

*Studiul duratei de viață pentru utilajele de extragere și depunere în depozite
utilizate în carierele din bazinul Oltenia*

**MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI**

ing. VÎLCEANU V. FLORIN

TEZĂ DE DOCTORAT

***STUDIUL DURATEI DE VIAȚĂ PENTRU UTILAJELE
DE EXTRAGERE ȘI DEPUNERE ÎN DEPOZITE,
UTILIZATE ÎN CARIERELE DIN BAZINUL OLTENIEI***

**CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC
Prof.univ.dr.ing. RADU SORIN MIHAI**

PETROȘANI, 2018

*Studiul duratei de viață pentru utilajele de extragere și depunere în depozite
utilizate în carierele din bazinul Oltenia*

CUPRINS

Prefață

Introducere

CAPITOLUL 1

**UTILAJE FOLOSITE ÎN FLUXURILE TEHNOLOGICE DE
EXTRAGERE ȘI DEPOZITARE.....**

1.1 Criterii de clasificare după locul de funcționare.....	1
1.2 Utilaje pentru excavație, componență și funcționare.....	5
1.2.1 Excavator cu roată portcupe tip SRs 1300 - 26/3,5.....	5
1.2.2 Excavator cu roată portcupe tip ERc1400 – 30/7.....	8
1.2.3 Excavator cu roată portcupe tip SRs 2000- 30/7.....	12
1.3 Utilaje pentru depozitare, componență și funcționare.....	15
1.3.1. Utilaje pentru depozitare din carierele de suprafață.....	15
1.3. 2. Utilaje pentru depozitare - mașina de scos și depus cărbune	18
1.3.3. Mașina de depus tip ASG	21
1.4. Factorii care influențează rezistența la oboseală.....	23
1.4.1 Efectul imperfecțiunilor pieselor obținute prin debitare oxigaz.....	23
1.4.2 Efectul îmbinărilor sudate.....	24
1.4.3 Influența grosimi de material asupra elementelor sudate.....	27
1.4.4 Efectul găurilor pentru șuruburi.....	28
1.4.5. Efectul coroziunii asupra structurii portante.....	29
1.5 Evoluția degradărilor la utilajele de extragere și depunere.....	31
1.5 Concluzii parțiale.....	36

CAPITOLUL 2

**ANALIZA FORȚELOR DE SĂPARE LA UTILAJELE DE EXTRAGERE ȘI
DEPOZITARE**

2.1 Acțiunea forțelor de excavare asupra sistemelor mecanice	37
2.2 Analiza comparativă a caracteristicilor la tăiere a lignitului în carierele din Oltenia	40
2.3 Forțele de săpare dezvoltate la excavare	48
2.3.1 Subansamble comune a structurii portante la utilajele de depozitare și excavare	48
2.3.2 Componentele forțelor de săpare	49
2.4 Analiza modelului dinamic/static la utilajele de extragere și depunere	52
2.4.1. Analiza modelului dinamic/static la utilajelor cu rotor	52
2.4.2. Analiza modelului dinamic/static al utilajelor de depunere	55
2.5 Relații de calculul pentru forțele de săpare	55
2.5.1 Forța de săpare în funcție de parametrii de acționare a roții portcupe	56
2.5.2 Forța normală de săpare	57

*Studiul duratei de viață pentru utilajele de extragere și depunere în depozite
utilizate în carierele din bazinul Oltenia*

2.5.3 Forța laterală de săpare	57
2.5.4 Forța de săpat extraordinară	57
2.6 Forțele de săpare impuse de normele de proiectare a utilajelor cu rotor	58
2.7 Ipoteze de încărcare a utilajelor de exploatare și depozitare	59
2.8 Calculul forțelor de săpare pentru E 1400-30/7	61
2.9 Evaluare rezistenței la oboseală	65
2.9.1 Deformarea macroscopică și microscopică a elementelor din oțel	65
2.9.2 Metode de evaluare a rezistenței la oboseală	66
Concluzii parțiale	70
 CAPITOLUL 3	
ANALIZELA NUMERICĂ A STRUCTURII PORTANTE LA UTILAJELE DE EXTRAGERE ȘI DEPOZITARE	71
3.1 Metode de calcul a structurilor portante la utilajele de extragere și depunere	71
3.2 Concepte de bază în aplicarea metodei cu element finit	73
3.2.1. Tipuri de elemente finite folosite la discretizarea structurilor	77
3.2.2. Etapele analizei cu element finit la structurile portante	82
3.3 Modelarea și analiza prin metoda elementului finit a substructurii braț roată portcupe a utilajului tip ERc 1400-30/7	83
3.3.1. Modelarea geometrică a substructurii braț roată portcupe	84
3.3.2. Încărcări pe brațul roții cu cupe	91
3.4. Analiza structurală a brațului roții portcupe pentru cazurile de încărcare	100
3.4.1. Analiza deformațiilor	100
3.4.2. Analiza tensiunilor	102
3.5 Analiza structurilor portante prin tensometrie electrică rezistivă	104
Concluzii parțiale	106
 CAPITOLUL 4	
CONTRIBUTII PRIVIND ESTIMAREA DURATEI DE VIAȚĂ A UTILAJELOR DE EXTRAGERE ȘI DEPUNERE ÎN DEPOZITE	107
4.1 Stabilirea gradului de degradare structurală și mecanică a oțelului din structura portantă la utilajele grele mobile	107
4.1.1 Analiza statistică pentru încercările materialelor	108
4.2. Determinarea caracteristicilor mecanice de rezistență, a materialelor componente din structura portantă, aparatura utilizată	109
4.2.1 Încercarea la tracțiune	109
4.2.2 Încercarea la încovoiere prin șoc	111
4.2.3 Analiza chimică	113
4.2.4 Structura metalografică	114
4.2.5 Încercări de duritate	115

*Studiul duratei de viață pentru utilajele de extragere și depunere în depozite
utilizate în carierele din bazinul Oltenia*

4.3 Evaluarea structurală a caracteristicilor materialelor componente din structurile portante ale utilajelor	117
4.3.1 Rezultatele încercărilor mecanice, structurale și chimice	119
4.3.1.1 Utilaje de excavare	120
4.3.1.2 Utilaje de depunere	123
4.3.2 Analiza statistică a valorilor experimentale	124
4.3.3 Analiza încercărilor la tracțiune	126
4.3.4 Analiza secțiunii de rupere a epruvetelor	128
4.3.5 Analiza estimatorului durificării locale $\Delta HV10$	128
4.3.6 Analiza metalografică	129
4.3.7 Analiza încercării la încovoiere prin șoc	129
4.3.7.1 Analiza secțiunii de rupere la încovoiere prin șoc	130
4.3.8 Analiză comparativă structurală dintre utilajele de excavare și utilajele de depunere	132
4.3.9 Analiza durității in situ pe brațul roții portcupe	133
4.4 Analiza experimentală a tensiunilor mecanice pe brațul roții portcupe a utilajelor tip ERc 1400-30/7	137
4.4.1 Amplasarea traductorilor electrorezistivi pe brațul roții portcupe	140
4.4.2. Rezultatele măsurării tensiunilor normale pe brațul roții portcupe	144
4.5. Evaluarea duratei de viață remanentă la utilajele miniere de suprafață	146
4.5.1 Etapele analizei structurale a utilajelor de extragere și depunere	146
4.5.2 Etapele evaluării duratei de viață remanentă la utilajele de extragere și depunere prin metoda σ -N	149
4.5.3 Modificarea diagramei σ -N prin introducerea factorului de oboseală K_f	153
4.5.3.1 Determinarea factorului de oboseala K_f	153
Concluzii parțiale	159
 CAPITOLUL 5	
CONSIDERAȚII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE, DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	159
5.1. Considerații finale	159
5.2. Contribuții originale	160
5.3. Probleme de viitor	163

***Studiul duratei de viață pentru utilajele de extragere și depunere în depozite
utilizate în carierele din bazinul Oltenia***

Pentru exploatarea zăcămintelor de lignit din Oltenia, în cariere și depozitele de cărbune, se aplică tehnologia funcționării continuă cu excavatoare cu rotor, mașini de haldat și utilaje de depozit de mare capacitate.

Momentul de referință în aplicarea tehnologiilor continue a fost anul 1967 când s-au pus în funcțiune 2 excavatoare cu rotor tip SRs 470,18/1.5 transportoare cu bandă cu lățimea de 1200 mm și o mașină de haldat ARs.B 2500.50, livrate de firma TAKRAF. În anul 1969 sunt puse în funcțiune primele excavatoare tip SRs 1400-30/7 livrate de firma KRUPP.

În anul 2010, în dotarea carierelor erau în funcțiune 72 excavatoare cu rotor, din care 60 ERc 1400.30/7, 4 SRs 2000.30/7, 8 SRs 1300.26/3,5, 51 mașini de haldat de nouă tipodimensiuni, 31 mașini de depozite, 61 cărucioare cu benzi pe șenile și utilaje de distribuție.

Utilajele de manipulare și excavare a cărbunelui prin specificul lor lucrează în regim dinamic, acționând asupra lor atât factori atmosferici, cât și tensiunile exterioare și interioare generate de forțele de așchiere.

După expirarea duratei normate de funcționare este necesară o analiză a structurii portante pentru determinarea stării reale a tensiunilor mecanice în scopul stabilirii duratei remanente de viață și condițiilor pentru funcționarea în continuare în deplină siguranță.

Rezultatul studiilor de documentare; expertizarea a 20 utilaje de excavat și depunere; analize teoretice, publicarea a 18 lucrări în țară și străinătate; încercări de laborator și analize tensiometrice in situ efectuate de către autor și care au stat la baza realizării obiectivului propus prin tema tezei.

Din punct de vedere al încadrării în *preocupările naționale și internaționale*, problematica duratei remanente de viață la utilajele de exploatare și depozitare este mai puțin abordată datorită complexității structurale sau a metodelor de investigații laborioase și complexe. Din literatura tehnică studiată la nivel național, nu sunt lucrări care să abordeze metodologia duratei remanente de viață a utilajelor de carieră, iar la nivel internațional abordarea se face foarte puțin, fără a defini clar procedurile sau relațiile de calcul.

Obiectivele urmărite în prezenta teza de doctorat sunt:

1. etapele analizei structurale în cadrul expertizei tehnice.
2. cercetarea și stabilirea unei proceduri de calcul a duratei remanente de viață pentru utilajele de extragere și depunere în depozite;

Metoda de cercetare propusă combină elementele teoretice cu cele experimentale. În cadrul lucrării se vor pune în evidență:

1. analiza structurii portante a brațului roți portcupe, folosind metoda elementului finit;
2. aplicarea metodei tensiometriei rezistive pentru măsurarea tensiunilor în brațul roții

*Studiul duratei de viață pentru utilajele de extragere și depunere în depozite
utilizate în carierele din bazinul Oltenia*

portcupe;

3. analiza comparativă pe eșantioane de material prelevate pe diferite tipuri de utilaje.
4. metode analitice pentru estimarea și trasarea curbelor Wohler;
5. metode de calcul cu aplicare la structura portantă pentru estimarea duratei de viață;

Pentru atingerea obiectivelor propuse, teza de doctorat a fost organizată în cinci capitole, după cum urmează:

Capitolul 1 ”*UTILAJE FOLOSITE ÎN FLUXURILE TEHNOLOGICE DE EXTRAGERE ȘI DEPOZITARE*” în care sunt prezentate principalele tipuri de utilaje folosite în bazinul carbonifer al Olteniei pentru extragere și depunere în depozit, metodologie de inspecție tehnică, defectele tip care pot apărea la utilaje după o perioadă de lucru.

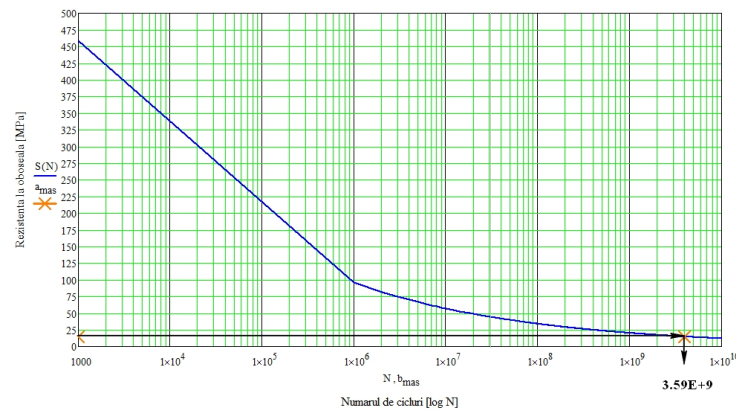
Capitolul 2 ”*ANALIZA FORȚELOR DE SĂPARE LA UTILAJELE DE EXTRAGERE ȘI DEPOZITARE*”, prezintă analiza forțelor de așchiere care acționează asupra structurii portante a utilajelor, a modelului dinamic la utilajelor cu rotor și cele de depunere. Totodată, se face un studiu asupra relațiilor de calcul a forțelor de săpare care sunt la baza calcului static a utilajelor de excavat și depunere.

Capitolul 3 ”*ANALIZA NUMERICĂ A STRUCTURII PORTANTE LA UTILAJELE DE EXTRAGERE ȘI DEPOZITARE*”, începe prin prezentarea secțiunilor și îmbinărilor componente a structurii portante și transpunerea lor prin metoda elementului finit în model de calcul analitic pentru stabilirea tensiunilor și deformațiilor din subansamblu braț roată portcupe pentru utilajul tip ERC 1400-30/7. Prezentarea metodei analizei tensiometrice în determinarea tensiunilor mecanice din structura portantă a utilajelor grele mobile.

Capitolul 4 ”*CONTRIBUȚII PRIVIND ESTIMAREA DURATEI DE VIAȚĂ A UTILAJELOR DE EXTRAGERE ȘI DEPUNERE ÎN DEPOZITE* ”, prezintă o analiză comparativă a evoluției în timp a principalelor caracteristici mecanice și chimice a unor materiale prelevate din elementele portante a unor utilaje. Se continuă cu prezentarea analizei experimentale prin metoda tensometriei rezistive pe brațul roții portcupe la excavatorul tip ERc 1400-30/7 și aplicarea acestora la determinarea duratei remanente de viață pentru structura utilajelor.

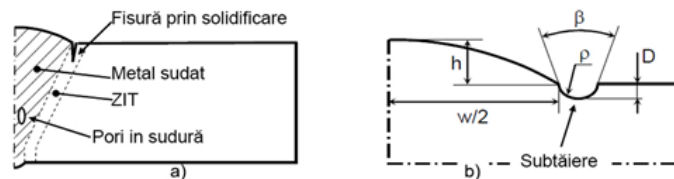
În continuare, folosind rezultatele experimentale și relațiile de calcul analitice se trasează curba Wohler din care rezultă numărul de cicluri (N) pe care poate să le efectueze utilajul pentru o tensiune nominală măsurată în structura portantă analizată.

**Studiul duratei de viață pentru utilajele de extragere și depunere în depozite
utilizate în carierele din bazinul Oltenia**



Curba Wohler în coordonate semilogaritmice

Îmbinările sudate introduc inevitabil o perturbare geometrică într-o structură, dând naștere la o zonă cu concentratori de tensiune, în care tensiunea este mai mare decât tensiunea nominală aplicată. Totodată, în zonele de îmbinare prin sudare pot apărea subtăieri, creștături la piciorul sudurii, din diferite cauze tehnologice sau naturale (coroziunea de suprafață).



a) Diferite imperfecțiuni ale sudurii, b) elementele geometrice ale creștăturii

În această situație, limita de rezistență (S_e) este redusă din cauza factorului de oboseală K_f , datorită deformațiilor plastice care pot apărea în zona creștată. Pentru a aplica efectul concentratorului de tensiune la oboseală, se poate reduce limita de duranță corectată cu factorul (K_f), astfel încât relația (4.11) devine:

$$S_e = C_L \cdot C_D \cdot C_S \cdot C_T \cdot C_R \cdot \left(\frac{1}{K_f} \right) \cdot S_e'$$

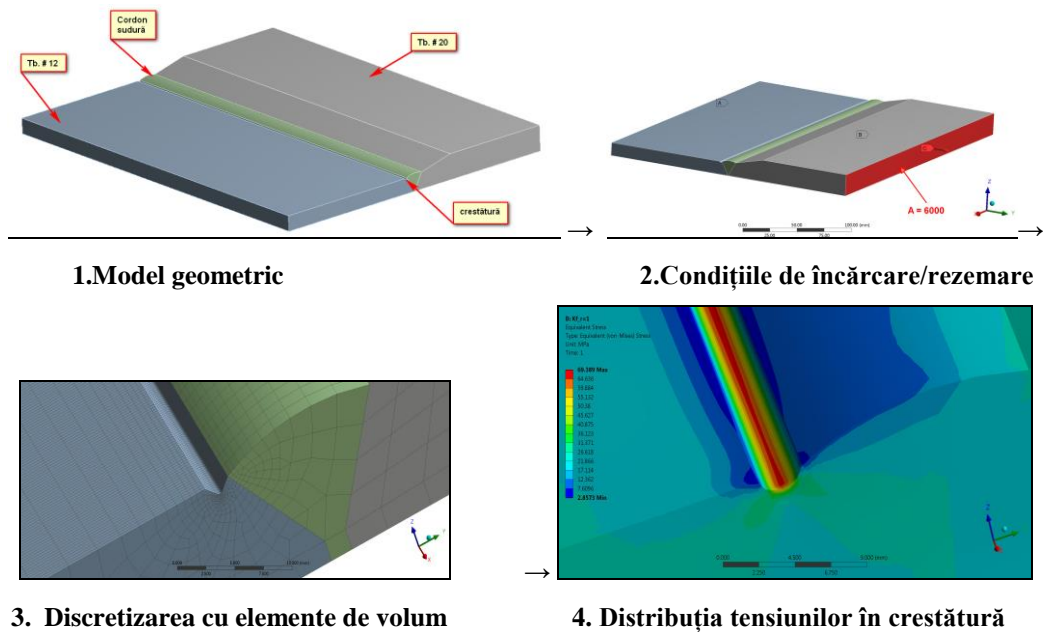
Reducerea rezistenței la oboseală a epruvetei cu creștătură nu se face prin coeficientul teoretic de concentrare a tensiunilor K_t , se realizează efectiv prin coeficientul de concentrare a tensiunilor K_f .

$$K_f = 1 + \frac{K_t - 1}{1 + \sqrt{\frac{a_p}{r_n}}}$$

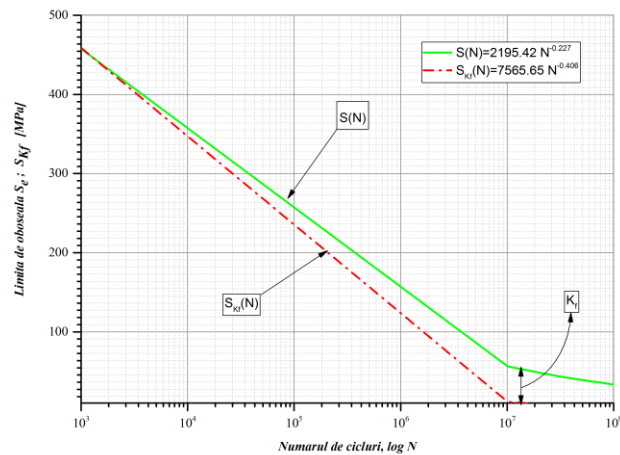
Metoda de calcul pentru coeficientului teoretic K_t este metoda elementului finit, cu etapele

**Studiul duratei de viață pentru utilajele de extragere și depunere în depozite
utilizate în carierele din bazinul Oltenia**

de calul:



3. Discretizarea cu elemente de volum
Cu valorile stabilite se corectează curba Wohler:



Dependența limitei de oboseală de factorul de oboseală Kf

Din analiza graficului ilustrat în figura 4.41, se poate observa o scădere a limitei de oboseală, implicit a duratei de viață, când se ia în calcul factorul Kf.

Capitolul 5 ”CONSIDERAȚII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE, DIRECȚII VIITORE DE CERCETARE”, sunt scrise concluziile finale și direcțiile viitoare de cercetare.

Principalele contribuții reieșite din teza de doctorat sunt următoarele:

1. În vederea justificării necesității abordării temei am efectuat o vastă documentare asupra literaturii de specialitate cu privire la:

- prezentarea fluxurilor tehnologice și a utilajelor care sunt incluse în procesul de exploatare

*Studiul duratei de viață pentru utilajele de extragere și depunere în depozite
utilizate în carierele din bazinul Oltenia*

a cărbunelui în cariere;

- metodele și mijloacele de diagnosticare tehnică a stării sistemelor mecanice;

2. Am analizat principalele probleme tehnice și tehnologice care apar în exploatarea utilajelor din componența sistemului de extragere, transport și haldare din carierele aparținătoare EMC Jilț, insistând asupra problemelor specifice care apar la excavatoarele cu rotor.

3. Am prezentat câteva defecte pentru fiecare tip de utilaj în așa fel încât teza să abordeze acele defecte care sunt comune mai multor utilaje.

4. Am abordat sistemic problematica lucrării considerând excavatorul cu rotor un element component al sistemului de extragere, transport și haldare a lignitului în bazinul carbonifer Oltenia.

5. Am analizat asambelele cele mai solicitate, pentru a scoate în evidență cauzele reale care duc la degradare și implicit a micșorarea duratei remanente de viață.

6. Pentru cunoașterea efectelor eforturilor ce acționează în barțul roții portcupe am prezentat o teorie originală a așchierii de către cupe, evidențiind producerea de vîrfuri de eforturi de scurtă sau lungă durată, comparată și confirmată de experimentările in situ.

7. Am efectuat cercetări în laborator cu organe de tăiere cu uzuri diferite, realizând o generalizare ulterioară, indiferent de stadiul de uzură a organelor de tăiere de la toate utilajele.

8. Calculele teoretice ale forțelor de săpare sunt baza de plecare în cercetarea experimentală și compararea acestora cu rezultatele in situ.

9. Am analizat fenomenele de oboseală generate de acțiunile eforturilor date de organele de tăiere asupra brațului roții portcupe determinând zonele cu suprasolicitări care trebuiesc studiate.

10. Am efectuat studiul teoretic al structurii metalului din care este compusă structura portanta, care ne precizează cunoașterea fenomenului la nivelul legăturilor atomice, a grăunților, etc.

11. Am realizat un studiu teoretic pe diferite tipuri de plăci sudate sub diferite forme și poziții, folosind metoda elementului finit în zona suduri determinându-se eforturile care iau naștere în sudură (MAB, MA, ZIT).

12. Am efectuat analiza numerică a structurii portante la nivelul utilajelor de extragere și depunere, permițând automatizarea procesului de tăiere într-o foarte mare măsură.

13. Pentru analiza utilajelor miniere de suprafață programul folosit a fost astfel ales încât să poată genera o serie de tipuri de elemente finite: elemente de tip bară/placă, elemente de tip rigid link sau elemente de tip bară rigidă, să poată realiza pe deplin conectarea elementelor de tip bară-placă.

14. Am adus o serie de contribuții privind estimarea duratei de viață a utilajelor de extragere și depunere în depozite și anume:

*Studiul duratei de viață pentru utilajele de extragere și depunere în depozite
utilizate în carierele din bazinul Oltenia*

- din rezultatele analizei experimentale de laborator, rezultă că elementele teoretice scrise în cadrul capitolului 3, privind degradarea structurală în timp, sunt valabile și pentru utilajele de extragere și depunere din industria minieră;

- prin încercările la tracțiune efectuate pe epruvete am putut stabili o valoare a rezervei structural rămase față de o limită impusă de standard;

- analiza metalografică ne-a dat informații privin mărimea durificării locale la nivel microscopic, prin acesta se poate observă dacă există pericolul fragilizării structurale.

- la utilajele de depunere în stivă sau depozit am observat o rezervă structural mai mare față de cele de excavare, lucru datorat condițiilor de lucru;

- metoda analizei durității in situ pe elementele portante ne-a indicat zona puternic tensionată, zonă pentru dispunerea mărcilor tensometrice sau de prelevare a materialului pentru epruvete, dar numai în condițiile în care există o bază de date cu durități pe tipuri de utilaje și efectuarea unui calcul statistic riguros;

- metoda analizei tensometrice propuse se poate extinde pe întreaga structură a utilajului, în funcție de zonele punctelor tensometrice determinate prin metoda elementului finit;

15. Am realizat un studiu de caz de diagnosticare prin intermediul fiabilității și mentenabilității a stării tehnice a excavatoarelor cu rotor ERc 1400 existente în cadrul EM Roșiuța. Am determinat astfel principalii indicatori cantitativi de fiabilitate pentru excavatoarele cu rotor și am tras concluzii asupra direcțiilor în care trebuie să se intervină pentru îmbunătățirea constructivă și funcțională a acestora;

16. Am elaborat o metodologie de estimare a mediei timpului de bună funcționare aplicabilă sistemelor complexe, și deci și excavatoarelor cu rotor, care are la bază raportarea timpului efectiv de lucru la numărul total al defectelor apărute în perioada de timp analizată și corectarea acestei valori, pentru a se ajunge la un rezultat cât mai apropiat de realitate, prin utilizarea metodei factorilor intervalului de încredere, pentru un nivel de încredere ales;