*
- 2) *Rata de creștere a fisurii în funcție de ΔK (da/dN - ΔK);*
- 3) *Factorul intensității tensiunii în funcție de lungimea fisurii (K - a);*
- 4) *Durata de viață în funcție de lungimea inițială a fisurii (N - a_i);*
- 5) *Analiza Weibull: calculul parametrilor Weibull pentru fisura centrală și laterală; analiza funcțiilor de distribuție Weibull; variabilitatea parametrilor Weibull;*
- 6) *Comportamentul fisurilor: creșterea fisurii în funcție de numărul de cicluri (a-N) pentru fisurile laterale comparativ cu cele centrale; rata de creștere a fisurii (da/dN - ΔK) conform legii Paris-Erdogan;*
- 6) *Distribuția factorului intensității tensiunii;*
- 7) *Estimarea duratei de viață și evidențierea zonelor de vulnerabilitate crescută.*

- 8) *Parametrii Weibull* calculați pentru fisurile centrale și laterale au furnizat informații detaliate despre probabilitatea de cedare;
- 9) Analiza mecanicii ruperii combinată cu evaluarea probabilității de cedare prin metoda Weibull oferă un cadru robust pentru înțelegerea comportamentului fisurilor și a durabilității materialelor sub solicitări ciclice;
- 10) *Evaluarea și considerațiile experimentale ale metodei.*

În capitolul 5 este prezentată o abordare detaliată bazată pe analiza spectrală și la oboseală prin metoda Dirlik, pentru a investiga comportamentul utilajului Bucket Wheel Stacker - Reclaimer KsS 5600/3800x40 în mediul său operațional. Concluzii principale rezultate din analizele experimentale realizate, precizez:

- 1) *Importanța metrologiei și instrumentației* (utilizarea senzorilor și traductorilor electrorezistivi);
- 2) *Tensometria electrorezistivă* (se pot determina tensiunile și deformațiile în structurile analizate, oferind date precise pentru evaluarea comportamentului materialelor sub solicitări mecanice);
- 3) *Analiza cu accelerometre* (pentru măsurarea vibrațiilor și evaluarea comportamentului dinamic al utilajelor miniere);
- 4) *Metoda elementului finit (MEF)* permite evaluarea tensiunilor, deformațiilor și a altor caracteristici relevante ale utilajelor miniere, oferind o imagine detaliată a comportamentului structural sub diferite încărcături și condiții de operare;
- 5) *Aplicarea metodei Dirlik în Analiza la Oboseală, stabilirea metodologiei de lucru pentru stabilirea duratei de viață remanente:*
 - Metoda Dirlik este utilizată pentru a evalua comportamentul la oboseală al structurilor expuse la încărcări aleatoare;
 - Analiza spectrală și utilizarea PSD (densitatea spectrală de putere) permit o evaluare detaliată a distribuției energiei în funcție de frecvență, oferind informații esențiale pentru estimarea duratei de viață a structurilor miniere.

Detalierea și interpretarea graficelor în analiza duratei de viață utilizând metoda Dirlik și analiza Wavelet

Frecvența dominantă și analiza spectrală

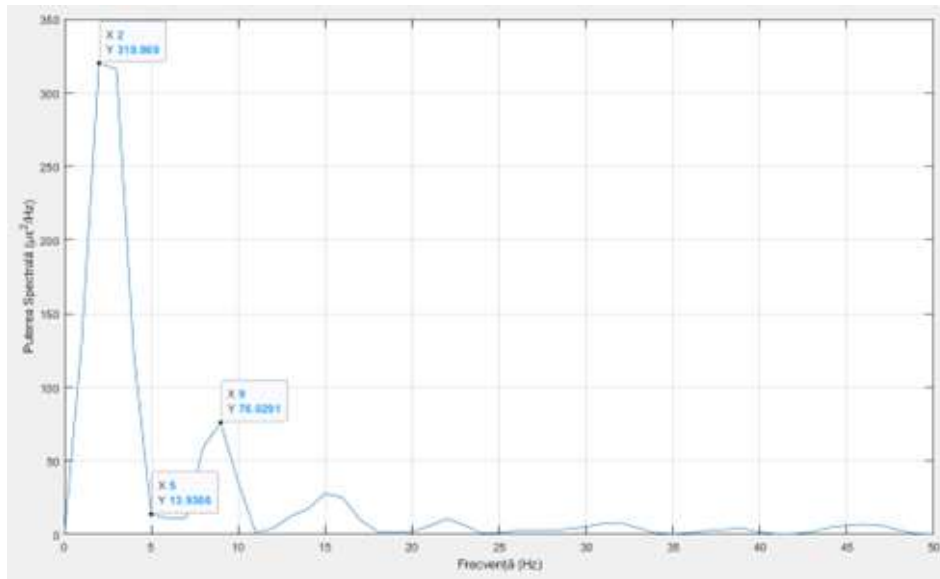


Figura 6.1 Densitatea Spectrală de Putere (PSD)

Puterea spectrală a frecvenței:

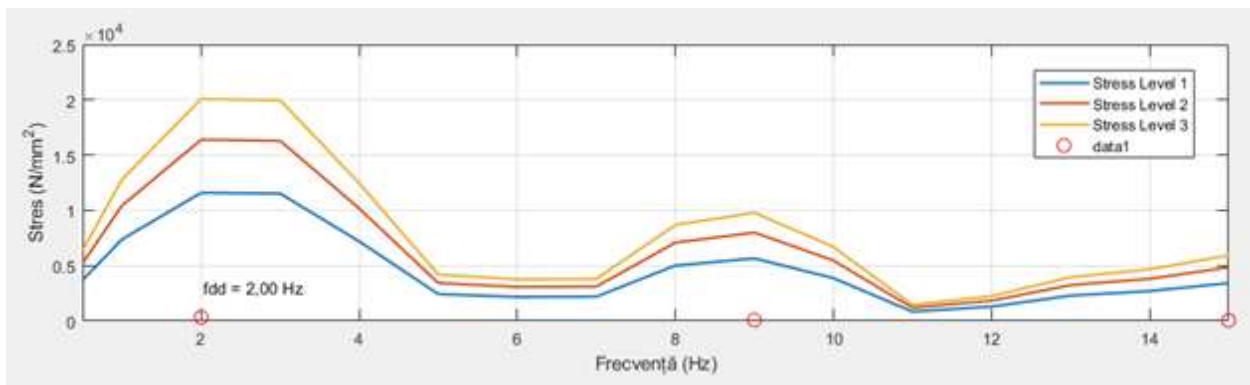


Figura 6.2. Distribuția energetică în funcție de frecvență și nivelele de tensiune asociate

Analiza Wavelet

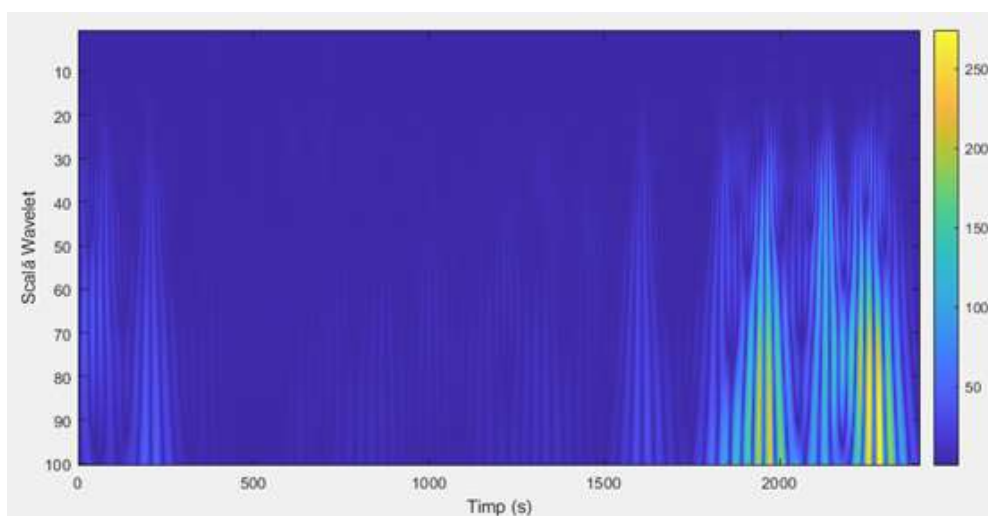


Figura 6.3. Scalograma Wavelet

Metoda Dirlik și analiza oboselii

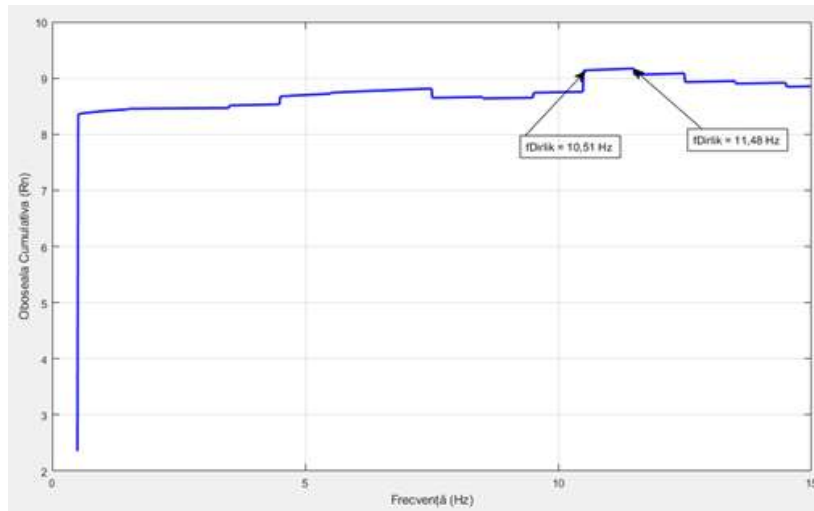


Figura 6.4. Oboseala cumulată în funcție de frecvență

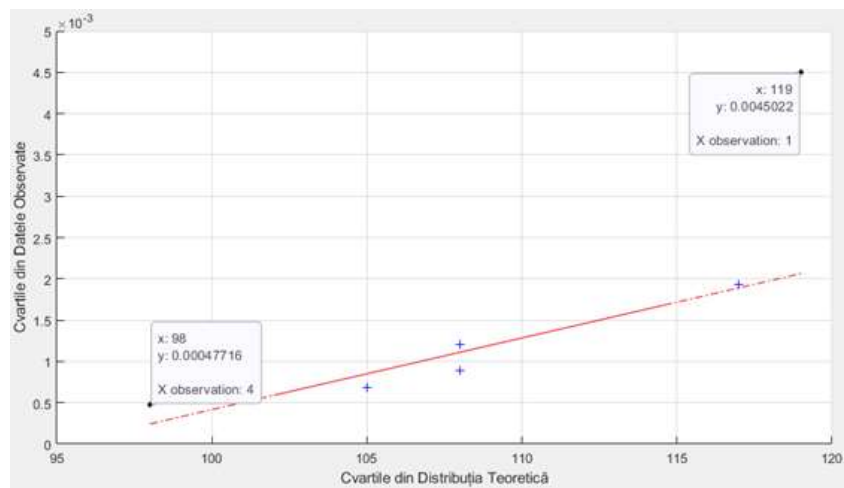


Figura 6.5. Q-Q Plot pentru distribuția Weibull

Evaluarea distribuției perioadelor și frecvențelor

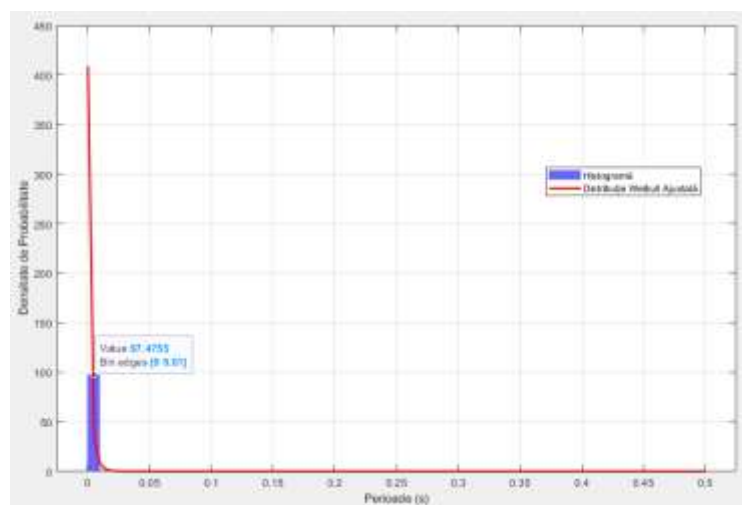


Figura 6.6. Histograma frecvențelor de interes pentru distribuția Weibull ajustată

6) Cercetare și măsurători in situ:

- Colectarea datelor prin măsurători in situ este crucială pentru validarea modelelor teoretice și pentru a obține o imagine clară a comportamentului real al utilajelor miniere.
- Utilizarea sistemelor de achiziție de date, cum ar fi Fastview și accelerometrele piezoelectrice, permite monitorizarea continuă a parametrilor critici și evaluarea dinamicii structurale în condiții reale de operare.

Concluzii generale:

- a) *Integrarea metodelor* de tensometrie electrozistivă, analiza cu accelerometre și MEF pentru evaluarea comportamentului structural al utilajelor miniere. Aceste metode permit identificarea și prevenirea potențialelor defecțiuni structurale, asigurând astfel o operare sigură și eficientă.
- b) *Analiza la oboseală* utilizând metoda Dirlik și analiza spectrală oferă o imagine detaliată a durabilității structurilor miniere sub încărcări aleatoare, contribuind la optimizarea proiectării și mentenanței acestor utilaje.
- c) *Importanța măsurătorilor in situ*: acestea sunt esențiale pentru validarea modelelor teoretice și pentru a obține date precise despre comportamentul real al structurilor miniere în condiții de operare; permit monitorizarea continuă a stării de sănătate a structurilor și adoptarea unor măsuri preventive adecvate.

Contribuții originale

Principalele contribuții reieșite din teza de doctorat sunt următoarele:

1. Analiza caracteristicilor și performanțelor utilajelor grele mobile cu roată portcupe utilizate în carierele de lignit din bazinul Olteniei;
2. Analiza impactului factorilor externi asupra utilajelor miniere grele mobile în vederea elaborării unei metodologii de estimare a duratei de funcționare a structurilor metalice portante în condiții de siguranță;
3. Studiu detaliat al mecanicii forțelor de excavare și influența acestor forțe complexe, neuniforme și aleatoare asupra structurii portante a utilajelor miniere;
4. Analiza caracteristicilor materialelor metalice utilizate pentru contravântuiri și grinzi portante și influența lor asupra rezistenței la oboseală a structurilor;
5. Analiza fenomenului de oboseală prin intermediul curbelor S-N (Wöhler) și Miner-Palmgren pentru evaluarea comportamentului materialelor și al structurilor în fața solicitărilor ciclice; distribuția tensiunilor și variația lor în funcție de material și condițiile de operare;

6. Analiza tensiunilor în îmbinările sudate prin metoda tensiunilor nominale, metoda tensiunii locale și prin utilizarea traductoarelor electrorezistive (TER) pentru măsurarea tensiunilor nominale și a tensiunilor locale în zonele critice ale îmbinărilor sudate;
7. Analiza durabilității prin metode statistice – analiza Weibull, cu obținerea rezultatelor referitoare la: distribuția temporală a eșecurilor și probabilitatea de degradare a materialelor structurale, parametrii de formă și scală ai distribuției Weibull, indicatori foarte importanți în evaluarea duratei de viață și a ratei de degradare a utilajelor;
8. Prelevarea de probe din structurile portante din utilajul KSs5600/3800-40 și efectuarea de analize amănunțite ale proprietăților mecanice și chimice ale materialelor componente și determinarea gradului de degradare structurală și mecanică; analiza chimică a probelor de material, prin analiza spectrografică;
9. Analiza fenomenului de oboseală prin vibrații aleatoare și calculul la oboseală pentru un utilaj minier acționat de forțe variabile, neperiodice utilizând analiza spectrală și metoda Dirlik;
10. Am propus o soluție de estimare a duratei remanente de funcționare a utilajelor miniere grele mobile utilizate în extragerea în carieră a lignitului prin metoda σ -N pentru elementele structurale și metoda mecanicii ruperii, deoarece unele elemente prezintă deja fisuri sau inițieri de fisuri. O contribuție semnificativă o constituie aplicarea metodei LEFM pentru analiza dezvoltării fisurilor, determinarea caracteristicilor materialului component al subansamblelor utilajelor miniere grele, dar și verificarea aplicabilității metodei și compararea rezultatelor modelării cu cele obținute din încercările efectuate.
11. Am realizat modelarea structurală în analiza utilajelor miniere, prin aplicarea tensometriei electrorezistivă, analiza cu accelerometre și metoda elementului finit;
12. Analiza spectrală și la oboseală prin metoda Dirlik, pentru a investiga comportamentul utilajului Bucket Wheel Stacker - Reclaimer KsS 5600/3800x40 în mediul său operațional. Metodologia propusă implică evaluarea răspunsurilor dinamice ale utilajului în frecvență, utilizând datele din măsurători in situ, obținute în timpul procesului tehnologic de excavare;
13. Am propus și exemplificat în cuprinsul tezei metodologia de lucru pentru stabilirea duratei de viață remanente prin aplicarea metodei Dirlik în analiza la oboseală.

Recomandări și direcții viitoare de cercetare

- 1) **Îmbunătățirea metodelor de analiză:** Se recomandă continuarea cercetărilor pentru a perfecționa metodele de analiză a oboselii, inclusiv integrarea unor modele mai avansate de comportament material și a unor tehnici de monitorizare în timp real.

- 2) **Aplicarea tehnologiilor avansate:** Utilizarea senzorilor de înaltă precizie și a tehnologiilor IoT pentru monitorizarea continuă a stării structurilor portante poate oferi date esențiale pentru prevenirea avariilor și optimizarea întreținerii.
- 3) **Extinderea studiilor:** Este important să se extindă studiile pentru a include o gamă mai largă de utilaje și condiții de operare, pentru a valida și generaliza concluziile obținute în această lucrare.
- 4) **Dezvoltarea de programe de formare:** Implementarea unor programe de formare pentru inginerii și tehnicienii din domeniul minier, axate pe utilizarea și interpretarea metodelor avansate de analiză a oboselii, poate contribui la creșterea siguranței și eficienței operaționale.
- 5) **Sistem de monitorizare:** Introducerea monitorizării parțiale a funcționării principalelor subansambluri din componența excavatorului cu rotor și generalizarea acesteia în întreg bazinul Olteniei.