



**Universitatea *Transilvania* din Brașov**

## **TEZĂ DE ABILITARE**

**Titlu: Cercetări teoretice, simulate și experimentale în domeniul  
analizei fiabilității, calității proceselor tehnologice și a produselor  
industriale inovative**

**Domeniul: Inginerie Industrială**

**Autor: Conf.dr.ing. DUMITRAȘCU Adela-Eliza  
Universitatea „Transilvania” din Brașov**

**BRASOV, 2017**

## CUPRINS

(A) Rezumat .....	3
(A) Summary .....	5
<b>(B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei .....</b>	<b>7</b>
<b>(B-i) Realizări științifice și profesionale carierei .....</b>	<b>7</b>
Introducere .....	7
Capitolul 1. Elemente de analiză a fiabilității și calității proceselor de prelucrare .....	10
1.1. Importanța studiului fiabilității produselor și proceselor industriale.....	10
1.2. Contribuții teoretice privind modelarea statistică a fiabilității proceselor de prelucrare.....	12
1.3. Estimarea fiabilității proceselor de prelucrare prin strunjire .....	18
1.3.1. Simularea fiabilității proceselor de prelucrare prin strunjire. ....	18
1.3.2. Estimarea fiabilității procesului de prelucrare prin strunjire. Studiu de caz. ....	23
1.4. Îmbunătățirea calității și fiabilității procesului de superfinisare aplicând analiza modurilor de defectare și a efectelor defectării .....	26
1.4.1. Particularități ale procesului de prelucrare prin superfinisare .....	27
1.4.2. Analiza modurilor potențiale de defectare și a efectelor defectării specifice procesului de superfinisare.....	28
1.4.3. Concluzii .....	38
1.5. Estimarea fiabilității procesului de injectare. Studiu de caz. ....	39
1.6. Concluzii finale.....	49
Capitolul 2. Cercetări experimentale privind fiabilitatea produselor industriale .....	51
2.1. Estimarea indicatorilor de fiabilitate ai turbinei eoliene cu ax vertical de tip elicoidal .....	51
2.1.1. Caracteristici constructive ale turbinei eoliene analizate .....	52
2.1.2. Simularea parametrilor turbinei eoliene cu ax vertical .....	54
2.1.3. Estimarea fiabilității turbinei eoliene cu ax vertical de tip elicoidal.....	59
2.1.4. Concluzii .....	62
2.2. Estimarea indicatorilor de fiabilitate ai elementelor componente ale grederului tractat ....	63
2.2.1. Evaluarea parametrilor constructivi și funcționali ai echipamentului utilizând metoda elementului finit .....	64
2.2.2. Rezultatele analizei cu element finit .....	68
2.2.3. Analiza fiabilității elementelor componente ale grederului tractat.....	75

2.2.4. Rezultate și discuții .....	82
2.2.5. Concluzii .....	84
<b>(B-ii) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei .....</b>	<b>86</b>
1. Evoluția profesională și activitatea de cercetare științifică.....	86
1.1. Studii și experiența profesională .....	86
1.2. Activitatea de cercetare științifică.....	89
2. Planuri de dezvoltare a carierei.....	90
2.1. Plan de dezvoltare a carierei didactice .....	91
2.2. Plan de dezvoltare a carierei de cercetare științifică .....	92
<b>(B-iii) Bibliografie .....</b>	<b>94</b>

## (A) REZUMAT

Prezenta teza de abilitare conține o sinteză a realizărilor științifice, profesionale și academice efectuate de la conferirea titlului de doctor în decembrie 2005 în domeniul Științe Inginerești, domeniul de profil Inginerie Industrială.

Teza de doctorat, prin tematica abordată, a constituit o premiză a preocupărilor ulterioare privind fiabilitatea produselor și proceselor tehnologice, fapt ce a permis o continuă și susținută perfecționare. Activitatea științifică care a urmat s-a materializat prin studierea fiabilității produselor industriale, indiferent de domeniul de utilizare având ca scop evaluarea, analiza și îmbunătățirea calității și fiabilității produselor și proceselor de prelucrare.

Prezenta lucrare este structurată în două secțiuni: (A) Rezumat, (B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei, ce cuprinde trei părți (B-i) Realizări științifice și profesionale, (B-ii) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei și (B-iii) Bibliografie.

În secțiunea (B-i) a tezei de abilitare sunt redate succint contribuțiile științifice semnificative referitoare la simularea și analiza fiabilității proceselor de prelucrare prin strunjire și injectare mase plastice utilizând programe software dedicate (Weibull++, Expert Curve, Minitab), estimarea parametrică a principalilor indicatori de fiabilitate ai turbinei eoliene cu ax vertical de tip elicoidal, precum și analiza teoretică și experimentală a fiabilității elementelor componente ale grederului tractat. Îmbunătățirea calității și fiabilității proceselor de superfinisare prin analiza modurile potențiale de defectare aplicând metode specifice de gestionare a riscurilor industriale (FMEA) a constat în evaluarea punctuală a influenței parametrilor procesului în scopul planificării acțiunilor corective necesare reducerii și controlului modurilor potențiale de defectare, precum și aplicării de măsuri pentru prevenirea apariției acestora.

În capitolul 1 se prezintă contribuțiile personale în ceea ce privește modelarea statistică a fiabilității proceselor de prelucrare, studii, algoritmi de calcul, precum și rezultatele obținute în domeniul fiabilității și calității produselor și proceselor industriale, principalii indicatorii de fiabilitate fiind exprimați pe baza nivelului fracțiunii defective. Estimarea fiabilității, respectiv nonfiabilității procesului de prelucrare prin strunjire a constat în analiza datelor experimentale observate pentru două caracteristici dimensionale, determinându-se valorile indicilor de capabilitate, indicilor de potențialitate, indicilor Taguchi și nivelul fracțiunii defective. Se poate concluziona că prin estimarea fiabilității procesului de prelucrare, se poate analiza procesul nu doar din prisma variabilității și a mediei datelor experimentale, ci și din punct de vedere al estimării previzionale a comportării în timp a acestuia, ceea ce va permite îmbunătățirea calității proceselor de prelucrare, reducerea numărului de produse defecte (ppm) și reducerea substanțială a costurilor noncalității.

Performanțele tehnologice ale netezirii suprafețelor prin superfinisare cu privire la rugozitatea obținută, productivitatea prelucrării, precizia dimensională și geometrică a suprafeței piesei sunt influențate de factori atât de natură tehnologică, dar și constructivă ai sistemului tehnologic de prelucrare. Din aceste considerente, s-au analizat modurile potențiale de defectare și efectele defectărilor utilizând metoda de gestionare a riscurilor specifice proceselor tehnologice (FMEA).

Următorul studiu se referă la estimarea fiabilității unui proces de injectare a flanșelor pentru două dimensiuni considerate importante în procesul de montare a piesei în rezervor. Analizând comparativ rezultatele obținute, se poate concluziona că fiabilitatea proceselor de prelucrare este

condiționată de cei mai importanți parametri tehnologici și constructivi ai sistemului de prelucrare ce influențează calitatea produselor în cele mai diverse condiții de lucru.

În cadrul capitolului 2 sunt prezentate rezultatele relevante referitoare la simularea și estimarea parametrică a principalilor indicatori de fiabilitate pentru diferite produse industriale. Primul studiu se referă la estimarea fiabilității turbinei eoliene cu ax vertical de tip elicoidal brevetată pentru condițiile climatice din România. În vederea previzionării performanțelor turbinei, preliminar s-au realizat simulări privind energia furnizată zilnic și anual pentru diferite viteze ale vântului. Analiza rezultatelor experimentale indică faptul că acest tip de turbină eoliană cu ax vertical de tip elicoidal, pentru viteze scăzute ale vântului, este mai eficientă decât o turbină eoliana cu ax orizontal echipată cu trei pale.

Studiul privind estimarea indicatorilor de fiabilitate ai elementelor componente ale grederului tractat se referă la validarea rezultatelor experimentale obținute în urma aplicării analizei elementelor finite (FEA) în concordanță cu analiza teoretică și experimentală a indicatorilor de fiabilitate estimați pe baza metodei celor mai mici pătrate. Calculul realizat prin aplicarea metodei elementelor finite a vizat estimarea factorului de siguranță a lamei grederului, determinarea stării de tensiune și deformații și estimarea duratei de viață a elementelor componente ale grederului tractat. Ținând cont de condițiile de lucru, de durata de funcționare, dar și de factorii constructivi și tehnologici, estimarea fiabilității lamei frontale, lamei din spate și a cadrului grederului, se poate realiza, cu o precizie foarte bună utilizând modelul Weibull triparametric. Modelarea fiabilității acestor componente a constatat în estimarea punctuală a principalilor indicatori de fiabilitate utilizând metoda celor mai mici pătrate, determinându-se durata minimă de funcționare a lamei față, lamei spate și a cadrului grederului tractat. Valoarea duratei minime de viață, estimată în condiții reale de funcționare este mai mică decât valoarea determinată prin metoda elementelor finite (FEA). Rezultatele experimentale indică faptul că ipotezele simplificatoare utilizate nu pot ține cont în totalitate de solicitările complexe întâlnite în utilizare.

Principalele realizări științifice prezentate în lucrarea de față constituie rezultatele obținute pe parcursul activităților didactice și de cercetare desfășurate la Departamentul de Ingineria Fabricației, Facultatea de Inginerie Tehnologică și Management Industrial din cadrul Universității "Transilvania" din Brașov, evidențiate de recunoașterea internațională prin publicarea de articole în reviste internaționale de prestigiu cu SRI>1 și FI, indexate ISI Thomson, indexate în baze de date internaționale și la diferite conferințe naționale sau internaționale. Pe lângă activitatea didactică, calitățile profesionale în domeniul cercetării științifice sunt dovedite de participarea în colectivele de cercetare ale granturilor/contractelor internaționale (SEE – EEA Grants; ERASMUS + K1) și naționale (CNCSIS, CEEEX, PNII), în calitate de director (2), responsabil (1) sau membru (5), contribuind la activități specifice proiectelor și diseminarea rezultatelor cercetării. Vizibilitatea internațională în domeniul cercetării și impactul activității desfășurate sunt dovedite de citări în reviste ISI și BDI, membru în comitetele științifice al revistelor și manifestărilor științifice, organizator și recenzent pentru manifestări științifice internaționale, precum și de premiile obținute pentru excelență în cercetare pentru rezultate semnificative publicate în reviste de prestigiu din fluxul științific principal internațional.

## (A) SUMMARY

This habilitation thesis contains a summary of the scientific, professional and academic activity made from awarding the title of doctor in December 2005 in Engineering Science, Industrial Engineering field profile.

The PhD thesis theme was a prerequisite for further concerns regarding the reliability of products and processes, which allowed a continuous and sustained improvement. Scientific activity that followed was materialized by studying industrial product reliability, whatever was the industrial domain, aiming to analyze and improve the quality and reliability of products and manufacturing processes.

This paper is divided into two sections: (A) Abstract (B) scientific and professional achievements and future plans for career development, comprising in three parts (B-i) scientific and professional, (B-ii) Evolution plans and career development and (B-iii) References.

In section (B-i) of habilitation thesis are presented succinctly significant scientific contributions related to simulation and reliability analysis of the processing of turning and injection molding for plastic materials, using dedicated software (Weibull ++ Expert Curve, Minitab), parametric estimation of the main indicators of reliability for wind turbine with vertical axis helical type and theoretical and experimental analysis of reliability for towed grader components. Improving the quality and reliability of super finishing processes was made analyzing the potential failure modes by applying specific methods for industrial risks management (FMEA). This method consists of assessing punctual influence of process parameters in order to plan the necessary corrective actions to reduce and control potential failure modes and applying measures to prevent their occurrence.

In Chapter 1 is presented the personal contributions regarding: statistical modeling of manufacturing processes reliability, studies, algorithms and the results achieved in the field of reliability and quality of products and industrial processes, the main reliability indicators being expressed by the defective fraction level. Estimating reliability, respectively non-reliability of turning machining process consists in analyzing the experimental data measured for two dimensional characteristics, determining the values of capability, potentiality indices, indices Taguchi and the defective fraction. It can be concluded that by estimating the reliability of the processing, it can analyze the process not only in terms of variability and average experimental data, but also in terms of estimating the forecasting behavior in time of it, which will allow improving the quality of manufacturing processes, reducing the number of defective products (ppm) and reducing substantial costs of non-quality.

Technological performance of smoothing the surfaces by super finishing regarding the roughness obtained, manufacturing productivity, dimensional and surface geometry accuracy of the piece are influenced by technological factors and by the design of the processing technology system. Therefore, it were analyzed the potential failure modes and effects (FMEA) using risk management method specific to manufacturing processes.

The following study refers to estimation of the reliability of an injection process for flanges of two dimensions considered important in the process of mounting the work piece in the fuel tank. Comparing the results, it can be concluded that the reliability of the manufacturing processes is determined by the most important technological and constructive parameters of the manufacturing system that influence product quality in various conditions.

In Chapter 2 are presented relevant results regarding parametric simulation and estimation of the main indicators of reliability for various industrial products. The first study relates to estimate vertical axis wind turbine reliability of patented helical type for weather conditions in Romania. In order to forecast turbine performance, preliminary simulations were performed regarding the energy supplied daily and annual for different wind speeds. The analysis of experimental results indicate that this vertical axis wind turbine helical type, for low wind speeds, is more efficient than horizontal axis wind turbine equipped with three blades.

The study regarding reliability indices estimation of towed grader attachments it addresses to the experimental validation of the results obtained by finite element analysis (FEA) in accordance with theoretically and experimentally analysis of the reliability indices estimated by least squares method. FEA was conducted to predict the safety factor of the towed grader blades, determining the level of stress and strain and estimating the minimum lifetime. Considering the working data, the duration of exploitation, as well as the constructive and technological factors, the reliability of the front blade, rear blade and towed grader frame can be estimated with good accuracy by means of the three-parameter Weibull distribution. The reliability estimation of these components it was performed by point estimation of the main reliability indices applying the least squares method and determining the minimum lifetime for the front blade, rear blade and towed grader frame. The value of the estimated minimum lifetime for actual operating conditions it is less than the value determined by FEA method. These experimental results indicate that the used assumptions may not fully take into account the complex stress encountered in use.

The main scientific achievements presented in this paper it represents the results obtained during the teaching and researches activities conducted at the Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering Technology and Industrial Management from the University "Transilvania" of Brasov, highlighted by the international recognition by publishing articles in prestigious international journals with reference influence score >1 and impact factor, indexed ISI Thomson, in international databases and national or international conferences. Besides teaching, professional skills in scientific research are proved by participation in research teams of grants / international contracts (SEE - EEA Grants; ERASMUS + K1) and national (CNCSIS, CEEEX, PNII) as director (2), responsible (1) or member (5), contributing to specific project activities and dissemination of research results. International visibility of research and the impact of the work done are proven citations in the ISI and data base journals, member of the scientific committees of journals and scientific events, organizer and reviewer for international scientific conferences, and awards received for excellence in research to meaningful results published in international prestigious journals.

## **(B) REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE ȘI PLANURI DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI**

### **(B-i) Realizări științifice și profesionale**

#### **Introducere**

Prezenta teza de abilitare conține o sinteză a realizărilor științifice, profesionale și academice desfășurate în perioada ulterioară susținerii tezei de doctorat intitulată “Cercetări privind fiabilitatea proceselor tehnologice” în 2005 în domeniul Științe Inginerești, domeniul de profil Inginerie Industrială, elaborată sub coordonarea științifică a d-lui prof.dr.ing. Popescu Ion.

Prin tematica abordată, teza de doctorat a constituit o premiză a preocupărilor ulterioare privind fiabilitatea produselor și proceselor industriale, fapt ce a permis o continuă și susținută perfecționare. În acest sens, realizările personale efectuate au constat în contribuțiile teoretice și experimentale privind modelarea statistică a fiabilității produselor industriale, precum și îmbunătățirea calității și fiabilității proceselor de prelucrare apelând la metode și tehnici moderne specifice ingineriei industriale.

Prin lucrările științifice și contractele de cercetare elaborate, am avut în permanență în vedere următoarele teme de cercetare cu aplicabilitate practică:

- estimarea fiabilității produselor și proceselor industriale:
  - estimarea parametrică a indicatorilor de fiabilitate ai turbinei eoliene cu ax vertical;
  - analiza fiabilității echipamentelor tehnologice fabricate prin utilizarea de elemente modulate interschimbabile încărcate prin sudare;
  - analiza fiabilității elementelor componente ale grederului tractat utilizând metode parametrice specifice statisticii industriale de estimare a indicatorilor de fiabilitate;
  - estimarea fiabilității proceselor de prelucrare pe baza nivelului fracțiunii defective și mediei perioadei operaționale.
- evaluarea, analiza și îmbunătățirea calității și fiabilității proceselor de prelucrare:
  - estimarea indicatorilor de capacitate ai proceselor industriale, inclusiv pentru distribuții non-normale;
  - implementarea metodelor de control și îmbunătățire a calității și fiabilității produselor și proceselor de prelucrare (PARETO, Cauza-Efect, APQP, Six Sigma);
  - evaluarea riscurilor industriale specifice proceselor de prelucrare aplicând analiza modurilor de defectare și a efectelor defectării (FMEA);
  - analiza defectelor de calitate specifice lemnului brut de stejar la debitarea furnirelor estetice și influența diametrelor masei lemnoase asupra randamentelor specifice proceselor tehnologice de obținere a furnirelor estetice;
  - managementul riscurilor aplicat proceselor de proiectare, execuție și întreținere a drumurilor forestiere;
  - implementarea sistemelor de management integrate în conformitate cu ISO 9001, ISO 14001 & OHSAS 18001.

Prezenta teză de abilitare este structurată în două secțiuni: (A) Rezumat, (B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei, ce cuprinde trei părți (B-i) Realizări științifice și profesionale, (B-ii) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei și (B-iii) Bibliografie.



În secțiunea (B-i) a tezei de abilitare sunt redate succint contribuțiile științifice semnificative referitoare la simularea și analiza fiabilității proceselor de prelucrare prin strunjire și injectare mase plastice utilizând programe software dedicate (Weibull++, Expert Curve, Minitab), estimarea parametrică a principalilor indicatori de fiabilitate ai turbinei eoliene cu ax vertical de tip elicoidal, precum și analiza teoretică și experimentală a fiabilității elementelor componente ale grederului tractat. Îmbunătățirea calității și fiabilității proceselor de superfinisare prin analiza modurile potențiale de defectare aplicând metode specifice de gestionare a riscurilor industriale (FMEA) a constat în evaluarea punctuală a influenței parametrilor procesului în scopul planificării acțiunilor corective necesare reducerii și controlului modurilor potențiale de defectare, precum și aplicării de măsuri pentru prevenirea apariției acestora.

În capitolul 1 intitulat „*Elemente de analiză a fiabilității și calității proceselor de prelucrare*” se prezintă contribuțiile teoretice, simulate și experimentale în ceea ce privește modelarea statistică a fiabilității proceselor de prelucrare, indicatorii de fiabilitate fiind exprimați pe baza nivelului fracțiunii defective și a mediei perioadei operaționale. În cadrul studiului este prezentată detaliat metodologia de simulare și estimare a fiabilității procesului de prelucrare. Estimarea fiabilității, respectiv nonfiabilității procesului de prelucrare prin strunjire a constat în analiza datelor experimentale observate pentru două caracteristici de calitate măsurate, determinându-se valorile indicilor de capabilitate, indicilor de potențialitate, indicilor Taguchi și nivelul fracțiunii defective. Se poate concluziona că prin estimarea fiabilității procesului de prelucrare, se poate analiza procesul nu doar din prisma variabilității și a mediei datelor experimentale, ci și din punct de vedere al estimării previzionale a comportării în timp a acestuia pentru o perioadă (0, T). În acest mod, se pot lua decizii prompte în vederea îmbunătățirii calității proceselor de prelucrare, reducerea numărului de produse defecte (ppm) și reducerea substanțială a costurilor noncalității.

Calitatea suprafeței obținută în urma procedurii de netezire prin superfinisare depinde de mai mulți factori, determinați fiind de particularitățile procesului de aşchiere. Performanțele tehnologice ale netezirii suprafețelor prin superfinisare cu privire la rugozitatea obținută, productivitatea prelucrării, precizia dimensională și geometrică a suprafeței piesei sunt influențate de factori atât de natură tehnologică, dar și constructivă ai sistemului tehnologic de prelucrare. Din aceste considerente, s-au analizat modurile potențiale de defectare și efectele defectărilor utilizând metoda de gestionare a riscurilor specifice proceselor tehnologice (FMEA).

Actualmente, marea majoritate a produselor industriale pe care le utilizăm sunt din mase plastice. Produsele obținute prin injectare sunt variate și cuprind toate domeniile de activitate. În acest sens, în al doilea studiu se prezintă estimarea fiabilității unui proces de injectare a flanșelor pentru două dimensiuni considerate importante în procesul de montare a piesei în rezervor. Analizând comparativ rezultatele obținute, se poate concluziona că procesul de injectare prezintă o fiabilitate superioară în cazul indicilor  $C_p$  și  $C_{pk}$  față de fiabilitatea estimată în cazul indicelui  $C_{pm}$ . De asemenea, fiabilitatea proceselor de prelucrare este condiționată de cei mai importanți parametri tehnologici și constructivi ai sistemului de prelucrare ce influențează calitatea produselor în cele mai diverse condiții de lucru.

În cadrul capitolului 2 intitulat „*Cercetări experimentale privind fiabilitatea produselor industriale*” sunt prezentate rezultatele relevante privind simularea și estimarea parametrică a indicatorilor de fiabilitate caracteristici turbinei eoliene cu ax vertical brevetată pentru condițiile climatice din România. În vederea previzionării performanțelor turbinei, preliminar s-au realizat simulări privind energia furnizată zilnic și anual pentru diferite viteze ale vântului. Analiza rezultatelor experimentale indică faptul că acest tip de turbină eoliană cu ax vertical de

tip elicoidal, pentru viteze scăzute ale vântului, este mai eficientă decât o turbină eoliana cu ax orizontal echipată cu trei pale.

Al doilea studiu constă în estimarea indicatorilor de fiabilitate ai elementelor componente ale grederului tractat și se referă la validarea rezultatelor experimentale obținute în urma aplicării analizei elementelor finite (FEA) în concordanță cu analiza teoretică și experimentală a indicatorilor de fiabilitate estimați pe baza metodei celor mai mici pătrate. Calculul realizat prin aplicarea metodei elementelor finite a vizat estimarea factorului de siguranță a lamei grederului, determinarea stării de tensiune și deformații și estimarea duratei de viață a elementelor componente ale grederului tractat. Pentru condiții reale de funcționare, în vederea estimării fiabilității subsansamblelor grederului tractat, s-a identificat modelul statistic cel mai potrivit. Validarea modelului statistic s-a realizat aplicând testul de concordanță Anderson-Darling, ceea ce a permis compararea rezultatelor pentru diferite distribuții (Weibull, lognormală, exponențială și normală) și adoptarea repartiției optime. Ținând cont de condițiile de lucru, de durata de funcționare, dar și de factorii constructivi și tehnologici, estimarea fiabilității lamei frontale, lamei din spate și a cadrului grederului, se poate realiza, cu o precizie foarte bună utilizând modelul Weibull triparametric. Modelarea fiabilității a acestor componente a constat în estimarea punctuală a principalilor indicatori de fiabilitate utilizând metoda celor mai mici pătrate, determinându-se durata minimă de funcționare a lamei față, lamei spate și a cadrului grederului tractat. Valoarea duratei minime de viață, estimată în condiții reale de funcționare este mai mică decât valoarea determinată prin metoda elementelor finite (FEA). Aceste rezultate indică faptul că ipotezele simplificatoare utilizate nu pot ține cont în totalitate de solicitările complexe întâlnite în utilizare.

Principalele realizări științifice prezentate în lucrarea de față constituie rezultatele obținute pe parcursul activităților didactice și de cercetare desfășurate la Departamentul de Ingineria Fabricației, Facultatea de Inginerie Tehnologică și Management Industrial din cadrul Universității “Transilvania” din Brașov, evidențiate de recunoașterea internațională prin publicarea de articole în reviste internaționale de prestigiu cu SRI și FI, indexate ISI Thomson, indexate în baze de date internaționale și la diferite conferințe naționale sau internaționale. Pe lângă activitatea didactică, calitățile profesionale în domeniul cercetării științifice sunt dovedite de participarea în colectivele de cercetare ale granturilor/contractelor internaționale (SEE – EEA Research Programme; ERASMUS + K1) și naționale (CNCSIS, CEEX, PNII), în calitate de director (2), responsabil (1) sau membru (5), contribuind semnificativ la activități specifice proiectelor și diseminarea rezultatelor cercetării. Vizibilitatea internațională în domeniul cercetării și impactul activității desfășurate sunt dovedite de citări în reviste ISI și BDI, membru în comitete științifice al revistelor și manifestărilor științifice, organizator de manifestări științifice, precum și recenzent pentru reviste și manifestări științifice internaționale. Excelența în cercetare pentru rezultate semnificative publicate în reviste de prestigiu din fluxul științific principal internațional au fost recompensate prin acordarea unui premiu de excelență și trei premii primite din partea UEFISCDI (CNCSIS).

În secțiunea a treia (B-iii) se prezintă planul de evoluție și dezvoltare a carierei profesionale, științifice și academice, pe baza sintezei activității didactice, experienței profesionale și a activităților de cercetare cuprinzând direcțiile de cercetare vizate precum și modalități de valorificare a rezultatelor prezentate în cadrul tezei de abilitare care nu au fost publicate.

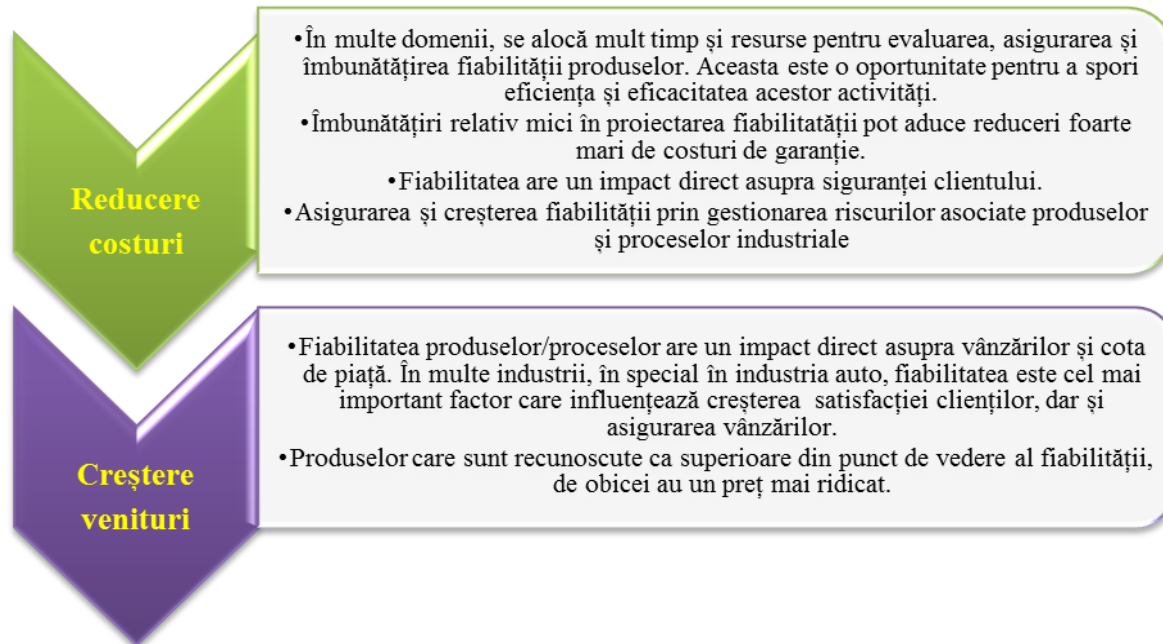
## Capitolul 1. Elemente de analiză a fiabilității și calității proceselor de prelucrare

### 1.1. Importanța studiului fiabilității produselor și proceselor industriale

Noțiunea de fiabilitate constituie o componentă a conceptului de calitate și reprezintă capacitatea produsului de a-și menține calitatea specificată pe toată durata de utilizare, în condiții specificate. Însăși definiția calității ca "aptitudine de folosire" include capacitatea de utilizare în timp a unui produs. În acest context, testarea produselor, adecvarea modelelor statistice și estimarea indicatorilor de fiabilitate constituie obiectivele majore ale cercetărilor de fiabilitate. Mai mult decât atât, stabilitatea statistică a proceselor nu este suficientă pentru a asigura durabilitatea produselor în mod justificat, deci a apărut necesitatea studiului aparte al caracteristicilor de fiabilitate. Ulterior, mentenabilitatea și disponibilitatea sistemelor au devenit centrul atenției în cercetările de fiabilitate.

Fiabilitatea a apărut ca efect al importanței deosebite pe care au căpătat-o problemele siguranței în funcționare a echipamentelor industriale, dispozitivelor și componentelor, constituind o tehnică de vârf, indispensabilă ingineriei. Funcționarea optimă a unui produs, proces sau sistem tehnologic poate fi afectată de apariția unui defect, astfel fiabilitatea poate fi considerată o știință a defectelor [POP93], [MAR02], [MUN09].

Fiabilitatea este o măsură a calității. Un produs cu o fiabilitate demonstrată, foarte rar se defectează. Acest aspect, care este uneori reformulat ca "fiind liber de deficiențe", este o dimensiune foarte importantă a calității (figura 1.1).



**Figura 1.1** Importanța studiilor de fiabilitate

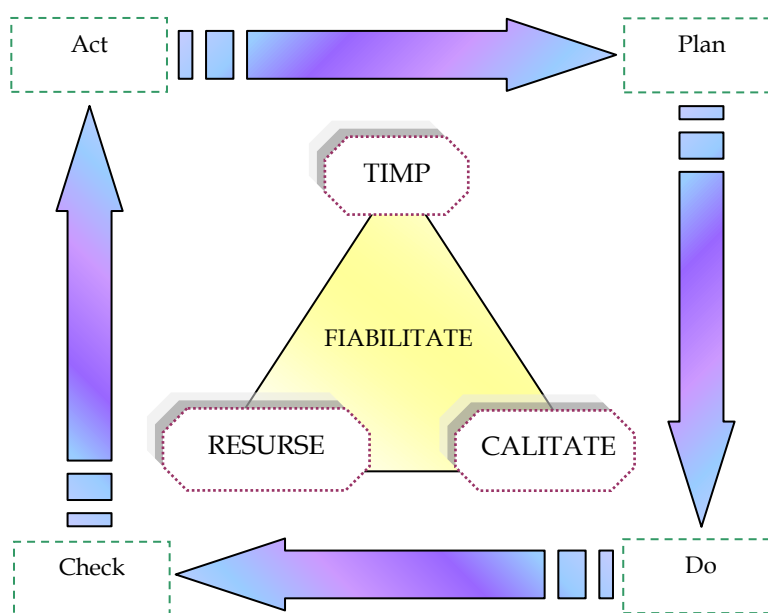
Concept vechi și disciplină nouă, fiabilitatea cuprinde o paletă largă de probleme, în toate etapele ciclului de viață a unui produs – concepție, proiectare, prelucrare, execuție, exploatare.

Etapa modernă a fiabilității este marcată de dezvoltarea producției industriale, în special construcția de mașini, construcțiile urbane și transportul pe calea ferată, care au consacrat o nouă

problemă – durabilitatea materialelor metalice, care constituiau materia primă de bază în aceste industrii și activități [OPR 05].

Creșterea continuă a fiabilității produselor și proceselor industriale, implementând metode moderne, tehnici, instrumente și standarde specifice, reprezintă o prioritate pentru toate organizațiile de profil. Importanța studiului fiabilității se datorează următorilor factori: creșterea complexității sistemelor tehnice și a importanței funcțiilor ce trebuie să le realizeze acestea, intensificarea regimurilor de lucru ale sistemelor sau părților componente ale acestora, complexitatea condițiilor de exploatare, introducerea automatizării pe scară largă și controlul automat al proceselor de producție inclusiv cu ajutorul calculatoarelor de proces (Computer Aided Quality), creșterea cheltuielilor de exploatare, asigurarea siguranței și securității în exploatare.

Fiabilitatea și calitatea produselor industriale sunt două aspecte corelate ce depind de tehnologiile de prelucrare utilizate. Modernizarea tehnologiilor presupune transformarea într-o mai mare măsură a resursele disponibile în produse utilizabile cu o fiabilitate demonstrată și de calitate superioară. Acest lucru presupune integrare studiilor de fiabilitate în conceptul de management al calității (figura 1.2), [DUM13a].



**Figura 1.2** Corelația fiabilitate - managementul calității

Ingineria fiabilității poate fi aplicată tuturor produselor, într-o măsură mai mare sau mică și pentru că are consecințe vitale pentru organizațiile producătoare. Clientul este mai exigent și mai conștient în ceea ce privește calitatea și fiabilitatea produselor pe care le achiziționează sau le utilizează. Clientul remarcă și nu tolerează produsele care nu funcționează în conformitate cu specificațiile din documentațiile tehnice, lucru ce ar putea avea efecte grave asupra prestigiului și profitului oricărei organizații.

*Fiabilitatea reprezintă proprietatea unui produs sau sistem tehnic de a îndeplini funcțiile pentru care a fost proiectat într-un anumit interval de timp, în anumite condiții de exploatare [POP 93]. Dacă prin calitate se poate înțelege totalitatea proprietăților unui produs care îl fac apt pentru o destinație anume, fiabilitatea reflectă calitatea produsului extinsă în timp (proprietate dinamică a*

calității), respectiv capacitatea produsului de a-și menține calitatea pe toată durata de utilizare.

Fiabilitatea poate fi definită ca o caracteristică a calității de-a lungul unei perioade de timp, în condiții specificate de exploatare, cercetările în domeniul ingineriei fiabilității oferind instrumente și metodologii pentru îmbunătățirea fiabilității produsului sau a procesului analizat.

La realizarea unui produs intervin o multitudine de factori. Variabilitatea acestor factori, fac ca fiabilitatea să aibă un caracter probabilistic, iar fundamentul matematic al fiabilității să fie statistica matematică și teoria probabilității. În acest context, testarea produselor, adecvarea modelelor statistice și estimarea indicatorilor de fiabilitate constituie obiectivele majore ale cercetărilor de fiabilitate.

Obiectivul principal al estimării previzionale a fiabilității este de a sprijini deciziile legate de operarea și întreținerea produsului, cu referire directă la costurile producției, menținerea eficienței sistemelor tehnologice prin acțiuni de reparații optimizate, disponibilitate, mentenabilitate, analizele de fiabilitate constituind premise pentru proiectarea produselor ulterioare cu marjele de siguranță îmbunătățite și probabilitate redusă de defectare.

## 1.2. Contribuții teoretice privind modelarea statistică a fiabilității proceselor de prelucrare [DUM08a,b], [DUM09a], [DUM10a,b], [DUM12], [DUM13a]

Utilizarea repartiției normale prezintă avantaje evidente deoarece media și dispersia de eșantionaj ( $\bar{X}$  și  $s^2$ ) sunt chiar parametrii ce definesc funcția densitate de probabilitate [POP95], [MAR 02], [\*\*\*02], [\*\*\*14], [JIA15]:

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1.1)$$

unde  $x \in R$ ,  $\mu \in R$ ,  $\sigma > 0$ , adică  $\hat{\mu} = \bar{x}$  și  $\hat{\sigma} = s$ .

Variabila aleatorie normală pentru care  $\mu = 0$ ,  $\sigma = 1$  se numește variabila aleatorie normală normată sau funcție Laplace, având expresia:

$$f_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}, \quad (1.2)$$

unde  $z = (x - \mu) / \sigma$ .

Funcția de repartiție a variabilei aleatorii  $z$  este dată de relația:

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz = 0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (1.3)$$

în care expresia:

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (1.4)$$

este denumită *funcție integrală Laplace*.

Prezența legii Gauss - Laplace permite calculul prin modelul fracțiunii neconforme. Frațiunea defectivă este proporția de unități defective de produs rezultate într-un proces de fabricație [BÂR 03a].

Pentru un proces de prelucrare modelat de distribuția normală, fracțiunea defectivă estimată se determină astfel:

- *fracțiunea defectivă inferioară* ( $p_{inf}$ ) care reprezintă proporția de unități de produs a căror caracteristici măsurate sunt mai mici decât limita specificată inferioară ( $T_i$ ):

$$p_{inf} = Prob\{X < T_i\} = \int_{-\infty}^{T_i} f(x, \mu, \sigma) dx = F(T_i) = F_0\left(\frac{T_i - \bar{x}}{s}\right), \quad (1.5)$$

- *fracțiunea defectivă superioară* ( $p_{sup}$ ) care reprezintă proporția de unități de produs a căror caracteristici măsurate sunt mai mari decât limita specificată superioară ( $T_s$ ):

$$p_{sup} = Prob\{X > T_s\} = 1 - Prob\{X \leq T_s\} = 1 - \int_{-\infty}^{T_s} f(x, \mu, \sigma) dx = 1 - F_0\left(\frac{T_s - \bar{x}}{s}\right). \quad (1.6)$$

Rezultă că fracțiunea defectivă reprezintă aria de sub curba normală delimitată de toleranța specificată inferioară  $T_i$ , respectiv de toleranța specificată superioară  $T_s$ .

Fracțiunea conformă este dată de relația:

$$q = Prob\{T_i \leq X \leq T_s\} = F_0\left(\frac{T_s - \bar{x}}{s}\right) - F_0\left(\frac{T_i - \bar{x}}{s}\right). \quad (1.7)$$

Funcția de fiabilitate reprezintă probabilitatea ca un element să funcționeze în condiții date, fără defecțiuni, în intervalul  $(0, t)$ :

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt. \quad (1.8)$$

Rata de defectare reprezintă probabilitatea ca un element care a funcționat fără defecțiuni până la momentul  $t$  să se defecteze în intervalul  $(t, t+\Delta t)$ :

$$z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - R(t)}. \quad (1.9)$$

Dacă se consideră funcția cumulativă a ratei de defectare:

$$H(t) = \int_0^t z(t) dt, \quad (1.10)$$

iar funcția de nonfiabilitate dată de relația:

$$F(t) = 1 - e^{-\int_0^t z(t) dt}, \quad (1.11)$$

atunci:

$$F(t) = 1 - e^{-H(t)}. \quad (1.12)$$

Astfel, rezultă următoarele identități:

$$z(t) = -\frac{d \ln R(t)}{dt}, \quad (1.13)$$

$$H(t) = -\ln R(t). \quad (1.14)$$

În tabelul 1.1 sunt prezentate relațiile dintre principalii indicatori de fiabilitate [POP 95].

**Tabelul 1.1** Principalii indicatori de fiabilitate utilizați în cercetarea experimentală

Indicator	F(t)	f(t)	R(t)	z(t)
F(t)	-	$\int_0^t f(t) dt$	$1 - R(t)$	$1 - e^{-\int_0^t z(t) dt}$
f(t)	$\frac{dF(t)}{dt}$	-	$-\frac{dR(t)}{dt}$	$z(t) \cdot e^{-\int_0^t z(t) dt}$
R(t)	$1 - F(t)$	$\int_t^\infty f(t) dt$	-	$e^{-\int_0^t z(t) dt}$
z(t)	$\frac{1}{1 - F(t)} \cdot \frac{dF(t)}{dt}$	$\frac{f(t)}{\int_t^\infty f(t) dt}$	$-\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt}$	-
m	$\int_0^\infty [1 - F(t)] dt$	$\int_0^\infty t \cdot f(t) dt$	$\int_0^\infty R(t) dt$	$\int_0^\infty e^{-\int_0^t z(t) dt}$

Media ratei de defectare (AFR) specifică intervalului  $(T_1, T_2)$  este notată  $AFR(T_1, T_2)$  și reprezintă o valoare care poate fi folosită ca specificație sau țintă a ratei de defectare.

Media ratei de defectare este dată de relațiile [NIS03]:

$$AFR(T_2 - T_1) = \frac{\int_{T_1}^{T_2} z(t) dt}{T_2 - T_1} = \frac{H(T_2) - H(T_1)}{T_2 - T_1} = \frac{\ln R(T_1) - \ln R(T_2)}{T_2 - T_1}; \quad (1.15)$$

$$AFR(0, T) = AFR(T) = \frac{H(T)}{T} = -\frac{\ln R(T)}{T}. \quad (1.16)$$

Proporția de unități de produs neconforme, situate în afara limitelor de toleranță specificate, este estimată cu ajutorul distribuției normale care modelează procesul respectiv  $N(t, \bar{x}, s)$ , prin considerarea fracțiunii defective.

Pentru un interval specificat  $[T_i, T_s]$ , există următoarele situații:

- Probabilitatea ca variabila aleatorie  $X$  să aibă valori mai mici decât o valoare dată  $T_i$ :

$$P(X < T_i) = \frac{1}{2} + \Phi(z) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{T_i - m}{\sigma}\right); \quad (1.17)$$

- Probabilitatea ca variabila aleatorie  $X$  să aibă valori mai mari decât o valoare dată  $T_s$ :

$$P(X > T_s) = \frac{1}{2} - \Phi(z) = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{T_s - m}{\sigma}\right); \quad (1.18)$$

- Probabilitatea ca variabila aleatorie  $X$  să aibă valori cuprinse între valorile date  $T_i$  și  $T_s$ :

$$P(T_i < X < T_s) = 2 \cdot \Phi(z) = 2 \cdot \Phi\left(\frac{T_i, T_s - m}{\sigma}\right), \quad (1.19)$$

iar dacă valorile  $T_i$  și  $T_s$  sunt simetrice față de media aritmetică  $m$ , respectiv  $|z_1| = z_2 = z$ :

$$P(T_i < X < T_s) = \Phi(z_2) - \Phi(z_1) = \Phi\left(\frac{T_s - m}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{T_i - m}{\sigma}\right). \quad (1.20)$$

- Probabilitatea ca variabila aleatorie  $X$  să aibă valori în afara intervalului de la  $T_i$  la  $T_s$ :

$$P(X < T_i, X > T_s) = 1 - [\Phi(z_2) - \Phi(z_1)] = 1 - \left[ \Phi\left(\frac{T_s - m}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{T_i - m}{\sigma}\right) \right], \quad (1.21)$$

iar dacă valorile  $T_i$  și  $T_s$  sunt simetrice față de media aritmetică  $m$ , respectiv  $|z_1| = z_2 = z$ :

$$P(X < T_i, X > T_s) = 1 - 2 \cdot \Phi(z) = 1 - 2 \cdot \left( \frac{T_i, T_s - m}{\sigma} \right). \quad (1.22)$$



*Calitativ*, capabilitatea unui proces de fabricație este exprimată numeric prin indicatorii de capabilitate [MON 96], [KOT 02], [BÂR 02], [DUM10b], [JIA15] și este dată de variabilitatea procesului (limitele naturale ale procesului) și aria limitelor specificate (cerințele clientului).

Indicele de potențialitate este dat de relația:

$$C_p = (T_s - T_i) / 6s. \quad (1.23)$$

Indicele de capabilitate este dat de relația:

$$C_{pk} = \min\{C_{pkinf}, C_{pk sup}\} = \min\left\{\frac{LSS - \bar{X}}{3 \cdot s}, \frac{\bar{X} - LSI}{3 \cdot s}\right\}. \quad (1.24)$$

Indicele Taguchi, notat cu  $C_{pm}$  este dat de relația:

$$C_{pm} = \frac{T_s - T_i}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} = \frac{\frac{T_s - T_i}{6\sigma}}{\sqrt{1 + \frac{(\mu - T)^2}{\sigma^2}}} = \frac{C_p}{\sqrt{1 + V^2}}, \quad (1.25)$$

unde  $T$  reprezintă mijlocul intervalului  $[T_i, T_s]$ :

$$T = (T_i + T_s)/2, \quad (1.26)$$

iar  $V$  reprezintă:

$$V = \frac{\bar{X} - T}{s}. \quad (1.27)$$

Când media procesului este centrată între limitele specificate și  $\mu = T$ , atunci  $C_p = C_{pk} = C_{pm}$ .

Dacă  $X$  urmează o distribuție normală, atunci probabilitatea ca valorile sale să fie în afara limitelor specificate este dată de relația:

$$p = Pr[X \notin [LSS, LSI]] = 1 - \left[ \Phi\left(\frac{LSS - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\mu - LSI}{\sigma}\right) \right], \quad (1.28)$$

unde  $\Phi$  reprezintă funcția de distribuție cumulativă.

Utilizând probabilitatea  $p_{sup}$  de depășire a limitei specificate superioare  $LSS$  și probabilitatea  $p_{inf}$  de a nu atinge limita specificată inferioară  $LSI$ , indicele de potențialitate și indicele de capabilitate pot fi exprimați prin următoarele ecuații [ANG 01], [VAR12]:

$$p_{inf} = \Phi\left(\frac{\mu - LSI}{\sigma}\right), \quad (1.29)$$

$$p_{sup} = 1 - \Phi\left(\frac{LSS - \mu}{\sigma}\right), \quad (1.30)$$

$$C_p = \frac{1}{6} \left( \Phi^{-1}(1 - p_{sup}) - \Phi^{-1}(p_{inf}) \right), \quad (1.31)$$

$$C_{pk} = \frac{1}{3} \min \left( \Phi^{-1}(1 - p_{sup}), \Phi^{-1}(p_{inf}) \right) = \frac{1}{3} \min \left( \Phi^{-1}(1 - p_{sup}), \Phi^{-1}(1 - p_{inf}) \right) = \frac{1}{3} \Phi^{-1}(1 - p), \quad (1.32)$$

unde:  $\Phi^{-1}$  reprezintă funcția inversă a repartiției normale.

Media perioadei operaționale (ARL) specifică unui proces de prelucrare este invers proporțională cu probabilitatea de depășire a limitelor de control specificate și este dată de relația [SUT 04], [VAR12]:

$$ARL = \frac{1}{P}. \quad (1.33)$$

Pentru o distribuție normală ( $\pm 3\sigma$ ), probabilitatea de a depăși limita de control superioară este  $p_{sup} = 0,00135$ , iar proporția de unități de produs mai mici decât limita inferioară este  $p_{inf} = 0,00135$ . Astfel,  $ARL \cong 370,39$  reprezintă numărul de produse care se află în control.

O medie a perioadei operaționale a proceselor de prelucrare de durată este de dorit pentru un proces stabilit la nivelul specificat, astfel încât să se minimizeze perioada pentru implementarea acțiunilor corective sau preventive. O medie a perioadei operaționale a proceselor de prelucrare de durată scurtă este dorită pentru un proces modificat la un nivel nedorit, astfel încât acțiunea corectivă să fie implementată prompt.

Considerând perioada de eșantionare  $\Delta t$ , media ratei de defectare este invers proporțională cu media perioadei operaționale [DUM08a], [DUM08b], [DUM09a], [DUM10a], [DUM10b], [DUM13a]:

$$AFR = \Delta t \cdot \frac{1}{ARL}. \quad (1.34)$$

Înlocuind expresiile în relațiile de mai sus, se obține:

$$-\frac{\ln R(T)}{T} = \Delta t \cdot p. \quad (1.35)$$

Fracțiunile defective în funcție de indicii  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $C_{pm}$  sunt date de relațiile:

$$p = 2\Phi(-3C_p), \quad (1.36)$$

$$p = 2\Phi(-3C_{pk}), \quad (1.37)$$

$$p = 2\Phi(-3C_{pm}). \quad (1.38)$$

Deoarece  $C_p$  nu depinde de media  $\mu$ , valoarea fracțiunii defective  $p$  depinde și de indicele de capabilitate  $C_{pk}$ . Astfel, fracțiunea defectivă, în funcție de indicii  $C_p$  și  $C_{pk}$ , se poate scrie sub forma:

$$p = \Phi[-3(2C_p - C_{pk})] + \Phi(-3C_{pk}). \quad (1.39)$$

Din relația 2.34 și relația 2.35 rezultă expresia fiabilității, respectiv nonfiabilității proceselor de prelucrare [DUM08a], [DUM08b], [DUM09a], [DUM10a], [DUM10b], [DUM13a]:

$$R(T) = e^{-\Delta t \cdot T \cdot p}, \quad (1.40)$$

$$F(T) = 1 - e^{-\Delta t \cdot T \cdot p}, \quad (1.41)$$

Fiabilitatea unui proces de prelucrare, exprimată în funcție de indicii de capabilitate  $C_p$ ,  $C_{pk}$  și  $C_{pm}$ , media perioadei operaționale și nivelul fracțiunii defective, este dată de relațiile [DUM08a], [DUM08b], [DUM09a], [DUM10a], [DUM10b], [DUM13a]:

$$R(T) = e^{-\Delta t \cdot T \cdot \{\Phi[-3(2C_p - C_{pk})] + \Phi(-3C_{pk})\}}. \quad (1.42)$$

$$R(T) = e^{-\Delta t \cdot T \cdot 2\Phi(-3C_{pm})}. \quad (1.43)$$

Nonfiabilitatea unui proces de prelucrare, exprimată în funcție de indicii de capabilitate  $C_p$ ,  $C_{pk}$  și  $C_{pm}$ , media perioadei operaționale și nivelul fracțiunii defective, este dată de relațiile [DUM08a], [DUM08b], [DUM09a], [DUM10a], [DUM10b], [DUM13a]:

$$F(T) = 1 - e^{-\Delta t \cdot T \cdot \{\Phi[-3(2C_p - C_{pk})] + \Phi(-3C_{pk})\}}. \quad (1.44)$$

$$F(T) = 1 - e^{-\Delta t \cdot T \cdot 2\Phi(-3C_{pm})}. \quad (1.45)$$

### 1.3. Estimarea fiabilității proceselor de prelucrare prin strunjire [DUM08a,b] [DUM09a], [DUM10a], [DUM12], [DUM 13a,b]

#### 1.3.1. Simularea fiabilității proceselor de prelucrare prin strunjire [DUM08a,b], [DUM09a], [DUM10a], [DUM11a,b] [DUM12], [DUM13a]

Metodele de simulare reproduc fenomenele reale prin fenomene asemănătoare (modele) produse în mod artificial, simularea permițând schimbarea condițiilor de intrare și studiul efectelor acestor modificări la ieșire.

Reproducerea fenomenului prin simulare numerică se poate face mai rapid sau mai încet decât în realitate, opus modului real de manifestare.

*Metoda Monte-Carlo* presupune ansamblul procedeelelor care permit obținerea soluțiilor unei probleme cu ajutorul variabilelor aleatoare.

Principiul care stă la baza metodei de simulare Monte-Carlo constă în a indica un algoritm care permite găsirea unei mărimi  $f$ , exact sau cu o precizie dată. Fie  $f_1, f_2, \dots, f_n$  rezultatele corespunzătoare operațiilor succesive, atunci  $f = \lim_{n \rightarrow \infty} f_n$ .

Estimările  $f_1, f_2, \dots, f_n$  ale mărimii căutate  $f$  se obțin prin tratarea statistică a datelor furnizate de rezultatele unor experiențe aleatoare. Astfel, pentru orice  $\varepsilon > 0$  trebuie îndeplinită egalitatea:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(|f_n - f| < \varepsilon) = 1. \quad (1.46)$$

Generarea de numere aleatoare se bazează pe valorile unei selecții referitoare la o variabilă aleatoare  $X$ , care are pe un interval dat  $[0, k]$ ,  $k \in N$ , o repartiție uniformă. Generându-se numere aleatoare întregi uniform repartizate pe domeniul  $[0, k]$ ,  $k$  fiind suficient de mare, se pot obține numere aleatoare uniforme  $u$ , în intervalul  $[0, 1]$ , prin transformarea  $u = \frac{x}{k}$ ,  $0 \leq x \leq k$ .

Condiția ca variabila aleatoare  $X$  să aibă o repartiție uniformă pe intervalul  $(a, b)$ ,  $-\alpha < a < b < +\alpha$ , este ca funcția sa de repartiție să aibă următoarea expresie:

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b. \\ 1 & x \geq b \end{cases} \quad (1.47)$$

Densitatea de probabilitate este definită prin intermediul relației:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & x \in (a, b) \\ 0 & x \notin (a, b) \end{cases}. \quad (1.48)$$

Variabila aleatoare cea mai utilizată este  $U$ , uniformă pe intervalul  $(0,1)$ , ea stând la baza generării unor selecții de variabile aleatoare independente și identic repartizate, având o repartiție a probabilității dată. Dacă  $U$  este repartizată uniform pe intervalul  $(0,1)$ , atunci:

$$V = a + (b-a)U, \quad (1.49)$$

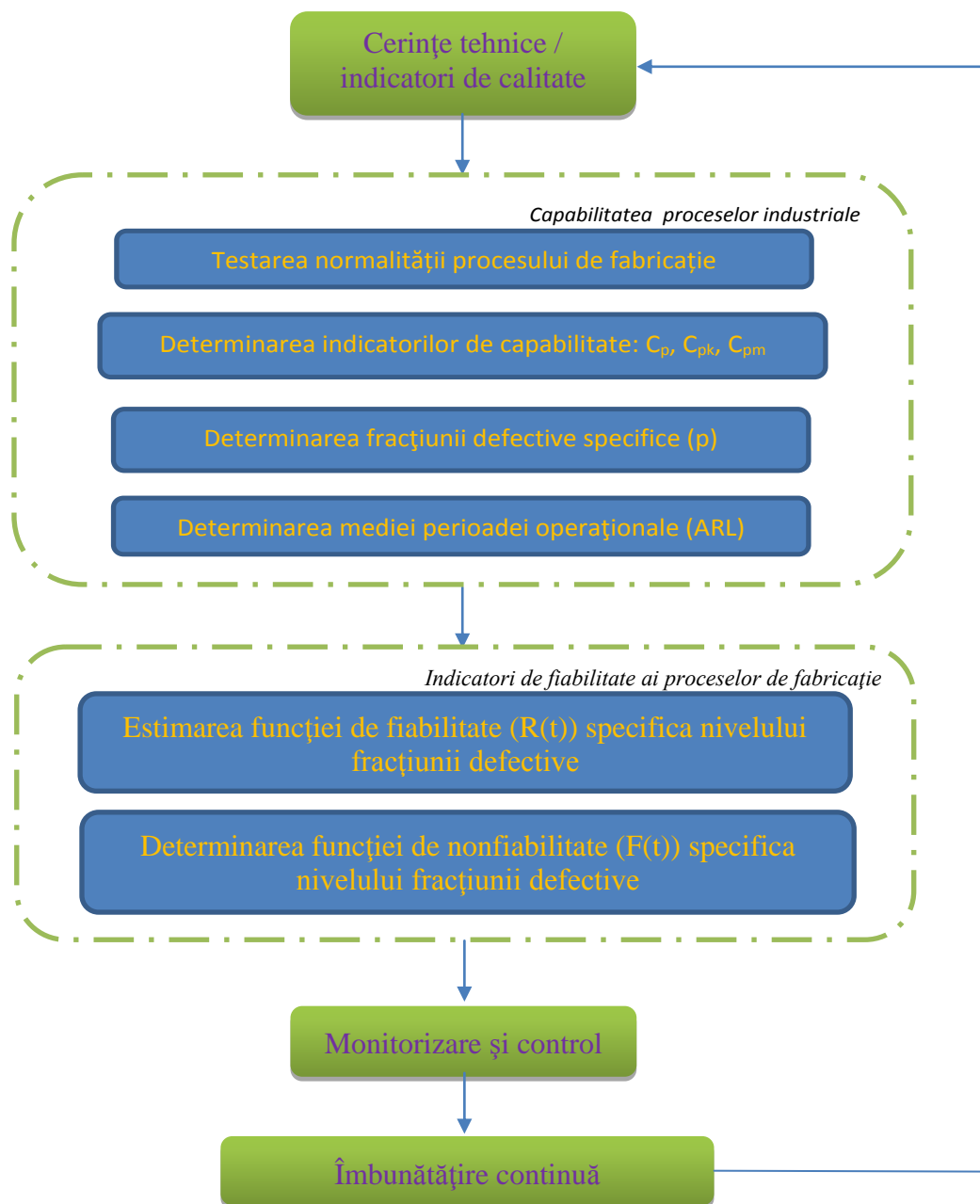
este o variabilă aleatoare repartizată uniform pe intervalul  $(a,b)$ .

Dacă  $I = (a_1, b_1) \times \dots \times (a_k, b_k) \subset \mathcal{R}^k$  este mărginit, atunci vectorul aleator  $W = (w_1, \dots, w_k)$  are o repartiție uniformă pe  $I$ , dacă densitatea sa de repartiție are următoarea expresie:

$$f(w_1, \dots, w_k) = \begin{cases} \frac{1}{\prod_{i=1}^k (b_i - a_i)}, & (w_1, \dots, w_k) \in I \\ 0, & \text{altfel} \end{cases}. \quad (1.50)$$

Programul de simulare Monte-Carlo cuprinde etapele descrise în figura 1.3. Metodologia de simulare a principalilor indicatori de fiabilitate a fost elaborată pe baza funcțiilor statistice predefinite în soft-urile Excel, MathCAD și Minitab.

Simularea fiabilității, respectiv nonfiabilității constă în analizarea diferite procese de strunjire pentru care s-au estimat indicii de capabilitate, indicii de potențialitate, indicii Taguchi și mediile perioadelor operaționale. Procesul de simulare Monte-Carlo aplicat pentru determinarea indicatorilor de fiabilitate se bazează pe generarea a 1000 de valori. Pentru calculul funcției de fiabilitate / nonfiabilitate specifice proceselor, s-au utilizat relațiile propuse în acest capitol. În figura următoare este prezentat algoritmul de aplicare a simulării principalilor indicatorilor de fiabilitate ai proceselor de prelucrare.



**Figura 1.3** Metodologia de simulare a indicatorilor de fiabilitate specifice proceselor de prelucrare

Indicatorii de fiabilitate ai proceselor de prelucrare au fost determinați pentru o perioadă  $T = (0, 2000)$  ore și o perioadă de eșantionare  $\Delta t = 1$  (ore). Estimarea fiabilității, respectiv nonfiabilității proceselor de strunjire pentru diferite valori ale indicilor de capabilitate, sunt reprezentate grafic în figurile 1.4 – 1.8.

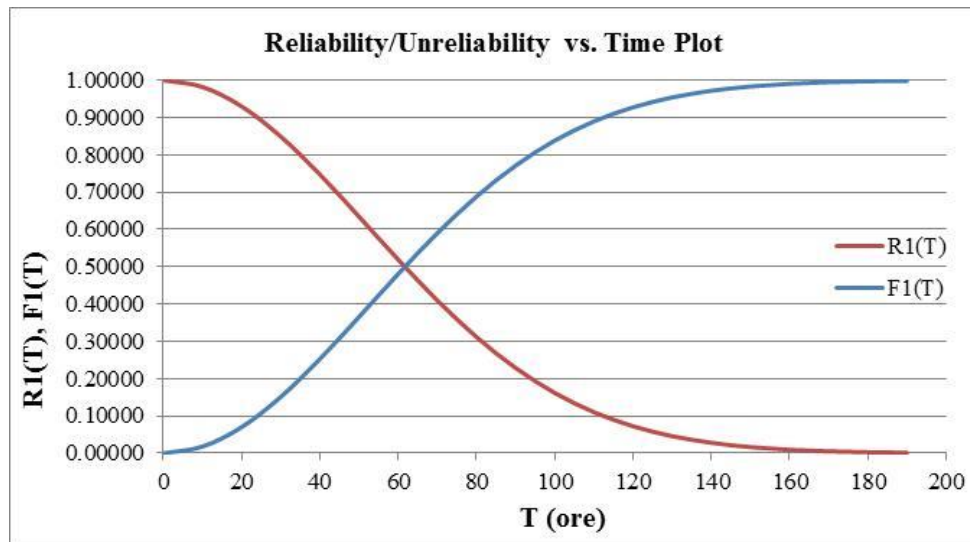


Figura 1.4 Estimarea fiabilității și nonfiabilității pentru „procesul 1”

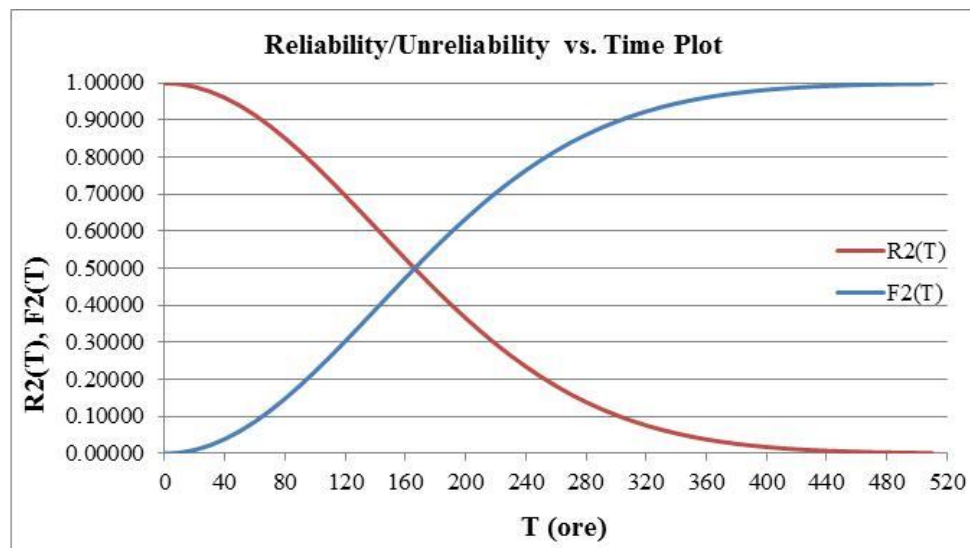


Figura 1.5 Estimarea fiabilității și nonfiabilității pentru „procesul 2”

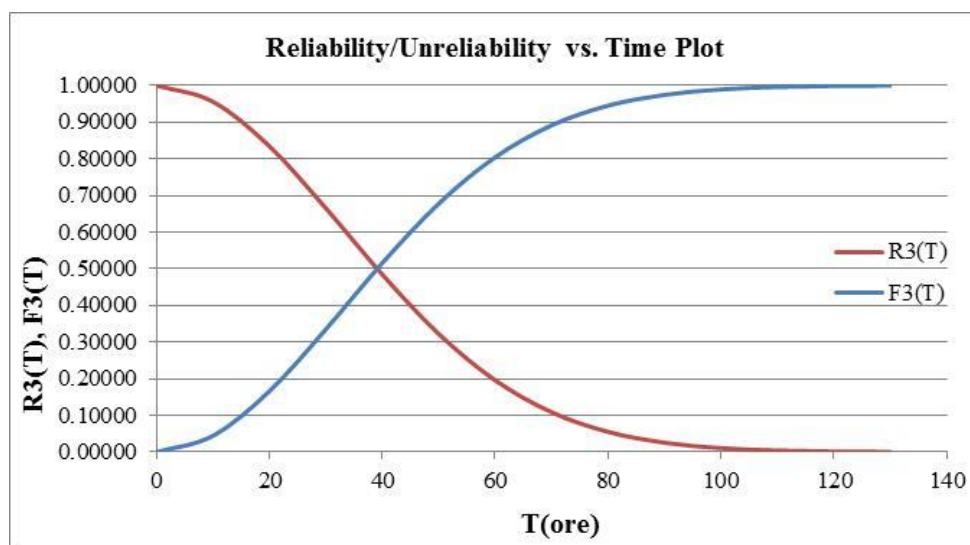


Figura 1.6 Estimarea fiabilității și nonfiabilității pentru „procesul 3”

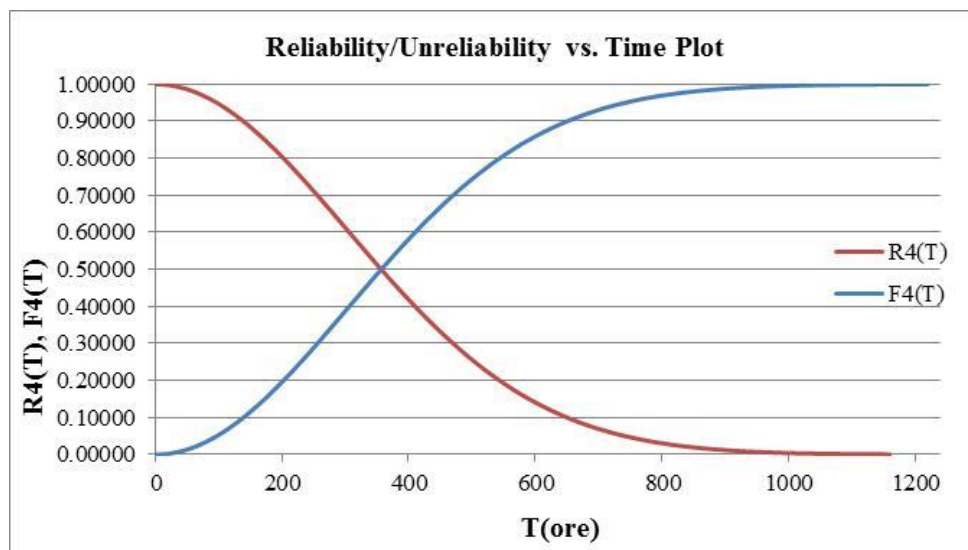


Figura 1.7 Estimarea fiabilității și nonfiabilității pentru „procesul 4”

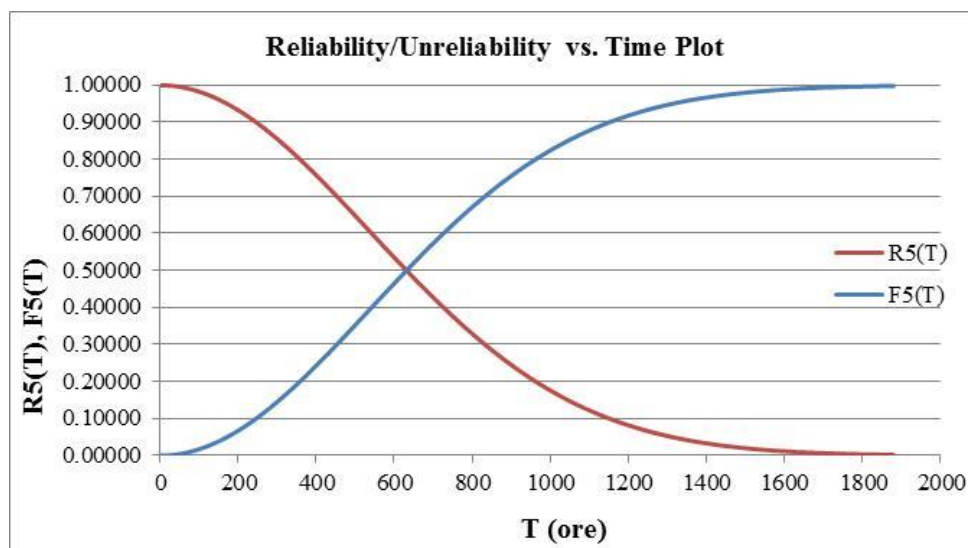


Figura 1.8 Estimarea fiabilității și nonfiabilității pentru „procesul 5”

Estimarea mediilor perioadelor operaționale în funcție de fracțiunea defectivă, corespunzătoare indicilor de capabilitate și indicilor de potențialitate, precum și analiza comparativă a rezultatelor simulării fiabilității și nonfiabilității proceselor de prelucrare, sunt prezentate centralizat în tabelul 1.2, figura 1.9 și 1.10.

**Tabelul 1.2** Rezultatele simulării fiabilității și nonfiabilității proceselor de prelucrare

Proces	Cp	Cpk	$\Phi 1$	$\Phi 2$	p	ARL	T (ore)
Proces 1	1.18	0.97	1.523E-05	0.00180714378	0.00182237376	548.7348536	190
Proces 2	1.38	1.16	7.93328E-07	0.00025070689	0.00025150022	3976.139672	510
Proces 3	1.72	0.87	6.29089E-15	0.00452711113	0.00452711113	220.8914185	130
Proces 4	1.68	1.29	2.64923E-10	0.00005441768	0.00005441794	18376.29229	1170
Proces 5	2.14	1.38	1.65942E-18	0.00001736529	0.00001736529	57586.13523	1880

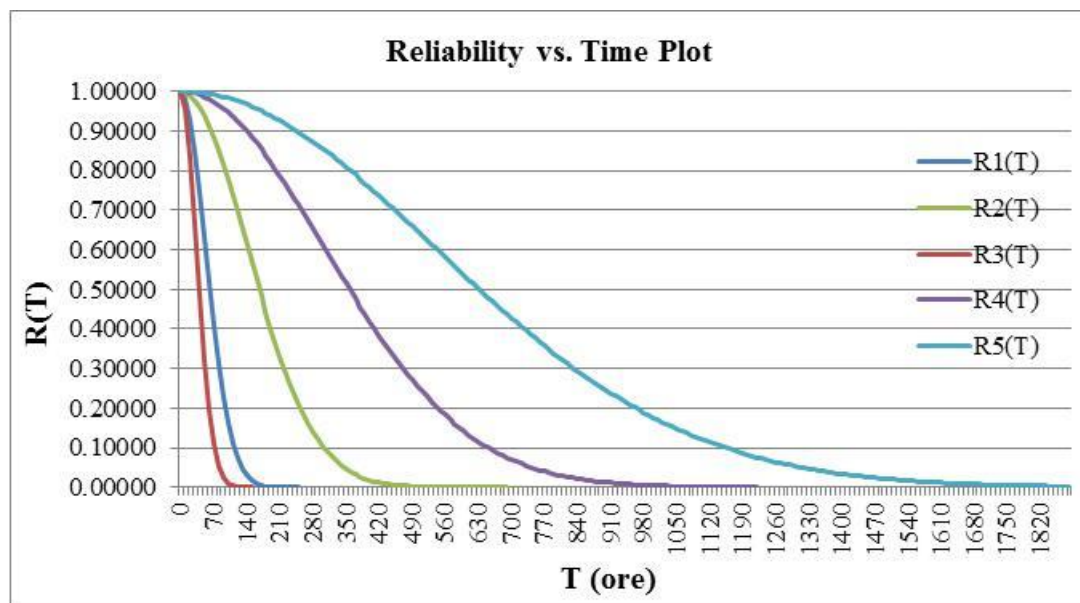


Figura 1.9 Analiza comparativă a rezultatelor simulării fiabilității proceselor de prelucrare

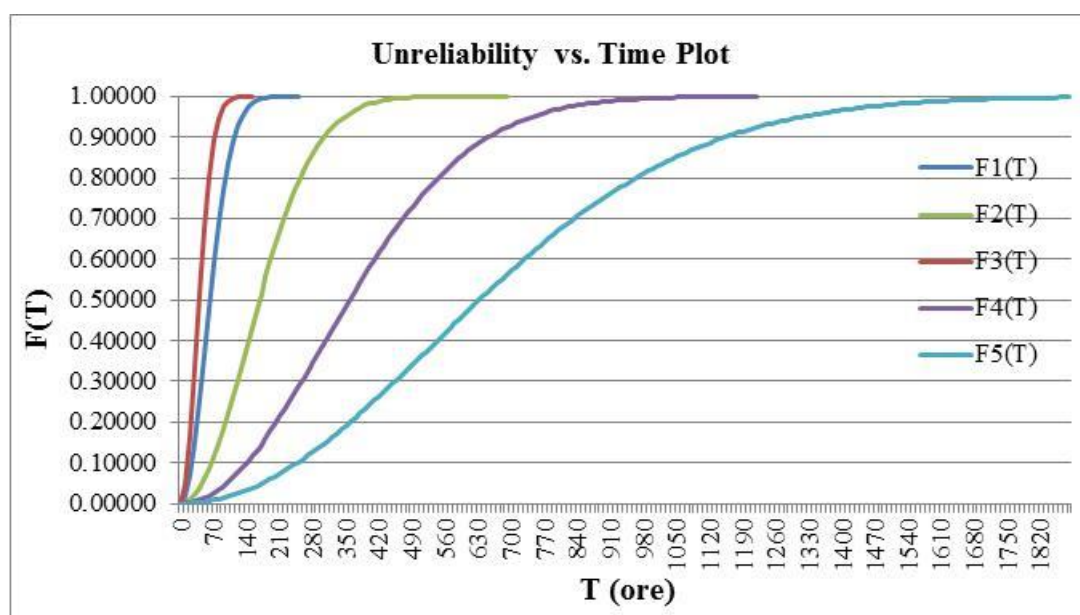


Figura 1.10 Analiza comparativă a rezultatelor simulării nonfiabilității proceselor de prelucrare

Din analiza rezultatelor simulării se poate observa importanța indicatorului de capacitate  $Cpk$  asupra fiabilității proceselor analizate. Dacă potențialitatea procesului este demonstrată ( $Cp > 1$ ) și procesul nu este capabil ( $Cpk < 1$ ), atunci fiabilitatea procesului este scăzută. Cu cât valoarea indicelui  $Cpk$  este mai mare, cu atât fiabilitatea procesului este demonstrată (tabelul 1.2).

### 1.3.2. Estimarea fiabilității procesului de prelucrare prin strunjire. Studiu de caz. [DUM08a,b], [DUM09a], [DUM10a], [DUM12], [DUM13a]

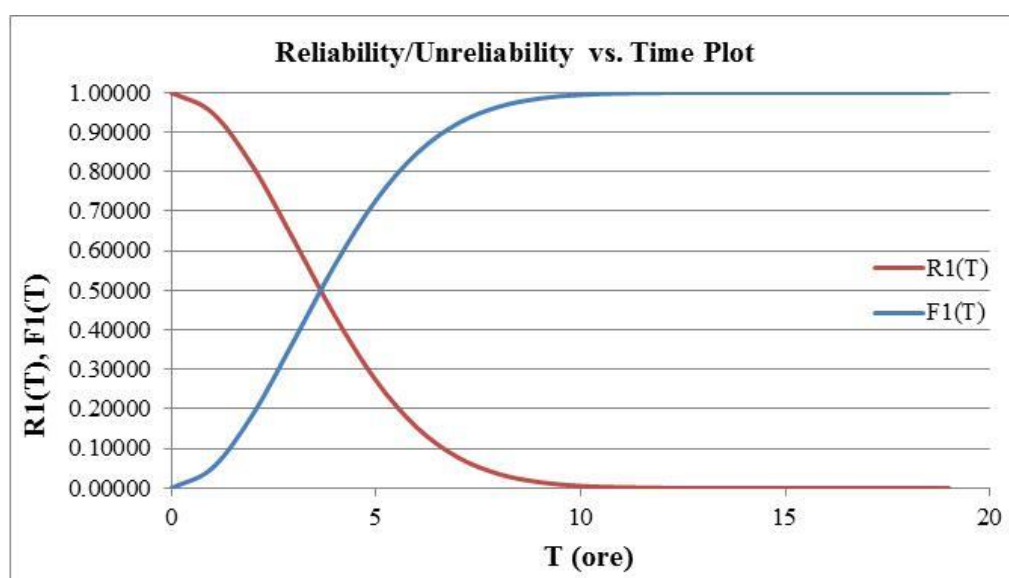
Aprecierea calității suprafețelor sub aspect geometric se face pe baza abaterilor macro-geometrice (abateri de formă, poziție, orientare, bătaie și ondulații) și micro-geometrice



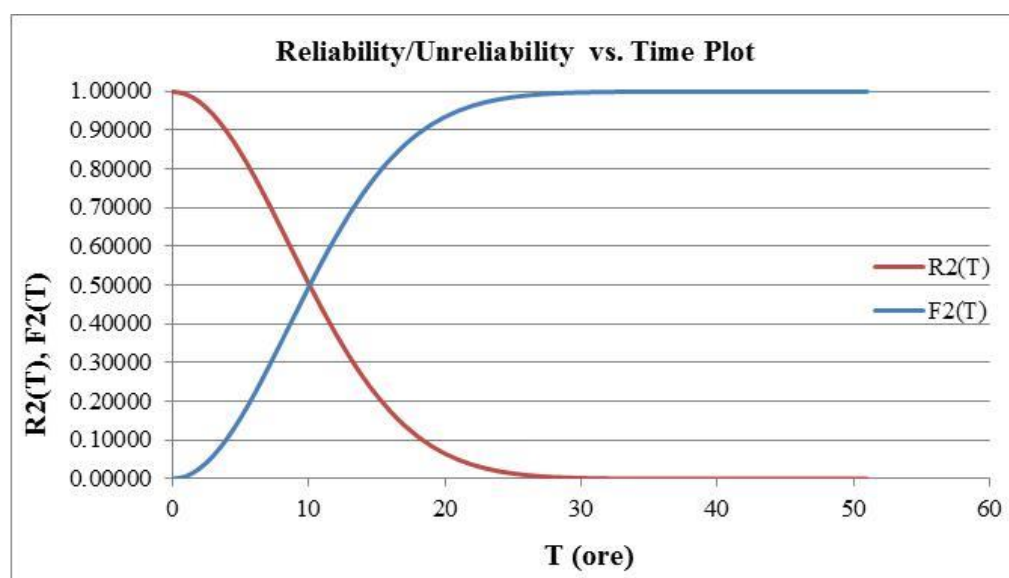
(rugozitatea), iar din punct de vedere al proprietăților fizico-mecanice, stratul superficial este caracterizat prin microstructura specifică (comparativ cu microduritatea materialului de baza) și tensiunile interne remanente introduse de procedeul de prelucrare mecanică.

În acest sens, estimarea fiabilității, respectiv nonfiabilității procesului de prelucrare prin strunjire a constat în analiza datelor experimentale observate pentru două caracteristici dimensionale măsurate pentru care s-au determinat indicii de capabilitate, indicii de potențialitate, indicii Taguchi și mediile perioadelor operaționale.

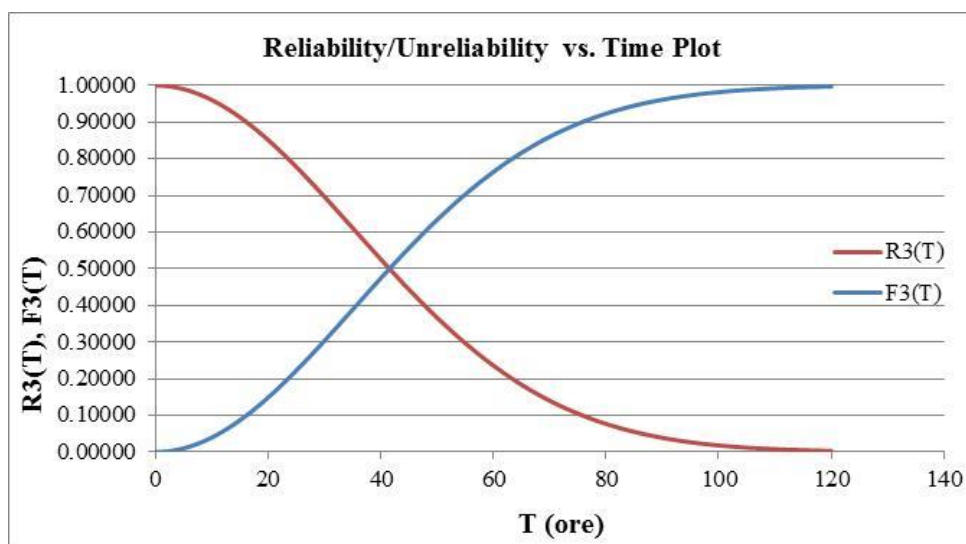
Durata de verificare / reglare a procesului de prelucrare este de 8 ore, iar perioada de eșantionare este  $\Delta t = 2$  ore. Concordanța datelor experimentale s-a analizat prin aplicarea testelor statistice de concordanță. S-a determinat că distribuția procesului de prelucrare urmează modelul Normal. Rezultatele experimentale s-au obținut pentru  $T = (0, 100)$  ore, iar funcțiile de fiabilitate și nonfiabilitate a procesului de strunjire analizat, sunt prezentate grafic în fig. 1.11 – fig.1.13.



**Figura 1.11** Estimarea fiabilitatii si nonfiabilitatii procesului (etapa I)



**Figura 1.12** Estimarea fiabilitatii si nonfiabilitatii procesului (etapa II)

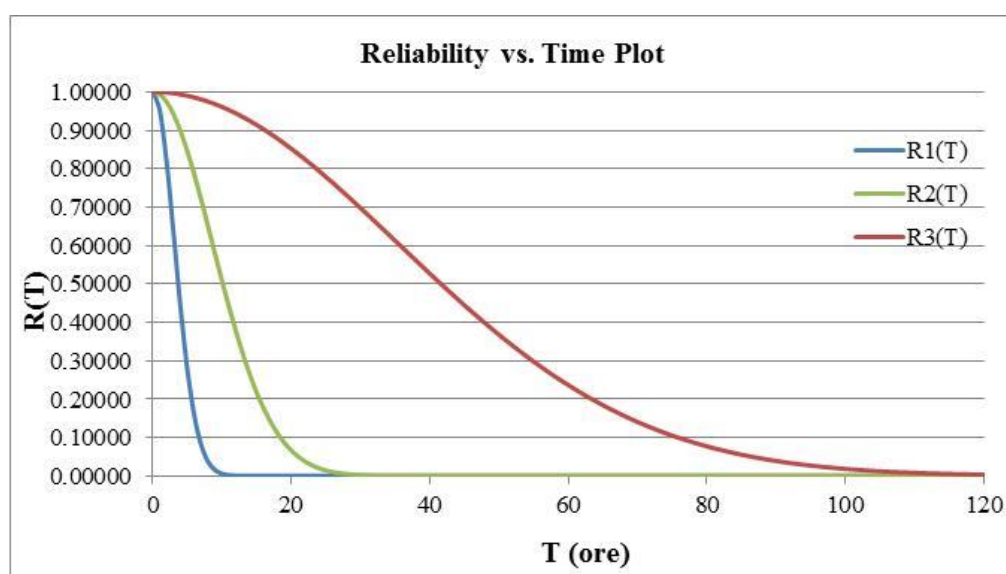


**Figura 1.13** Estimarea fiabilitatii si nonfiabilitatii procesului (etapa III)

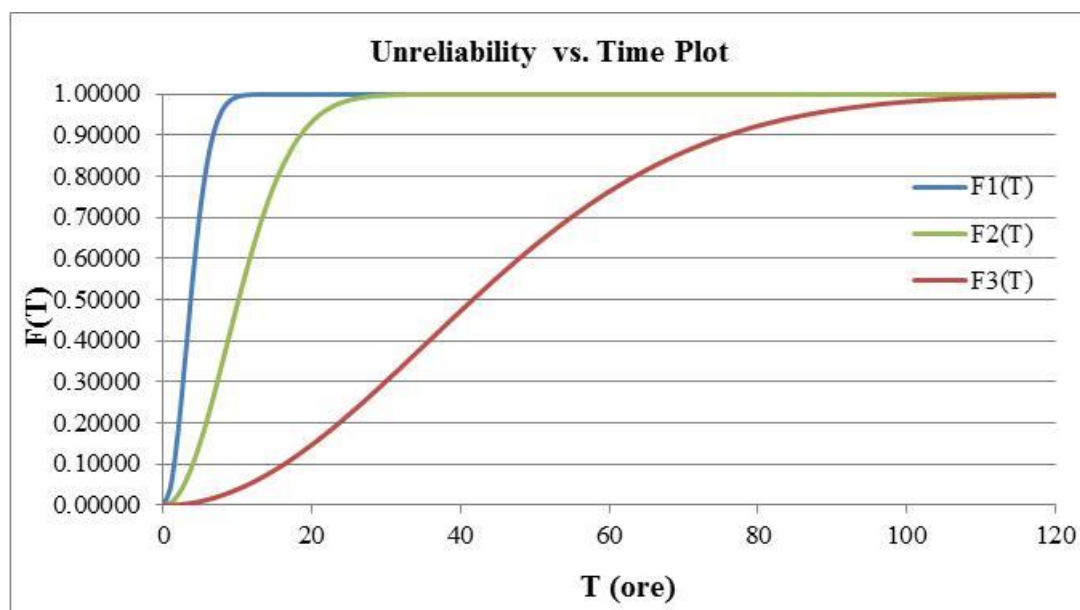
Estimarea mediilor perioadelor operaționale în funcție de fracțiunea defectivă, corespunzătoare indicilor de capabilitate și indicilor de potențialitate, precum și analiza comparativă a rezultatelor estimării fiabilității și nonfiabilității procesului de strunjire, sunt prezentate centralizat în tabelul 1.3, figura 1.14 și figura 1.15.

**Tabelul 1.3** Rezultatele estimării fiabilității și nonfiabilității proceselor de strunjire

Cp	Cpk	$\Phi 1$	$\Phi 2$	p	ARL	T (ore)
0.75	0.7	0.008197536	0.01786442056	0.02606195649	38.37010473	10
0.98	0.95	0.001222769	0.00218596145	0.00340873015	293.3643781	26
1.41	1.18	4.32721E-07	0.00020006352	0.00020049624	4987.624778	108



**Figura 1.14** Analiza comparativă a rezultatelor experimentale ale fiabilității procesului de strunjire



**Figura 1.15** Analiza comparativă a rezultatelor experimentale ale nonfiabilității procesului de strunjire

Ca urmare a cercetărilor experimentale efectuate pentru a analiza fiabilitatea / nonfiabilitate procesului de strunjire aplicând relațiile de calcul (1.42, 1.43, 1.44, 1.45), s-a putut stabili evoluția în timp a fiabilității procesului în funcție de nivelul fracțiunii defective și media perioadei operaționale.

Se poate concluziona că prin estimarea fiabilității procesului de prelucrare, se poate analiza procesul nu doar din prisma variabilității și a mediei datelor experimentale, ci și din punct de vedere al estimării previzionale a comportării în timp a acestuia pentru o perioadă  $(0, T)$ . În acest mod, se pot lua decizii prompte în vederea îmbunătățirii calității proceselor de prelucrare, reducerea numărului de produse defecte (ppm) și reducerea substanțială a costurilor noncalității.

#### **1.4. Îmbunătățirea calității și fiabilității procesului de superfinisare aplicând analiza modurilor de defectare și a efectelor defectării [DUM06], [DUM07], [DUM09b], [DUM11c], [DUM13a,b,c], [DUM14]**

Dintre prelucrările de netezire, superfinisarea este unul dintre cele mai des utilizate procedee, datorită performanțelor tehnice și economice superioare față de altele (lepuirea, honuirea, etc.). În aceste condiții, prelucrările de netezire a suprafețelor constituie condiții indispensabile pentru obținerea unor produse care îndeplinesc cerințele de calitate impuse de client [BUZ98], [BUZ07a,b], [BUZ09a].

Procedeele de prelucrare de netezire a suprafețelor metalice au fost concepute pentru a fi utilizate, în special în scopul diminuării unor influențe negative asupra preciziei de lucru, precum și a modificării structurale a materialului ce apar la prelucrările de degroșare și finisare prin aşchiere anterioare, determinate în special de temperatura mare din zona de contact dintre sculă și piesă, de distrugerea structurii cristaline a metalului în straturile superficiale, de eforturile mari din zona de aşchiere

Datorită cerințelor tot mai mari care se impun rugozității suprafețelor prelucrate, aceasta

influențând pozitiv durabilitatea și fiabilitatea produselor, cercetările performanțelor tehnice și economice ale aplicării procedurilor de netezire, vizează, în special optimizarea parametrilor tehnologici și celor constructivi ai sculelor abrazive. Calitatea suprafeței obținute în urma procedurii de netezire prin superfinisare depinde de factorii tehnologici și constructivi, aceștia fiind determinați de particularitățile procesului de așchiere.

Din aceste considerente, precum și din necesitatea obținerii caracteristicilor de calitate impuse de client, cercetările fundamentale teoretice și experimentale privind estimarea previzională a calității și fiabilității proceselor ar trebui să fie o prioritate pentru organizațiile de profil.

#### **1.4.1. Particularități ale procesului de prelucrare prin superfinisare [BUZ07a,b], [BUZ09a,b], [BUZ14], [LEP11a,b]**

Un factor important ce influențează direct calitatea suprafeței prelucrate este alegerea corectă a valorilor regimului de așchiere, astfel încât să nu se suprapună traiectoriile urmelor lăsate pe suprafața piesei de către granulele abrazive ale sculei. Evitarea suprapunerii curbilor granulelor abrazive este necesară pentru că gradul de acoperire cu urme ale traiectoriilor pe unitatea de suprafață să fie cât mai mare, realizându-se astfel și un coeficient cât mai ridicat de intersecție a acestor traiectorii, cu influență favorabilă asupra calității suprafeței.

Performanțele tehnologice ale netezirii suprafețelor prin superfinisare (și implicit cele economice) cu privire la rugozitatea obținută, productivitatea prelucrării, precizia dimensională și geometrică a suprafeței piesei sunt influențate de mai mulți factori atât de natură tehnologică, dar și constructivă ai sistemului tehnologic de prelucrare.

Calitatea suprafeței obținute în urma procedurii de netezire prin superfinisare depinde de mai mulți factori, determinați fiind de particularitățile procesului de așchiere. Una din particularitățile acestui procedeu de prelucrare este faptul că granulele abrazive care efectuează așchiera au o geometrie nedeterminată, variabilă, datorată modului de realizare a corpului abraziv cât și diversității formelor granulelor a căror așezare în spațiul sculei are un caracter aleatoriu. Din această cauză geometria penei de așchiere a granulelor abrazive este variabilă de la o granulă la alta și, în general, acestea au unghiuri de degajare  $\gamma$  negative. Acest aspect al așchierii cu unghiuri de degajare negative, are consecințe nedorite, printre care se enumera o tasare puternică în zona de lucru, o suprasolicitare mecanică și termică a suprafeței piesei și sculei. Pentru a rezista acestor suprasolicitări ce apar în procesul de așchiere, granulele abrazive trebuie să aibă, în general, o duritate mai ridicată decât a tăișului sculelor folosite în așchiera clasică (oțel de scule, oțel rapid, carburi metalice).

O altă particularitate a procedurii de superfinisare care are consecințe asupra calității (rugozității) obținute în urma prelucrării, este existența fenomenului de autoascuțire a barei abrazive. Această specificitate a sculei are consecințe favorabile asupra prelucrării, deoarece duce la creșterea productivității, fiindcă nu mai este nevoie de un timp special pentru ascuțirea sculei, așa cum se întâmplă, spre exemplu la rectificare. Intensitatea fenomenului de autoascuțire este dependentă de forța de apăsare a barei abrazive pe suprafața de prelucrat.

Mișcarea rectilinie alternativă a barei abrazive cu amplitudine mică ( $a = 1-3$  mm) și cu frecvență ridicată (1500-2000 cd/min) la finisare mai ales (prelucrare finală), constituie o altă particularitate a procedurii de prelucrare, care are influență pozitivă asupra calității obținute. Acest fapt se explică prin stocarea și eliminarea microașchiilor rezultate în urma prelucrării, care

pătrund în spațiul restrâns dintre granule la cursa de întoarcere corespunzătoare mișcării oscilatorii a barei abrazive.

O altă particularitate specifică prelucrărilor cu abrazivi o constituie faptul că numărul granulelor abrazive de pe suprafața corpului abraziv care participă la așchiere este variabil.

Pe de o parte, nu toate granulele abrazive de la periferia corpului abraziv se află la aceeași distanță față de axa sculei și deci nu pot participa la așchiere. Pe de altă parte, datorită „elasticității” liantului din structura corpului abraziv, sub acțiunea forțelor normale de presiune care apar între piesă și sculă, granulele „se afundă” în corpul abraziv, rămânând în lucru efectiv un anumit număr de granule active.

Ponderea granulelor abrazive dinamice (active) depinde de mai mulți factori: mărimea și natura granulei abrazive, granulația sculei, starea suprafeței sculei abrazive și capacitatea acesteia de a se autoasculi, prelucrabilitatea materialului de așchiat, condițiile de ungere-răcire, etc.

Pe baza celor prezentate mai sus, rezultă că la superfinisare, condițiile de prelucrare cu tăișuri multiple și geometrie nedefinită conduc la un contact dintre sculă și piesă variabil în timp și drept consecință un coeficient de frecare variabil, dependent în mare măsură și de modul în care lichidul de așchiere ajunge în zona de lucru.

Datorită acestei variații a suprafeței de contact sculă – piesă, este neuniformă calitatea obținută în urma prelucrării.

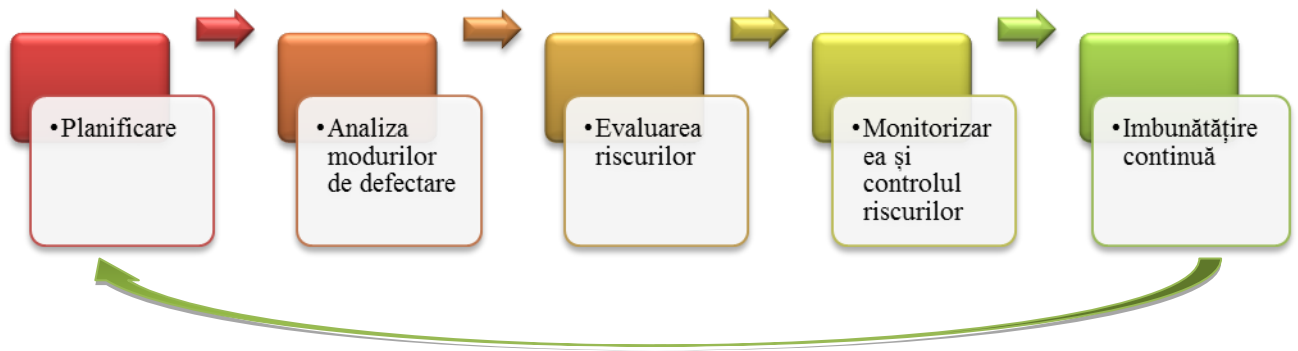
Toate aceste particularități fac dificilă modelarea procesului de prelucrare prin superfinisare din punct de vedere ale performanțelor tehnologice.

#### **1.4.2. Analiza modurilor potențiale de defectare și a efectelor defectării specifice procesului de superfinisare**

Managementul riscurilor industriale reprezintă o metodă de îmbunătățire a calității, fiabilității și siguranței produsului/procesului prin analiza modurilor potențiale de defectare și a efectelor defectării.

Implementarea procesului de management al riscurilor constă în identificarea, analiza, cuantificarea riscurilor și elaborarea de planuri de tratare a acestora. Un model schematic de gestionare a riscului este ilustrat în figura 1.16.

Analiza modurilor de defectare și a efectelor defectării (FMEA) este una dintre cele mai utilizate metode destinată să ofere o abordare analitică a modurilor potențiale de defectare ale unui produs sau proces de prelucrare. Procesul de evaluare a riscurilor specifice unui proces tehnologic se realizează în scopul planificării acțiunilor corective necesare reducerii și controlului riscurilor potențiale, precum și aplicarea de măsurilor pentru prevenirea apariției acestora.



**Figura 1.16** Managementul riscurilor

Metoda FMEA nu are o arie specifică de utilizare, însă poate fi aplicată în următoarele situații:

- Analiza modurilor potențiale ale defectărilor, în cazul unor componente importante din punct de vedere al siguranței;
- Implementarea unei noi tehnologii;
- Produse sau procese cu probleme referitoare la calitate.
- Lansarea unui nou tip de produs sau proces;
- Modificări ale produselor sau proceselor existente;
- Adaptarea produselor unor noi condiții de utilizare.

În procedura FMEA există trei etape critice:

- Identificarea modurilor potențiale de defectare;
- Corectitudinea datelor pentru apariție, detectare și severitate;
- Dezvoltarea procedurilor de control al procesului pe baza raportului FMEA de care depinde în ultimă instanță eficiența analizei FMEA.

Elementele identificate și analizate în cursul aplicării tehnicilor FMEA sunt: funcțiile, modurile potențiale de defectare, cauzele, efectele și acțiunile.

Etapele aplicării FMEA pentru procesul de superfinisare sunt (figura 1.17):

- identificare funcțiilor procesului: sunt evidențiate defectările potențiale pentru fiecare funcție, cauzele care le pot provoca și propunerea măsurilor de prevenire;
- analiza defectărilor: sunt stabilite toate defectările posibile ale procesului și modurile de defectare. Se poate apela la specialiști, la organizarea unor ședințe de brainstorming unde să fie invitați, alături de specialiști, executanții și beneficiarii produsului;
- evaluarea efectelor defectărilor: defectările sunt evaluate prin probabilitatea de apariție și probabilitatea de a fi detectate. Evaluarea efectelor se face folosind o scară de punctaj. Se stabilesc criteriile de evaluare pentru care se acordă un punctaj și în funcție de gravitatea defectărilor se stabilesc măsurile de prevenire;
- îmbunătățirea procesului de prelucrare prin implementarea metodelor specifice din domeniul ingineriei calității.

<i>Efect</i>	<i>Severitatea efectului</i>	<i>Punctaj</i>	<i>Probabilitatea de apariție a defectului</i>	<i>Rata posibilă de defectare</i>	<i>Cpk</i>	<i>Punctaj</i>
Hazardat – fără avertizare	Defectarea poate pune în pericol operatorii. Defectarea afectează funcționarea în siguranță a produsului sau implică nerespectarea legislației - fără avertizare	10	Foarte mare: Defectarea este aproape inevitabilă	$\geq 1$ din 2	$< 0,33$	10
				1 din 3	$\geq 0,33$	9
			Mare: Asociată în general cu procese similare cu defectări repetate	1 din 8	$\geq 0,51$	8
				1 din 20	$\geq 0,67$	7
Hazardat – cu avertizare	Defectarea poate pune în pericol operatorii. Defectarea afectează funcționarea în siguranță a produsului sau implică nerespectarea legislației – cu avertizare	9	Moderată: Asociată în general cu procese similare cu defectări ocazionale	1 din 80	$\geq 0,83$	6
				1 din 400	$\geq 1,00$	5
				1 din 2.000	$\geq 1,17$	4
Foarte mare	Înterupere majoră a procesului. Produsele pot fi 100% defective. Produsul este inoperabil, cu pierderea funcției de bază.	8	Reducă: Defectări izolate asociate cu procese similare	1 din 15.000	$\geq 1,33$	3
				Foarte redusă: Numai defectări izolate asociate cu procese aproape identice	1 din 150.000	$\geq 1,50$
Mare	Înterupere minoră a procesului. Produsele pot fi sortate și o parte sunt defective. Produsul este operabil, dar la un nivel redus de performanță	7	Foarte mică: Defectarea este improbabilă.		$\leq 1$ din 150.000	$\geq 1,67$
Moderat	Înterupere minoră a procesului. O parte din produse sunt defective. Produsul este operabil, dar articolele care realizează confortul nu sunt funcționale	6				
Reducus	Înterupere minoră a procesului. Produsul este operabil, dar articolele care realizează confortul funcționează la un nivel redus de performanță	5				
Foarte redus	Înterupere minoră a procesului. Produsele pot fi remaniate. Articolele de finisare și aspectul nu sunt conforme. Majoritatea clienților sesizează defectarea	4				
Minor	Înterupere minoră a procesului. Articolele de finisare și aspectul nu sunt conforme. Circa jumătate din clienți sesizează defectarea	3				
Foarte minor	Înterupere minoră a procesului. Articolele de finisare și aspectul nu sunt conforme. O mică parte din clienți sesizează defectarea	2				
Inexistent	Nici un efect	1				

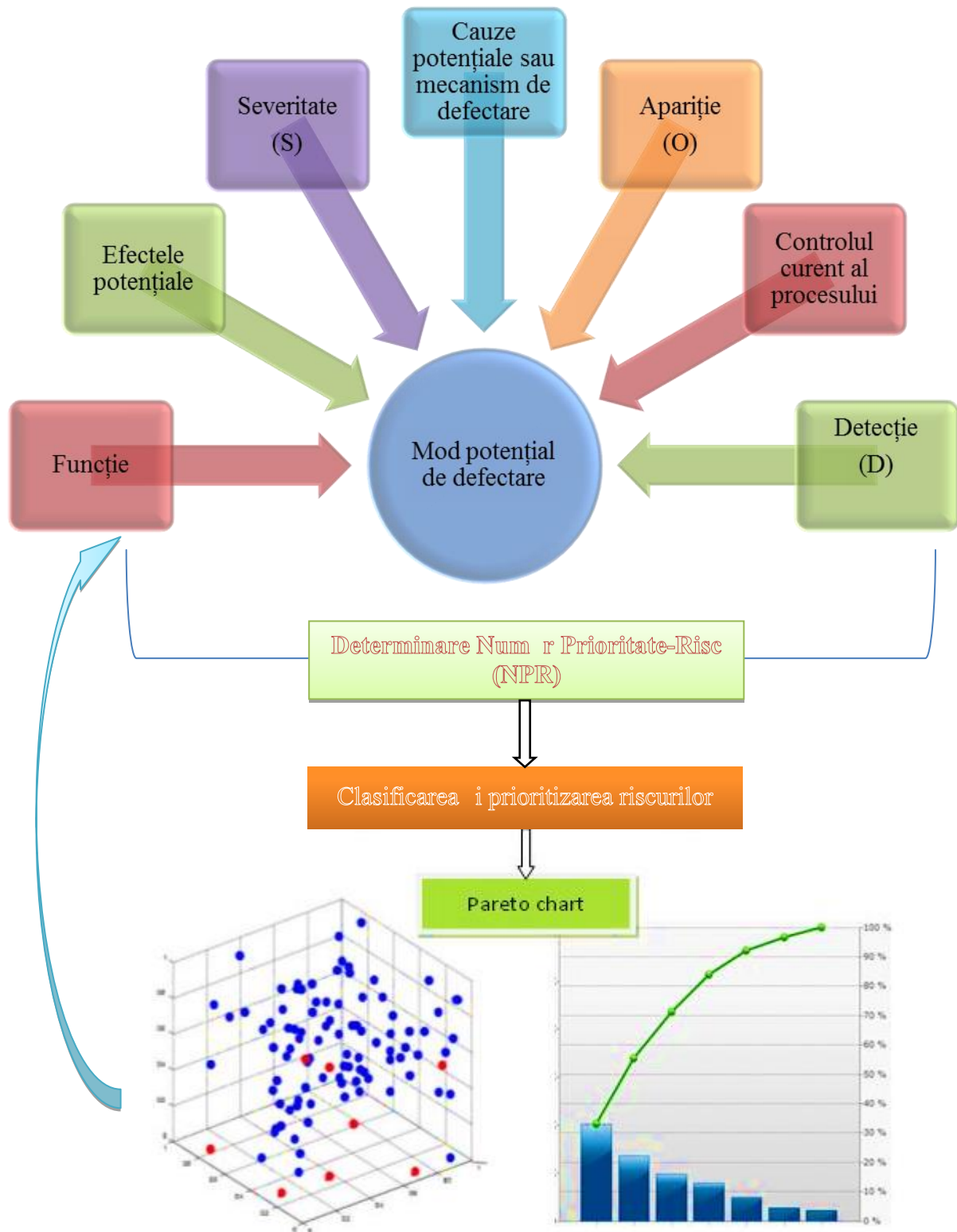
  

<i>Deteție</i>	<i>Probabilitatea de dectecție</i>	<i>Punctaj</i>
Aproape imposibilă	Nu există control (controale) care să detecteze modul de defectare sau cauza	10
Foarte puțin probabilă	Foarte puțin probabil ca controlul curent să detecteze modul de defectare sau cauza	9
Puțin probabilă	Puțin probabil ca controlul curent să detecteze modul de defectare sau cauza	8
Foarte redusă	Probabilitate foarte redusă ca controlul curent să detecteze modul de defectare sau cauza	7
Reducă	Probabilitate redusă ca controlul curent să detecteze modul de defectare sau cauza	6
Moderată	Probabilitate moderată ca controlul curent să detecteze modul de defectare sau cauza	5
Medie	Probabilitate medie ca controlul curent să detecteze modul de defectare sau cauza	4
Mare	Probabilitate mare ca controlul curent să detecteze modul de defectare sau cauza	3
Foarte mare	Probabilitate foarte mare ca controlul curent să detecteze modul de defectare sau cauza	2
Aproape sigură	Controlul curent al procesului va detecta aproape sigur modul de defectare sau cauza	1

**Figura 1.17** Criterii de evaluare a severității, detecției și apariției modurilor de defectare

Modurile potențiale de defectare sunt cuantificate și prioritizate în funcție de cât de grave sunt efectele lor ( $S$ ), cât de frecvent apar ( $O$ ) și cât de ușor pot fi detectate ( $D$ ), [BĂR 03], [QS95], [ȘOL12], [LAR13].

Monitorizarea indicelui de prioritate-risc ( $NPR$ ) este principala metodă de evaluare a riscurilor specifice proceselor de prelucrare și reprezintă produsul dintre cei trei indicatori  $NPR = S \cdot O \cdot D$ . Toate acțiunile aplicate în FMEA, trebuie să conducă, în final, la reducerea numărului prioritate-risc, deci la reducerea riscului asociat procesului tehnologic, astfel toate elementele FMEA integrându-se într-un proces de management al riscului.



**Figura 1.18** Metodologia de evaluare a riscurilor aplicând metoda FMEA

Riscurile sunt asociate efectelor pe care modurile de defectare potențiale pot să le genereze. Riscul este clasificat pe trei nivele: risc ridicat (R), mediu (M) și scăzut (S). Nivelul de acceptare al riscului în funcție de NPR este stabilit de către organizație în funcție de importanță produselor și proceselor industriale pe care le furnizează, dar și în funcție de condițiile tehnice / cerințele de calitate impuse de beneficiar.



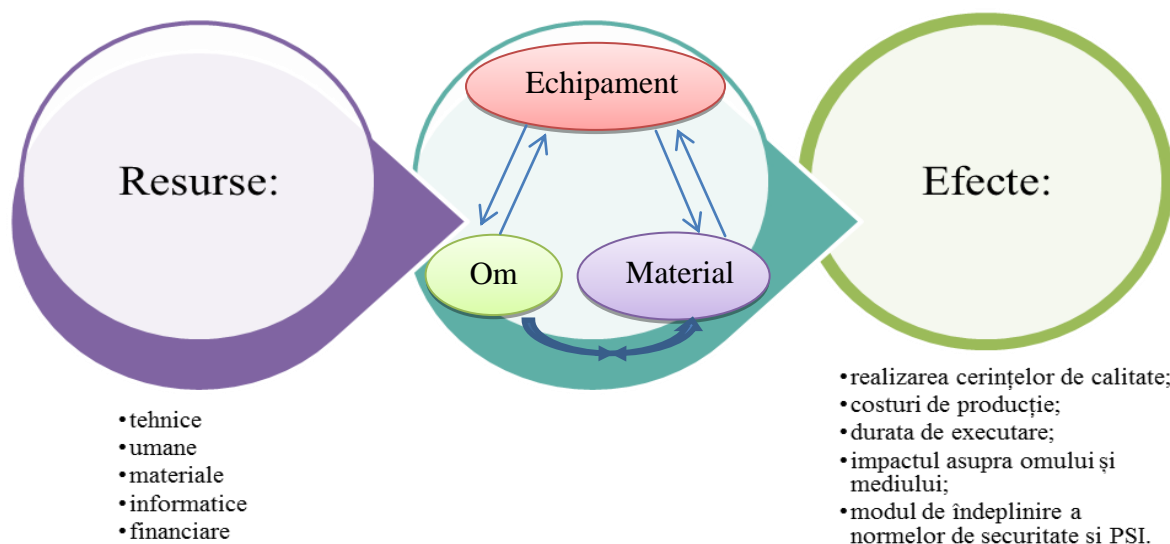
Legătura dintre clasificarea calitativă a riscului în FMEA de proces și clasificarea cantitativă furnizată de numărul prioritate-risc este dată în tabelul 1.4. Obiectivul aplicării managementului riscului în FMEA este situarea tuturor caracteristicilor procesului analizat în zona de risc scăzut cu un  $NPR \leq 40$ .

**Tabelul 1.4** Clasificarea riscului în FMEA

Clasificarea calitativă	Clasificarea cantitativă
Risc scăzut (S)	$NPR \leq 40$
Risc mediu (M)	$41 \leq NPR \leq 100$
Risc ridicat (R)	$NPR > 100$

În cazul procesului de superfinisare, metoda FMEA constă în evaluarea procesului identificându-se modurile de defectare care pot fi cauzate de către procesul de prelucrare, echipamentul tehnologic, dispozitive și metodele de producție. Analiza are drept scop determinarea defectărilor potențiale sau existente ale procesului și ierarhizarea lor în funcție de nivelele de risc, finalitatea analizei constând în implementarea acțiunilor preventive și ulterior corective pentru diminuarea nivelului de risc al fiecărui mod potențial de defectare.

Sistemul tehnologic este caracterizat de dependența dintre trei factori principali: om – echipament tehnologic – material (figura 1.19). Pe lângă acești factori, ar trebui considerate și alte categorii cum ar fi: resursele (consumabile, lubrifianți, energie electrică), financiare, informatice, resursa umană.



**Figura 1.19** Interacțiunea dintre principalii indicatori ai unui sistem tehnologic

Influențele sistemului tehnologic asupra procesului de prelucrare:

1. *Influența sistemului de prelucrare.* Mașina unealta se manifestă ca un factor de influență asupra preciziei de prelucrare.

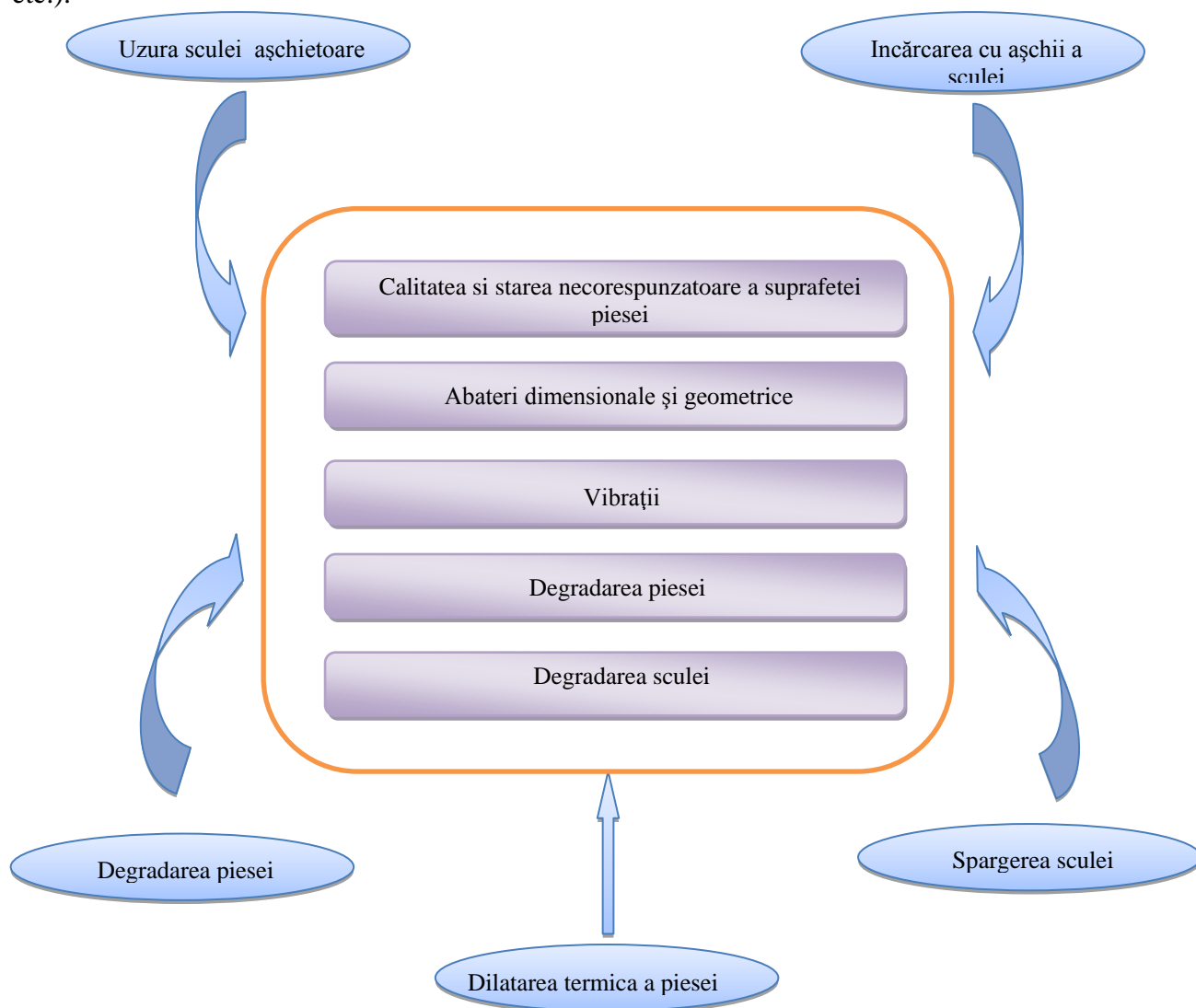
Factorii principali sunt imprecizia lanțurilor cinematice, imprecizia geometrica a mașinii unelte, uzura mașinii unelte, așezarea necorespunzătoare a echipamentului tehnologic pe fundație, deformații elastice în funcție de rigiditatea mașinii-unelte, a forțelor și a momentelor de așchiere, reglaje necorespunzătoare.

2. *Influența sculelor așchietoare.* Factorii de influență principali sunt proiectarea și execuția necorespunzătoare a sculelor utilizate în procesul de producție, ascuțirea necorespunzătoare, uzura sculei, deformațiile elastice în timpul prelucrării, vibrații care se datorează în principal geometriei și regimului de așchiere alese necorespunzător.

3. *Influența echipamentelor de măsurare și monitorizare.* Factorii de influență principali sunt uzura elementelor componente, influența temperaturii mediului ambiant, influența factorului uman, precizia măsurării, forțe variabile în timpul măsurătorilor.

4. *Influența dispozitivelor de prindere a semifabricatelor.* Factorii de influență principali sunt uzura elementelor de reazem în dispozitive, manevrarea necorespunzătoare, deformații elastice în timpul prelucrării.

5. *Influența semifabricatelor.* Factorii de influență principali sunt deformații elastice la strângere, orientare și fixare a semifabricatului necorespunzătoare pe mașina uneltă sau dispozitiv, imprecizia geometrică a semifabricatului, deformații datorate redistribuirii tensiunilor interne apărute la operația precedentă (turnare, matrițare, sudare, așchiere, tratament termic, etc.).

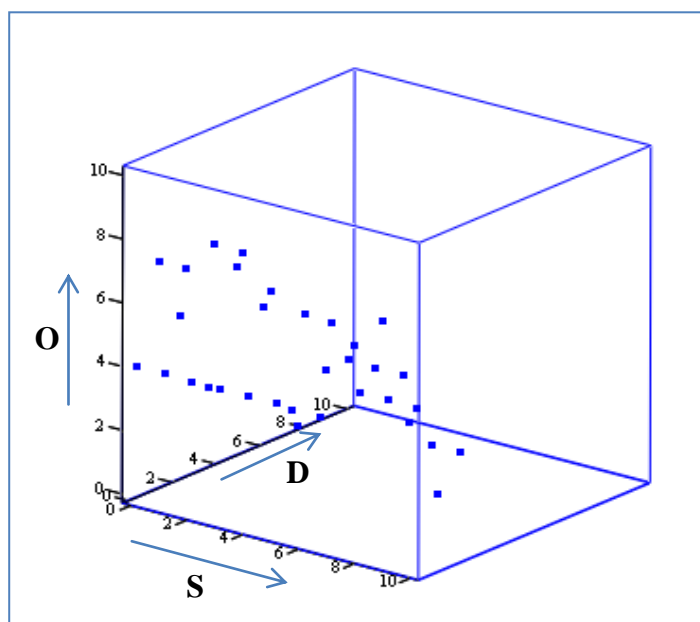


**Figura 1.20** Interacțiunea dintre modurile de defectare și efectele acestora

Modurile potențiale de defectare identificate sunt mărimi aleatoare și din acest motiv nu pot fi previzionate precis pentru fiecare moment dat al operației desfășurate, ci doar cu o anumită probabilitate. Caracterul aleator al acestora, se datorează modului în care se manifestă ca fenomene fizice și particulare, datorită caracteristicilor constructive specifice acestora. De asemenea, uzura sculelor este influențată la rândul ei de diferiți factori cum ar fi: parametrii geometrici și constructivi, proprietățile mecanice ale materialului supus prelucrării, regimurilor de așchiere, rigiditatea sistemului tehnologic – mașină-unealtă, sculă, piesă, dispozitiv etc. Interacțiunea dintre modurile de defectare și a efectelor acestora este ilustrat în figura 1.20.

Utilizând diagrama Ishikawa, s-au determinat modurile potențiale de defectare, efectele potențiale, precum și cauzele potențiale ale defectării, respectiv ale realizării necorespunzătoare a calității procesului de superfinisare și a suprafețelor prelucrate.

Evaluarea modurilor de defectare specifice procesului de superfinisare considerând cei trei indicatori (*S*, *O*, *D*) este ilustrată prin reprezentarea riscurilor cuantificate pe baza nivelului prioritate-risc (figura 1.21).



**Figura 1.21** Distribuția riscurilor evaluate

În acest sens, s-au identificat modurile potențiale de defectare:

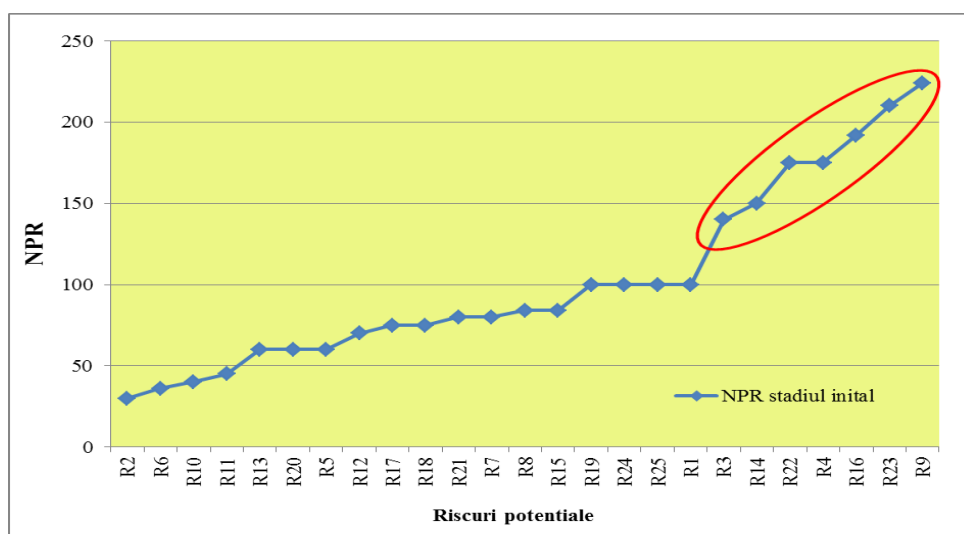
- uzura sculei așchietoare;
- încărcarea sculei cu așchii;
- spargerea sculei;
- modificarea caracteristicilor lichidului de așchiere;
- variația caracteristicilor inițiale referitoare la calitatea suprafeței și adaosului de prelucrare.

Efectele caracteristice modurilor de defectare s-au împărțit în trei categorii acordând primei categorii un punctaj de severitate 4, celei de-a doua categorii un punctaj de severitate 7 corespunzător unui efect mare, iar pentru a treia categorie un punctaj de severitate 5 corespunzător unui efect mediu, considerând că nivelul de performanță al procesului este necorespunzător. Efectele principalele ale defectării, respectiv ale obținerii necorespunzătoare a calității suprafețelor prelucrate prin superfinisare constau în:

- abateri geometrice;
- rugozitate necorespunzătoare;
- degradarea piesei prelucrate;
- apariția ecrusării.

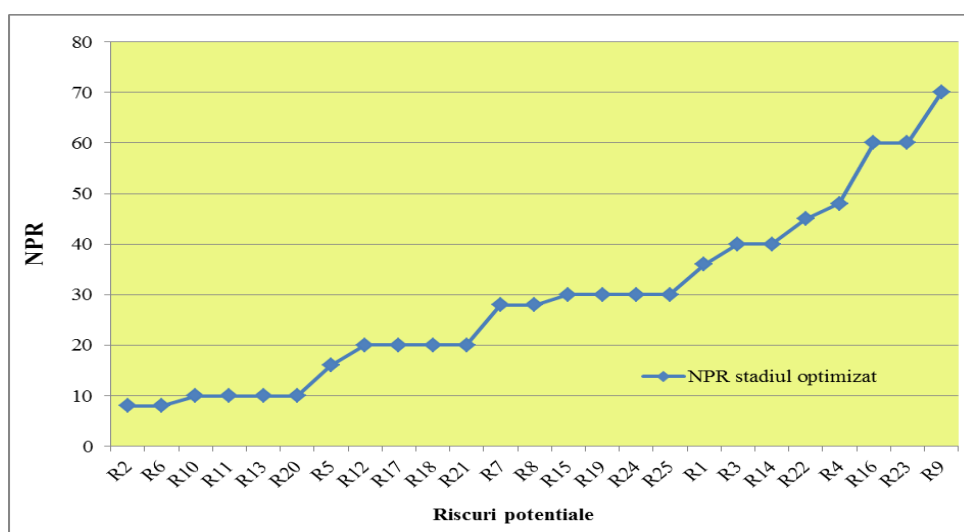
De asemenea, au fost identificate cauzele potențiale de defectare, care au fost cuantificate din punct de vedere al apariției, dar și modalitățile de control pentru fiecare cauză specificată, unde s-au acordat punctajele de detecție, rezultând numerele de prioritate – risc pentru stadiul inițial al procesului de superfinisare.

În urma clasificării riscurilor, în etapa inițială a analizei cauzelor de defectare ale procesului de superfinisare, s-au obținut următoarele clase de risc în funcție de numărul prioritate-risc (figura 1.22): 7 cauze cu *NPR* ridicat (R), 15 cauze cu *NPR* mediu (M) și 3 cauze cu *NPR* scăzut (S). O atenție deosebită trebuie acordată riscurilor care depășesc nivelul acceptabil.



**Figura 1.22** Reprezentarea riscurilor pentru stadiul inițial

După aplicarea acțiunilor corective, pentru stadiul optimizat s-au înregistrat 5 cauze cu risc mediu (M) și 20 cauze cu risc scăzut (S) (figura 1.23).



**Figura 1.23** Reprezentarea riscurilor pentru stadiul optimizat

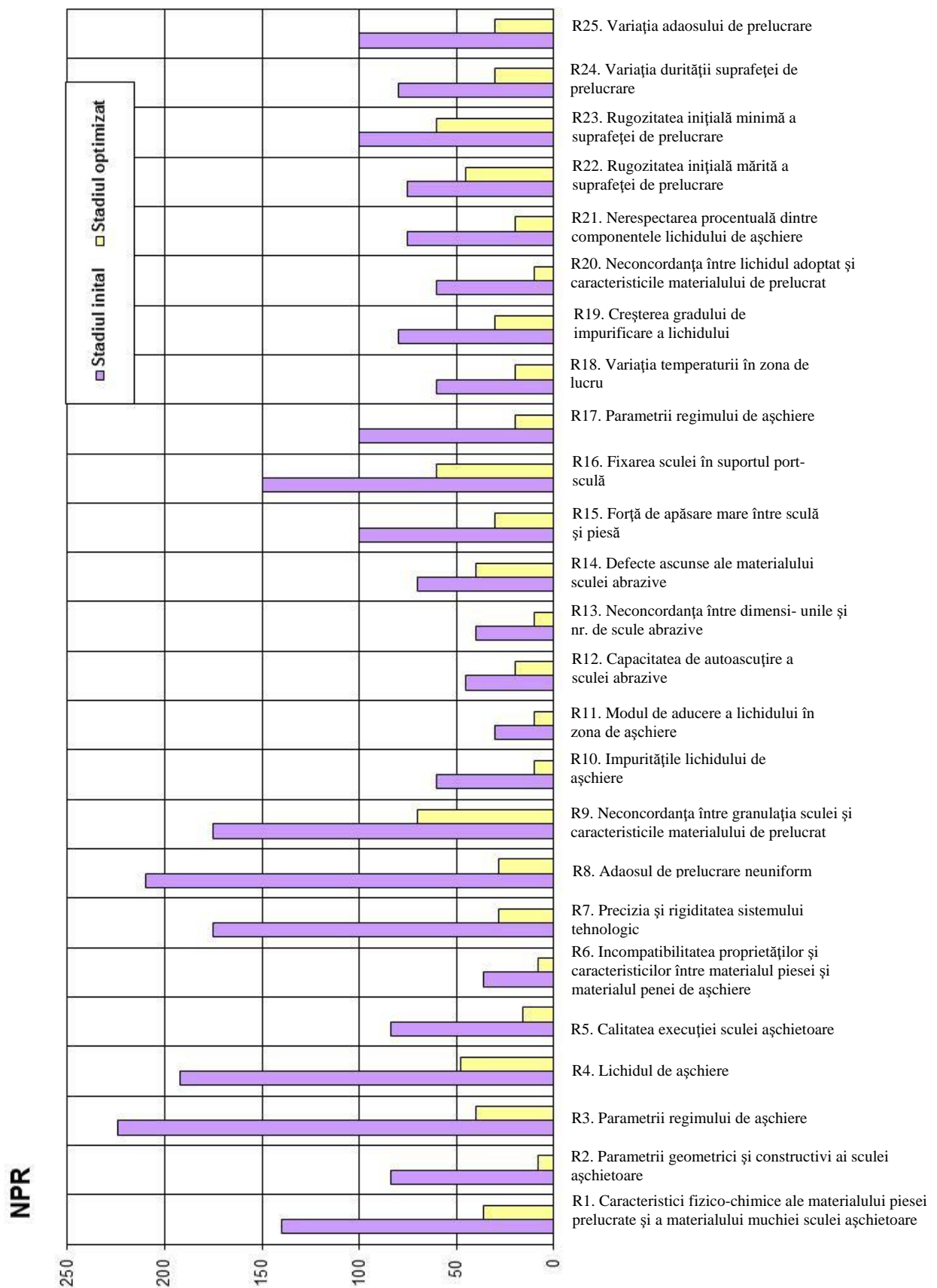


Figura 1.24 Distribuția cauzelor de defectare potențiale în funcție de NPR

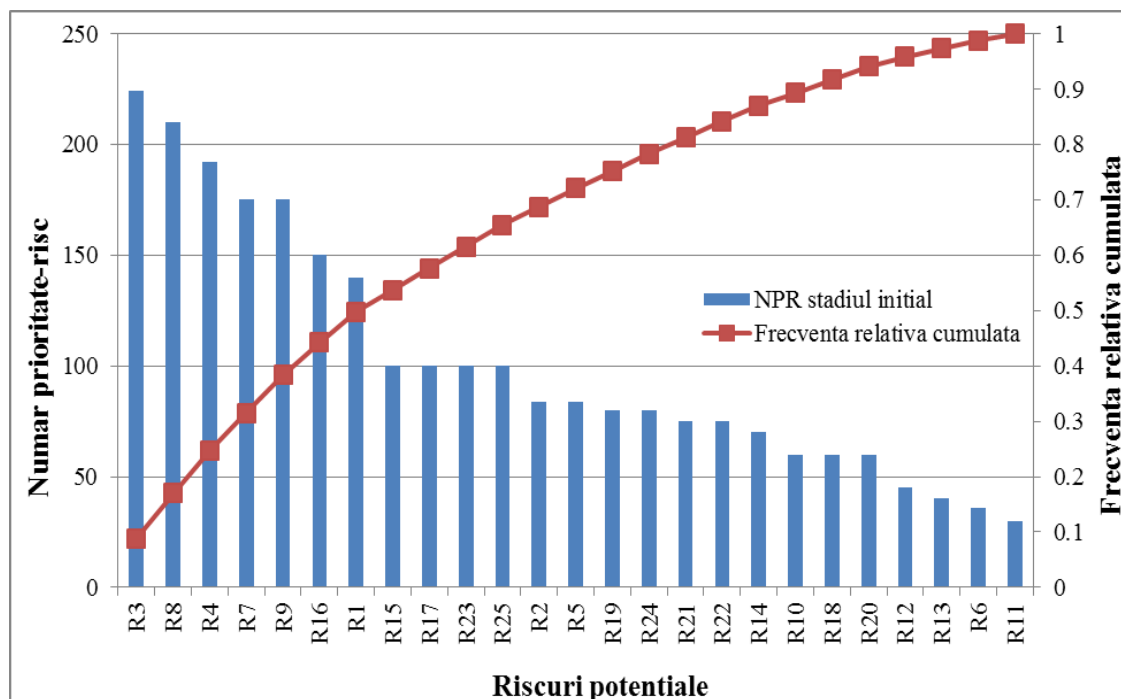
Distribuția riscurilor pe zone de risc în funcție de nivelul de prioritate-risc al stadiului optimizat al procesului de superfinisare în comparație cu stadiului inițial, indică faptul că toate caracteristicile analizate au un nivel de prioritate-risc *NPR* mai mic ca 100, procesul situându-se în zonele de risc mediu și scăzut, ceea ce semnifică o îmbunătățire a performanțelor procesului analizat (figura 1.24).

Analizând etapa optimizată a procesului de prelucrare, se poate constata că în vederea creșterii performanțelor tehnice și economice ale procesului de superfinisare se poate interveni asupra următorilor factori ce influențează calitatea produselor:

- calitatea lichidului de aşchiere;
- rugozitatea inițială a suprafeței prelucrate;
- parametrii regimului de lucru;
- caracteristicile și proprietățile sculei;
- structura constructivă a sistemului sculei.

În vederea gestionării riscurilor și îmbunătățirii calității procesului de superfinisare, clasificarea modurilor de defectare în funcție de semnificație (*NPR*) se poate realiza prin aplicarea analizei Pareto. Aplicarea analizei Pareto va permite identificarea, evaluarea și ierarhizarea principalelor moduri de defectare considerând frecvența relativă cumulată a numărului prioritate-risc.

Pe baza studiului FMEA, aplicarea diagramei Pareto corespunzătoare procesului de superfinisare pentru analiza stadiului inițial a permis să se evalueze modurile de defectare (cauzele și efectele) ceea ce oferă “o imagine asupra defectelor de calitate” în ordinea priorității lor (figura 1.25).



**Figura 1.25** Diagrama Pareto pentru stadiul inițial

Analizând rezultatele prezentate grafic de diagrama Pareto (figura 1.25), pentru stadiul inițial se poate acționa asupra indicatorului *O* (apariția) a modurilor de defectare. Clasificarea ierarhică a principalelor cauze ale apariției riscurilor potențiale ale defectării reflectă următoarele: riscurile

R3 (parametrii regimului de așchiere), R8 (lichidul de așchiere) și R4 (adaosul de prelucrare neuniform) reprezintă aproximativ 25% din totalul riscurilor care pot să apară în procesul de superfinisare.

### 1.4.3. Concluzii

Implementarea controlului curent al procesului de superfinisare are drept scop atingerea următoarelor obiective:

- prevenirea apariției unei cauze sau a unui mod de defectare, respectiv minimizarea ratei de apariție a defectării.
- detectarea cauzei unui mod de defectare și identificarea acțiunilor corective care urmează să fie aplicate.
- detectarea modului de defectare înainte ca produsul să fie furnizat clientului.

Fiecare acțiune corectivă trebuie evaluată considerând atât valoarea așteptată a numărului prioritate-risc după punerea în aplicare a acțiunii, cât și fezabilitatea implementării acțiunii în conformitate cu constrângerile existente ale costurilor, resurselor și timpului prelucrării, precum și a cerințelor de calitate și fiabilitate.

Eficiența implementării analizei FMEA este reflectată în obținerea următoarelor aspecte:

- îmbunătățirea calității, fiabilității și siguranței produsului sau procesului analizat;
- minimizarea nivelelor de defectare și reducerea rebuturilor în procesul de prelucrare (ppm);
- planificare eficientă a calității;
- creșterea satisfacției utilizatorilor;
- monitorizarea și controlul modurilor potențiale de defectare, precum și evitarea defectarilor pe viitor sau minimizarea acestora;
- implementarea de metode (Cauza-Efect, Pareto) ce au drept scop identificarea timpurie, controlul și tratarea factorilor care contribuie la apariția defectarilor;
- îmbunătățirea continuă a performanțelor procesului;
- reducerea costurilor de fabricație.
- îmbunătățirea caracteristicilor produsului prin creșterea duratei de funcționare;
- îmbunătățirea imaginii organizației și a competitivității prin furnizare de produse în conformitate cu cerințele impuse.

## 1.5. Estimarea fiabilității procesului de injectare. Studiu de caz. [DUM08a,b], [DUM09a], [DUM10a], [DUM12], [DUM13a]

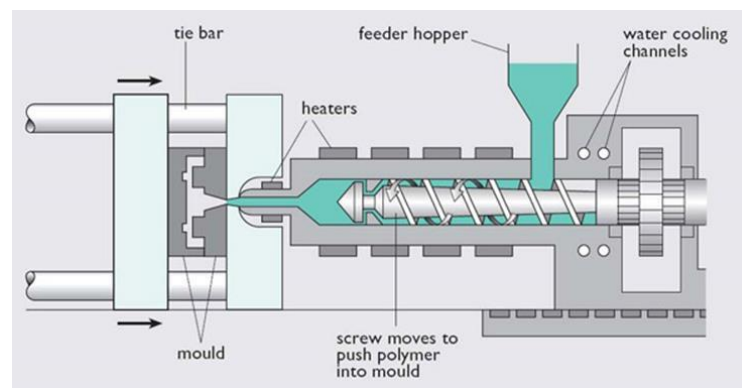
Actualmente, marea majoritate a produselor industriale pe care le utilizăm sunt din mase plastice. Produsele obținute prin injectare sunt variate și cuprind toate domeniile de activitate. În domeniul ingineriei fabricației, dintre componentele realizate prin injectare utilizate în industria autovehiculelor se pot enumera: flanșe, spoiler, reperi ale bordurilor autovehiculelor, carcase, faruri, galerii de admisie, reperi pentru radiator, volan, fete interioare de usi, rezervoare, etc.

Prelucrarea prin injectare este cel mai larg procedeu industrial de obținere a articolelor din materiale plastice ((termoplast, termoreactiv sau compozit) deoarece prezintă o serie de avantaje [ANI13]:

- tehnologia de realizare a pieselor este simplă, iar sculele necesare se pot realiza ușor și cu costuri minime;
- fabricarea pieselor cu forme complexe;
- creșterea siguranței în exploatare: materialele plastice au proprietăți de izolare termică și electrică;
- productivitate crescută;
- preț de cost redus prin diminuarea masei materialelor, precum și a operațiunilor de prelucrare și montare;
- costurile noncalității sunt minime (rebuturi, deșuri, control).

Prelucrarea prin injectare reprezintă procesul tehnologic prin care materialul plastic, adus în stare de curgere prin acțiunea căldurii, este introdus, sub presiune, în cavitatea unei matrițe (cuib) unde are loc răcirea și solidificarea lui.

Odată cu încetarea forței, materialul răcit păstrează forma cavității interioare a matriței în care a fost injectat și din care, după un anumit timp poate fi îndepărtat [FPM15], [SHS15] (figura 1.26).



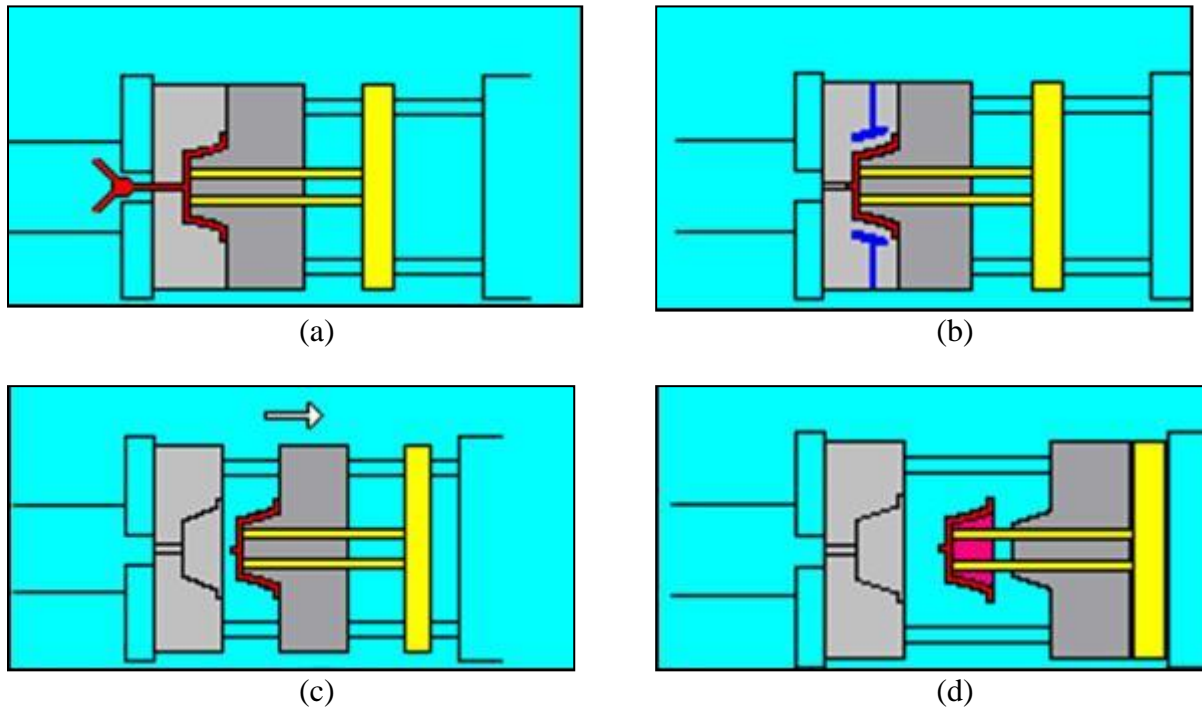
**Figura 1.26** Procesul de injectare

Procesul de injectare este un fenomen ciclic, fiecare ciclu cuprinde următoarele etape (figura 1.27), [SHS15]:

- alimentarea cu material (dozarea), (fig. 1.27a);
- încălzirea și topirea materialului în cilindrul mașinii (fig. 1.27b);
- închiderea matriței;
- introducerea materialului topit sub presiune în matriță;
- solidificarea și răcirea materialului din matriță;



- deschiderea matriței (fig. 1.27c);
- eliminarea piesei injectate din matriță (fig. 1.27d).

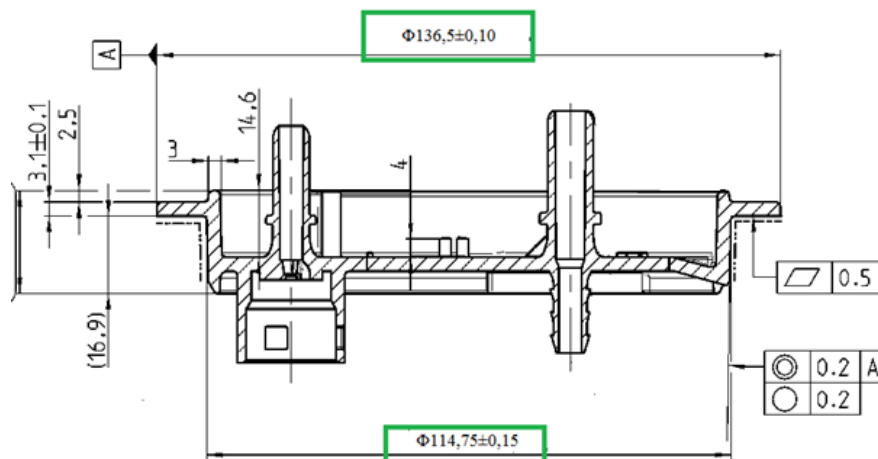


**Figura 1.27** Etapele procesului de injectare

Principalii parametri tehnologici care influențează calitatea unui produs finit obținut prin injecție sunt:

- presiunea pistonului în cilindru;
- temperatura materialului injectat, temperatura matriței;
- durata unui ciclu de injecție.

Studiul de caz constă în estimarea fiabilității unui proces de injecție a flanșelor, piesele fiind realizate pe o mașină de injectat cu unitatea de închidere orizontală și unitatea de injecție verticală. Pentru a estima fiabilitatea procesului de injecție al flanșei, s-au analizat două dimensiuni (diametre) importante pentru montarea piesei în rezervor. În desenul din figura 1.28 sunt reprezentate cotele respective.



**Figura 1.28** Desenul de execuției al piesei analizate

În vederea estimării fiabilității, respectiv nonfiabilității procesului de injectare pe baza indicatorilor de capacitate determinați, se testează normalitatea datelor prelevate prin eșantionare, prima caracteristică măsurată fiind  $\Phi 114,75 \pm 0,15$ . Determinarea capacității procesului de injectare, s-a realizat pentru 200 de piese obținute prin eșantionare, măsurate în laborator pe mașina de măsurat în coordonate.

Testarea normalității distribuției datelor experimentale se realizează aplicând testele de concordanță specifice, ceea ce implică aproximarea unei repartiții experimentale (distribuția datelor măsurate) cu o repartiție teoretică de care să se apropie în mod satisfăcător.

Aceste teste pun în evidență "concordanța" dintre modelul empiric, furnizat de histogramă, și modelul teoretic pe care îl considerăm adecvat pentru populația din care provin datele statistice observate.

Statistica industrială ne oferă o varietate de metode și teste de verificare a aplicabilității repartițiilor teoretice. Cele mai utilizate teste de concordanță se referă la verificarea normalității datelor experimentale deoarece în general, fenomenele se modelează după legea de repartiție normală (Gauss-Laplace). Cele mai multe verificări ale aplicabilității repartițiilor teoretice necesită cunoașterea în prealabil a legii de repartiție, dar, în cazurile în care aceasta este necunoscută, se impun o categorie de teste valabile pentru "orice" repartiție. În general, aceste metode sunt mai puțin precise decât metodele de verificare clasice (la care se cunosc legile de repartiție teoretică), din acest motiv, acestea din urmă se aplică ori de câte ori este posibil. Aceste metode, datorită posibilității aplicabilității pentru orice funcție de repartiție se numesc "neparametrice", ele fiind mai eficiente atunci când se testează mediile și nu dispersiile [PEP13].

În ceea ce privește alegerea testului de concordanță, pentru verificarea datelor experimentale obținute pentru procesul de injectare, s-a aplicat testul de concordanță Kolmogorov-Smirnov (K-S).

Acest test (K-S) este mai puternic decât testul  $\chi^2$  și poate fi utilizat și în cazul eșantioanelor de volum mic, [POP95]. Metoda de verificare Kolmogorov-Smirnov, verifică concordanța dintre o repartiție teoretică  $F(x)$  (normală, binomială, Poisson) și una experimentală  $F_e(x)$ , [PEP13].

Un test de concordanță constă din verificarea *ipotezei nule*:

$$H_0 : X \in F(x), \quad (1.51)$$

cu *ipoteza alternativă*:

$$H_1 : X \notin F(x), \quad (1.52)$$

unde  $F(x)$  este o anumită funcție de distribuție cumulativă.

Algoritmul de aplicare a testului Kolmogorov-Smirnov constă în parcurgerea următoarelor etape:

- Se calculează *media* și *dispersia* eșantionului:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (1.53)$$

- Se ordonează crescător valorile eșantionului de date și se obține eșantionul:

$$x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(i)} \leq \dots \leq x_{(n)}, \quad (1.54)$$

unde  $i \in \overline{1, n}$ .

- Se calculează funcția de distribuție cumulativă empirică a eșantionului ordonat crescător:

$$F_n(x) = \frac{i}{n}, \text{ unde } i \in \overline{1, n}. \quad (1.55)$$

- Se calculează valorile teoretice ale probabilităților corespunzătoare valorilor observate:

$$F[x_{(i)}] = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma} \int_{-\infty}^{x_{(i)}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{u-\mu}{\sigma} \right)^2} \cdot du. \quad (1.56)$$

- Se calculează statistica testului:

$$d_n = \max |F_n[x_{(i)}] - F[x_{(i)}]|, \quad (1.57)$$

pentru  $i \in \overline{1, n}$ ;

Valoarea  $d_{max}$  constituie statistica testului Kolmogorov-Smirnov și reprezintă măsura discrepantei dintre cele două repartiții.

- Decizia asupra ipotezei normalității se ia în funcție de valoarea critică a testului  $d_{1-\alpha, n}$ , (unde  $\alpha$  este eroarea, iar  $1-\alpha$  este nivelul de încredere al testului) astfel:

Daca  $d_n \leq d_{1-\alpha, n}$ , se accepta  $H_0$ ;  $d_n \leq d_{1-\alpha, n}$

Daca  $d_n > d_{1-\alpha, n}$ , se accepta  $H_1$ .

- Pentru reprezentarea grafică, se calculează două limite, inferioară și superioară, astfel:

$$LI = F_n(x) - d_{1-\alpha, n}; \quad (1.58)$$

$$LS = F_n(x) + d_{1-\alpha, n}. \quad (1.59)$$

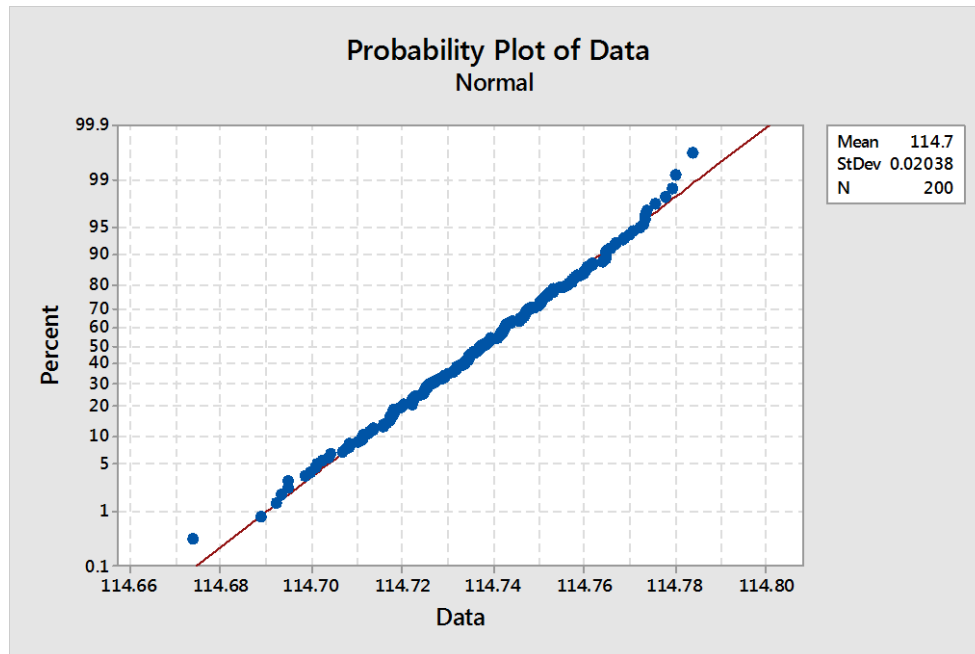
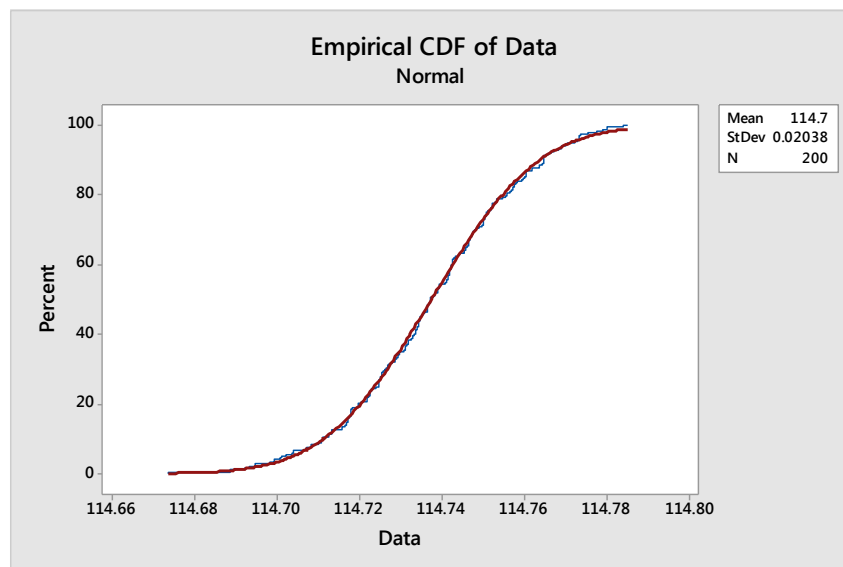
Decizia grafică de respingere a normalității se adoptă atunci când funcția de distribuție cumulativă empirică iese în afara limitelor inferioară și superioară.

Valorile critice aproximative ale testului Kolmogorov – Smirnov sunt date în tabelul următor, în funcție de efectivul eșantionului  $n$  și nivelul de încredere  $1-\alpha$ .

O modalitate eficientă de obținere a rezultatelor analizei, constă în utilizarea softurilor specializate de prelucrare a datelor. In acest sens, rezultatele măsurătorilor experimentale au fost prelucrate cu ajutorul programului MINITAB (figura 1.29).

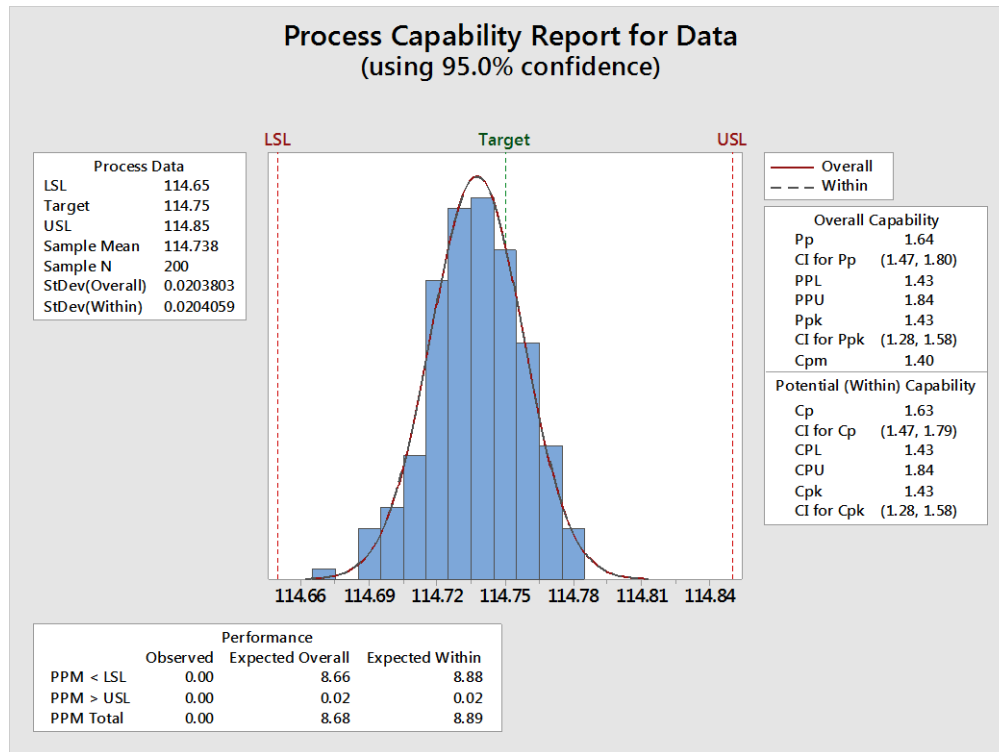
**Tabelul 1.5** Valorile critice de referință

$1-\alpha$	0,80	0,85	0,90	0,95	0,99
$d_{1-\alpha,n}$	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

**Figura 1.29** Testarea concordanței datelor experimentale aplicând testul Kolmogorov-Smirnov**Figura 1.30** Testarea normalității datelor experimentale pe baza funcției de distribuție cumulativă

În urma aplicării testului de concordanta Kolmogorov-Smirnov și analizând funcția de distribuție cumulativă empirică, se accepta ipoteza că distribuția datelor experimentale urmează repartiția normală. Reprezentarea grafică a testului este redată în figura 1.30. Se poate observa că funcția de distribuție empirică se apropie de funcția teoretică și nu depășește limitele critice.

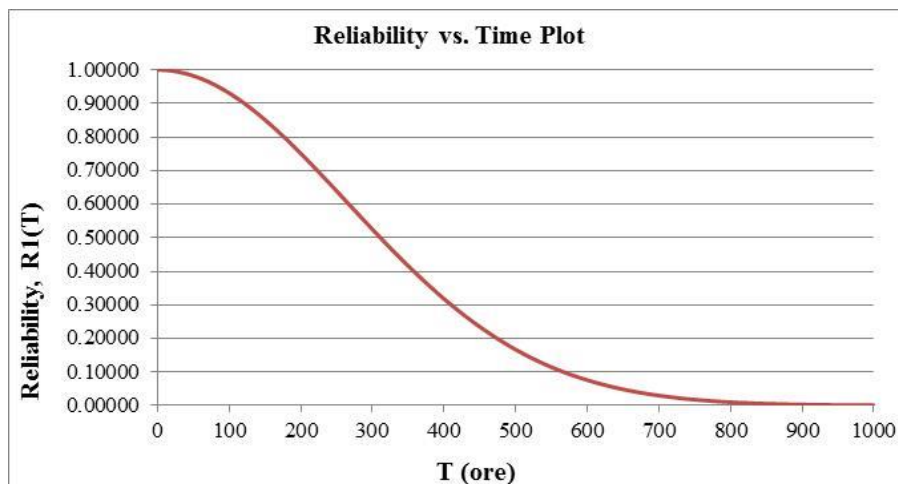
Următoarea etapă constă în determinarea indicilor de capacitate și de potențialitate ai procesului ( $C_p$  și  $C_{pk}$ ).



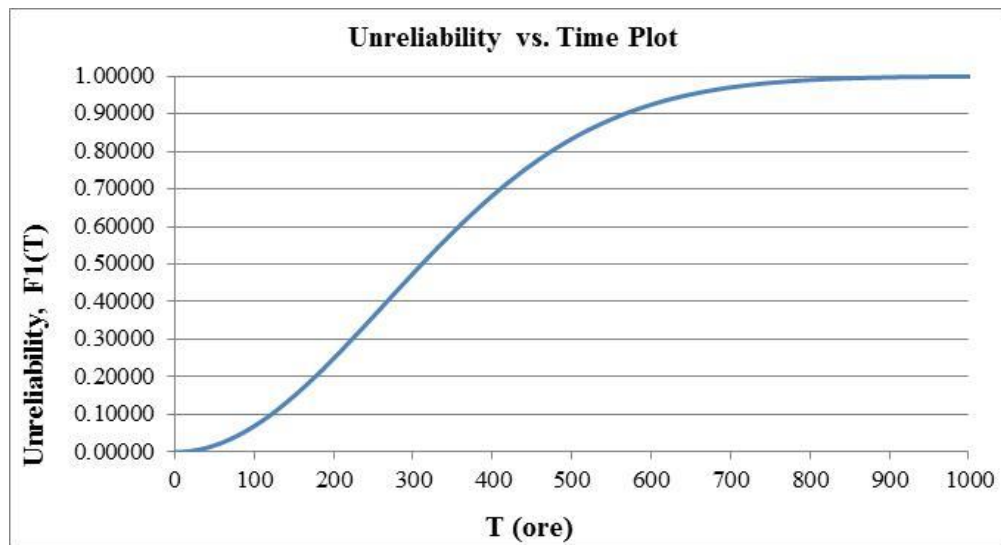
**Figura 1.31** Analiza capacității procesului de injectare

Analizând histograma procesului, valorile măsurate se încadrează în limitele specificate, procesul fiind deplasat spre limita specificată inferioară, iar piesele defecte per milion PPM = 0. Valorile obținute ale indicilor indică faptul că procesul analizat este capabil.

Analiza fiabilității, respectiv nonfiabilității procesului de injectare exprimată în funcție de indicii de capacitate ( $C_p$  și  $C_{pk}$ ) și nivelul fracțiunii defective, s-a realizat pentru o perioadă  $T = (0, 1000)$  ore, iar perioada de eșantionare este  $\Delta t = 8$  ore. Valorile estimate ale mediei perioadei operaționale și nivelul fracțiunii defective, precum și rezultatele estimării fiabilității, respectiv nonfiabilității procesului de injectare analizat, sunt prezentate tabelar și reprezentate grafic în figura 1.32 și figura 1.33.



**Figura 1.32** Fiabilitatea procesului de injectare

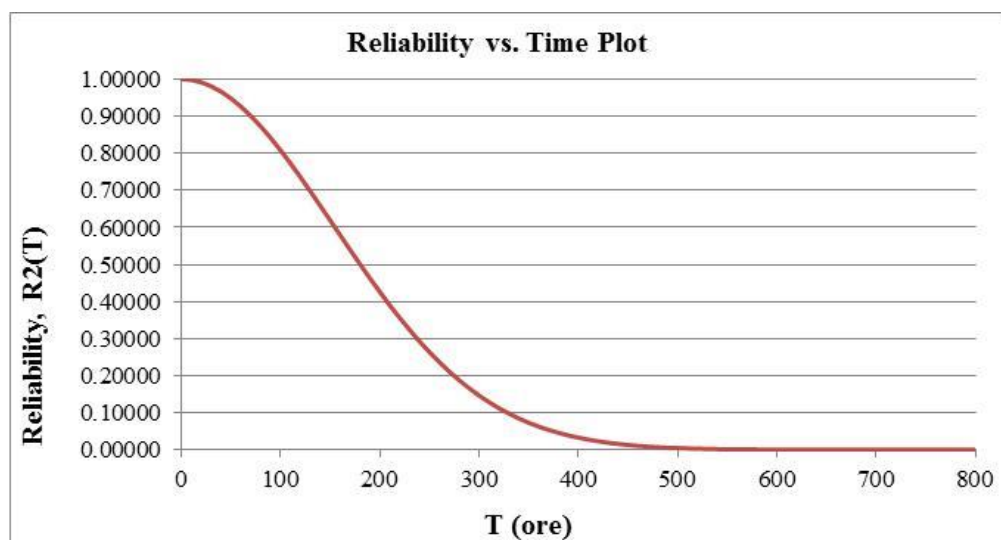


**Figura 1.33** Nonfiabilitatea procesului de injectare

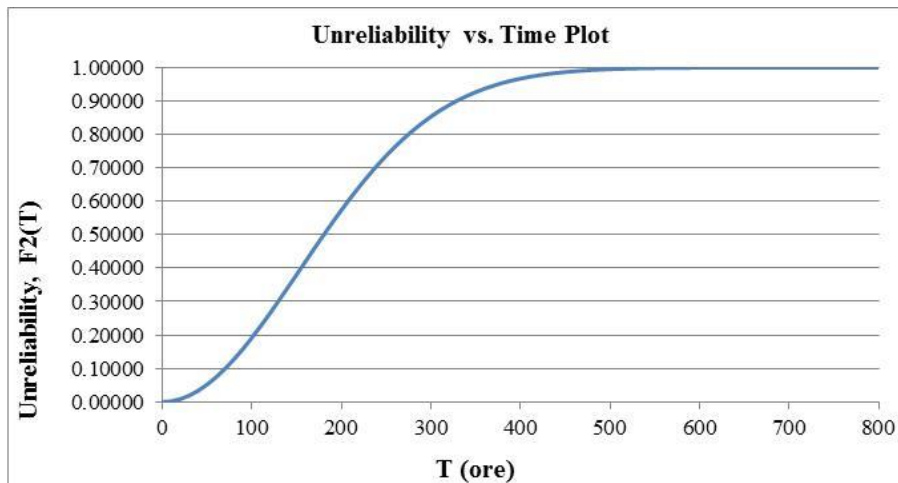
Considerând aceeași perioadă  $T = (0, 1000)$  ore și aceeași perioadă de eșantionare  $\Delta t$ , rezultatele estimarea fiabilității și nonfiabilității pe baza indicelui Taguchi ( $Cpm$ ) sunt prezentate centralizat în tabelul 1.6 și reprezentate grafic în figura 1.34 și figura 1.35.

**Tabelul 1.6** Estimarea fiabilității procesului de injectare

Indicator de capabilitate		$\Phi 1$	$\Phi 2$	$p$	ARL	T (ore)
<b>Cp</b>	1.63	2.00967E-08	0.00000893366	0.00000895375	111685.0157	850
<b>Cpk</b>	1.43					
<b>Cpm</b>	1.40	1.33457E-05		2.66915E-05	37465.11338	490

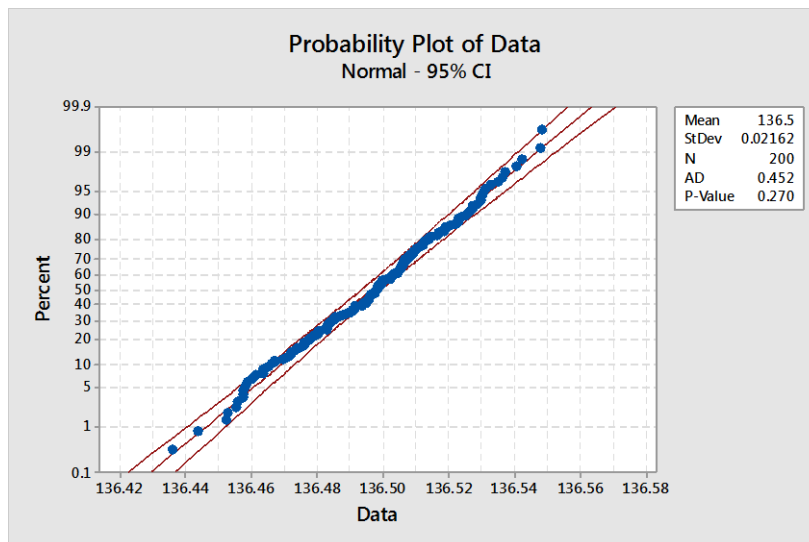


**Figura 1.34** Fiabilitatea procesului de injectare

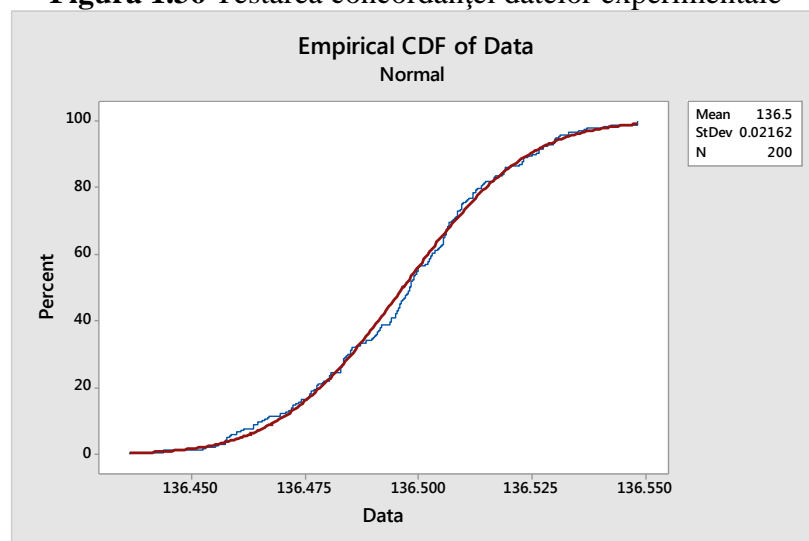


**Figura 1.35** Nonfiabilitatea procesului de injectare

A doua caracteristică măsurată este  $\Phi 136,5 \pm 0,10$ . Metodologia de estimare a fiabilității procesului de injectare este similară cu prima dimensiune analizată.



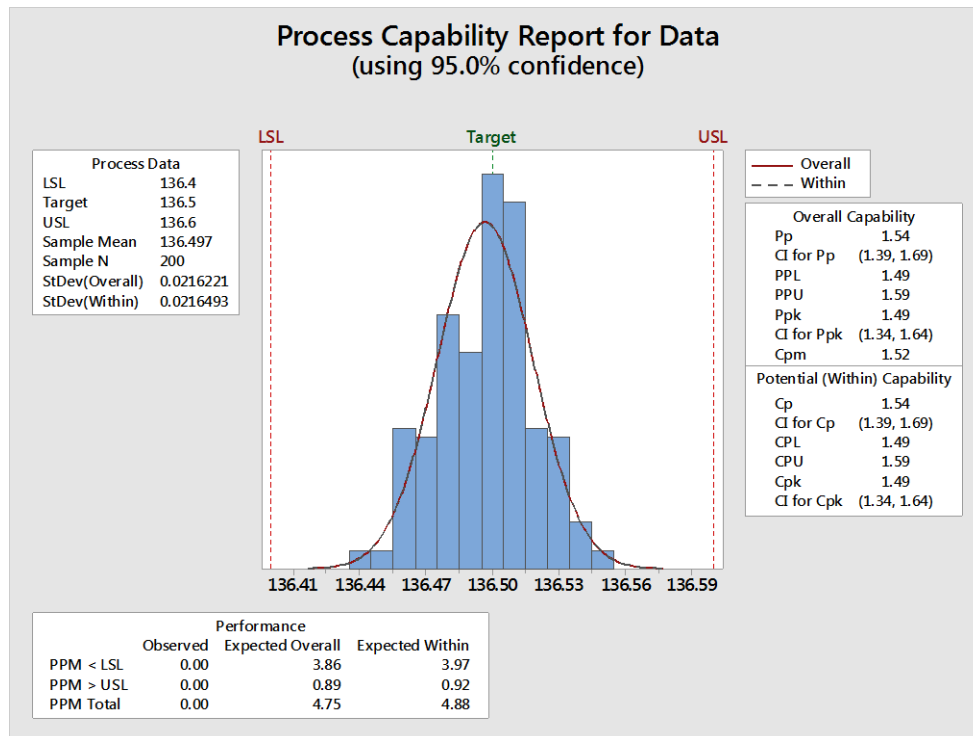
**Figura 1.36** Testarea concordanței datelor experimentale



**Figura 1.37** Testarea normalității datelor experimentale pe baza funcției de distribuție cumulativă

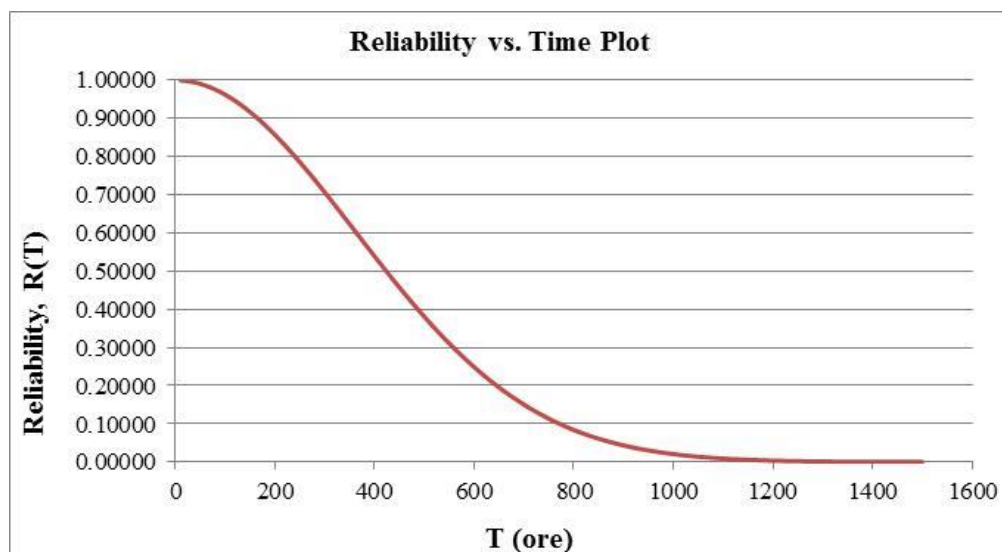
În urma testării normalității datelor experimentale aplicând testul de concordanță Anderson-Darling, procesul urmează distribuția normală, ceea ce permite calcularea indicilor de capabilitate și de potențialitate.

Studiul capabilității procesului de injectare pe termen scurt constă în prelevarea prin eșantionare a 200 de piese care au fost măsurate în laborator pe mașina de măsurat în coordonate, iar rezultatele măsurătorilor au fost prelucrate cu ajutorul programului MINITAB.



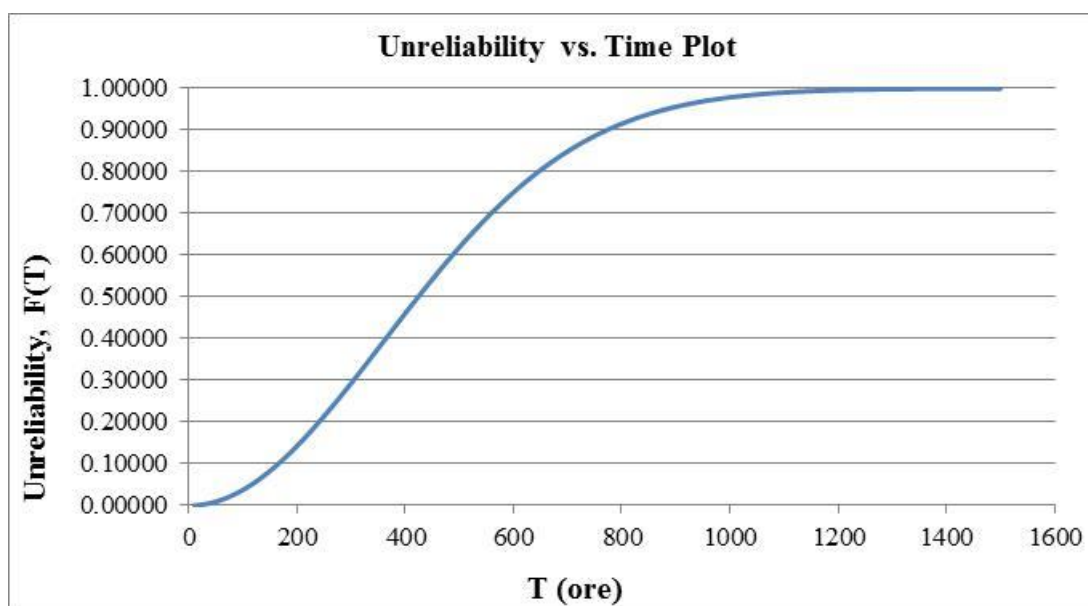
**Figura 1.38** Analiza capabilității procesului

Analizând histograma procesului de injectare, se poate observa ca datele analizate se încadrează în limitele specificate. Procesul este centrat, piesele defecte per milion PPM = 0, iar datele sunt concentrate în jurul valorii țintă specificate. Valorile obținute ale indicilor de capabilitate și potențialitate indică faptul că procesul analizat este capabil.



**Figura 1.39** Fiabilitatea procesului de injectare

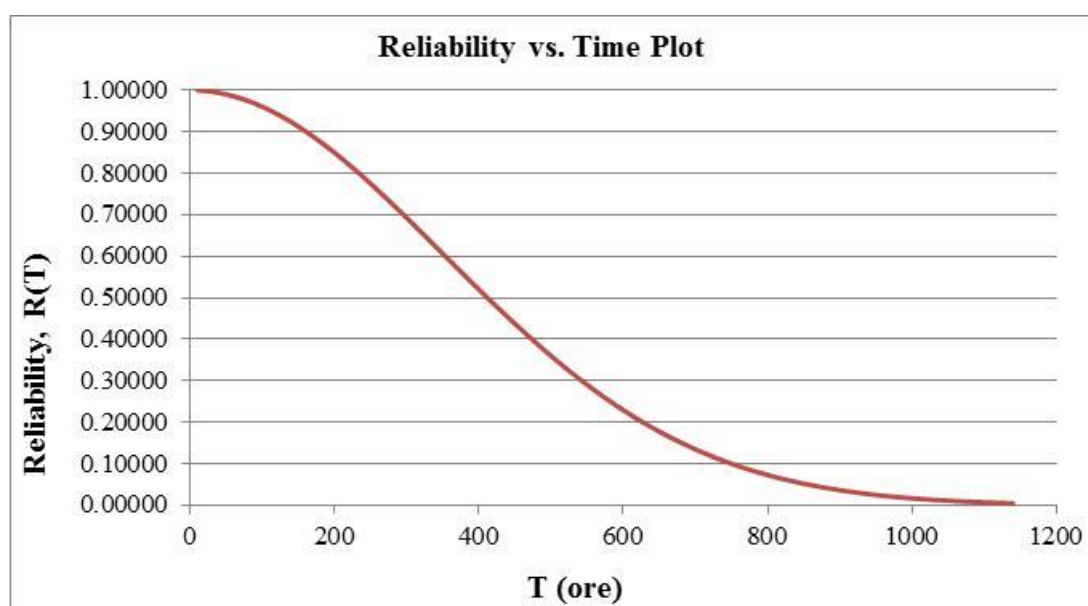




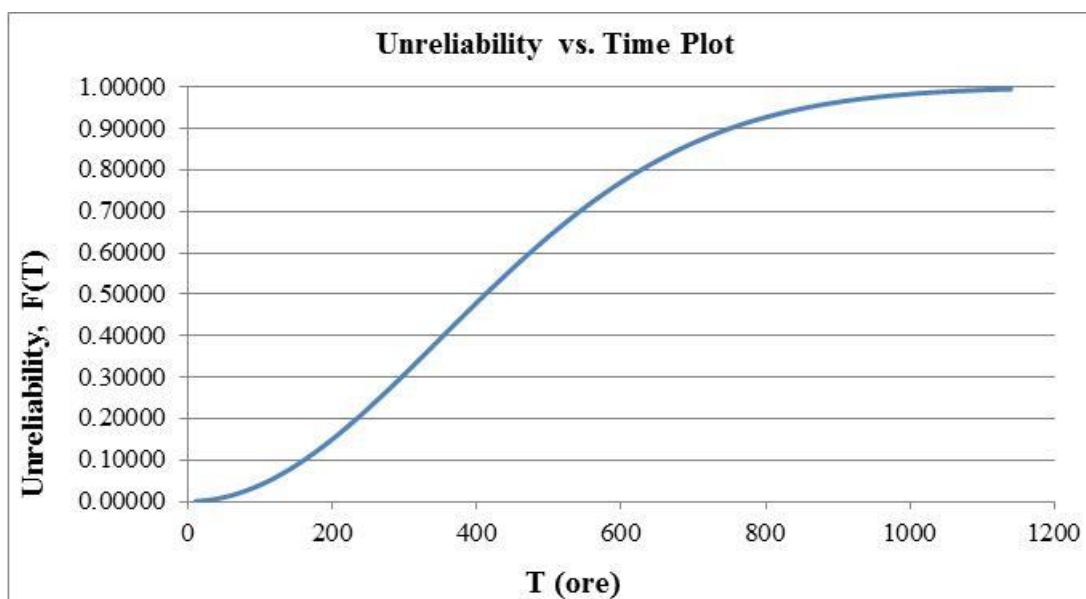
**Figura 1.40** Nonfiabilitatea procesului de injectare

Analiza fiabilității, respectiv nonfiabilității procesului de injectare, exprimată în funcție de indicii de capabilitate ( $C_p$  și  $C_{pk}$ ) și nivelul fracțiunii defective, s-a realizat pentru o perioadă  $T = (0, 1500)$  ore, iar perioada de eșantionare este  $\Delta t = 8$  ore. Valorile estimate ale mediei perioadei operaționale și nivelul fracțiunii defective, precum și rezultatele estimării fiabilității, respectiv nonfiabilității procesului de injectare analizat, sunt prezentate tabelar și reprezentate grafic în figura 1.39 și figura 1.40.

Considerând aceeași perioadă  $T = (0, 1500)$  ore și aceeași perioadă de eșantionare, rezultatele estimării fiabilității și nonfiabilitatii pe baza indicelui Taguchi ( $C_{pm}$ ) sunt prezentate centralizat în tabelul 1.7 și reprezentate grafic în figura 1.41 și 1.42.



**Figura 1.41** Fiabilitatea procesului de injectare



**Figura 1.42** Nonfiabilitatea procesului de injectare

**Tabelul 1.7** Estimarea fiabilității procesului de injectare

Indicator de capabilitate		$\Phi 1$	$\Phi 2$	p	ARL	T (ore)
Cp	1.54	9.2113E-07	0.00000391098	0.00000483211	206948.9545	1200
Cpk	1.49					
Cpm	1.52	2.55768E-06		5.11536E-06	195489.5831	1080

Analizând comparativ  $RI(T)$  și  $R2(T)$ , se poate concluziona că procesul de injectare prezintă o fiabilitate superioară în cazul indicilor  $Cp$  și  $Cpk$ , față de fiabilitatea estimată în cazul indicelui  $Cpm$ . În acest sens, organizațiile industriale analizează capabilitatea proceselor de prelucrare din prisma indicilor  $Cp$  și  $Cpk$ , indicele  $Cpm$  oferind o imagine mai „exigentă” a procesului.

De asemenea, în cazul analizei previzionale a fiabilității proceselor de prelucrare, deosebit de importantă este menținerea proceselor în intervalul de toleranță specificat. În acest sens se remarcă rolul fiabilității tehnologice, care se realizează prin reglajul periodic al sistemelor tehnologice, dar și prin mentenanță, permițând astfel restabilirea, în anumite limite, a performanțelor inițiale ale proceselor tehnologice.

## 1.6. Concluzii finale

- Fiabilitatea este o componentă importantă în definirea calității unui produs industrial sau proces de prelucrare în condițiile actuale de competitivitate.
- Fiabilitatea proceselor de prelucrare este condiționată de cei mai importanți parametri tehnologici și constructivi ai sistemului de prelucrare ce influențează calitatea produselor în cele mai diverse condiții de lucru.

- Fiabilitatea și calitatea procesului de prelucrare sunt de o importanță critică pentru realizarea produselor finale. Din această cauză calitatea și fiabilitatea unui produs/proces tehnologic trebuie construită încă din primele faze ale proiectării produsului.
- Din necesitatea obținerii caracteristicilor de calitate impuse de client, cercetările teoretice și experimentale privind estimarea previzională a calității și fiabilității proceselor de prelucrare ar trebui să fie analizate în detaliu și integrate în domeniul ingineriei industriale.
- Gestionarea riscurilor caracteristice proceselor de prelucrare constituie o prioritate pentru toate organizațiile care doresc să obțină o calitate superioară a produselor ce le furnizează, să eficientizeze procesul de prelucrare, să reducă defectele de fabricație și nu în ultimul rând, să atragă noi clienți.
- Datorită cerințelor tot mai mari care se impun calității suprafețelor prelucrate, aceasta influențând pozitiv durabilitatea și fiabilitatea produselor, cercetările performanțelor tehnice și economice ale aplicării procedurilor de netezire prin superfinisare, vizează, în special optimizarea parametrilor tehnologici și celor constructivi ai sculelor abrazive. Prin implementarea analizei FMEA, se analizează punctual influența tuturor parametrilor în scopul planificării acțiunilor corective necesare reducerii și controlului modurilor potențiale de defectare, precum și aplicarea de măsurilor pentru prevenirea apariției acestora. În acest sens, evaluarea și gestionarea riscurilor industriale aplicând analiza modurilor potențiale de defectare și efectele defectărilor (FMEA) constituie o metodă de îmbunătățire a calității și fiabilității proceselor de prelucrare.
- Analiza previzională a fiabilității proceselor de prelucrare poate influența substanțial deciziile manageriale legate de proiectarea proceselor, proiectarea experimentelor, producția propriu-zisă, testarea/încercarea/inspecția produselor, impunând în mod obiectiv cooperarea factorilor decizionali din aceste compartimente importante din structura oricărei organizații.

## **Capitolul 2. Cercetări experimentale privind fiabilitatea produselor industriale**

### **2.1. Estimarea indicatorilor de fiabilitate ai turbinei eoliene cu ax vertical de tip elicoidal [DUM08c], [DUM11a,b], [DUM13a], [DUM15]**

Poluarea mediului înconjurător, efectul de sera, încălzirea globală datorită folosirii combustibililor fosili, precum și utilizarea exagerată a resurselor naturale au condus la accelerarea dezvoltării tehnologiilor orientate spre turbinele eoliene care devin rapid o sursă viabilă de energie din surse regenerabile.

Energia vântului cunoaște stăzi cea mai rapidă utilizare în tehnologia de generare a electricității.

În România există foarte multe comunități izolate (sate, ferme inaccesibile, adăposturi, stații de telecomunicații) fără acces la rețeaua de electricitate. Datorită izolării și costurilor de branșare, este puțin probabil ca o rețea importantă de electricitate să fie instalată în acele locuri.

Luându-se în considerare efectele nocive ale poluării mediului înconjurător, utilizarea surselor regenerabile de energie, inclusiv energia vântului, au devenit rapid surse "alternative" și viabile de valorificare.

De asemenea, utilizarea surselor de energie regenerabilă în România va contribui în mod semnificativ la soluționarea problemelor socio-economice ale comunităților locale, precum și la atingerea obiectivelor comune cunoscute sub numele de "20-20-20", prin care sunt stabilite trei obiective-cheie la nivel UE pentru 2020:

- reducerea cu 20% a emisiilor de gaze cu efect de seră față de nivelurile din 1990;
- creșterea ponderii consumului de energie produsă din surse regenerabile la 20%;
- îmbunătățirea cu 20% a eficienței energetice a UE. Aceste studii de impact de pionierat poate fi replicat în continuare la nivel național și în afara acesteia.

O metoda de generare a electricității este utilizarea vântului pentru acționarea unui generator de electricitate. Metodele curente de a utiliza energia vântului pentru producerea de electricitate includ turbinele eoliene cu ax orizontal. Turbinele de mari dimensiuni includ o nacelă în care se află generatorul, reductorul, sistemul de control și comanda, sistemul de frânare. Nacela este plasată în plan orizontal și de aceea rotorul generatorului are axa în plan orizontal. Nacela acestor turbine este plasată în vârful unui turn pentru a permite rotirea palelor rotorului. Din cauza înălțimii, este dificil și scump să se mențină în funcțiune elementele componente ale generatorului. În plus, palele rotorului și nacela fiind în plan orizontal, trebuie să se rotească permanent pentru a fi orientate spre direcția vântului. Aceasta rotire după direcția vântului include folosirea unui motor care consumă electricitate, scăzând randamentul general al turbinei și adăugând costuri suplimentare. Un motor de acționare este adesea utilizat pentru pornirea turbinei care duce de asemenea la scăderea randamentului general. Un alt dezavantaj al acestor turbine cu ax orizontal este ca nu sunt funcționale la viteze ale vântului mai mici de 18km/h sau mai mari de 35 km/h.

Data fiind importanța asigurării energiei prin utilizarea unor surse nepoluante, mai ales în condițiile extrem defavorabile ale reliefului României, turbinele eoliene cu ax vertical reprezintă o alternativă datorită fiabilității și performanțelor energetice ridicate, caracterizate de

flexibilitate, cu cheltuieli financiare minime, contribuind la reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub> în atmosfera care implică reducerea efectului de sera asupra climei globale.

### **2.1.1. Caracteristici constructive ale turbinei eoliene analizate [LEP10b], [LEP11c]**

Turbina eoliana cu ax vertical poate conține una sau mai multe pale care sunt acționate de energia vântului în mișcare de rotație, acționând un generator pentru producerea de electricitate. Palele sunt în general de formă elicoidală. Datorită configurației verticale a palelor, ele pot fi funcționale atât la viteze mici cât și la viteze mari ale vântului. Mai mult decât atât, configurația verticală oferă nacelei o orientare astfel încât să fie plasată mai aproape de pământ, ceea ce permite un acces mai ușor și costuri de întreținere mai mici. În plus, palele sunt cu fața la vânt, indiferent de direcția lui. Pornirea în mișcarea de rotație a palelor se face fără un motor auxiliar de start.

În proiectarea diferitelor elemente funcționale ale unei turbine eoliene, proiectarea palei prezintă cea mai mare importanță. De aceea, în multe privințe, proprietățile aerodinamice și dinamice ale palei influențează în mod decisiv întregul sistem. Caracteristicile palei sunt definite de: grosime (constantă sau variabilă), materialele din care este confecționată (aliaj de aluminiu folosit în aviație, materiale compozite ca fibra de carbon, materiale compozite epoxidice și material plastic armat), configurația palei în condițiile maximizării randamentul palei prin creșterea exploatarea energiei vântului și scăderii frânării la trecerea vântului (variație dinamică a unghiului palei). Capacitatea unității de rotor pentru a converti o proporție maximă de energie eoliană în energie mecanică prin rotația palei, este în mod evident rezultatul direct al proprietăților sale aerodinamice. Aceste caracteristici, la rândul său, determină în mare măsură eficiența globală a conversiei energiei turbinei eoliene [LUC14].

De asemenea, turbina eoliana cuprinde un arbore vertical, de care sunt montate cel puțin o pala, un sistem de frânare și un generator de electricitate, astfel având un sistem de stocare a energie electrice și este fără reductor.

Proiectată corect turbina eoliana cu ax vertical are câteva distincte avantaje față de cele cu ax orizontal, printre care se pot enumera: o mai mare siguranță în funcționare, un efect redus sonor asupra mediului înconjurător, precum și o mai mare adaptare la locul de amplasare.

Cele două componente importante ale turbinei eoliene sunt performanța turbinei și disponibilitatea. Performanța turbinei - energia produsă este o funcție a variabilelor de proiectare și a unui mediu de funcționare stohastic. Disponibilitatea turbinei este o funcție a fiabilității sistemului, iar acesta este influențat de design-ul, de mediu de funcționare și utilizare, precum și considerații de întreținere [VIT04], [WAL06], [YOO12].

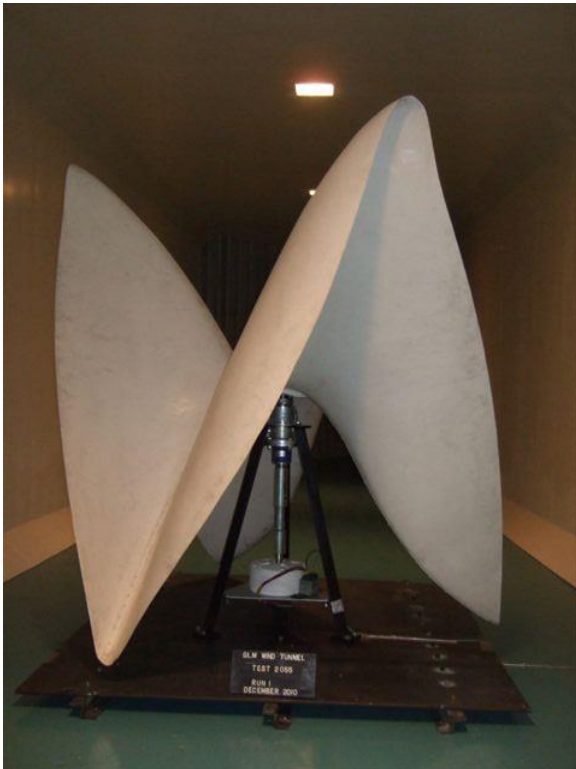
Din aceste considerente, studiile și cercetările legate de utilizarea energiei vântului pentru producerea de electricitate, au constatat în proiectarea, execuția și testarea unei turbine eoliene verticale cu pale în formă elicoidală de putere mică, capabilă să producă energie și la viteze mici ale vântului (2-3 m/s), iar în gama vitezelor vântului de 7-8 m/s, (vitezele medii înregistrate în România) să funcționeze în regim optim.

Acest tip de turbină eoliană poate fi amplasată ușor pe acoperișul unei case, având avantajul principal că nu este necesar să se orienteze în direcția vântului. În același timp, turbina este silențioasă funcționând fără nici un fel de zgomot, iar forma rotorului face ca aceste sisteme să

nu afecteze pasărilor care ar putea să ajungă în vecinătatea turbinei și conferind o imagine plăcută integrându-se în peisajistica mediului ambiant.

Studiul constă în estimarea principalilor indicatori de fiabilitate ai turbinei eoliene verticală cu pale în formă elicoidală, proiectat pentru a genera 2000W, analiza constând în estimarea fiabilității/ nonfiabilității și a ratei de defectare.

Rotorul acestei turbine eoliene a fost executat de către Compania FINEX, brevetat în România, cu o formă specială de tip elicoidal, fabricat din material din fibră de sticlă (fig. 2.1 și fig. 2.2).



**Figura 2.1** Forma constructivă a rotorului



**Figura 2.2** Testarea rotorului elicoidal

Rotorul a fost modelat matematic și testat în condiții experimentale pe o mașină adaptată ca un laborator mobil, măsurându-se următorii parametri:

- putere de ieșire a turbinei [W];
- viteza vântului [m/s];
- mișcarea de rotație a arborelui rotorului [rot/min];
- temperatura aerului [°C].

De asemenea, au fost măsurate următoarele caracteristici:

- viteza de rotație a turbinei;
- viteza vântului;
- tensiunea sistemului;
- intensitatea sistemul.

Deoarece viteza de rotație a arborelui rotorului este de maxim 120 rot/min, a fost necesară utilizarea unui dispozitiv care să mărească viteza de rotație a arborelui și să asigure funcționarea în condiții optime a generatorului cu magneți permanenți.

În tabelul 2.1 sunt specificate caracteristicile tehnice ale turbinei eoliene cu ax vertical de tip elicoidal pentru o putere de 2000 W.

**Tabelul 2.1** Caracteristici constructive ale turbinei eoliene cu ax vertical

Putere	2000 W
Viteza vântului	Valoarea necesară la pornirea turbinei: 1,8 m/s Valoarea nominală: 12,5 m/s Valoarea maximă pentru funcționarea turbinei: 30 m/s
Număr pale	2
Diametru rotor	1.20 m
Înălțimea rotorului turbinei	1.20 m
Generator curent	GL- PMG 1000
Masa turbinei	135 kg

După efectuarea testelor experimentale, au rezultat următoarele formule de calcul ale puterii generate de turbina eoliană cu ax vertical de tip elicoidal:

$$P = k \times A \times v^3, \quad (2.1)$$

unde:

P – puterea generată [W];

k – coeficient de putere;

A – suprafața rotorului [m<sup>2</sup>];

v – viteza vântului [m/s].

În urma testării experimentale, s-a determinat un coeficient de putere  $k = 0.28$

### 2.1.2. Simularea parametrilor turbinei eoliene cu ax vertical [DUM08c], [DUM11a,b], [DUM13a], [DUM15]

În vederea previzionării performanțelor turbinei cu ax vertical de tip elicoidal, preliminar s-au realizat simulări privind energia furnizată zilnic și anual în funcție de viteza vântului. Datele simulate s-au modelat cu ajutorul distribuției triunghiulare.

Distribuția triunghiulară este una dintre distribuțiile continue “în vogă” datorită utilizării foarte frecvente în modelele de simulare. Aceasta se datorează faptului că suma sau media a două sau mai multe variabile continue pot fi modelate prin distribuția triunghiulară, atât pentru cazurile de simetrie, cât și pentru cele de asimetrie ale distribuției frecvenței relative.

Se consideră că [MOH07], [CHL09]:

$$x_i = \begin{cases} a + \sqrt{z_i \cdot (b-a) \cdot (m-a)}, & a < x_i \leq m \\ b - \sqrt{(1-z_i) \cdot (b-a) \cdot (b-m)}, & m < x_i \leq b \end{cases}, \quad (2.2)$$

unde  $\hat{a}$  este valoarea minima estimată,  $\hat{m}$  este valoarea cea mai probabilă și  $\hat{b}$  este valoarea maximă estimată.

Media și abaterea standard sunt date de relațiile:

$$\mu = \frac{a + m + b}{3}, \quad (2.3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{a^2 + m^2 + b^2 - am - ab - mb}{18}}. \quad (2.4)$$

Densitatea de probabilitate pentru distribuția triparametrică asimetrică este dată de:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a) \cdot (m-a)}, & a < x \leq m \\ \frac{2(b-x)}{(b-a) \cdot (b-m)}, & m < x < b \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases}. \quad (2.5)$$

Funcția de distribuție cumulativă este definită de:

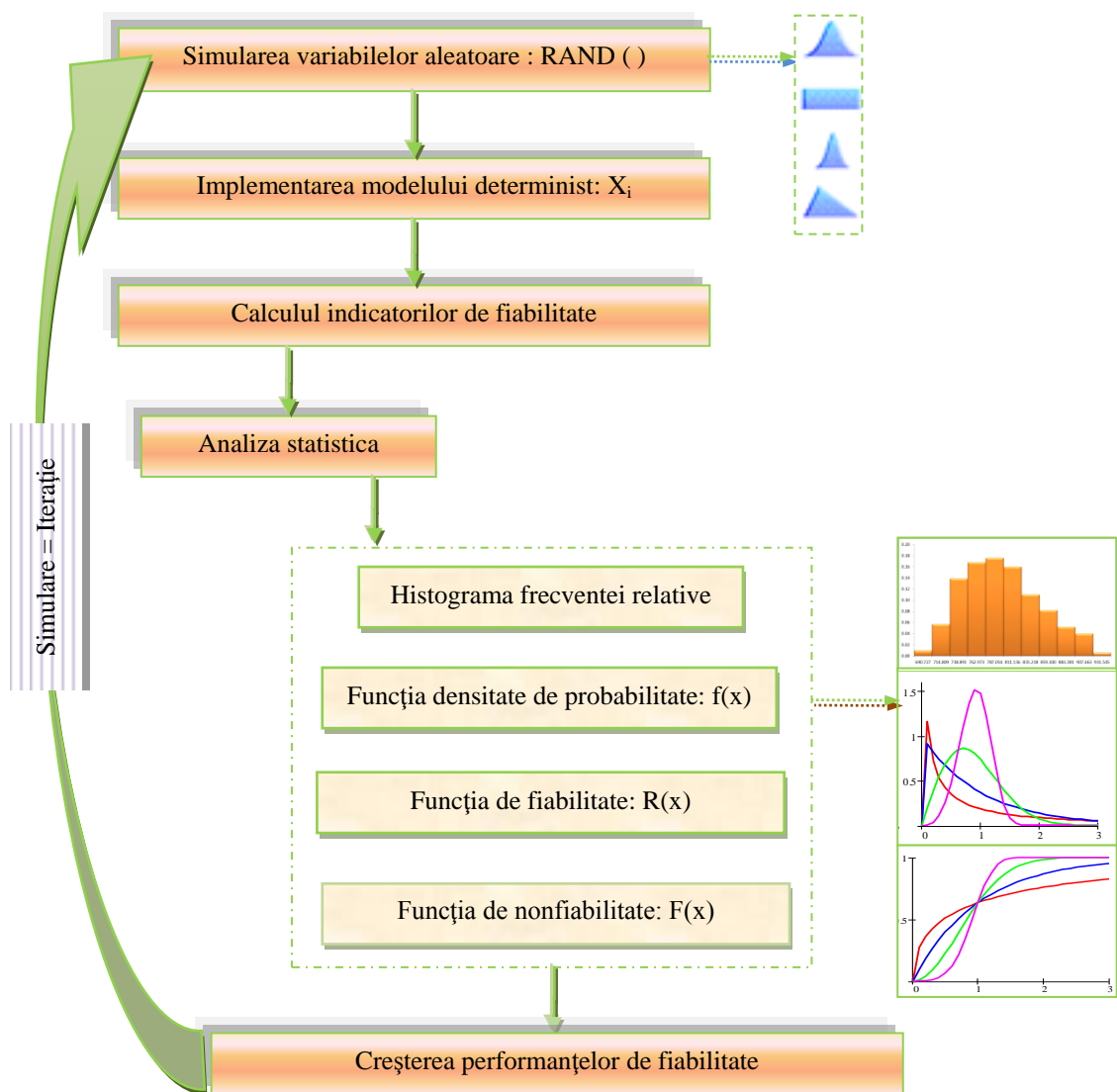
$$F(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{(x-a)^2}{(b-a) \cdot (m-a)}, & a < x \leq m \\ 1 - \frac{(b-x)}{(b-a) \cdot (b-m)}, & m < x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases}. \quad (2.6)$$

Realizarea programului de simulare s-a bazat pe utilizarea funcțiilor statistice predefinite în Excel și MathCAD. Programul de simulare cuprinde etapele descrise în figura 2.3.

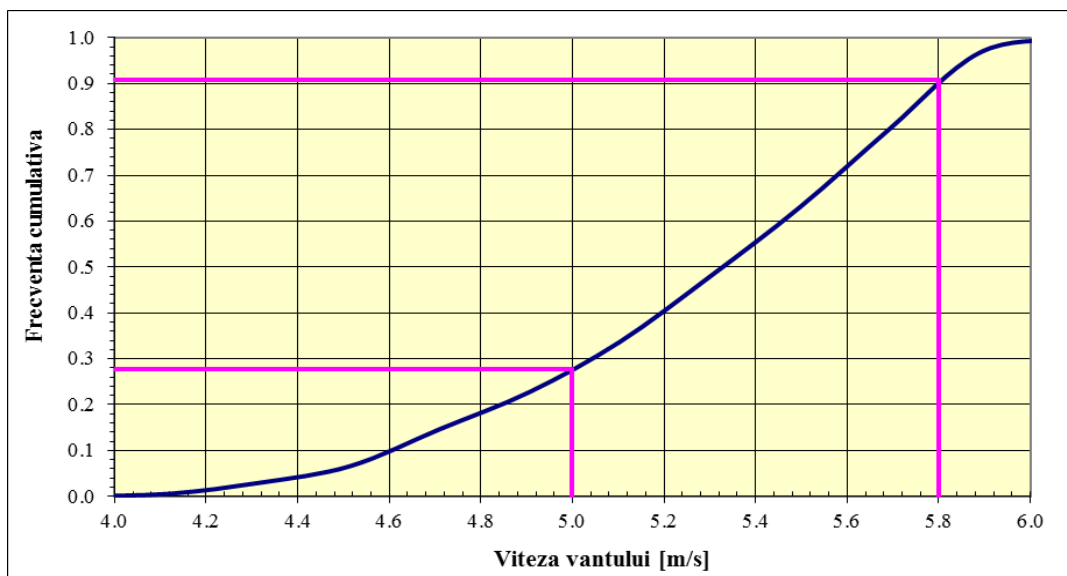
Simularea Monte-Carlo a parametrilor turbinei eoliene cu ax vertical de tip elicoidal include elemente de teorie a fiabilității, noțiuni de probabilitate și inferențe statistice. În cadrul procesului de simulare s-a utilizat distribuția triunghiulară, deoarece datele de intrare pot fi obținute foarte ușor și nu necesită investigații laborioase.

Cel mai important parametru care influențează fiabilitatea turbinelor eoliene cu ax vertical este viteza vântului. Considerând că viteza vântului este cuprinsă între 4 m/s și 6 m/s, probabilitatea cumulativă poate fi exprimată prin curba de frecvență cumulativă (graficul ogiva) (figura 2.4).





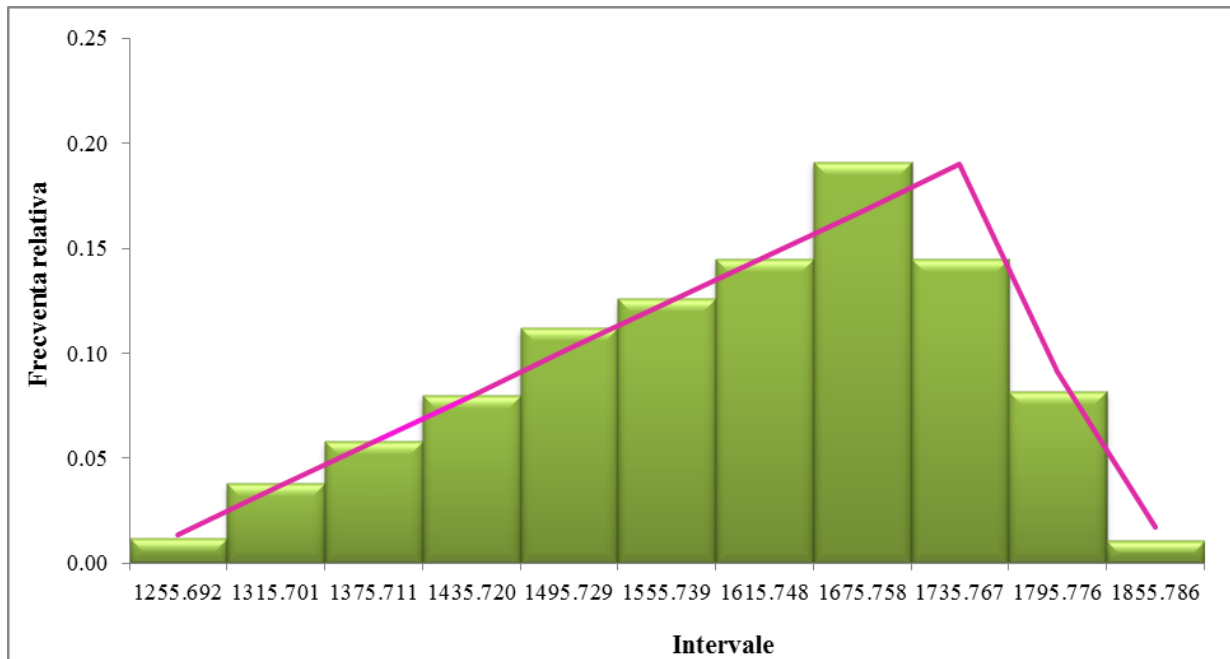
**Figura 2.3** Metodologia de estimare a indicatorilor de fiabilitate



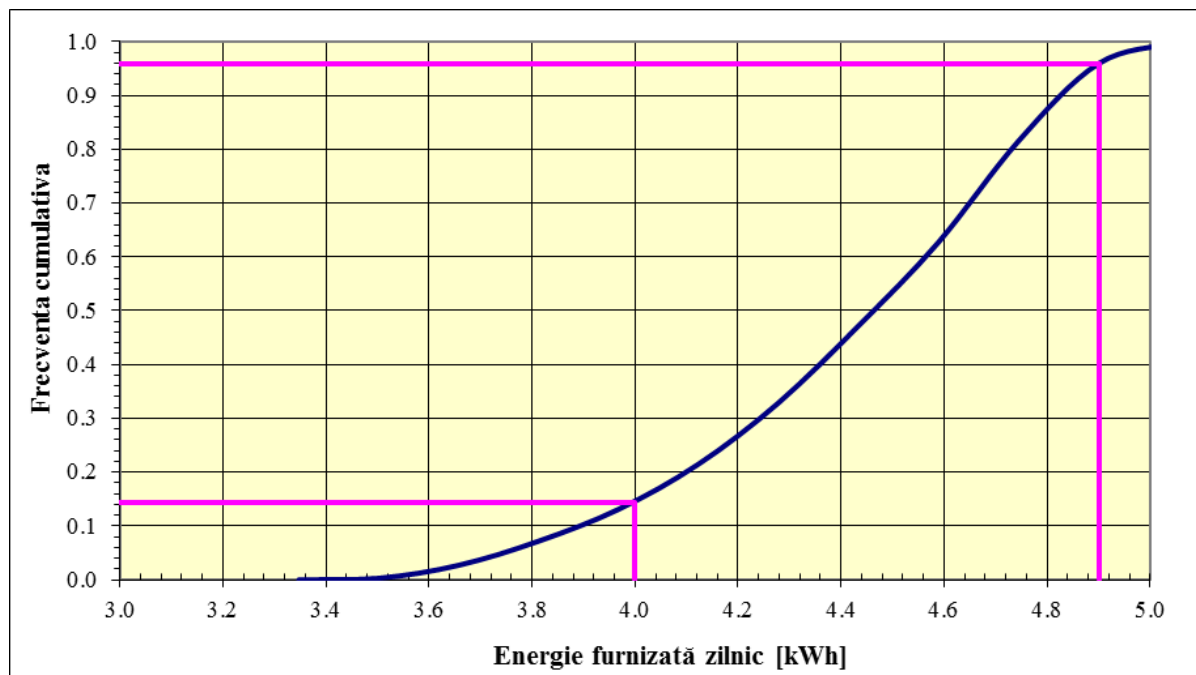
**Figura 2.4** Distribuția frecvenței cumulative pentru viteza vântului

O altă caracteristică care determină fiabilitatea turbinei eoliene, este producția anuală de energie.

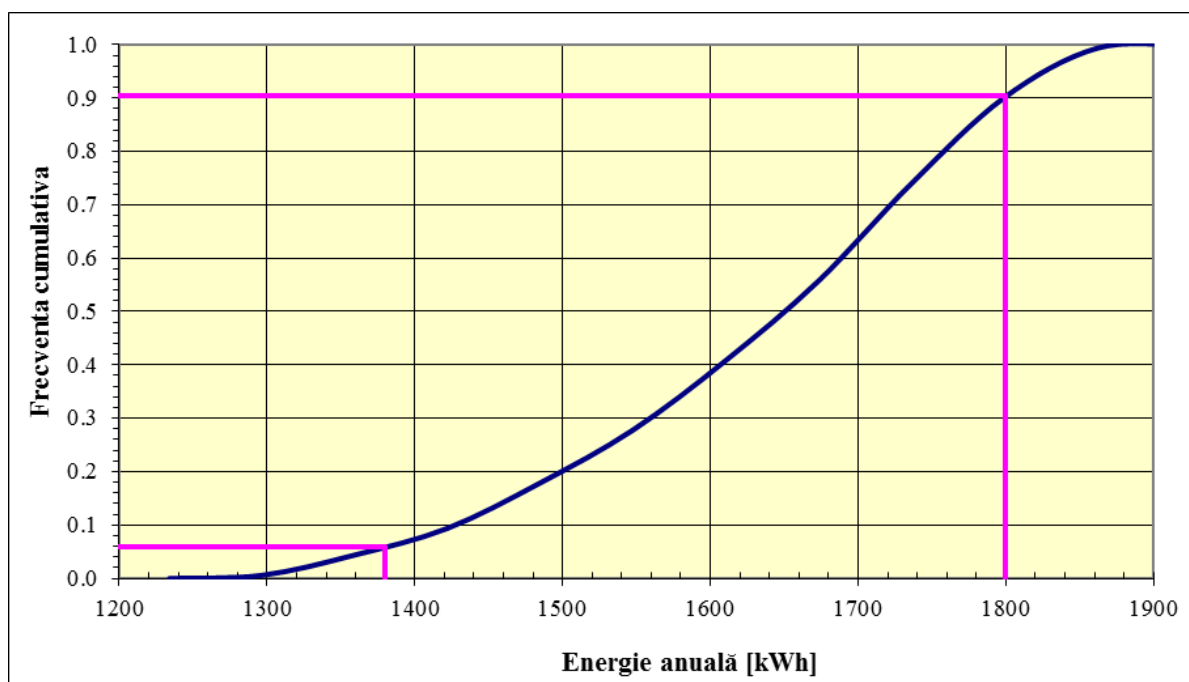
În mod similar, producția de energie zilnică și anuală pot fi previzionate prin simulare numerică. Ca rezultat, simularea datelor sunt reprezentate de histograma frecvenței relative (figura 2.5) și diagramele ogiva. Curbele de distribuție cumulativă indică probabilitatea ca energia zilnică (figura 2.6) sau anuală (figura 2.7) să fie furnizate.



**Figura 2.5** Histograma frecvenței relative a energiei produsă anual



**Figura 2.6** Distribuția frecvenței cumulative pentru energia produsă zilnic



**Figura 2.7.** Distribuția frecvenței cumulative pentru energia produsă anual

Analizând rezultatele simulării producției anuale de energie în concordanță cu frecvența histogrammei relative, se poate observa că distribuția triunghiulară este asimetrică.

Probabilitățile sunt determinate considerând următoarele relații:

$$Pr ob(x \leq x_0) = F(x_0) = \frac{(x_0 - a)^2}{(b - a)(m - a)}, a < x_0 \leq m; \quad (2.7)$$

$$Pr ob(x \geq x_0) = 1 - F(x_0) = 1 - \frac{(b - x_0)^2}{(b - a)(b - m)}, m < x_0 < b. \quad (2.8)$$

Analizând distribuțiile frecvențelor relative, rezultatele simulării obținute pentru parametri analizați, sunt prezentate sintetic în tabelul 2.2. Se poate observa că probabilitatea de a depăși valoarea maximă a parametrilor analizați ai turbinei eoliene este de aproximativ 10% pentru viteza vântului, 4% pentru energia zilnică și de 9,7% pentru energia anuală. Aceste procente sunt obținute pentru diferite intervale stabilite ca limite acceptabile.

**Tabelul 2.2** Estimarea previzională a parametrilor turbinei eoliene

Parametru	Prob {x ≤ x <sub>0</sub> }	Prob {x ≤ x <sub>1</sub> }	Prob {x > x <sub>1</sub> }
Viteza vântului [m/s]	0.269	0.899	0.101
Energia furnizată zilnic [kWh]	0.144	0.959	0.041
Energia anuală produsă [kWh]	0.058	0.903	0.097

### 2.1.3. Estimarea fiabilității turbinei eoliene cu ax vertical de tip elicoidal [DUM08c], [DUM13a], [DUM15]

Fiabilitatea este considerată caracteristica de performanță care este exprimată de probabilitatea de succes și frecvența defectărilor, fiind definită ca: “probabilitatea ca un element să îndeplinească funcția stabilită în condiții specificate, fie pentru un interval de timp sau peste durata de utilizare specificată”, [PAR09], [VIT04], [BAE12], [MAH11], [QRH14].

Indicatorii de fiabilitate sunt mărimi care exprimă, sub o formă sau alta, calitativ și cantitativ, fiabilitatea produselor; indicatorii de fiabilitate mai sunt denumiți și parametri sau caracteristici de fiabilitate [MUN09].

Estimarea fiabilității turbinei eoliene cu ax vertical de tip elicoidal s-a axat pe modelarea statistică a datelor colectate în timp real caracteristice puterii, vitezei rotorului și vitezei vântului.

Distribuția Weibull este una dintre cele mai utilizate repartiții de modelare statistică a datelor experimentale folosite în calculele de fiabilitate pentru a previziona și estima ratele de defectare ale produselor analizate. Marea diversitate a distribuției Weibull provine din posibilitatea de a ajusta astfel încât să se aplice pentru mai multe cazuri în care rata de defectare, fie crește sau descrește. În plus, dintre toate distribuțiile statistice, repartiția Weibull poate fi particularizată prin alegerea corespunzătoare a parametrilor (parametrul de localizare, parametrul de formă și parametrul de scară), modelând-se o varietate de forme ale funcției densitate de probabilitate.

Funcția densitate de probabilitate a unei variabile aleatoare  $X$  a repartiției Weibullbi-parametrică este dată de relația [CAS09], [PIC14], [YOO13]:

$$f(x, \beta, \eta) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{x}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{x}{\eta}\right)^{\beta}\right], \quad x > 0, \quad (2.9)$$

unde  $\beta > 0$  și  $\eta > 0$  sunt parametrul de formă și de scară ai distribuției.

Funcția de distribuție:

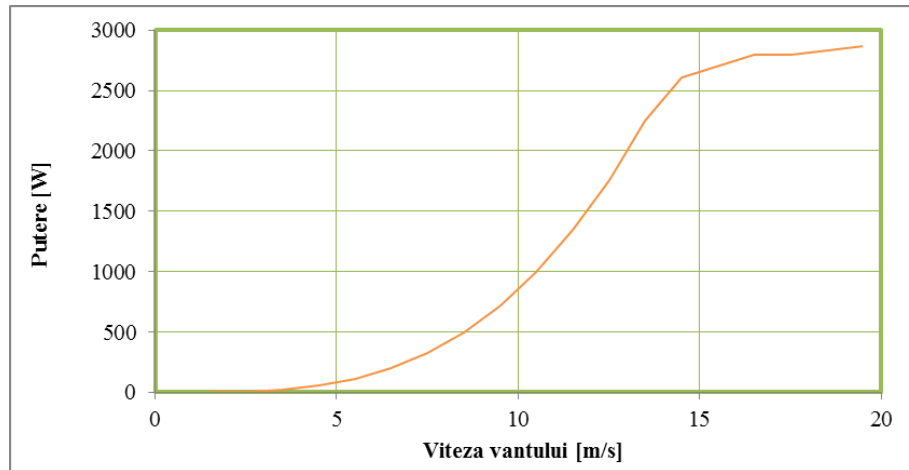
$$F(x, \beta, \eta) = \int_0^x \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{y}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{y}{\eta}\right)^{\beta}\right] dy = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\eta}\right)^{\beta}\right], \quad x > 0. \quad (2.10)$$

Măsurarea vitezei vântului (medie și abaterea standard) sunt realizate periodic, iar datele rezultate sunt modelate de distribuția Weibull având funcția densitate de probabilitate (pdf) de forma [MAH11]:

$$f(v) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{v}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{v}{\eta}\right)^{\beta}\right], \quad (2.11)$$

unde  $f(v)$  este funcția densitate de probabilitate a distribuției vitezei vântului,  $v$  este viteza vântului, iar  $\beta$  și  $\eta$  sunt parametrii distribuției Weibull.

Pe baza testelor experimentale s-a obținut variația puterii produsă pentru diferite viteze ale vântului, rezultate prezentate grafic în figura 2.8.



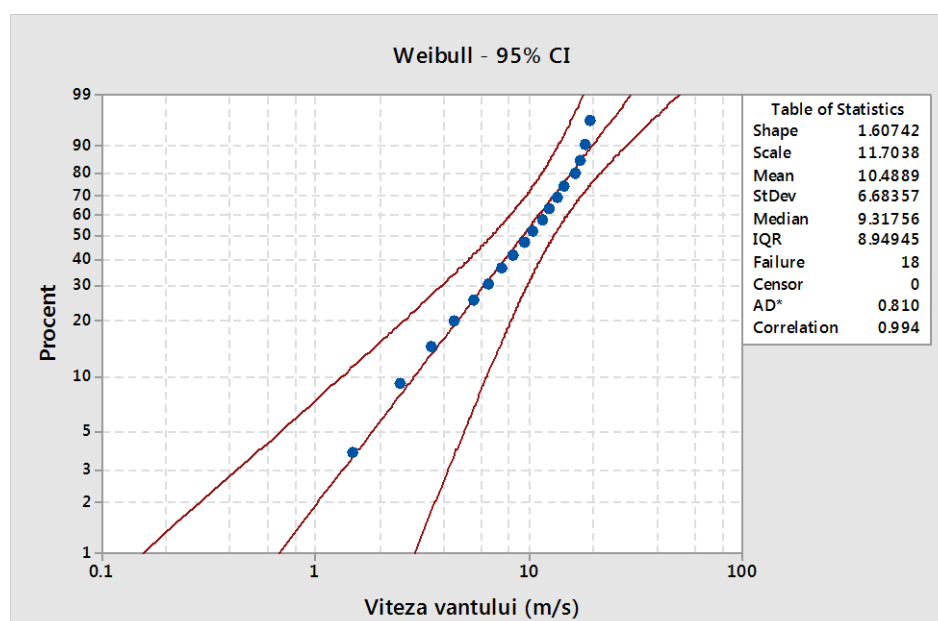
**Figura 2.8** Variația puterii pentru diferite viteze ale vântului

Prelucrarea statistică a datelor experimentale au permis determinarea parametrilor statistici ai distribuției și principalii indicatori de fiabilitate ai turbinei eoliene cu ax vertical de tip elicoidal.

Presupunând că timpul de funcționare până la defectarea turbinei eoliene urmează distribuția Weibull, probabilitatea unei defecțiuni în primii cinci ani este:

$$\Pr(t \leq 5) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] = 0.00298. \quad (2.12)$$

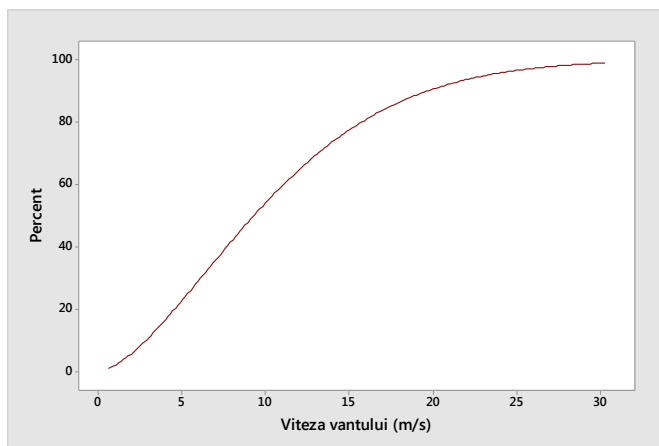
Rezultatele testelor experimentale au fost verificate prin aplicarea testului de concordanță Anderson-Darling în scopul de a stabili dacă un eșantion provine dintr-o populație cu o distribuție specifică. Validarea modelului statistic a constat în calculul funcției de distribuție empirică a eșantionului și funcției de distribuție cumulativă a repartiției Weibull. Rezultatul a fost comparat cu un nivel de încredere de  $\alpha = 0.05$ . În urma aplicării testului s-a considerat ca datele experimentale sunt modelate de repartiția Weibullbiparametrică (figura 2.9).



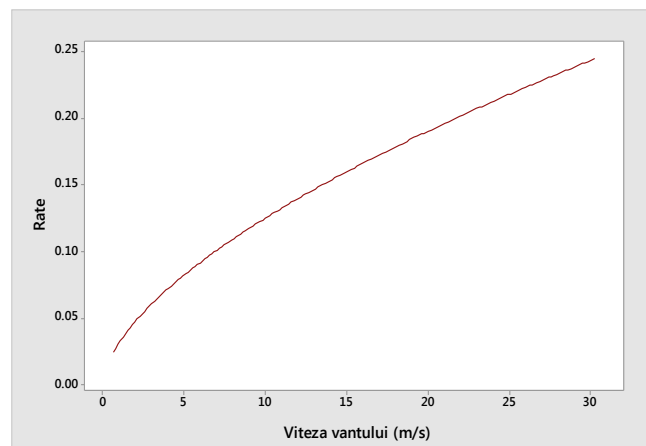
**Figura 2.9** Testarea concordanței datelor experimentale

Fiabilitatea și performanța turbinei eoliene sunt influențate de o serie de factori: variațiile meteorologice (condițiile locale de vânt, temperatura), obstacole în apropiere, variații ale puterii determinate de viteza vântului, precum și o serie de alți factori caracteristici.

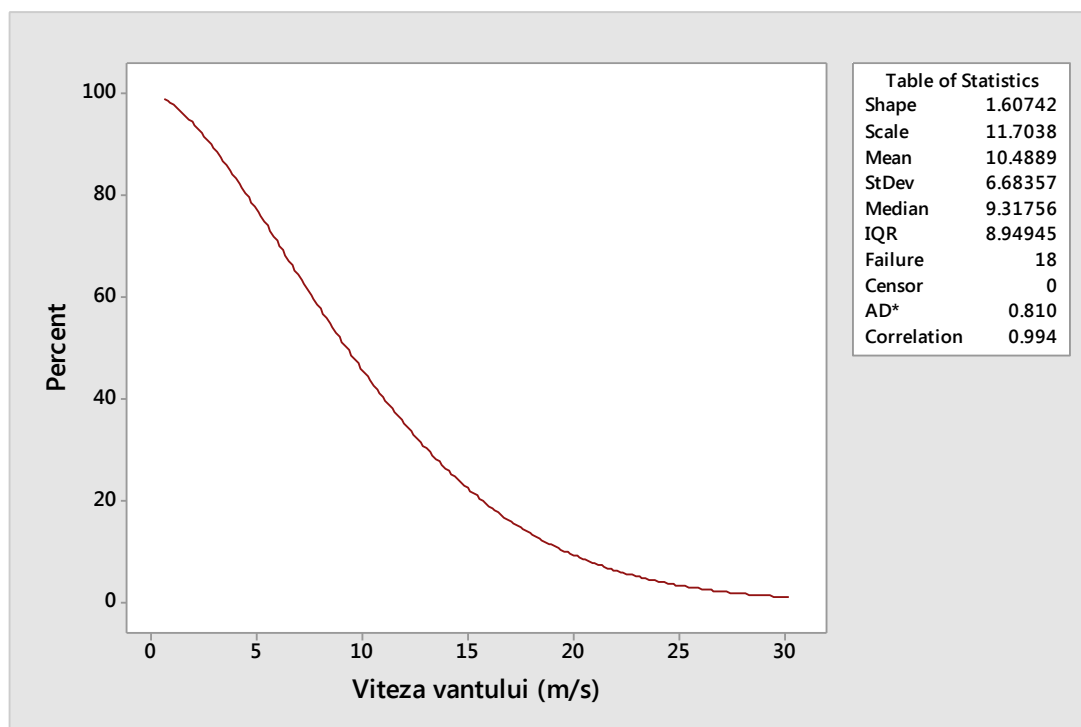
În acest sens, fiabilitatea turbinei eoliene este analizată din prisma principalilor indicatori de fiabilitate (funcția densitate de probabilitate, funcția de fiabilitate și rata de defectare) ai vitezei vântului (figura 2.10, figura 2.11 și figura 2.12).



**Figura 2.10** Funcția de nonfiabilitate

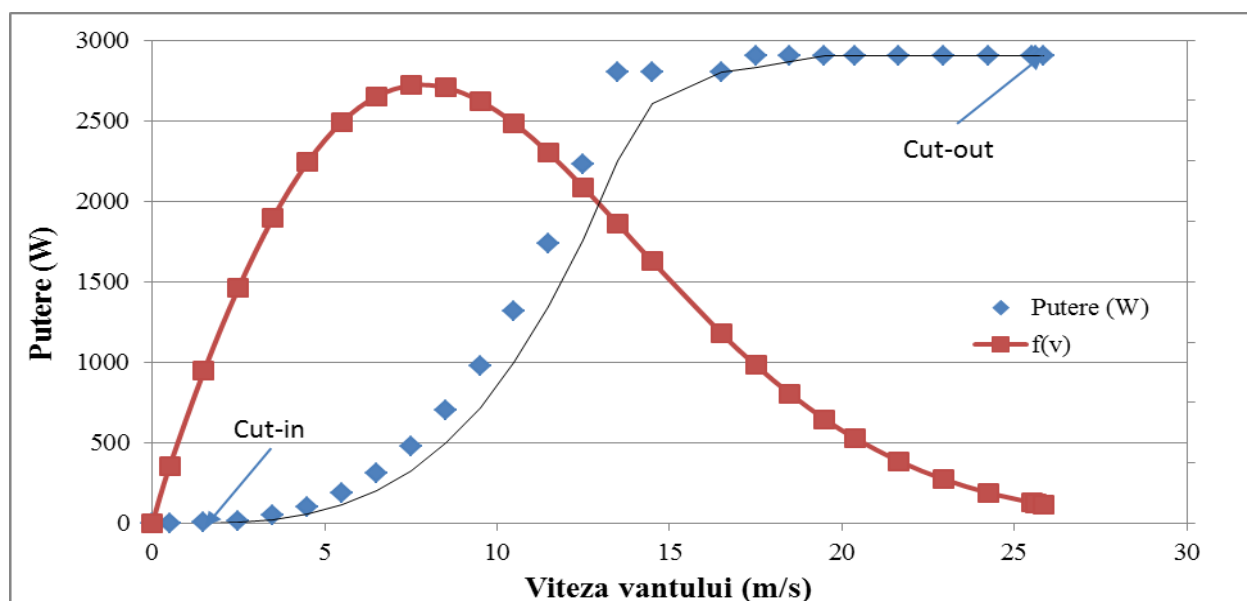


**Figura 2.11** Rata de defectare



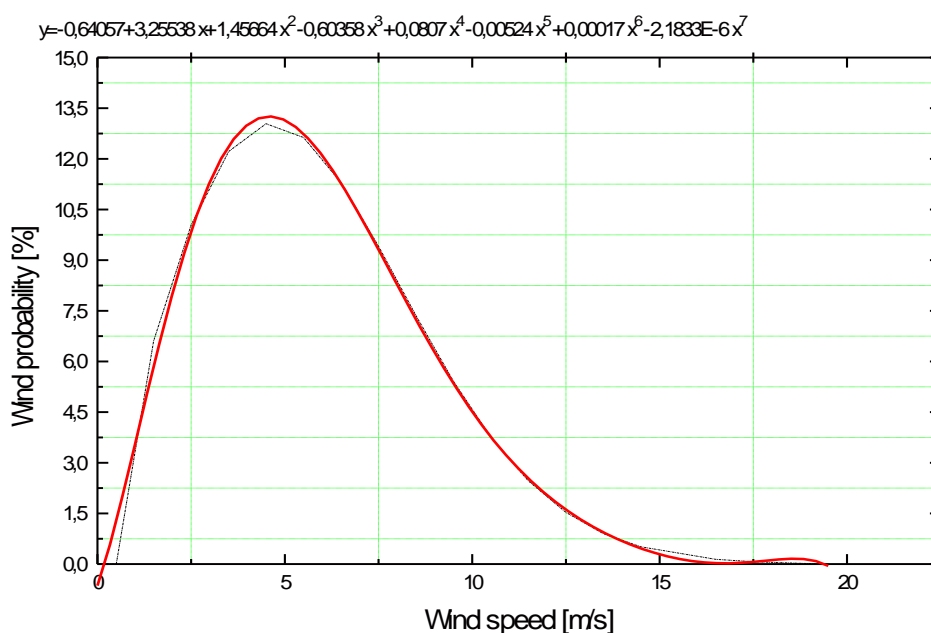
**Figura 2.12** Funcția de fiabilitate

Fiabilitatea, respectiv nonfiabilitatea previzională a turbinei eoliene s-a estimat și în funcție de puterea furnizată (figura 2.13). Analizând grafic funcția densității de probabilitate  $f(v)$ , viteza minimă a vântului la pornirea turbinei este de 1,8 m/s, viteza maximă a vântului pentru funcționarea optimă a turbinei este de 12,5 m/s, iar puterea nominală este de 2000 W.



**Figura 2.13** Puterea generată în funcție de viteza vântului

Pentru o viteză medie anuală a vântului, s-a determinat probabilitatea vântului și a puterii care poate fi generată într-o zi, o lună sau un an. Pe baza acestor date, se poate determina costurile de amortizare ale investiției și costurile aferente energiei generate exprimate în Euro/kWh. În figura 2.14 este prezentată probabilitatea exprimată în procent pentru diferite viteze ale vântului.



**Figura 2.14** Probabilitatea obținută pentru diferite viteze ale vântului

#### 2.1.4. Concluzii

Aplicarea simulării Monte-Carlo permite determinarea curbelor de distribuție cumulative ceea ce permite estimarea probabilităților de producere a energiei anuale și zilnice pentru diferite viteze ale vântului. Aceste grafice pot fi folosite pentru a estima nivelul inferior sau superior cu privire

la producția de energie, aceste informații fiind foarte utile pentru a optimiza parametrii și componentele turbinei eoliene în vederea obținerii fiabilității și performanțelor specificate.

Analizând principalii parametri ai turbinei eoliene cu ax vertical de tip elicoidal, prelucrarea statistică a datelor experimentale a constat în estimarea puterii produse pentru diferite viteze ale vântului, precum și estimarea parametrică a indicatorilor de fiabilitate: funcția de fiabilitate, funcția de nonfiabilitate și rata de defectare. Estimarea și modelarea fiabilității turbinei eoliene, precum și interpretarea ulterioară a rezultatelor experimentale ar putea contribui la reducerea costurilor de operare și întreținere ale turbinelor, la optimizarea turbinei eoliene analizate permițând evaluarea și îmbunătățirea performanțelor în concordanță cu parametrii optimi ai sistemului.

Rezultatele analizei de fiabilitate ale acestui tip de turbină indică faptul că turbina eoliană cu ax vertical de tip elicoidal, pentru viteze scăzute ale vântului, este mai eficientă decât o turbina eoliană cu ax orizontal echipată cu trei pale.

Turbina analizată prezintă performanțe ridicate pentru o viteză a vântului cuprinsă între 5,5 m/s și 10,5 m/s. Pentru o viteză medie a vântului de 5.84 m/s, s-au obținut următoarele rezultate:

- energia furnizată zilnic de 4,8 kWh;
- energia furnizată anual: 1,750 kWh;
- energia furnizată lunar: 143 kWh;
- timp de funcționare: 97,40 %.

Principalele avantaje ale acestui tip de turbină eoliană cu rotor elicoidal sunt:

- fiabilitate ridicată cu o bună rigiditate;
- silențioasă, simplitate în execuție cu costuri mai mici de până la 20% față de turbine eoliene similare;
- putere specifică mai mare pe suprafața activă;
- cuplu de pornire mare;
- nu este necesară orientarea în direcția vântului;
- la viteze ale vântului mai mari de 20 m/s se auto-frânează fără componente mecanice, datorită formei sale inițiale a rotorului;

## **2.2. Estimarea indicatorilor de fiabilitate ai elementelor componente ale grederului tractat [DUM13a], [DUM17]**

Creșterea producției autovehiculelor cu destinație specială pentru execuția și întreținerea drumurilor forestiere, este asigurată prin utilizarea sistemelor moderne automatizate. Buldozere, gredere, excavatoare și alte sisteme sunt utilizate pe scară largă pentru activități diverse din domeniul construcției de drumuri [MOT15], [PAT11]. Este foarte important ca inginerii proiectanți să conceapă echipamente având următoarele caracteristici: fiabilitate crescută, masa minimă, costuri reduse privind proiectarea și fabricarea lor, precum și siguranța în exploatare.

Grederului tractat este un utilaj destinat lucrărilor de pământ pentru eliminarea stratului vegetal, la profilarea și nivelarea drumurilor, la amestecarea pământului cu diferite materiale, la săparea șanțurilor de scurgeri, la lucrările de întreținere a drumurilor și șanțurilor sau la dezapezire [HAW14], [TER14]. Aceste tipuri de mașini sunt caracterizate printr-o mai bună manipulare a



echipamentului auxiliar (lamă), care lucrează în mod activ, care poate fi orientate orizontal, vertical sau deplasate lateral. Manevrabilitatea lamei și dezvoltarea forței necesare pentru lama în vederea penetrării solului sunt principalele cerințe impuse pentru asigurarea performanței operaționale a grederelor [DEB12].

Elementele de lucru principale al grederului sunt reprezentate de lama frontala și de lama spate. Lama frontală este realizată din tablă de oțel, groasa de 8 mm, ce prezintă, pe suprafața opusă suprafeței active de lucru (pe spatele ei), nervuri de întărire dispuse echidistant pentru a rigidiza lama. În partea inferioară a suprafeței de lucru, lama este prevăzută cu un cuțit răzuitor, confecționat dintr-un material cu duritatea relativ mică (250 HB – unități Brinell), cu rezistență mare la uzură, denumite, în general de specialiști, oțel Hadfield. Datorită uzurii intense la care sunt supuse, cuțitele răzuitoare constituie piese de schimb [TUD14].

Lama frontală prezintă o lungime de 2000 mm, fapt ce-i conferă posibilitatea împrăștierii materialului și nivelării acestuia printr-o singură trecere, condiționată însă de cea de a doua lamă (lama spate) dispusă asimetric față de prima. Această soluție tehnologică a fost adoptată în vederea distribuirii eforturilor pe cele două lame. În plus, asimetria față de modul de fixare a lamelor pe șasiu, conduce la o lățime de lucru de aproximativ 2700 mm în cazul în care lamele sunt dispuse pe o direcție perpendiculară pe axa longitudinală a șasiului.

Odată cu înclinarea acestora prin intermediul cilindrilor hidraulici, lățimea de lucru scade proporțional cu proiecția sinusoidală, ajungând până la valoarea minimă de 2500 mm.

Lama spate poate fi și echipament de taluzare sau de săpare a șanțurilor, prin schimbarea poziției de lucru având o construcție identică cu lama frontală, respectiv fiind prevăzută, la partea inferioară, cu același cuțit longitudinal de răzuire, similar aceluia ce echipează lama frontală. Mișcările de înclinare față de axa longitudinală se realizează independent de prima lamă, prin intermediul celui de al doilea cilindru hidraulic. Există astfel posibilitatea de a lucra cu una din lame înclinată sub un unghi, iar cu cea de a doua, perpendicular pe direcția de înaintare a grederului.

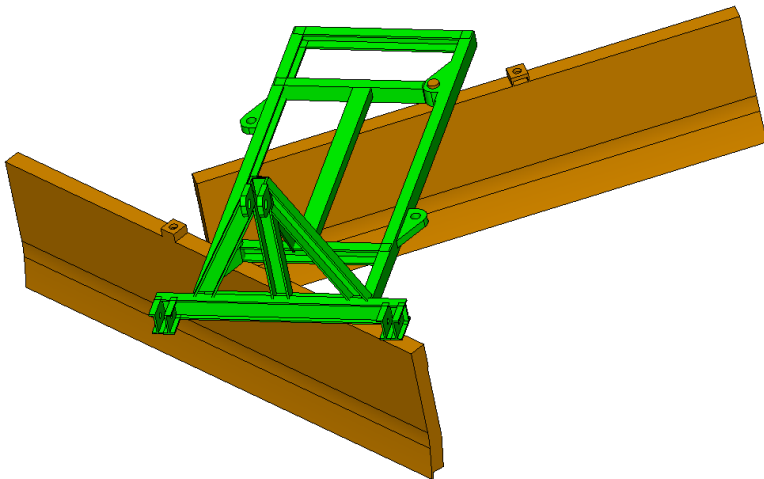
### **2.2.1. Evaluarea parametrilor constructivi și funcționali ai echipamentului utilizând metoda elementului finit, [DUM17]**

Analiza cu element finit (FEA) este cea mai utilizată tehnică pentru calculele de rezistență ale structurilor mecanice în condiții cunoscute de încărcare [PAT11], [NAY12], [YON10]. FEA este utilizată pentru rezolvarea unor probleme analitice de mari dimensiuni cu aplicabilitate pentru sisteme cu geometrie complexă și distribuții complicate ale parametrilor. Obiectivul acesteia este modelarea și descrierea comportării mecanice a structurilor analizate. Metoda este un procedeu de discretizare: forma geometrică și câmpurile deplasărilor, deformațiilor specifice și tensiunilor sunt descrise prin cantități discrete (de ex. coordonate) distribuite în toată structura, [RAD06].

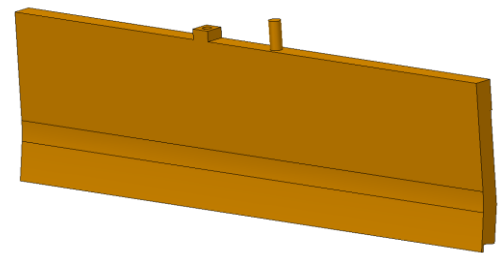
Majoritatea studiilor privind analiza componentelor echipamentelor se axează pe aplicarea analizei FEA [MEC08], [GAS11], [BIN00], [KIA14], [MOT15]. O metodă de analiză și simulare a rezistenței la șoc a lamei grederului este propusă de Pan Yongjun, 2010, fisurarea lamei grader-ului fiind principalul defect.

În vederea efectuării analizei cu elemente finite a grederului tractat, este foarte important să se elaboreze modelului de calcul al structurii respective. Modelul geometric 3D al grederului tractat

(figura 2.15 și figura 2.16) a fost realizat folosind softul de proiectare Pro-Engineering, utilizat pe scară largă în domeniul proiectării și a ingineriei mecanice. Analiza cu element finit se realizează prin folosirea programului de calcul AnsysWorkbench. În modelarea geometriei 3D s-a ținut cont doar de componentele care au un rol structural în funcționare și de poziția cea mai defavorabilă a celor două lame, rotite la 30 de grade față de axa transversală a utilajului. Cilindrii hidraulici, cu ajutorul cărora se modifică înclinarea lamelor, nu s-au modelat geometric, aceștia fiind simulați direct în programul de calcul cu elemente finite.

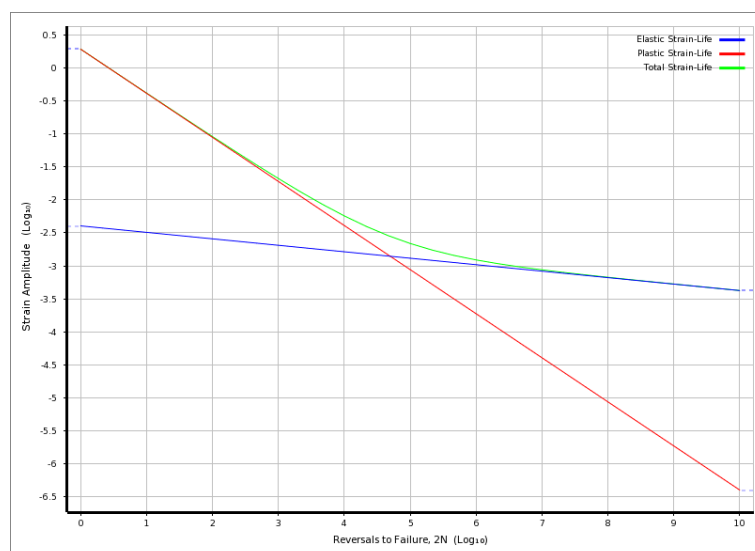


**Figura 2.15** Modelul 3D of al grederului tractat



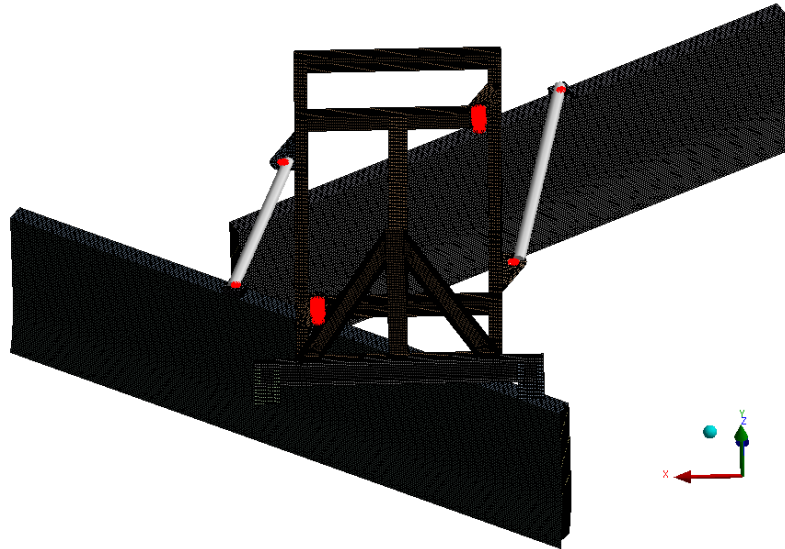
**Figura 2.16** Modelul geometric 3D al lamei grederului

Proprietățile mecanice și de oboseală ale materialului grederului, sunt extrase din baza de date a programului de calcul (figura 2.17). Se observă că acest material are limita de curgere 356 MPa și limita de rupere de 441 MPa.



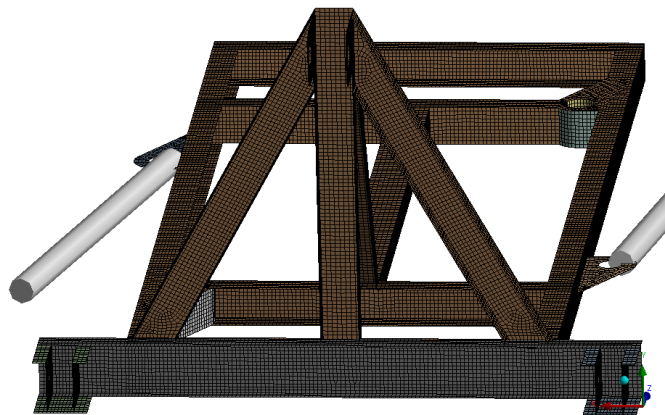
**Figura 2.17** Analiza proprietăților mecanice și de oboseală ale materialului grederului

Elementele finite 2D ce simulează profilele și tablele din componența modelului, au atribuite proprietățile de material și grosime corespunzătoare fiecărei componente.

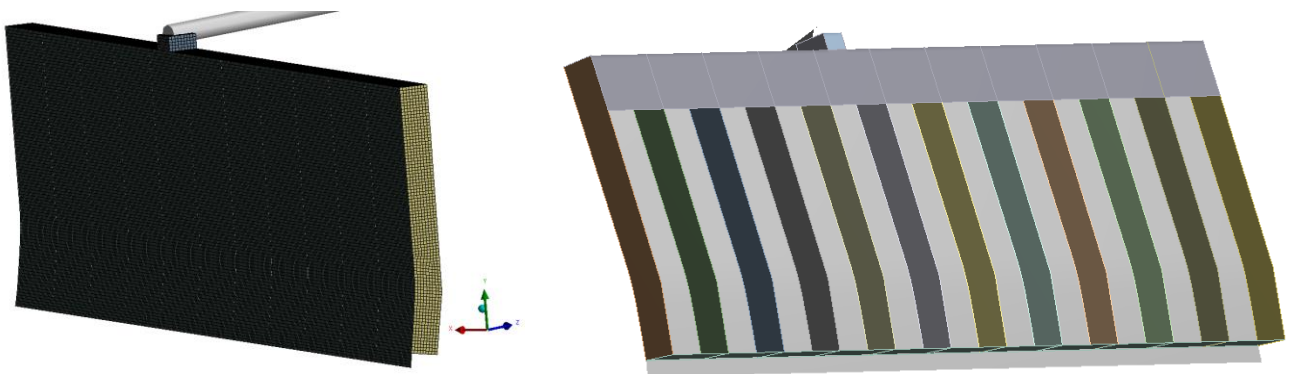


**Figura 2.18** Modelul discretizat cu elemente finite al grederului tractat

Cadrul grederului tractat este o structură realizată din profile pătrate, profile C și table groase, iar pe cadrul frontal prezintă doi suporturi de prindere și subansamblul suportului de prindere al tirantului central. Această structură fiind una sudată, nedemontabilă, se simulează cu elemente de tip shell (2D – figura 2.19), legăturile dintre componentele sudate realizându-se prin noduri comune, situate între elementele finite din zona sudurilor.



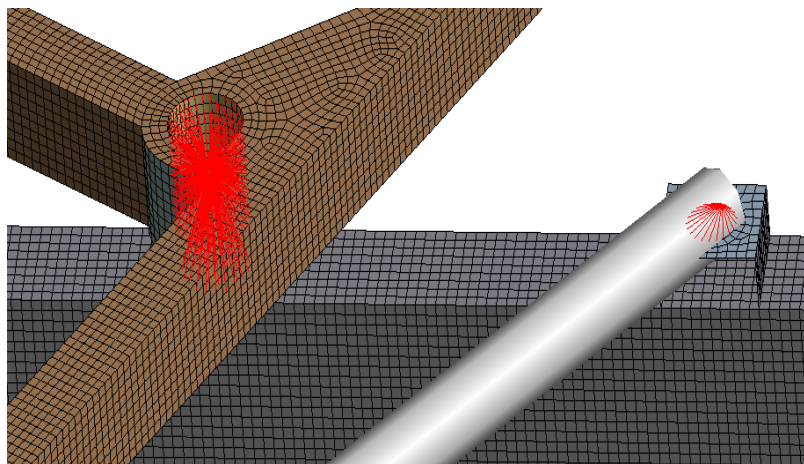
**Figura 2.19** Cadrul grederului tractat



**Figura 2.20** Modelul cu elemente finite ale lamei

Pentru simularea lamei, s-au folosit elemente finite 2D de tip shell. Tablele sudate ale lamei au fost conectate prin noduri comune între elementele finite din zona sudurilor.

Bolțul în jurul căruia se rotește lama față de cadrul grederului, s-a modelat cu un element rigid (MPC), legat de cele două componente, lamă și cadru, la care s-a lăsat liberă rotația din jurul axei bolțului (figura 2.21). Cilindrul hidraulic s-a simulat printr-un element deformabil 1D, de tip beam, la care s-au păstrat proprietățile secțiunii cilindrului, iar legăturile cu lama, respectiv cadrul grederului, s-a făcut prin elemente rigide, fixate după toate gradele de libertate.



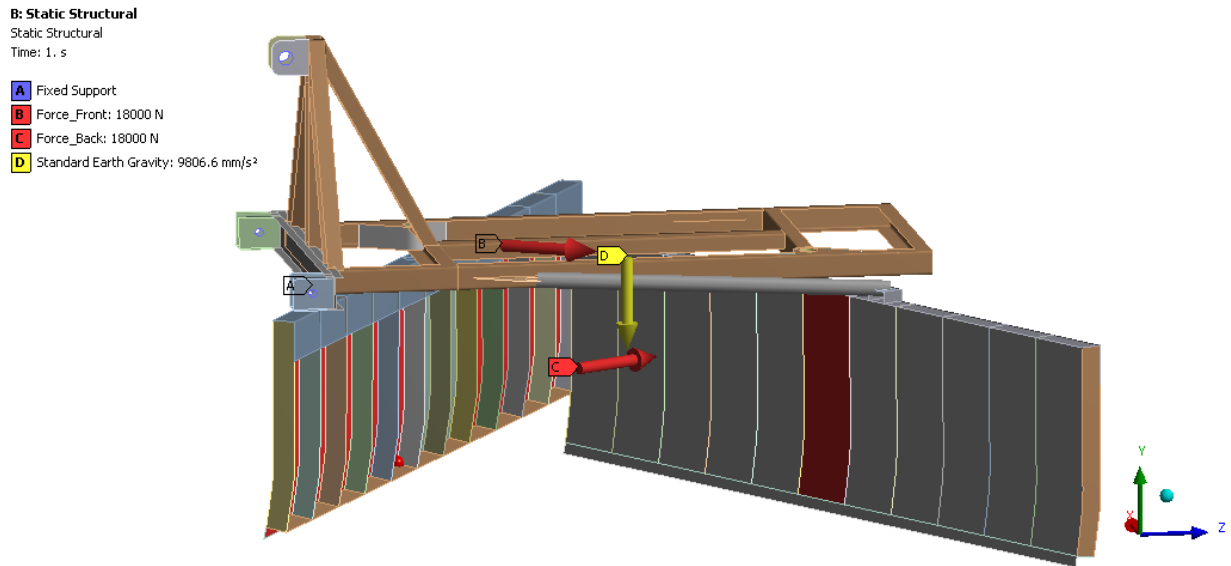
**Figura 2.21** Legătura dintre lamă și cadru, respectiv dintre lama și cilindrul hidraulic

La modelarea cu elemente finite al grederului tractat, s-a ținut cont, în primul rând, ca modelarea numerică să fie cât mai apropiată de condițiile reale de funcționare, de calitatea elementelor, dar și de numărul nodurilor și al elementelor rezultate după discretizarea cu elemente finite, obținându-se astfel un număr de 144134 de elemente și 145681 de noduri.

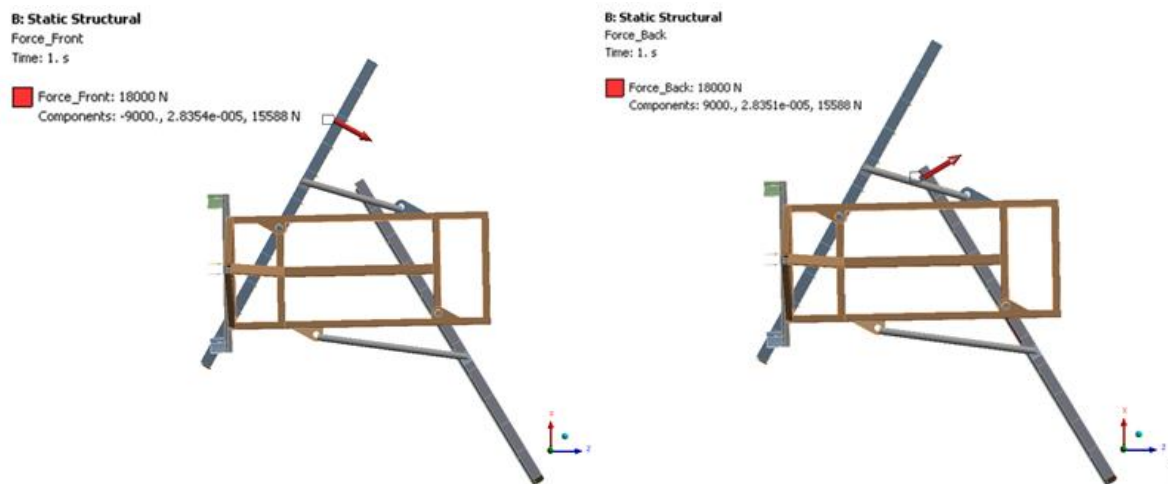
### ***Aplicarea condițiilor limitative și a forțelor***

În cazul calculului de verificare a lamei de nivelare, geometria lamei reprezintă o porțiune dintr-un cilindru cu raza de 3100 mm, secționat de două generatoare. Lama se consideră încastrată în centrul cilindrului prin intermediul unui element rigid, la capătul superior al acesteia. Pe suprafața activă a lamei se aplică presiunea normală la suprafață de 0.01672707 MPa, reprezentând jumătate din forța de tracțiune necesară procesului de nivelare (36000 N).

Forța de tracțiune produsă de tractor la cârligul de remorcare este de  $F_{tot} = 36000$  N și se aplică pe fiecare lamă a grederului, în cantitate egală, de 18000 N, distribuită pe toată suprafața lamei de nivelare. Prin acest mod de solicitare a structurii, s-a considerat că situația cea mai defavorabilă este atunci când fiecare lamă a grederului se încarcă cu aceeași cantitate de material (balast), pe toată suprafața. Forța este aplicată normal la suprafața activă a lamei, înclinată la 30 de grade, dezvoltându-se astfel forțe după cele trei direcții, raportate la sistemul de coordonate global (figura 2.23). Pentru a se ține cont și de greutatea grederului, s-a aplicat accelerația gravitațională asupra întregului sistem.



**Figura 2.22** Schema de încărcare a grederului, respectiv forța de 18000 N pe fiecare lamă, accelerația gravitațională și constrângerea pe găurile bolțurilor de prindere pe tractor



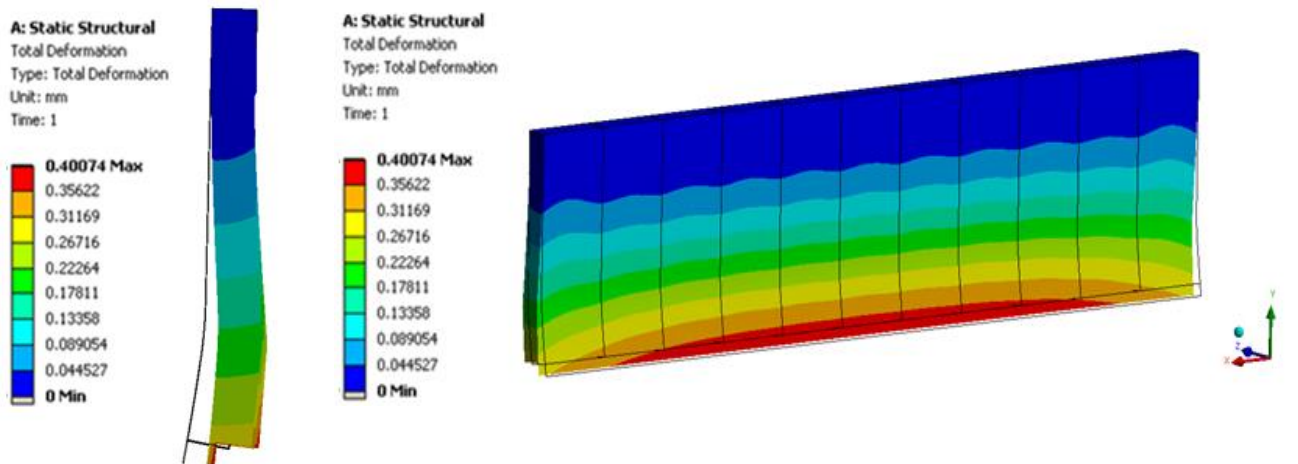
**Figura 2.23** Descompunerea forțelor după cele trei direcții, pe fiecare lamă

Modelul cu elemente finite s-a constrâns după toate gradele de libertate, pe suportii de prindere și subansamblul suportului de prindere al tirantului central ale grederului.

### 2.2.2. Rezultatele analizei cu element finit

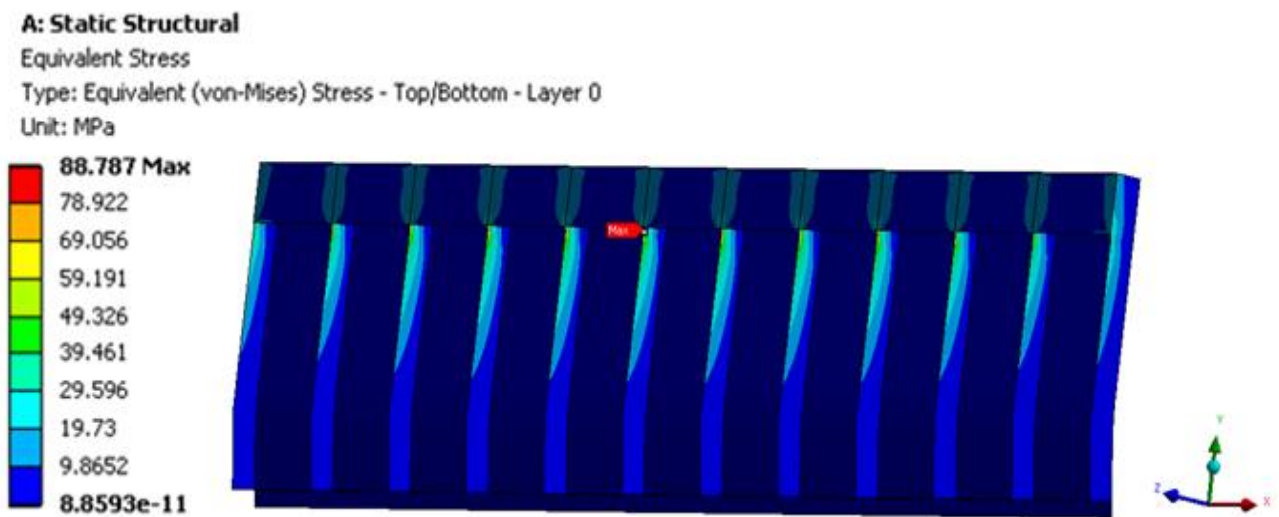
Pentru lama de nivelare, rezultatele obținute în urma calculului cu elemente finite vor viza nivelul de deformare și de solicitare asupra lamei de nivelare existente, ca prototip. Întrucât lama este o structură formată din mai multe table sudate, ipotezele pentru calculul analitic au fost simplificate. Pentru calculul cu elemente finite s-a modelat lama de nivelare existentă, unde s-a ținut cont de toate părțile componente, cum ar fi: tablele și guseele din spatele lamei. Pentru verificarea calculului de dimensionare a lamei s-au folosit metode moderne de calcul, utilizate pe scară largă în industria constructoare de mașini și nu numai.

Datorită curburii lamei, forțele care acționează asupra ei se descompun după fiecare direcție. Deplasarea maximă calculată pe lama de nivelat este de 0,4 mm, fiind localizată în partea de jos a lamei, după cum se poate observa în figura 2.24. De asemenea, sunt prezentate și pozițiile lamei (nedeformată, respectiv deformată), indicându-se gradientul de deformație (factor de scalare 100).



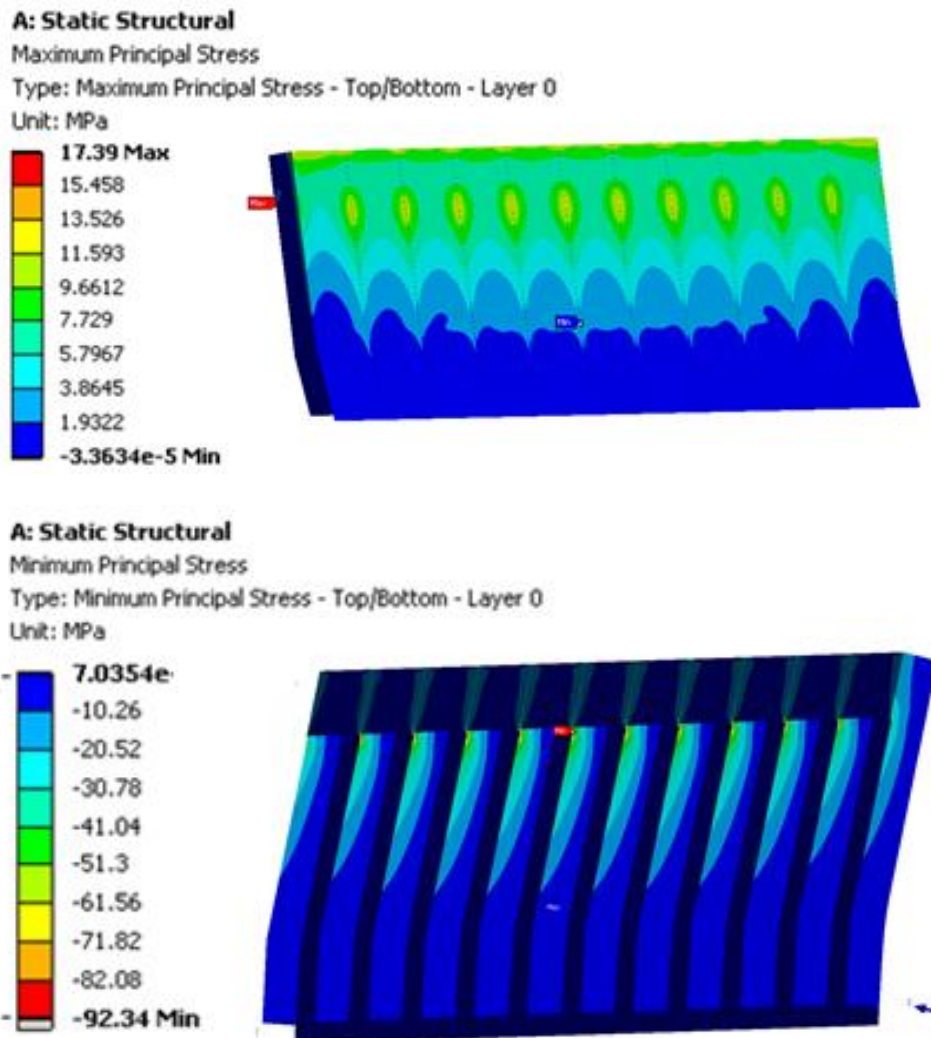
**Figura 2.24** Deplasarea totală a lamei de nivelat

Valoarea tensiunii echivalente maxime (88,7 MPa) este obținută în partea din spate a lamei, lângă zona de sudură dintre gusee și placă. Se constată că valoarea tensiunii nu depășește valoarea limitei de curgere (356 MPa) a materialului (figura 2.25).



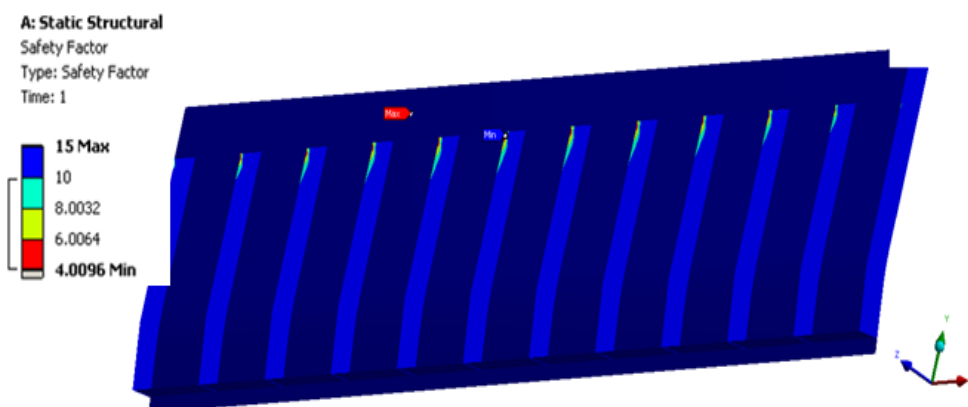
**Figura 2.25** Tensiunile echivalente von-MisesStress

Din figura 2.26 se poate observa că principala solicitare ce acționează asupra lamei de nivelat este cea de compresiune. Aceasta este dată de presiunea aplicată pe suprafața lamei, care comprimă guseele din spatele lamei.



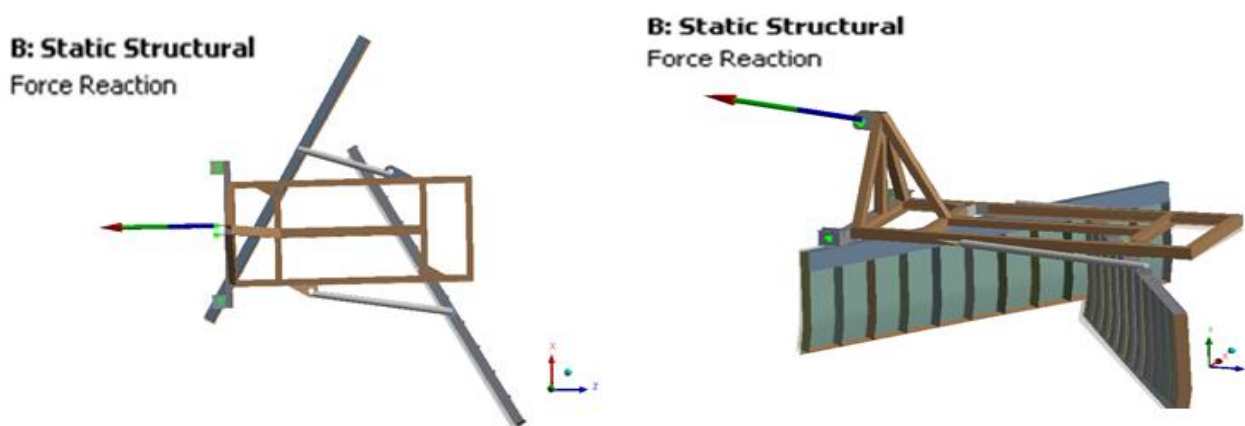
**Figura 2.26** Tensiunile de compresiune

Pentru calculul lamei de nivelare se impune un factor de siguranță mai mare ca 2, acesta fiind calculat prin metoda elementului finit, utilizând programul AnsysWorkbench. După cum se poate observa în figura 2.27, valoarea minimă a factorului de siguranță este 4, fiind obținută în zona de lângă sudura dintre gusee și placa din spatele lamei.



**Figura 2.27** Distribuția factorului de siguranță

Pentru grederul tractat, forțele care acționează asupra celor două lame dezvoltă forțe de reacțiune pe fiecare direcție (figura 2.28).



**Figura 2.28** Forța totală de reacțiune pentru grederul tractat

Datorită faptului ca cele două lame sunt înclinate în direcții opuse, rezultanta forței pe direcția X, se anulează. Forța de reacțiune, obținută după direcția Y, este dată de greutatea mașinii și de componenta forțelor care solicită cele două lame, după aceeași direcție. Forța cea mai mare este cea după direcția axei Z, în direcția de deplasare a tractorului.

În tabelul 2.3 se observă că forța rezultantă totală este apropiată de valoarea maximă de tractare. Diferența forței totale calculate, de la 31342 N până la 36000 N, poate apărea datorită neliniarităților apărute în model, a erorilor de calcul numeric specifice metodei de calcul, dar și datorită modului în care sunt făcute conexiunile dintre componentele din modelul cu elemente finite.

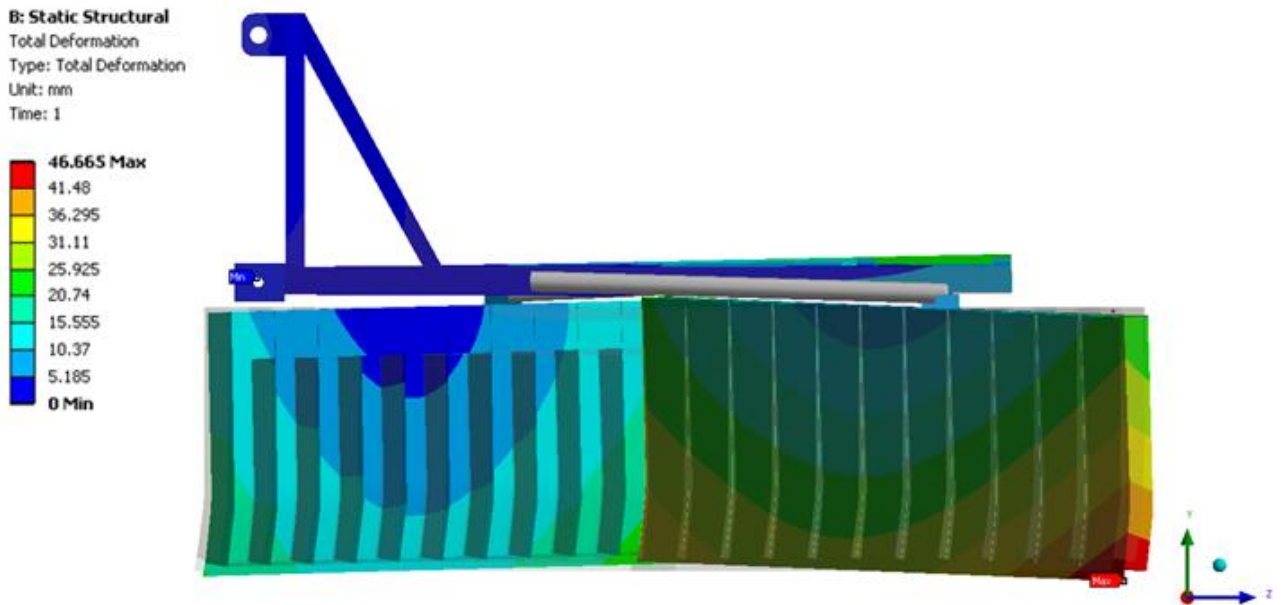
**Tabelul 2.3** Forțele de reacțiune rezultate în urma calculului FEA

	Forța de reacțiune [N]
Axa X	0
Axa Y	3211
Axa Z	- 31177
Forța rezultantă	31342

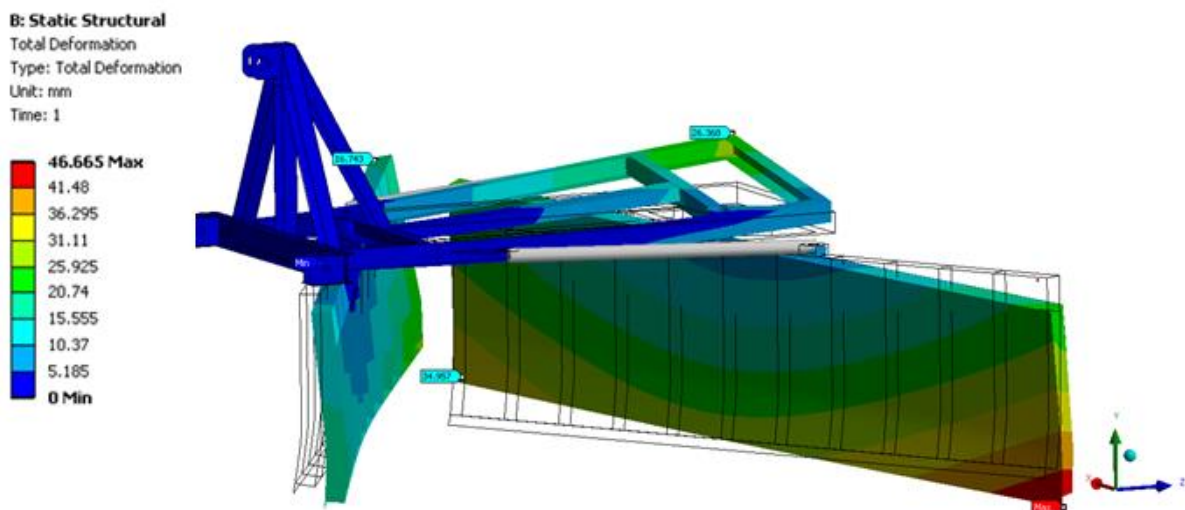
Deplasarea totală maximă, calculată pe tot grederul tractat, este de 46,6 mm și se localizează în partea de jos a lamelor, în punctul cel mai îndepărtat față de prinderea lamelor cu cadrul grederului. În figura 2.29 se indică deformația grederului din vedere laterală (la scara 1:1), unde se poate observa și deformația reală a grederului.

În figura 2.30 este redată poziția nedeformată, prezentată ca wireframe, și poziția deformată, unde se indică modul de deformare, la o scară mărită de 5 ori. De asemenea, se poate constata și valoarea deplasării cadrului (26,3 mm).



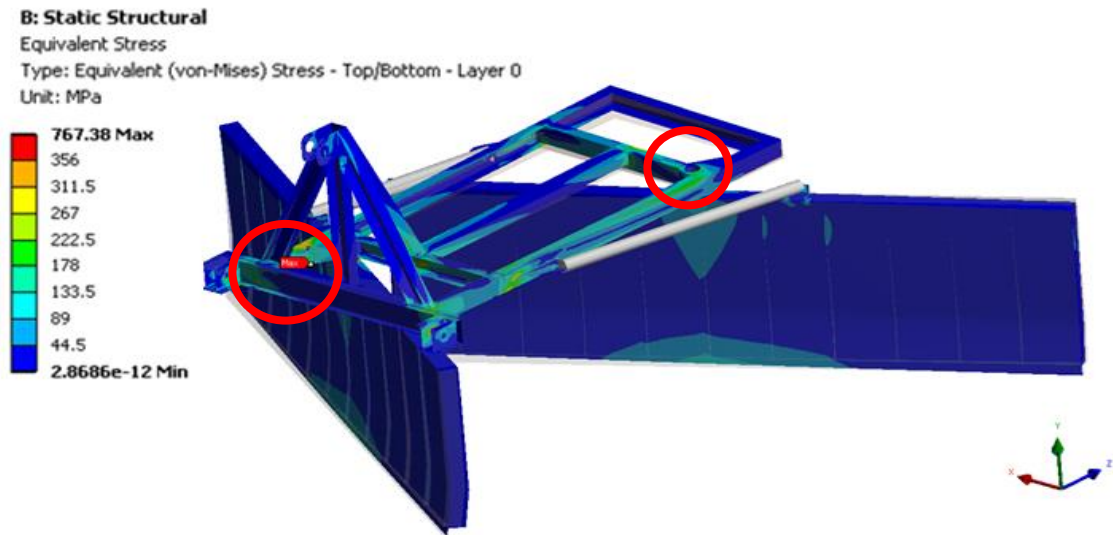


**Figura 2.29** Deplasarea totală pentru grederul tractat (scara 1:1)

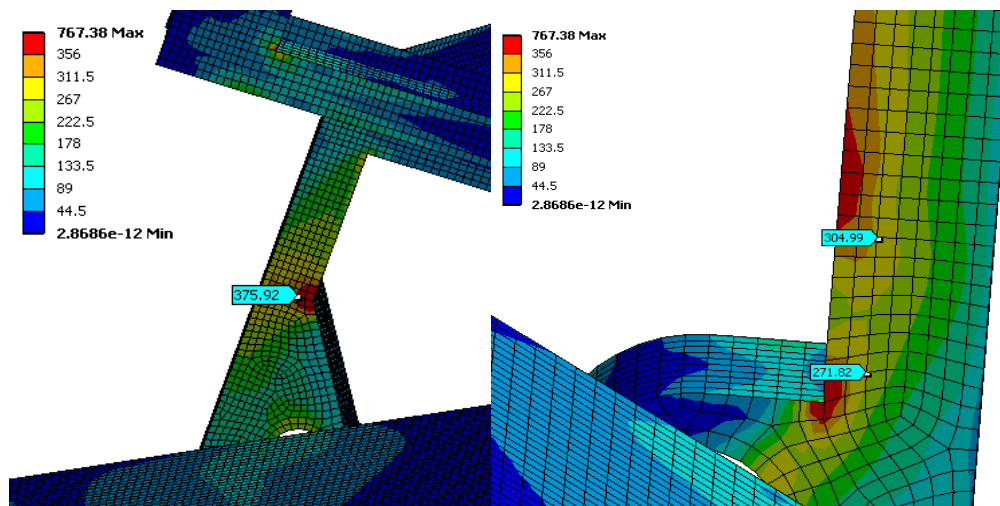


**Figura 2.30** Deplasarea totală pentru grederul tractat (scara 5:1)

Tensiunile echivalente von-Mises pentru grederul tractat sunt prezentate, într-o vedere de ansamblu, în figura 2.31. Valoarea maximă a tensiunii (767 MPa) este obținută în zona de sudură a cadrului cu plăcile care formează cupla de rotație pentru înclinarea lamelor (figura 2.31a.). Aceste valori ale tensiunilor din zonele de sudură nu sunt reale, pentru că în aceste zone, datorită transformărilor la care sunt supuse materialele sudate în timpul procesului de sudură, proprietățile mecanice ale materialelor se modifică. Din acest motiv citirea se face la o distanță egală cu dimensiunea cordonului de sudură.



a.



b.

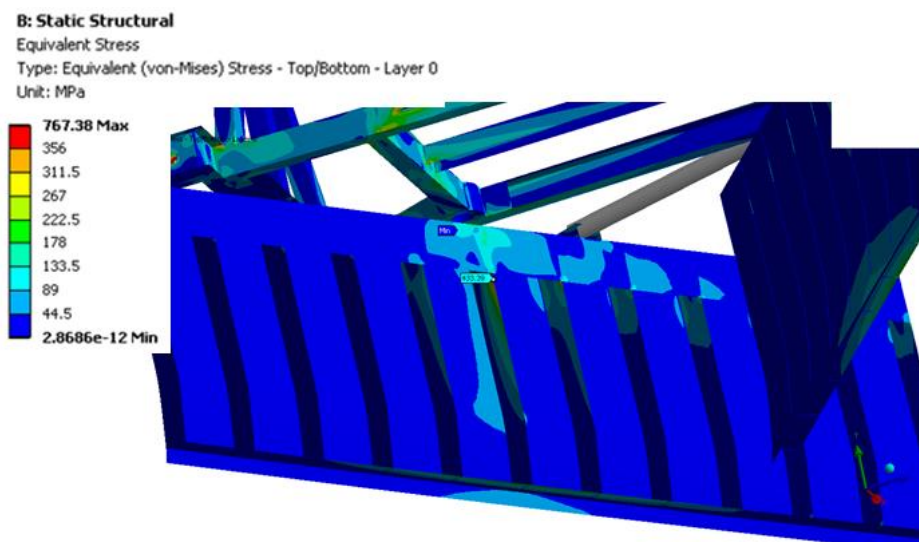
c.

**Figura 2.31** Tensiuni echivalente von-Mises: (a) vedere de ansamblu; (b) și (c) detaliu cu zonele solicitate din zona sudurii

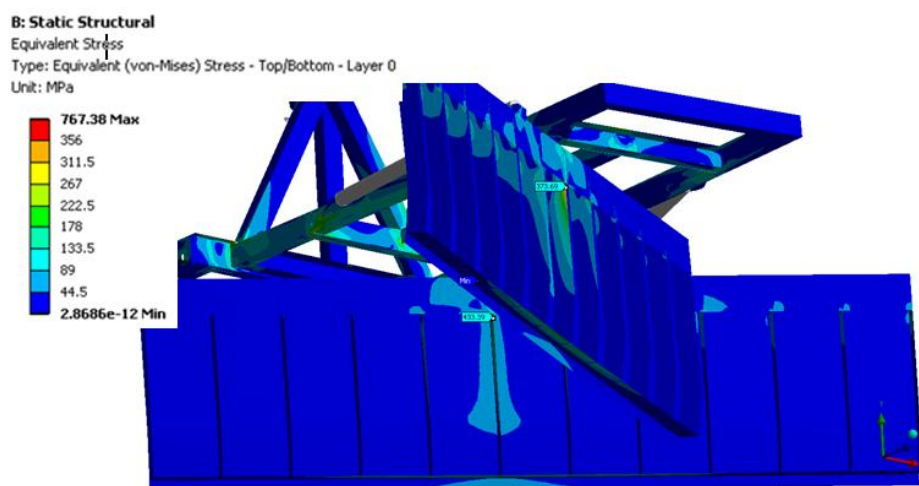
Valoarea reală a tensiunii echivalente maxime este de aproximativ 376 MPa și este obținută în zona de sudură a cadrului cu plăcile care formează cupla de rotație pentru înclinarea lamei din față (figura 2.31b).

În zona de sudură a cadrului cu plăcile care formează cupla de rotație pentru înclinarea lamei din spate, valoarea tensiunii echivalente este de 305 MPa (figura 2.31c).

În figura 2.32 este redată distribuția tensiunilor echivalente pe cele două lame. Tensiunile maxime sunt localizate lângă suduri, în partea mediană a lamelor, în dreptul cuplelor de rotație față de cadru. Astfel, pe lama din față, valoarea tensiunii maxime este aproximativ de 433 MPa (figura 2.32a), iar pe lama din spate este de aproximativ 374 MPa (figura 2.32b).



a.



b.

**Figura 2.32** Tensiuni echivalente von-Mises pe: a. lamă din față; b. lamă din spate

Din punct de vedere al încărcărilor statice pe grederul tractat, tensiunile maxime obținute depășesc limita de curgere a materialului (356 MPa), dar sunt sub limita de rupere a acestuia (441 MPa). Astfel, pe cadrul grederului tensiunea maximă este de 376 MPa, pentru lama din față este de 433 MPa, iar pentru lama din spate este de 374 MPa. Aceste rezultate indică faptul că grederul tractat, în timpul funcționării sau după o durată limitată de timp, poate suferi deformații plastice permanente, fără a se ajunge la rupere.

Pentru determinarea duratei de viață în funcționare se consideră că grederul tractat lucrează după un ciclu pulsator, adică sarcina de solicitare variază de la 0 la valoarea maximă a încărcării (36000 N) atunci când mașina este solicitată cu forța maximă.

Astfel, cu ajutorul programului AnsysWorkbench, se calculează durata de viață în funcționare pentru grederul tractat, folosind metodologia  $\epsilon - N$  (Strain Life). Această metodă se bazează pe analiza deformațiilor specifice și este utilizată pentru calculul la durabilitate limitată.

### 2.2.3. Analiza fiabilității elementelor componente ale grederului tractat

#### 2.2.3.1. Metode de estimare a indicatorilor de fiabilitate utilizate în cercetarea experimentală

Indicatori de fiabilitate reprezintă o măsură a fiabilității sau a uneia dintre caracteristicile acesteia. Indicatorii de fiabilitate sunt mărimi caracteristice, care permit aprecierea cantitativă a nivelului de fiabilitate al produselor. Există un număr mare de indicatori de fiabilitate, însă, nici unul dintre acești indicatori nu poate măsura complet fiabilitatea, ci doar, estimează una din caracteristicile acesteia [POP 93], [MOR 99], [AFA06].

Valorile estimate ale indicatorilor de fiabilitate se pot determina prin prelucrarea statistică a datelor experimentale obținute prin observații ( $X = x_1, x_2, \dots, x_n$ ) asupra unui eșantion prelevat din mulțimea de elemente considerată și aceste valori sunt corecte numai dacă eșantionul este reprezentativ pentru populația studiată. Estimatorul parametrului  $\theta$ , notat  $\hat{\theta}$ , va fi o funcție de selecție, iar valoarea efectivă calculată pe baza observațiilor se numește *estimație* [WIE 86].

$$\hat{\theta} = g(X, \theta). \quad (2.13)$$

Calitatea unui estimator se apreciază în funcție de raportul între estimațiile furnizate de acesta și valoarea reală a indicatorului. În funcție de strategia de construire a modelului de fiabilitate, estimarea indicatorilor se poate face prin metode *parametrice* sau *neparametrice*.

*Metodele parametrice* necesită cunoașterea în prealabil a legii de repartiție a timpului de funcționare până la defectare, deci cunoașterea modelului statistic adecvat studiului fiabilității produsului analizat.

În studiul modelelor statistice ce urmează a fi utilizate în estimarea fiabilității este foarte importantă modalitatea de identificare a modelului statistic, în cazul în care acesta este necunoscut și estimarea parametrilor modelului respectiv, în cazul în care acesta este cunoscut. Estimarea parametrică a indicatorilor de fiabilitate, după identificarea modelului statistic adecvat, se poate efectua prin metode grafice sau analitice. În tabelul 2.4 sunt prezentate relațiile de calcul pentru metodele analitice de estimare punctuală a valorilor indicatorilor de fiabilitate.

Relațiile de calcul pentru estimarea valorilor indicatorilor de fiabilitate prin metoda verosimilității maxime pentru repartițiile exponențială, Weibull, normală și log-normală se prezintă sub formă centralizată în tabelul 2.5.

**Tabelul 2.4** Metode analitice de estimare punctuală a indicatorilor de fiabilitate

<p><i>Metoda momentelor</i></p>	$\mu_r = E(x^r) = \int_{-\infty}^{\infty} x^r \cdot f(x) dx;$ $\hat{\mu}_r = \sum_{i=1}^n x_i^r \cdot p(x_i) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^r}{n}$
<p><i>Metoda celor mai mici pătrate</i></p>	$S = \sum_{i=1}^n \frac{[y_i - f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)]^2}{s_i^2} = \text{minim}$ $S = S(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k); \quad \frac{dS}{d\theta_i} = 0, \quad i = 1, \dots, k$

Metoda verosimilității maxime	$L(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ $\begin{cases} \frac{\partial \ln L}{\partial \theta_1} = 0 \\ \frac{\partial \ln L}{\partial \theta_2} = 0 \\ \dots\dots\dots \\ \frac{\partial \ln L}{\partial \theta_k} = 0 \end{cases}$
-------------------------------	--

**Tabelul 2.5** Relații pentru estimarea indicatorilor repartițiilor exponențială, Weibull, normală și log-normală, prin metoda verosimilității maxime

Repartiția	Densitatea de repartiție	Estimatorii parametrilor
Exponențială	$f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda x}, x \geq 0,$ $\lambda$ - rata de defectare;	$\theta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \lambda = \frac{1}{\theta}$
Weibull Biparametrică ( $\gamma = 0$ )	$f(x) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^\beta}, x \geq 0$ $\beta$ - parametru de formă; $\eta$ - parametru de scară;	$g(\beta) = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^\beta \ln t_i}{\sum_{i=1}^n t_i^\beta} - \frac{1}{\beta} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln t_i$ $g(\beta) = 0 \Rightarrow \beta, \eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i^\beta$
Normală	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < \infty$ $m$ - valoarea medie; $\sigma^2$ - dispersia;	$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$ $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - m)^2$
Log - normală	$f(x) = \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} (\ln x - m)^2}, x \geq 0$ $m$ - valoarea medie; $\sigma^2$ - dispersia;	$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln t_i$ $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln t_i - m)^2$

În tabelul 2.6 se prezintă relațiile pentru calculul valorilor estimate prin metoda celor mai mici pătrate, pentru repartițiile exponențială, Weibull și normală.

*Metodele neparametrice* nu necesită identificarea legii de repartiție a timpului de funcționare. Se utilizează în cazurile în care nu se cunoaște modelul statistic de repartiție al timpilor de defectare a produselor analizate. Un astfel de procedeu constă în supunerea unui număr de produse unor încercări de fiabilitate timp de  $t$  ore, care reprezintă durata misiunii ce trebuie îndeplinită și pentru care se cere determinarea indicatorilor de fiabilitate.

Metoda se poate utiliza și în cazul în care un număr oarecare de produse identice funcționează simultan sau în perioade diferite, dar fiecare dintre aceste produse este încercat pentru aceeași durată de funcționare  $t$ , toate produsele încercate efectuând  $q$  misiuni de durată  $t$ , numărul misiunilor neîndeplinite fiind egal cu  $r$  [POP 93], [MAR 95].

**Tabelul 2.6** Relații pentru estimarea indicatorilor repartițiilor exponențială, Weibull și normală, prin metoda celor mai mici pătrate

Repartiția	Funcția de repartiție	Funcția de regresie	Estimatorii parametrilor
Exponențială	$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$	$R(t) = e^{-\lambda t}$ $\ln \frac{1}{R(t)} = \lambda t, \quad y = \lambda t$	$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^N t_i y_i}{\sum_{i=1}^N t_i^2}$
Weibull Biparametrică ( $\gamma = 0$ )	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$	$1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$ , $\ln \ln \frac{1}{1 - F(t)} = \beta \ln t - \beta \ln \eta$ $y = \alpha_1 + \alpha_2 x$ $y_i = \ln \ln \frac{1}{1 - F(t)}$ $x_i = \ln t_i$	$\beta = \alpha_2$ $\eta = \exp\left(-\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)$ $\alpha_1 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i - \alpha_2 \sum_{i=1}^N x_i}{N}$ $\alpha_2 = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2}$
Normală	$F(t) = 1 - \int_t^\infty f(u) du$	$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(z-m)^2}{2\sigma^2}} dz$ $u_p = \frac{t-m}{\sigma} = at + b$ $u_p$ - cuantilele legii normale	$\sigma = \frac{1}{a}$ $m = b \cdot \sigma$ $a = \frac{N \cdot \sum t_i u_{p_i} - \sum t_i \sum u_{p_i}}{N \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}$ $b = \frac{\sum t_i^2 \sum u_{p_i}^* - \sum t_i u_{p_i}^* \sum t_i}{N \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}$ $u_{p_i}^* = f(F(t_i))$ $u_{p_i} = at_i + b$

Analiza indicatorilor statistici ai eșantionului (media, mediana, dispersia etc.), precum și analiza histogramei sunt utile pentru alegerea adecvată unui model statistic - a unei funcții de repartiție.

Principali indicatori statistici de selecție care se calculează în această etapă sunt:

*Parametrii tendinței centrale*

$$\text{Media: } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\text{Momentul de ordin } r: m_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^r$$

*Parametrii împrăștierii*

$$\text{Amplitudinea: } R = x_{\max} - x_{\min} = x_n - x_1$$

$$\text{Dispersia: } s^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$\text{Abaterea medie pătratică } \sigma = \sqrt{s^2}$$

$$\text{Mediana: } M_e = \begin{cases} x_{(n+1)/2}, & n \text{ impar} \\ \frac{1}{2}(x_{n/2} + x_{(n/2)+1}), & n \text{ par} \end{cases}$$

Momentul centrat de ordin  $r$ :

$$\bar{m}_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^r$$

$$\text{Coeficientul de variație: } C_v = \frac{s}{\bar{x}}$$

*Parametrii asimetriei și boltirii*

$$\text{Coeficientul de asimetrie: } \beta_I = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n \cdot s^3} \right)^2$$

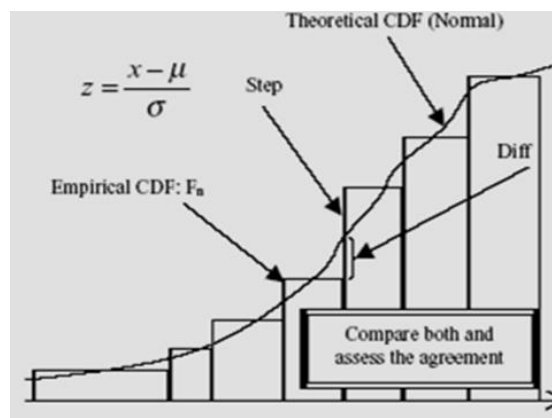
$$\text{Coeficientul de exces (boltire): } b_2 = \frac{\bar{m}_4}{m_2^2}$$

### 2.2.3.2. Estimarea fiabilității elementelor componente ale grederului tractat [DUM13a],[DUM17]

Pentru analiza fiabilității elementelor componente ale grederului, în prima etapă, s-a testat concordanța datelor experimentale obținute în urma aplicării analizei cu elemente finite, identificându-se modelul statistic cel mai potrivit pentru o astfel de analiză. Rezolvarea practică a problemelor de prelucrare statistică a datelor implică aproximarea unei repartiții experimentale (obținută din datele măsurate) cu o repartiție teoretică.

Aplicarea testului de concordanță Anderson-Darling constă în calculul statisticii [KEC93], [ROM05], [FRO13], [NIS13]:

$$A_n^2 = n \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \frac{[Q(y) - F(y)]^2}{F(y) \cdot [1 - F(y)]} \cdot dF(y). \quad (2.14)$$



**Figura 2.33** Abordarea conceptuală a testului Anderson-Darling

Valoarea obținută reprezintă o măsură a discrepantei dintre repartiția empirică,  $Q(y)$ , a valorilor de eșantionaj și repartiția teoretică,  $F(y)$ , considerată.

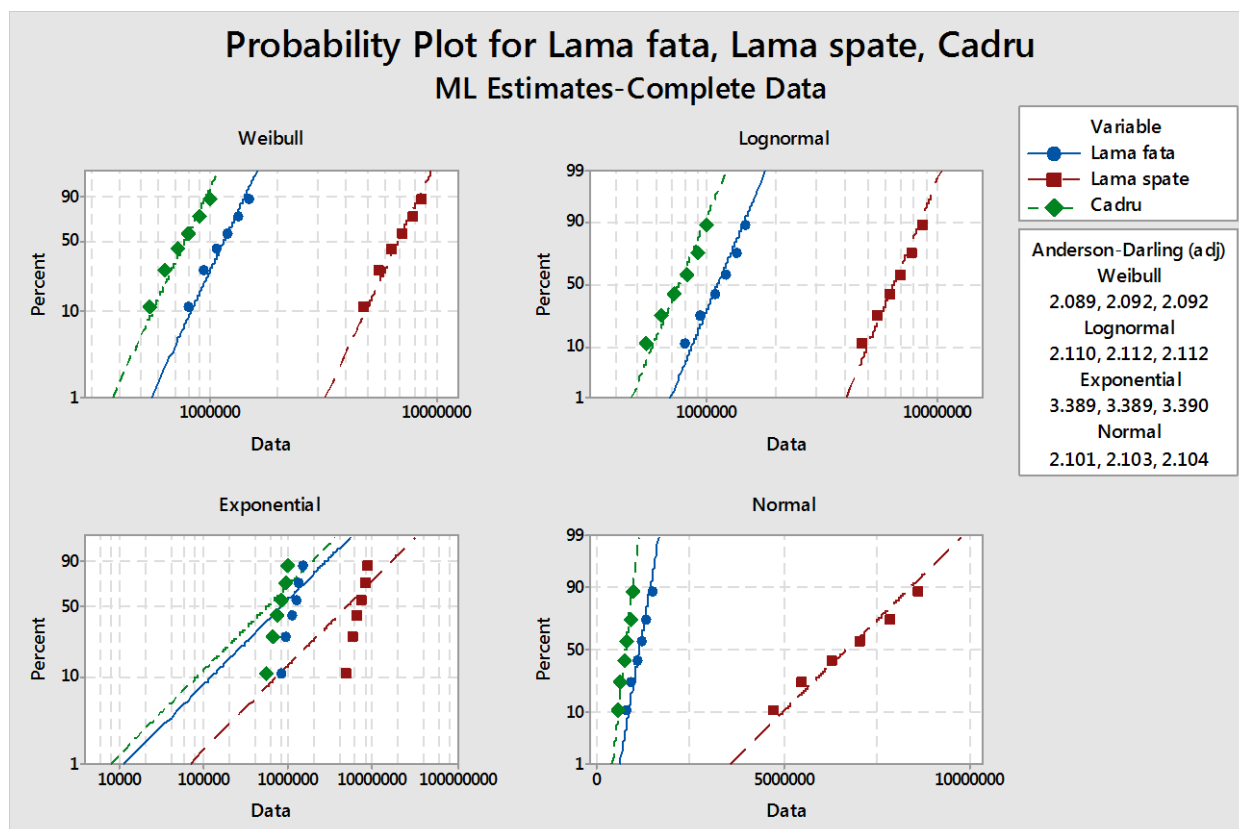
Dacă, pentru repartiția empirică se utilizează relația de calcul:

$$Q[y_{(i)}] = \begin{cases} 0, & \text{for } Y < y_{(1)} \\ \frac{1}{n}, & \text{for } y_{(i)} < Y < y_{(i+1)}, \quad i = \overline{1, n-1}, \\ 1, & \text{for } Y > y_{(n)} \end{cases} \quad (2.15)$$

atunci, statistica testului Anderson-Darling rezultă sub forma [NIS13]:

$$A_n^2 = -\sum_{i=1}^n \frac{2 \cdot i}{n} \cdot \left\{ \ln F(y_{(i)}) + \ln [1 - F(y_{(n+1-i)})] \right\} - n. \quad (2.16)$$

În acest sens, s-a utilizat testul general de concordanță Anderson-Darling, aplicat asupra datelor experimentale, considerând cele mai uzuale repartiții statistice utilizate în studiul fiabilității: repartiția Weibull, repartiția log-normală, repartiția exponențială și repartiția normală (figura 2.34).



**Figura 2.34** Testarea normalității datelor experimentale aplicând testul Anderson-Darling

Folosind rezultatele experimentale obținute din funcționarea celor trei subsamblate (lama față, lama spate și cadrul) ce echează grederul, valorile calculate ale statisticii Anderson-Darling (tabelul 2.7) indică faptul că repartițiile Normală și Weibull permit modelarea cu acuratețe a duratei de funcționare a acestor componente.



**Tabelul 2.7** Statistica Anderson-Darling

Repartiția	Valorile statisticii Anderson-Darling, $A_n^2$		
	Lama față	Lama spate	Cadru
Weibull	2.089	2.092	2.092
Log-normală	2.110	2.112	2.112
Exponențială	3.389	3.389	3.390
Normală	2.101	2.103	2.104

Utilizarea metodelor parametrice de estimare a valorilor indicatorilor de fiabilitate necesită, în prealabil, cunoașterea modelului statistic adecvat studiului fiabilității unui anumit produs, repartiție ce descrie comportarea timpului de funcționare până la defectare.

Softul Minitab oferă posibilitatea de a estima principalii indicatori de fiabilitate pentru ambele metode de estimare parametrică și neparametrică. Metoda analitică de estimare punctuală a valorilor indicatorilor de fiabilitate, în vederea determinării parametrilor repartiției, poate fi metoda celor mai mici pătrate sau cea a verosimilității maxime (determinarea acesteia este mai dificilă și, în mod frecvent, algoritmi au viteză de convergență redusă).

Metoda de estimare a indicatorilor de fiabilitate ale componentelor grederului tractat constă în determinarea valorilor parametrilor repartiției Weibull utilizând metoda celor mai mici pătrate. Dacă se dorește o acuratețe mai bună a ajustării cu legea de repartiție Weibull, atunci parametrii pot fi determinați pentru varianta triparametrică.

Valorile estimate ale parametrilor de formă și scală ale parametrilor repartiției Weibull biparametrice se obțin ca soluție a sistemului de ecuații, [KEC94], [MOR10], [MON11a,b], [BAR08], [NAG16]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{A} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i}{k \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \\ \hat{B} = \frac{k \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{k \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \end{array} \right. \quad (2.17)$$

Estimațiile parametrilor  $\beta$  și  $\eta$ , ai repartiției Weibull se obțin aplicând sistemul de ecuații:

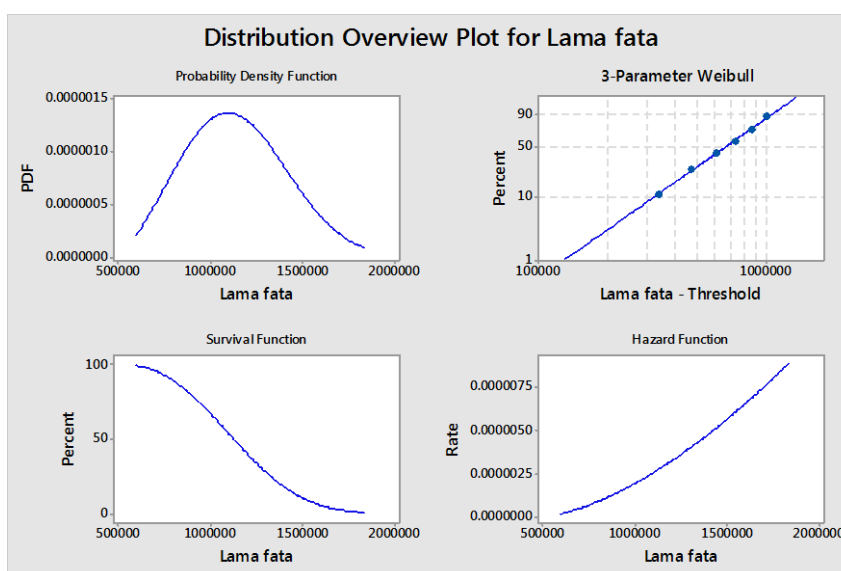
$$\left\{ \begin{array}{l} x = \ln t \\ y = \ln \left\{ \ln \left[ \frac{1}{1 - F(t)} \right] \right\} \\ \hat{\beta} = \hat{B} \\ \hat{\eta} = e^{-\frac{\hat{A}}{\hat{B}}} \end{array} \right. \quad (2.18)$$

Utilizând softul Minitab, estimațiile punctuale ale parametrilor repartiției Weibull pentru lama față, lama spate și cadru sunt determinate pe baza rezultatelor experimentale (tabelul 2.8). Nivelul de încredere utilizat este de  $1 - \alpha = 0,95$ .

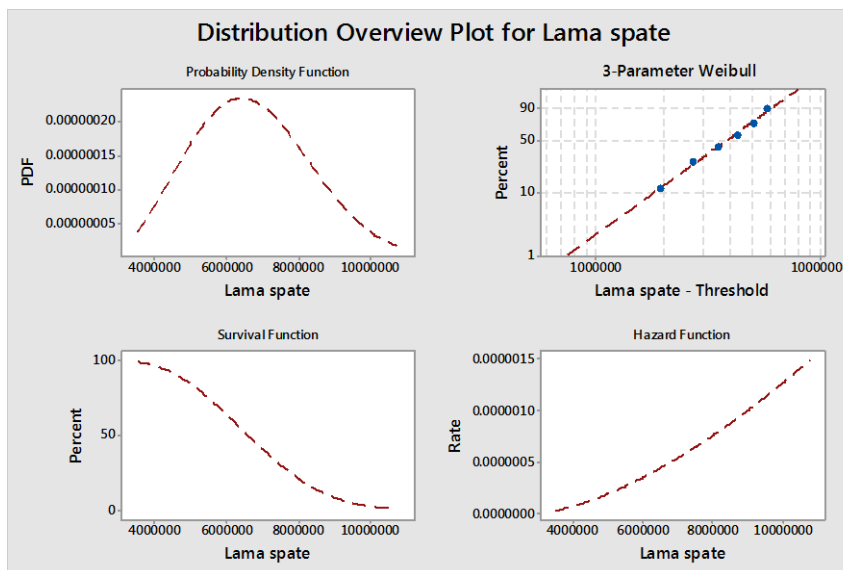
Valoarea parametrului  $\gamma$  indică valoarea duratei minime de viață a fiecărui subansamblu, estimată în condiții reale de funcționare. Reprezentarea grafica a funcției densitate de probabilitate, a fiabilității și a ratei de defectare ai lamei față, lamei spate și a cadrului sunt ilustrate în figura 2.35, figura 2.36 și figura 2.37.

**Tabelul 2.8** Estimarea parametrilor repartiției

Parametrii repartiției	Elementele componente ale grederului		
	Lama față	Lama spate	Cadru
$\beta$	1.8827	1.86939	1.87585
$\eta$	471828	2756064	317302
$\gamma$	714151	4205916	482713



**Figura 2.35** Estimarea indicatorilor de fiabilitate ai lamei față



**Figura 2.36** Estimarea indicatorilor de fiabilitate ai lamei spate

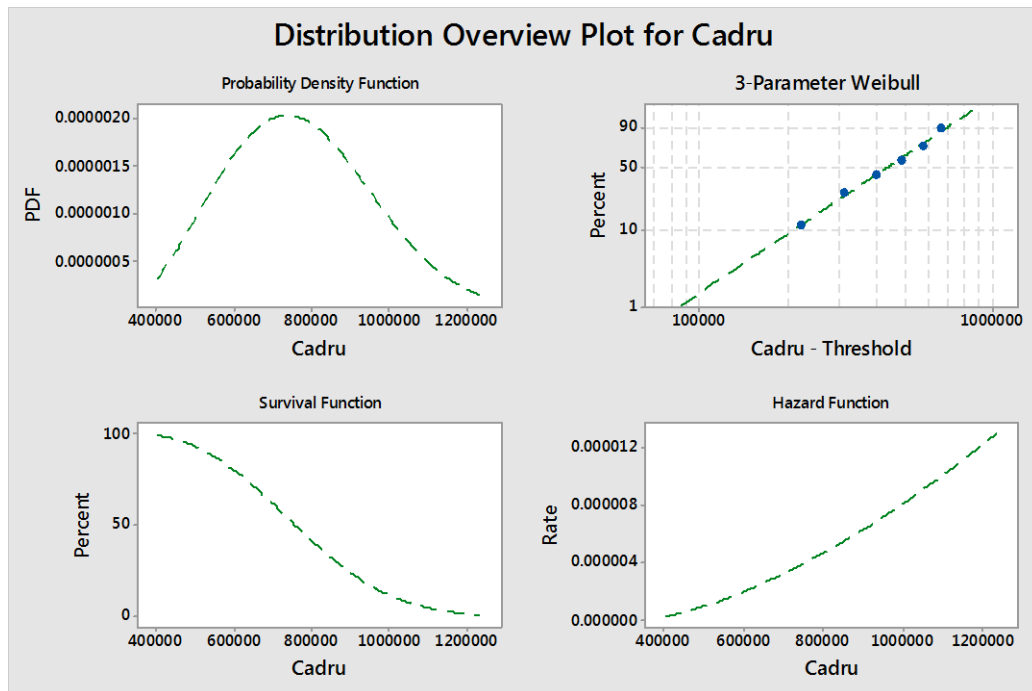


Figura 2.37 Estimarea indicatorilor de fiabilitate ai cadrului

## 2.2.4. Rezultate și discuții

Durata de viață estimată pentru grederul tractat, exprimată în număr de cicluri, este prezentată în figura 2.38.

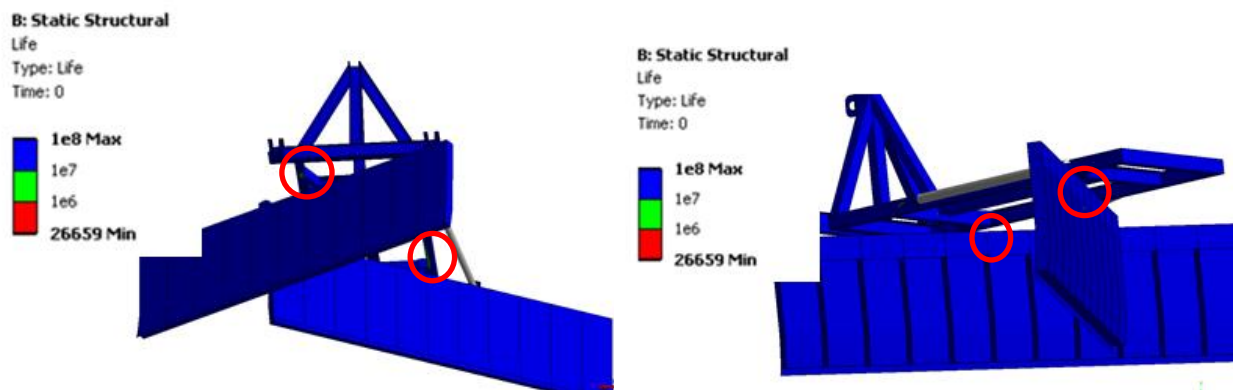
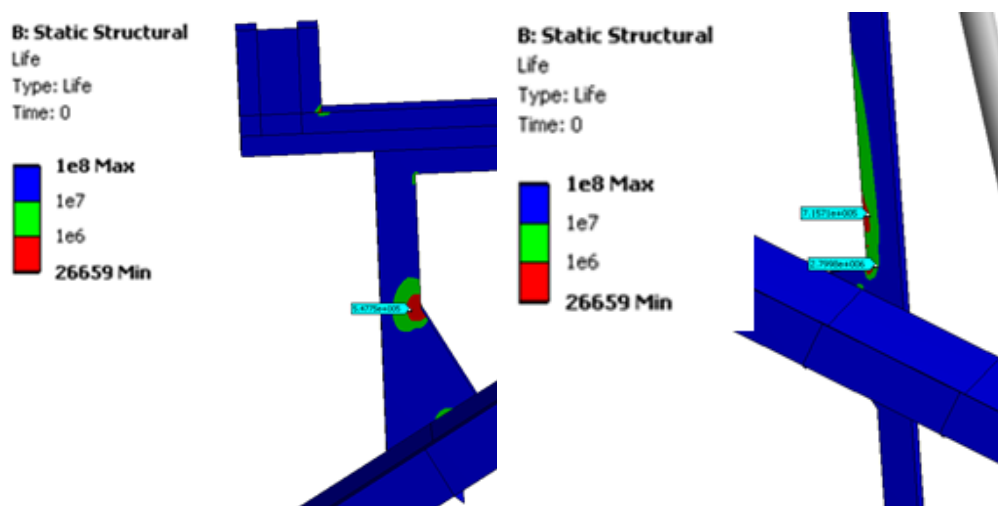


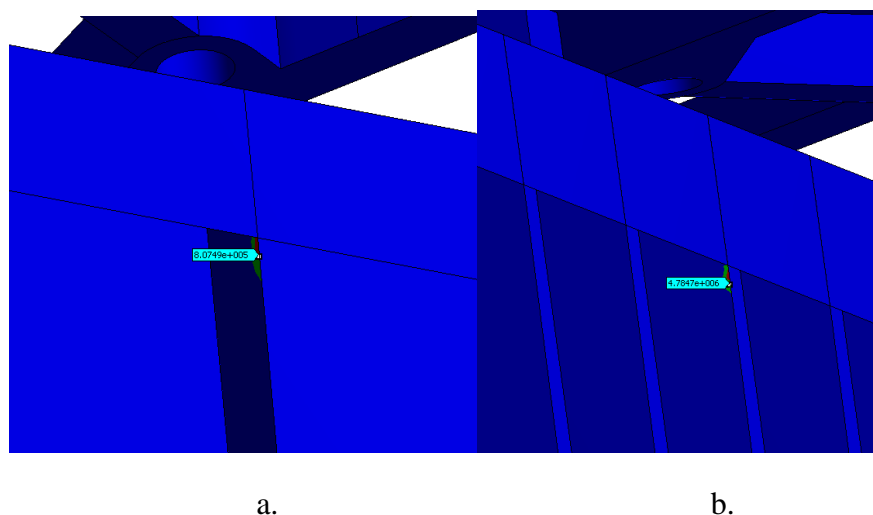
Figura 2.38 Vedere generală

În figurile 2.39 și figura 2.40 sunt redate rezultatele obținute în urma calculului de durabilitate în zonele marcate în figura 2.38.

Durata minimă de viață este de aproximativ  $5.4e5$  cicluri și este localizat în partea din față a cadrului, în zona de sudură a cadrului cu plăcile care formează cupla de rotație pentru înclinarea lamei.



**Figura 2.39** Zona de sudură dintre cadru și plăcile care formează cupla de rotație pentru înclinarea celor două lame



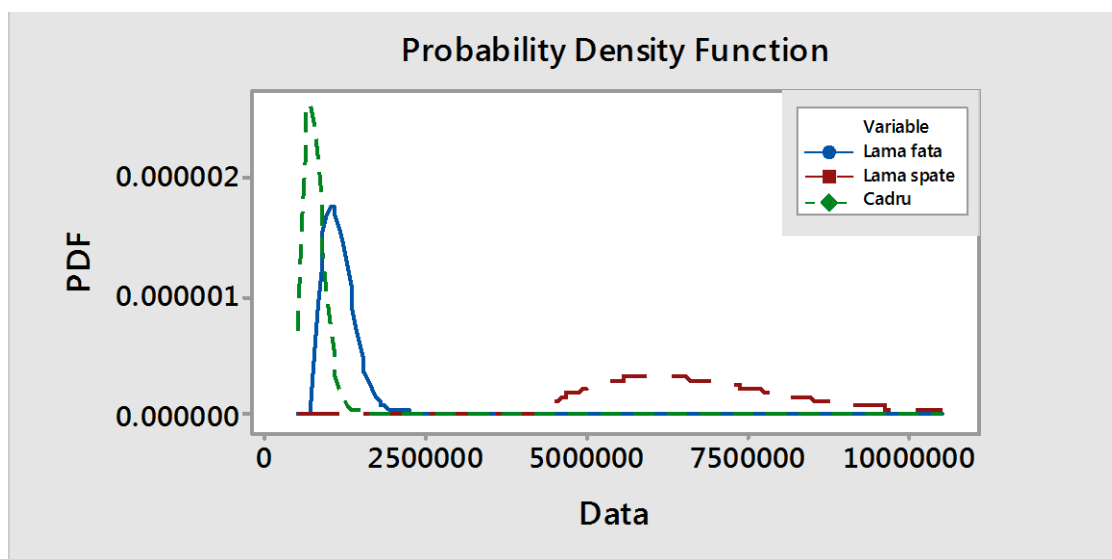
**Figura 2.40** Durata de viață pe cele două lame: a. lama din față; b. lama din spate

Lama de nivelare din față are o durată minimă de viață de  $8e5$  și este localizată în zona de sudură dintre gusee și plăcile ce formează lama. Pe lama din spate durata minimă de viață este de  $4.7e6$ .

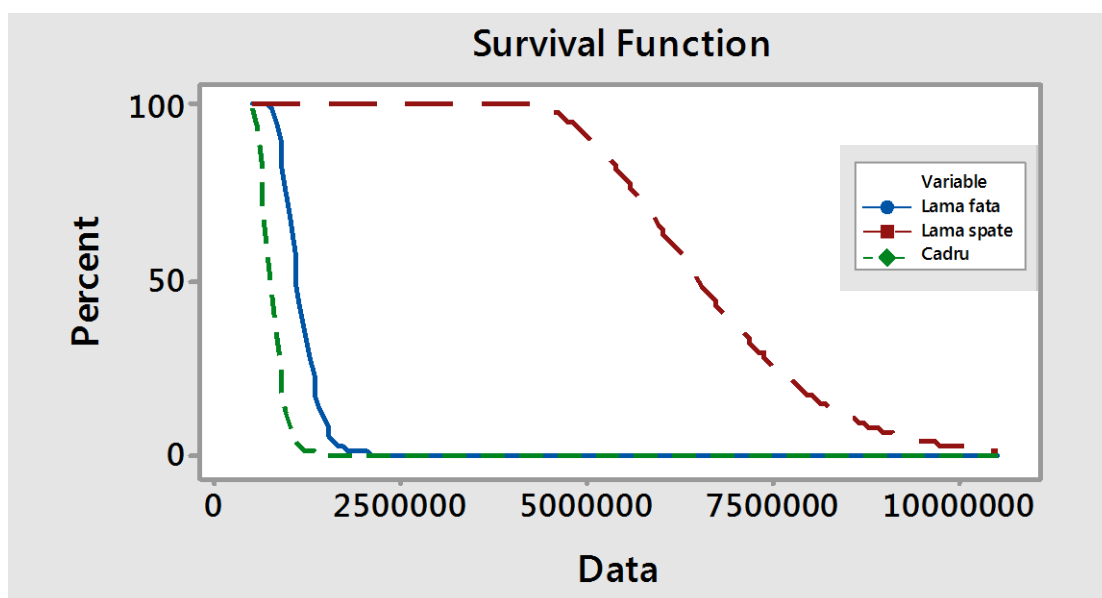
Fiabilitatea subansamblelor grederului tractat este estimată prin utilizarea modelului repartiției Weibull. În tabelul 2.9 sunt prezentate expresiile analitice ale funcțiilor de fiabilitate pentru cele trei subansamble analizate, precum și valorile duratelor minime estimate pe baza rezultatelor experimentale prelevate din funcționarea acestor componente (figura 2.41 și figura 2.42).

**Tabelul 2.9** Analiza comparativă a duratelor de viață estimate

Elementele componente ale grederului	Durata minimă (FEA)	$\gamma$	$F(t)$
Lama față	850000	714151	$1 - e^{-\left(\frac{x-714151}{471828}\right)^{1.8827}}$
Lama spate	4700000	4205916	$1 - e^{-\left(\frac{x-4205916}{2756064}\right)^{1.86939}}$
Cadru	540000	482713	$1 - e^{-\left(\frac{x-540000}{317302}\right)^{1.87585}}$



**Figura 2.41** Analiza comparativă a elementelor componente ale grederului tractat



**Figura 2.42** Analiza comparativă a fiabilității elementelor componente ale grederului tractat

### 2.2.5. Concluzii

În urma prelucrării statistice a datelor experimentale ale grederului tractat, se pot concluziona următoarele:

- deplasarea maximă obținută pe greder este de 46,6 mm și s-a obținut pe lama din spate, pe colțul cel mai îndepărtat față de punctul de rotire;
- tensiunea maximă echivalentă obținută pe cadru este de 376 MPa, fiind localizată în zona de sudură a cadrului cu plăcile care formează cupla de rotație pentru înclinarea lamei. Pe lama de nivelare din față, tensiunea maximă este de 433 MPa, iar pe lama de nivelare din spate tensiunea maximă este de 374 MPa. Valorile tensiunilor obținute pe greder,

depășesc limita de curgere a materialului (356 MPa), dar sunt mai mici decât limita de rupere a acestuia (441 MPa);

- durata minimă de viață calculată este de  $5.4 \times 10^5$  cicluri în zona de sudură a cadrului cu plăcile care formează cupla de rotație pentru înclinarea lamei. Pe lama de nivelare din față, durata de viață este  $8 \times 10^5$  cicluri. Aceste zone nu se încadrează în teoriile de oboseală care afirmă că, dacă numărul de cicluri depășește  $10^6$ , durata de viață este nelimitată. Pe lama de nivelare din spate, a rezultat un număr de  $4.7 \times 10^6$  cicluri, ceea ce depășește durata de  $10^6$  cicluri, și nu pune probleme ca durată de viață în funcționare, dacă se respectă ciclul de solicitare după care s-a făcut calculul;

Analiza fiabilității componentelor ce echipează grederul tractat, realizată pe baza unor date prelevate din condiții reale de funcționare, permit formularea următoarelor concluzii:

- estimarea punctuală a indicatorilor de fiabilitate pentru cele trei componente ale grederului tractat a constat în aplicarea metodei celor mai mici pătrate pentru repartițiile exponențială, Weibull și normală utilizând relațiile de calcul prezentate în tabelul 2.6.
- modelarea fiabilității lamei față, lamei spate și a cadrului se poate realiza, cu o precizie foarte bună, prin utilizarea modelului repartiției Weibull triparametrică;
- valoarea duratei minime de viață, estimată în condiții reale de funcționare este mai mică decât valoarea determinată prin metoda elementelor finite. Aceste rezultate indică faptul că ipotezele simplificatoare utilizate nu pot ține cont în totalitate de solicitările complexe întâlnite în utilizare.
- din analiza rezultatelor prezentate în tabelul 2.9, figura 2.41 și figura 2.42, se poate observa că fiabilitatea lamei față și a cadrului sunt apropiate ca valori, iar fiabilitatea lamei spate este mult mai mare comparativ cu primele două componente.
- legea de repartiție care ajustează valorile experimentale este utilizată la realizarea de prognoze ale nivelului fiabilității, stabilirea riscului, optimizarea costurilor etc. Cunoașterea valorilor parametrilor modelului statistic al fiabilității, precum și valorile principalilor indicatori de fiabilitate, permit o abordare mult mai bună a activităților de mentenanță preventivă și o planificare realistă a acestora.

Studiile și cercetările experimentale prezentate în prezenta teză de abilitare au fost publicate în proporție de aproximativ 80%. Cealaltă parte de 20% din conținutul lucrării constituie o bază de date teoretice și practice pentru realizarea unor lucrări științifice și elaborarea unor propuneri de proiecte de cercetare.

Având în vedere metodele și instrumentele de analiză a fiabilității și defectelor de calitate ale proceselor și produselor, ele au un caracter larg de generalitate cu aplicabilitate directă în diverse domenii de activitate, acestea au fost aplicate cu succes în:

- fiabilității echipamentelor tehnologice fabricate prin utilizarea de elemente modulate interschimbabile încărcate prin sudare [IOV09];
- analiza durabilității și fiabilității dinților frezelor pentru asfaltul fabricați prin încărcare utilizând procedee specifice [IOV14];
- analiza defectelor de calitate specifice lemnului brut de stejar în procesul de debitare a furnirelor estetice [DUM13d], [DUM17a];
- influența diametrelor masei lemnoase asupra randamentelor specifice proceselor tehnologice de obținere a furnirelor estetice [CIO14], [MUS16];
- studiu privind managementul riscurilor caracteristice proceselor de proiectare, execuție, reabilitare și întreținere a drumurilor forestiere [DUM13d].

## (B-ii) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei

### 1. Evoluția profesională și activitatea de cercetare științifică

#### 1.1. Studii și experiența profesională

Cursurile Universității „Transilvania” din Brașov, Facultatea de Inginerie Tehnologică, profilul Inginerie Managerială și Tehnologică, specializarea Tehnologia Construcțiilor de Mașini, le-am absolvit în anul 2001 cu media 9.50 la examenul de diplomă și media anilor de studii 9.20, obținând diploma de inginer diplomat.

În perioada 20.08.2001-01.11.2001, prin concurs, am ocupat postul de inginer tehnolog la S.C. Romradiatoare S.A. Brașov. În această perioadă am desfășurat, în principal, activități de proiectare a sculelor, dispozitivelor și verificatoarelor necesare producției (dispozitive de ștanțat), verificare S.D.V.-uri, asigurarea calității și fiabilității produselor industriale.

În anul 2003 am absolvit master-ul „Ingineria și Managementul Calității” sub patronajul Catedrei UNESCO din cadrul Universității „Transilvania” din Brașov, Facultatea de Inginerie Tehnologică, cu media 10 la examenul de disertație și media anilor de studii 10, obținând diploma de master nr. 129/07.04.2003.

Activitatea didactică și științifică în domeniul fundamental Științe Inginerești a început în octombrie 2001, după terminarea facultății, când am fost admisă la doctorat cu frecvență la Catedra de Tehnologia Construcțiilor de Mașini, Facultatea de Inginerie Tehnologică, Universitatea „Transilvania” din Brașov, în domeniul fundamental Științe Inginerești, domeniul de profil Inginerie Industrială, sub conducerea științifică a d-lui prof. dr. ing. Ion POPESCU. Teza de doctorat intitulată „*Cercetări privind fiabilitatea proceselor tehnologice*” am susținut-o public în septembrie 2005 obținând distincția *summa cum laudae*.

Începând din 2005, sunt angajată ca și cadru didactic la Universitatea „Transilvania” din Brașov, ocupând prin concurs și parcurgând etapele învățământului universitar:

- 01.10.2005÷24.02.2007: asistent universitar la Catedra de Tehnologia Construcțiilor de Mașini, Facultatea de Inginerie Tehnologică;
- 25.02.2007÷30.09.2014: șef lucrări universitar la Departamentul de Ingineria Fabricației, Facultatea de Inginerie Tehnologică și Management Industrial;
- 01.10.2014÷prezent: conferențiar universitar în cadrul Departamentului de Ingineria Fabricației, Facultatea de Inginerie Tehnologică și Management Industrial.

Experiența profesională și managerială sunt fundamentate de următoarele atribuții:

- 29.05.2006÷31.01.2007 – lector în domeniul sistemelor de management al calității, Institutul Național de Administrație.
- 01.03.2009÷2012 – coordonator al programului de studii post-universitar “Managementul integrat calitate-risc”, Departamentul pentru Formare Continuă, Universitatea „Transilvania” din Brașov;

- 01.04.2006÷2012 – coordonator al programului de studii post-universitar „Managementul Calității”, Departamentul pentru Formare Continuă, Universitatea „Transilvania” din Brașov.
- 01.04.2006÷2012 – coordonator al programului de studii post-universitar „Controlul Calității și Fiabilității Produselor și Proceselor Tehnologice”, Departamentul pentru Formare Continuă, Universitatea „Transilvania” din Brașov;
- 01.10.2014÷prezent – coordonator al programului de studii post-universitar „Proiectarea, dezvoltarea și implementarea sistemului de management al calității”, Departamentul pentru Formare Continuă, Universitatea „Transilvania” din Brașov, <http://www.unitbv.ro/cfc/Programepostuniversitare1.aspx>
- 01.10.2014÷prezent – coordonator al programului de studii post-universitar „Implementarea sistemelor de management integrate în conformitate cu ISO 9001, ISO 14001 & OHSAS 18001”, Departamentul pentru Formare Continuă, Universitatea „Transilvania” din Brașov, <http://www.unitbv.ro/cfc/Programepostuniversitare1.aspx>

Experiența profesională a fost acumulată și în cadrul altor instituții, altele decât Universitatea „Transilvania” din Brașov, prin obținerea unei burse de perfecționare continuă postdoctorală „*La gestion des risques industriels*”, în perioada 10.09.2007÷10.10.2007, bursă câștigată prin competiție internațională, oferită de l’Agence Universitaire de la Francophonie – AUF, Belfort, France.

În vederea îmbunătățirii continue a activității profesionale, am participat la cursuri de specializare în domeniul ingineriei industriale și managementului, după cum urmează:

- *Formare auditor intern pentru sistemele de management de calitate, mediu & sanatate si securitate ocupationala (ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 & OHSAS 18001:2007)*. Curs organizat de Lloyd’s Register (Romania) S.R.L., 29 – 31 Octombrie 2012.
- *Formarea auditorilor interni pentru sistemul de management integrat calitate-mediu-sănătate și securitate ocupatională conform ISO 9001:2000, ISO 14001:2004 și OHSAS 18001:2004*. Curs organizat de S.C. T.Q.M. Consulting S.R.L. Durata cursului – 30 ore, 23.05.2007 ÷26.05.2007.
- *La Qualité dans l’industrie*. Școala de vară franco – română, Brașov 04.07.2005. ÷ 15.07.2005.
- *Managementul calității*. Certificat de absolvire (40 ore) eliberat de Ministerul Educației și Cercetării 18.05.2003÷22.05.2003.
- *Costurile produsului: de la Supply Chain la Cost Chain. Controlul gestiunii prin sisteme informatice integrate*. Seminar organizat de Asociația Româno – Italiană de Logistică și Management, 22.01.2003÷25.01.2003.
- *Sisteme de managementul calității. ISO 9001:2000*. Seminarul organizat de Societatea Română pentru Asigurarea Calității - SRAC, 18.04.2002 ÷19.04.2002.

Începând cu anul 2001 până în prezent, în cadrul Universității „Transilvania” din Brașov am desfășurat activități didactice la disciplinele:

- Bazele Teoretice ale Fiabilității, Toleranțe și Control Dimensional, Informatică Aplicată în Inginerie, la programele de studii: T.C.M., C.A., I.M.C., T.P.M., M.F., M.I.A.I.A., I.M., U.I.P – licență zi.



- Fiabilitate și Securitatea Sistemelor, Ingineria și Managementul Riscurilor Industriale, Ecologie și Protecția mediului la programul de studii Ingineria și Managementul Calității – licență zi;
- Managementul Calității Mediului, Sisteme de Management ale Calității, Managementul Proiectelor, Managementul Riscurilor Industriale, Tehnologii și Echipamente Moderne de Control, Managementul Sănătății și Securității Ocupaționale la programul de studii Managementul Calității – master;

Am coordonat studenți și masteranzi în vederea pregătirii, elaborării și definitivării proiectelor de licență și de master (peste 100 lucrari), precum și pentru participarea la conferințe și sesiuni de comunicări științifice (internaționale și naționale), unde studenții coordonați de mine au obținut premii și mențiuni.

Experiența de management, analiza și evaluare în cercetare și/sau învățământ sunt dovedite de:

- 01.10.2006÷în prezent: responsabil managementul calității al programului de studii Tehnologia Construcțiilor de Mașini, Facultatea de Inginerie Tehnologică și Management Industrial, Universitatea „Transilvania” din Brașov.
- 01.10.2012÷01.10.2015: membru în comisia de îndrumare doctorat a drd. ing. NICOLAE Raluca, coordonator științific prof.dr.ing. NEDELUCU Anișor, titlul tezei – *Managementul integrat calitate-risc în sistemele flexibile de fabricație.*
- 01.10.2012÷01.10.2015: membru în comisia de îndrumare doctorat a drd. ing. LAZĂR Mihail, coordonator științific prof.dr.ing. NEDELUCU Anișor, titlul tezei – *Managementul protecției mediului în organizațiile cu profil industrial.*
- 01.10.2007÷în prezent: membru în comisile de susținere a proiectelor de disertație la studiile de masterat “Managementul Calității”, Facultatea de Inginerie Tehnologică și Management Industrial, Universitatea “Transilvania” din Brașov.
- 01.10.2010÷01.10.2012: membru în comisia de susținere a proiectelor de diplomă, Facultatea de Știința și Ingineria Materialelor, Universitatea “Transilvania” din Brașov.
- 01.04.2016÷prezent: membru în comisiliul Facultății de de Inginerie Tehnologică și Management Industrial, Universitatea „Transilvania” din Brașov.
- Iulie 2015÷prezent: membru în comisia de interviu pentru admiterea la studiile de master “Managementul Calității”, Facultății de de Inginerie Tehnologică și Management Industrial, Universitatea „Transilvania” din Brașov.

Modificarea legislației naționale și internaționale, precum și apariția și actualizarea standardelor din domeniu, m-au determinat să introduc noi discipline în planurile de învățământ, în special, la studiile de masterat „Managementul Calității”, în calitate de titulară (Managementul Riscurilor, Managementul Sănătății și Securității Ocupaționale, Managementul Calității Mediului).

Relevanța activităților didactice pe care le desfășor se reflectă și prin faptul că, pe parcursul evoluției didactice, am fost cooptată de către colegii din departament sau de la alte facultăți ale Universității „Transilvania” din Brașov, să particip la elaborarea unor cărți de specialitate, manuale didactice, monografii sau îndrumare de laborator în scopul oferirii studenților tot sprijinul necesar. În cadrul activităților didactice am introdus și utilizez aspecte științifice sau tehnici avansate, prin actualizarea și modernizarea conținutului cursurilor și a activităților de laborator, adecvate cerințelor practicii industriale. În acest mod, toate cursurile pe care le susțin sunt axate pe studii de caz cu aplicabilitate practică în domeniul ingineriei fabricației. De

asemenea, calitatea activităților didactice este reflectată de aprecierea studenților în „Fișa de evaluare a activității didactice de către studenți”, obținând calificativul “foarte bine”.

## 1.2. Activitatea de cercetare științifică

Vizibilitatea și recunoașterea internațională sunt evidențiate prin publicarea de articole în reviste internaționale de prestigiu indexate ISI Thomson cu SRI>1 și FI, proceeding ISI Thomson, indexate în baze de date internaționale și la diferite conferințe naționale sau internaționale, articole ce evidențiază atât componența practică acumulată în formarea ca specialist, cât și pregătirea profesională de specialitate.

Pe lângă activitatea didactică, calitățile profesionale în domeniul cercetării științifice sunt dovedite de participarea în colectivele de cercetare ale granturilor/contractelor internaționale (SEE – EEA Research Programme; ERASMUS + K1) și naționale (CNCSIS, CEEEX, PNII), în calitate de director (2), responsabil (1) sau membru (6), contribuind semnificativ la activități specifice proiectelor și diseminarea rezultatelor cercetării.

Colaborarea în domeniul cercetării științifice cu universități de prestigiu s-a concretizat în derularea unui proiect ce a avut drept scop consolidarea relațiilor de colaborare științifică și academică între Universitatea “Transilvania” din Brașov și cea din Reykjavik, Islanda, proiect finanțat de Mecanismul Financiar SEE 2014-2020 din Fondul de Relații Bilaterale al Programului RO14 “Cercetare în Sectoare Prioritare”, coordonând proiectul în calitate de director. Obiectivul proiectului a vizat consolidarea relațiile bilaterale prin îmbunătățirea cooperării în cercetare între comunitățile științifice din România și Islanda prin stimularea cooperării pe termen lung și a parteneriatelor între entități de educație și cercetare. În particular s-a urmărit identificarea posibilităților de îmbunătățirea a propunerii de proiect intitulate “Innovative wind turbines for isolated areas in Transylvania” (I-WATT), înregistrat cu indicativul EEA-JRP-RO-NO-2013-1-0270 în competiția The Romanian - EEA Research Programme 2013 Call, <http://www.research.ro/uploads/aa-see-grants/apel/nefinantate/energie.pdf>. Proiectul propus la competiția SEE 2013 s-a încadrat în domeniul prioritar al energiilor regenerabile, Universitatea „Transilvania” din Brașov fiind coordonator, iar Universitatea Reykjavik, unul dintre parteneri. Deși Proiectul I-WATT nu fost selectat pentru finanțare, la evaluare am obținut 86 puncte și aprecieri din partea evaluatorilor, eu fiind Principal Investigator al proiectului. Concluzia panelului de review-eri a fost “Propus pentru finanțare”. Aceste aspecte au determinat echipa de cercetători inclusa în proiect, să acorde în continuare o atenție deosebită proiectului. Se intenționează ca în urma unor completări și îmbunătățiri aduse proiectului, acesta să fie depus la un apel ulterior în competiție, cu șanse de a fi finanțat.

Activitatea de cercetare științifică internațională este reliefată și de participarea în calitate de responsabil al proiectului cu tematica “Quality, prototyping and good practices from their application”. Proiectul a fost finanțat de către Greek National Agency și a avut ca scop mobilitatea educațională a membrilor organizației ENEPROT (Union of Hellenic Scientists for Prototyping and Standardization) la Universitatea “Transilvania” din Brașov în vederea instruirii în domeniul managementului calității și a standardizării în învățământul superior, formarea continuă în sistemul educațional românesc, evaluarea avantajelor și dezavantajelor sistemelor educaționale ale celor două țări pentru adoptarea efectivă a metodelor și practicilor de îmbunătățire a calității procesului educațional. De asemenea, acest proiect a reprezentat

oportunitatea unei noi perspective de colaborare în proiecte și parteneriate educaționale internaționale.

Promovarea și consolidarea relațiilor internaționale este dovedită prin propunerea de proiect internațional de tipul ERASMUS + K2-Cooperation for innovative and the exchange of good practices. Capacity building in the field of higher education, cu titlul “International Development Relations Centres / INTERLACE”, participand 14 parteneri de la universități de prestigiu (Ucraina, Franța, Italia, Spania, Rusia, Letonia, Grecia, Turcia, Bulgaria, etc.).

Proiectele de cercetare pe care le-am coordonat în calitate de director sau responsabil sunt caracterizate de interdisciplinaritate, membrii echipelor de cercetare fiind din diferite domenii: inginerie mecanică, mecatronică și robotică, inginerie electrică, silvicultura, etc.

Vizibilitatea internațională în domeniul cercetării și impactul activității desfășurată sunt dovedite de citări în reviste ISI și BDI, membru în comitete științifice al revistelor și manifestărilor științifice, organizator de manifestări științifice, precum și recenzent pentru reviste și manifestări științifice internaționale. Menționez că am fost distinsă cu “Premiul de excelență pentru rezultate deosebite în activitatea de cercetare științifică”, premiu acordat de Consiliul Județean Brașov, Comisia pentru Activități Științifice, Învățământ, Cultura și Culte, dar și patru premii acordate de UEFISCDI (CNCSIS) pentru vizibilitatea internațională a cercetării prin recunoașterea și recompensarea rezultatelor semnificative publicate în reviste de prestigiu din fluxul științific principal internațional.

## 2. Planuri de dezvoltare a carierei

Planurile de dezvoltare a carierei profesionale sunt fundamentate de experiența profesională anterioară acumulată și vizează trei direcții de abordare: activitatea didactică, activitatea științifică și vizibilitatea și recunoașterea la nivel național și internațional.

Menținerea și îmbunătățirea ideii de motivație pentru carieră științifică se poate obține doar prin dezvoltare personală continuă. A profesa în învățământul universitar presupune competențe speciale și interdisciplinare, abilități pedagogice bune, putere de muncă imensă și multe cerințe de natură psihologică: adaptabilitate, flexibilitate, dorința de a te perfecționa continuu, toleranță față de opinii diferite, rezistență la stres.

Principalele direcții de dezvoltare a carierei vizează relațiile profesionale prin:

- Implicarea activă în viața academică din cadrul facultății și universității, cu colegi din alte departamente sau de la alte specialități, din țară și străinătate;
- Relații colegiale de muncă prin implicarea activă în realizarea sarcinilor specifice activităților didactice, de cercetare și organizatorice, precum și participarea la activități profesionale - administrative: admitere, tutoriat, târguri educaționale etc.;
- Promovarea imaginii instituției și a programelor de studii în alte organizații și în licee a programelor de studii din cadrul departamentului. Fără o promovare adecvată printre cei care pot fi studenți și fără a le prezenta avantajele pe care specializările le pot oferi pe piața muncii este destul de dificil a se realiza un proces didactic de calitate și de a reduce abandonul școlar în primii ani de facultate. Aici fac referire directă la specializările Ingineria și Managementul Calității – licență și Managementul Calității - master, care sunt

solicitate pe piață muncii. Dacă cursurile universitare sunt perfecționate prin studii de master, atunci absolvenții vor avea mai multe șanse de integrare pe piața muncii, dar și succes în viața profesională.

- În calitate de responsabil managementul calității al programului de studii „Tehnologia Construcțiilor de Mașini”, voi promova calitatea în învățământ superior: calitatea se impune cu atât mai mult în învățământul superior, cu cât, în ultimele decenii, în contextul social, politic și economic al procesului de globalizare, în acest sistem, au avut loc schimbări relevante;
- Colaborarea cu cadre didactice, cu colegi și specialiști din alte centre universitare în vederea derulării de proiecte de cercetare și organizării de evenimente științifice, precum și parteneriate cu colaboratori universitari din străinătate;
- Colaborarea cu mediul economic prin dezvoltări de proiecte de inovare și cercetare științifică avansată ce vor permite transfer tehnologic în domeniul ingineriei industriale.

## **2.1. Plan de dezvoltare a carierei didactice**

Principalele direcții în dezvoltarea carierei didactice universitare vor viza:

- Promovarea unui parteneriat profesor – student astfel încât să fie identificate corect doleanțele studenților;
- Activitate didactică centrată pe cursuri interactive la care studenții să participe activ, precum și implicarea acestora în rezolvarea studiilor de caz, proiectelor și aplicațiilor practice din domeniul ingineriei industriale și managementului.
- Adaptarea în permanență a cursurilor în funcție de domeniile de competență ale studenților de la studiile de masterat, programul de studii “Managementul calității”, cusantii provenind din diverse domenii: alimentație și turism, drept, medicină, științe economice, construcții aerospațiale, transporturi rutiere, psihologie, etc.
- Introducerea de noi discipline în concordanță cu cerințele pieței educaționale și ale studenților: managementul riscurilor (ISO 30000); managementul calității proiectelor industriale; proiectarea, dezvoltarea și implementarea sistemelor de management integrate calitate – mediu – sănătate și securitate ocupațională în conformitate cu ISO 9001, ISO 14001 și ISO 18001; implementarea tehnicilor și metodelor adecvate de gestionare și tratare a factorilor de risc specifici domeniului ingineriei fabricației;
- Participarea, organizarea și coordonarea de programe postuniversitare de formare și dezvoltare profesională continuă și proiecte educaționale.
- Dezvoltarea și extinderea permanentă a parteneriatelor cu mediul socio-economic în vederea facilitării interacțiunii dintre potențialii angajatori și studenți.
- Continuarea activității de publicare de cărți de specialitate în edituri internaționale și naționale în concordanță cu disciplinele la care sunt titulară urmând ca în viitor să mă ocup în permanență de reactualizarea notelor de curs.

Relațiile profesionale cu studenții vor implica:

- Sprijinirea și încurajarea studenților, cu precădere a masteranzilor de a participa la conferințe naționale și internaționale dedicate acestora;
- Implicarea în derularea de activități ce-i vizează direct: evaluarea cadrelor didactice de către studenți, activități studențești;
- Tutoriat: relația profesor – student bazată pe respect și profesionalism;
- Coordonarea activităților de cercetare ale studenților, atât în cadrul cercurilor științifice studențești, cât și cooptarea acestora în cadrul contractelor de cercetare.
- Implicarea studenților în activitatea de cercetare și de elaborare a unor proiecte de diplomă/disertație relevante pentru preocupările actuale;
- Parteneriate cu mediul socio-economic ce vor viza implementarea practică a cunoștințelor dobândite de studenți.

## **2.2. Plan de dezvoltare a carierei de cercetare științifică**

Activitatea științifică conține două direcții care se completează reciproc și anume: activitatea de cercetare propriu-zisă și cea de diseminare - publicare, brevetare a rezultatelor cercetărilor desfășurate.

Planul de dezvoltare a activității de cercetare științifică se va baza pe relațiile stabilite cu personalități marcante de la universități de prestigiu din țară și străinătate (Islanda, Grecia, Turcia, Bulgaria, Ucraina, etc.) și rezultatele obținute până în prezent în proiectele de cercetare în parteneriat. În acest sens, doresc să atrag fonduri prin propuneri de granturi / proiecte de cercetare științifică cu finanțare națională și internațională de tipul PN-III, SEE-Grant, Orizont 2020, Erasmus+ K2, experiența dobândită în elaborarea proiectelor de cercetare anterioare. Imi propun ca la următoarea competiție SEE, finanțare pentru țările EFTA, să aplic din nou propunerea de proiect cu tematica “Innovative wind turbines for isolated areas in Transylvania-I-WATT” care a fost apreciat de evaluatori în competiția precedentă. De asemenea, doresc să propun în parteneriat proiectul “International Development Relations Centres / INTERLACE”.

Cercetarea experimentală și inovativă implică menținerea și extinderea colaborării cu mediul economic industrial, necesitatea creșterii competitivității produselor realizate de IMM-uri reprezentând o prioritate națională, proiectele de tip Parteneriate implicând în mod obligatoriu participarea mediului economic în schema de finanțare.

Vizibilității internaționale va fi susținută de publicarea anuală a minim două articole științifice în reviste indexate ISI Thomson cu SRI>1 și FI, precum și articole (minim trei) indexate ISI proceeding, baze de date internaționale sau la conferințe de prestigiu naționale și internaționale.

Formarea profesională continuă reprezintă o condiție necesară și obligatorie a oricărui cadru didactic pentru a excela într-un domeniu. Astfel, voi participa la stagii de instruire în țară și străinătate pentru dobândirea de noi competențe, atât în ce privește activitatea de cercetare cât și cea didactică.

Experiența profesională și științifică acumulată de la terminarea tezei de doctorat și până în prezent demonstrează (dovedesc) faptul că dețin toate abilitățile și competențele necesare pentru a performa în continuare în domeniul ingineriei industriale.

Consider că experiența dobândită pe parcursul anilor la Departamentul de Ingineria Fabricației din cadrul Universității „Transilvania” din Brașov, reprezintă un motiv temeinic pentru a deveni coordonator de teze de doctorat. De asemenea, doresc ca prin activitățile didactice și de cercetare pe care le desfășor, să contribui alături de colegii mei la creșterea prestigiului Universității „Transilvania” din Brașov.

De-a lungul anilor am demonstrat că prin articolele științifice publicate în reviste prestigioase internaționale cu SRI și FI, au adus un aport important creșterii vizibilității universității brașovene. Calitățile profesionale și impactul activităților desfășurate de mine sunt evidențiate de citările în reviste ISI și BDI, membru, organizator și recenzent pentru manifestări științifice internaționale. Premiile obținute pentru “exelență în cercetare pentru rezultate deosebite în activitatea de cercetare științifică” și cele patru premii acordate de UEFISCDI (CNCSIS) pentru vizibilitatea internațională a cercetării prin recunoașterea și recompensarea rezultatelor semnificative publicate în reviste internaționale de prestigiu sunt o dovadă a seriozității și conștiinciozității cu care m-am dedicat și mă voi dedica activității de cercetare științifică pe care o fac nu din obligație, ci din pasiune.

### (B-iii) Bibliografie

- [AFA06] Afanas A., et al., Methods of Reliability Determination and Designing of Reliability Tests of Mechanical Structures, Journal of Chemical and Petroleum Engineering, Published by Springer New York, ISSN 1573-8329, Vol. 42, No. 3-4, March, 2006.
- [ANG 01] Anghel C., Statistical Process Control Methods from the Viewpoint of Industrial Application. Economic Quality Control, International Journal for Quality and Reliability, Heldermann Verlag, Vol. 16, Nr. 1, p. 49 – 63, ISSN 0940-5151, 2001.
- [ANI13] Anițuca O.C., Evaluarea capabilitatii masinilor de injectie in vederea pregatirii dosarului de PPAP, lucrare de disertație, coordonator șef.lucr.dr.ing. Dumitrașcu Adela-Eliza, programul de studii – Ingineria și Managementul Calității (master), Universitatea Transilvania din Brașov, iulie 2013.
- [BAE12] Bae K., Shim, J.H., Economic and Environmental Analysis of a Wind-Hybrid Power System with Desalination in Hong-do, South Korea, Int. J. Precis. Eng. Manuf., Vol. 13, No. 4, p. 623-630, 2012.
- [BAR08] Bartkute V., Sakalauskas L., The method of three-parameter Weibull distribution estimation. Acta et Commentationes Universitatis Tartuensis de Mathematica 12, p. 65-78, 2008.
- [BÂR 02] Bârsan-Pipu N., Controlul statistic al proceselor. Note de curs, Brașov 2002.
- [BÂR 03] Bârsan-Pipu N., Popescu, I., Managementul riscului. Concepte. Metode. Aplicații. Editura Universității „Transilvania”, Brașov, 2003.
- [BIN00] Bing L., Meilin Z., Kai X., A practical engineering method for fuzzy reliability analysis of mechanical structures. Reliability Engineering and System Safety 67, 311-315, 2000.
- [BUZ98] Buzatu C., Piukovici I., Nedelcu A., Lepadatescu B., Finishing Machining of Surfaces in Manufacturing. Editura Lux Libris, Brasov, Romania, 1998. ISBN 973-9240-47-X
- [BUZ07a] Buzatu C., **Dumitrașcu A.-E.**, et al., Cercetări teoretice fundamentale și experimentale privind performanțele procedurii de prelucrare prin superfinisare în sistemele tehnologice flexibile de fabricație, Contract de cercetare de tip CNCISIS, nr. 4GR/28.05.2007, tema 12, Cod CNCISIS 1055, 2007-2008.
- [BUZ07b] Buzatu C., **Dumitrașcu A.-E.**, Automatizarea controlului calității în construcția de mașini. Editura MATRIX ROM, ISBN 978-973-755-245-7, 197 pagini, București 2007.
- [BUZ09a] Buzatu C., Lepădătescu B., Bălăcescu A., **Dumitrașcu A.-E.**, et al., Bazele teoretice și aplicative ale superfinisării în construcția de mașini. Editura Universității Transilvania, ISBN 978-973-598-490-8, 216 pagini, Brașov, 2009.
- [BUZ09b] Buzatu C., Lepadatescu B., **Dumitrașcu A.-E.**, Enescu I. – Theoretical and Experimental Studies and Simulations Regarding Influence of Tool Thermal Deformation on the accuracy at machining. International Conference on SYSTEM SCIENCE and SIMULATION in ENGINEERING, Genova, Italy, 17-19 October, p. 137-140, 2009, ISSN:1790-2769, ISBN: 978-960-474-131-1, Available from: [http://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=UA&search\\_mode=GeneralSearch&qid=32&SID=T1IgY9vwAnr6SINfYL9&page=1&doc=1](http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=32&SID=T1IgY9vwAnr6SINfYL9&page=1&doc=1)
- [BUZ14] Buzatu C., **Dumitrașcu A.-E.**, Dumitrașcu D.-I., Orzan I., Contributions to Multi-Criteria Optimization of Cutting Processing, Applied Mechanics and Materials, Engineering Solutions and Technologies in Manufacturing, Vol. 657 (2014), ISSN: 1662-7482, p. 48-52, Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028, [www.scientific.net/AMM.657.48](http://www.scientific.net/AMM.657.48), [http://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=UA&search\\_mode=GeneralSearch&qid=4&SID=P1ka33mvxZWJyKIwO2k&page=1&doc=2](http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=4&SID=P1ka33mvxZWJyKIwO2k&page=1&doc=2)

- [BUZ16] Buzatu C., **Dumitrașcu A.-E.**, Contributions to the Experimental Study Regarding the Influence of the Cutting Fluid on the Grinding Process Performances, Business and Economics Series - Economics and Education, ISSN: 2227-460X, ISBN: 978-1-61804-369-6, p. 128-136, Barcelona, Spain, February 13-15, 2016, [http://scholar.google.ro/citations?view\\_op=view\\_citation&continue=/scholar%3Fhl%3Dro%26as\\_sdt%3D0,5%26scilib%3D1&citilm=1&citation\\_for\\_view=RbUUeboAAAAJ:vDijr-p\\_gm4C&hl=ro&oi=p](http://scholar.google.ro/citations?view_op=view_citation&continue=/scholar%3Fhl%3Dro%26as_sdt%3D0,5%26scilib%3D1&citilm=1&citation_for_view=RbUUeboAAAAJ:vDijr-p_gm4C&hl=ro&oi=p)
- [CAS09] Castrup H., Error Distribution Variances and Other Statistics, Integrated Sciences Group, 2009, [http://www.isgmax.com/Articles\\_Papers/Error%20Distributions%20and%20Other%20Statistics.pdf](http://www.isgmax.com/Articles_Papers/Error%20Distributions%20and%20Other%20Statistics.pdf)
- [CIO14] Ciobanu D.V., Zeleniuc O., **Dumitrașcu A.-E.**, Lepadatescu B., Iancu B., The Influence of Speed and Press Factor on Oriented Strand Board Performance in Continuous Press, BioResources 9(4), p. 6805-6816, ISSN: 1930-2126, Impact Factor: 1.549, SRI: 1.82, 25 septembrie 2014, Accession Number: WOS:000345396900082 [http://apps.webofknowledge.com/Search.do?product=UA&SID=P17eFS2IxAV8wFqZbIx&search\\_mode=GeneralSearch&prID=2739dc7d-9143-48d9-b37d-89d515d36826](http://apps.webofknowledge.com/Search.do?product=UA&SID=P17eFS2IxAV8wFqZbIx&search_mode=GeneralSearch&prID=2739dc7d-9143-48d9-b37d-89d515d36826)
- [CHŁ09] Chłopek Z., The Cognitive Interpretation of the Monte Carlo Method for the Technical Applications, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, No. 3, pp. 38-46, 2009.
- [DEB12] Debeleac C., Nastac, S., Comparative analysis between operational performances of motor grader equipment's. The Annals of "Dunarea De Jos" University of Galati-Mechanical Engineering XIV, 87-90, 2012.
- [DUM06] **Dumitrașcu A.-E.**, Managementul riscului aplicând analiza modurilor de defectare și a efectelor defectărilor - FMEA. Simpozionul Anual de Fiabilitate și Calitate - Optimum Q, Ediția a XVII-a, Vol. XVII, Nr. 1-3/2006, p. 69-74, ISSN 1220-6598, Revista recunoscuta CNCSIS categoria B, 24 noiembrie 2006, București, Romania.
- [DUM07] **Dumitrașcu A.-E.**, La gestion des risques industriels. Simpozionul Anual de Fiabilitate și Calitate - Optimum Q, Ediția a XVII-a, Vol. XVII, Nr. 1-3/2007, ISSN 1220-6598, Revista recunoscuta CNCSIS categoria B, 30 noiembrie 2007, București, Romania.
- [DUM08a] **Dumitrașcu A.-E.**, Nedelcu A., Reliability Estimation of the Manufacturing Processes through the Defective Fraction Method and Capability Indices. The 2nd International Conference "Advanced Composite Materials Engineering and Advanced in Human Body Protection to Vibrations - COMAT 2008", Vol. 1B, p. 326-330, ISSN 1844-9336, October 9-11, 2008, Brașov, Romania, [www.fisita.org](http://www.fisita.org)
- [DUM08b] **Dumitrașcu A.-E.**, Lepădătescu B., Dumitrașcu D., Quality Estimation of the Industrial Processes Using Average Range Length and Capability Indices. International Conference on "Computing and Solutions in Manufacturing Engineering - CoSME '08", Published in Academic Journal of Manufacturing Engineering, Issue 1/2008, Politehnica Publishing House, p. 96-103, ISSN 1583-7904, September 25 – 27, 2008, Brașov, Romania, <http://www.journals.indexcopernicus.com/Academic+Journal+of+Manufacturing+Engineering,p3557,3.html>
- [DUM08c] **Dumitrașcu A.-E.**, Nedelcu A., Aspects Regarding Products Quality Based on Reliability Estimation. The 2nd International Conference "Advanced Composite Materials Engineering and Advanced in Human Body Protection to Vibrations - COMAT 2008", Vol. 1B, pp. 331-335, ISSN 1844-9336, October 9-11, 2008, Brașov, Romania, [www.fisita.org](http://www.fisita.org)



- [DUM09a] **Dumitrașcu A.-E.**, Nedelcu A., Cristea L., Modern Approaches to Improvement the Processes Reliability. International Conference on INSTRUMENTATION, MEASUREMENT, CIRCUITS and SYSTEMS (IMCAS'09), pp. 87-90, May 20-22, Hangzhou, China, 2009, ISSN 1790-5117, ISBN 978-960-474-076-5, Available from: [http://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=UA&search\\_mode=GeneralSearch&qid=11&SID=T1IgY9vwAnr6SINfYL9&page=1&doc=3](http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=11&SID=T1IgY9vwAnr6SINfYL9&page=1&doc=3)
- [DUM09b] **Dumitrașcu A.-E.**, Buzatu C., Dumitrașcu D., Bârsan-Pipu N., Iovănaș D.M., Nedelcu A., Risks Estimation in Quality and Reliability for Improving the Performances of Industrial Processes. ADVANCES IN MANUFACTURING ENGINEERING, QUALITY AND PRODUCTION SYSTEMS (MEQAPS '09), pp. 337-340, Vol. II., September 24-26, Brașov, România, 2009, ISSN 1790-2769, ISBN 978-960-474-122-9, [http://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=UA&search\\_mode=GeneralSearch&qid=31&SID=T1IgY9vwAnr6SINfYL9&page=1&doc=1](http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=31&SID=T1IgY9vwAnr6SINfYL9&page=1&doc=1)
- [DUM10a] **Dumitrașcu A.-E.**, Nedelcu A., Cristea L., Some Analysis Elements of the Reliability and Quality of Industrial Processes, International Conference on EDUCATION AND EDUCATIONAL TECHNOLOGY (EDU '10), p. 201-204, October 4-6, Japan, 2010, ISSN 1792-5061, ISBN 978-960-474-232-5, [http://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=UA&search\\_mode=GeneralSearch&qid=36&SID=T1IgY9vwAnr6SINfYL9&page=1&doc=1](http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=36&SID=T1IgY9vwAnr6SINfYL9&page=1&doc=1)
- [DUM10b] **Dumitrașcu A.-E.**, Nedelcu A., Dumitrașcu D., Fota A., Estimation of Industrial Process Capability Indices for Non-Normal Distributions, International Conference on HEAT TRANSFER, THERMAL ENGINEERING and ENVIRONMENT (HTE '10), p. 296-299, August 20-22, Taipei, Taiwan, 2010, ISSN 1792-4596, ISBN 978-960-474-215-8, [http://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=UA&search\\_mode=GeneralSearch&qid=38&SID=T1IgY9vwAnr6SINfYL9&page=1&doc=1](http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=38&SID=T1IgY9vwAnr6SINfYL9&page=1&doc=1)
- [DUM11a] **Dumitrașcu A.-E.**, Duicu S., Products reliability assessment using Monte-Carlo simulation. INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMS APPLICATIONS, ENGINEERING & DEVELOPMENT, ISSN: 2074-1308, Issue 5, Volume 5, p. 658-665, 2011, <http://www.universitypress.org.uk/journals/saed/20-792.pdf>
- [DUM11b] **Dumitrascu A.-E.**, Duicu S., Aspects Regarding the Monte-Carlo Simulation of Products Reliability. Recent Researches in Neural Networks, Fuzzy Systems, Evolutionary Computing and Automation, ISBN: 978-960-474-292-9, pp. 145-149, April 11-13, Brasov, 2011, <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2011/Brasov2/NEFECIC/NEFECIC-24.pdf>
- [DUM11c] **Dumitrascu A.-E.**, Lepadatescu B., Fota A., Case Study Regarding the Implementation of Risks Management Procedure for Flexible Manufacturing Systems. 8th International Conference on "STANDARDIZATION, PROTOTYPES & QUALITY: A MEANS OF BALKAN COUNTRIES' COLLABORATION", ISBN 978-619-167-048-2, pp. 312-319, October 7-8, 2011
- [DUM12] **Dumitrașcu A.-E.**, Nedelcu A., Statistical Inference of Reliability Estimation of Industrial Processes. Advanced in Computer Science, European Computing Conference (ECC '12), p. 310-314, ISSN 1790-5109 (ISBN 978-1-61804-126-5), Prague, Czech Republic, September 24-26, 2012, <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2012/Prague/ECC/ECC-47.pdf>
- [DUM13a] **Dumitrașcu A.-E.**, Dumitrașcu D.-I., Fiabilitatea produselor industriale. Editura MATRIX ROM, ISBN 978-973-755-950-0, 165 pagini, București 2013.
- [DUM13b] **Dumitrașcu A.-E.**, Ciobanu V., Borz S.A., Mușat E.-C., Ingineria și managementul riscurilor. Editura Lux Libris, ISBN 978-973-131-247-7, 150 pagini, Brașov, 2013.

- [DUM13c] **Dumitrașcu A.-E.**, Ciobanu V., Dumitrascu, D.-I., The Quality Performances Improvement Using Failure Mode and Effects Analysis Method, *Advances in Accounting, Auditing and Risk Management, Proceedings of the 2nd International Conference on Finance, Accounting and Auditing (FAA '13), Proceedings of the 2nd International Conference on Risk Management, Assessment and Mitigation (RIMA '13)*, p. 150-154, ISSN: 2227-460X, ISBN: 978-1-61804-192-0, Brasov, Romania, June 1-3, 2013, <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2013/Brasov/FARI/FARI-25.pdf>
- [DUM13d] **Dumitrașcu A.-E.**, Ciobanu D.V., Lepadatescu B. - Valorization of Wood Resources for the Cutting of Decorative Veneer in the Context of Sustainable Development of Romanian Forests, *BioResources* 8(3), p. 4298-4311, ISSN: 1930-2126, Impact Factor: 1.309, SRI: 1.922, 2013. Accession Number: WOS:000323370400089  
[http://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=UA&search\\_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=Y2e8z9bRdi4C2cJP1GC&page=1&doc=1](http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=Y2e8z9bRdi4C2cJP1GC&page=1&doc=1)
- [DUM13e] **Dumitrașcu A.-E.**, Realizarea unui studiu privind managementul riscurilor caracteristice proceselor de proiectare, execuție, reabilitare și întreținere a drumurilor forestiere (Revizuirea normativului de întreținere și reparare a drumurilor forestiere), contract de cercetare științifică nr. 4580/11.04.2013 (Universitatea Transilvania din Brasov), nr. 55/08.04.2013, Ministerul Mediului și Schimbărilor Climatice – Regia Națională a Pădurilor – Romsilva, director proiect.
- [DUM14] **Dumitrașcu A.-E.**, Buzatu C., Dumitrașcu D.I., Ciobanu D.V., Risks Assessment Applied to Manufacturing Processes - Case Study, *Applied Mechanics and Materials, Engineering Solutions and Technologies in Manufacturing*, Vol. 657 (2014), ISSN: 1662-7482, p. 946-950, Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028, [www.scientific.net/AMM.657.946](http://www.scientific.net/AMM.657.946),  
[http://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=UA&search\\_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=X14ANNVIVbX6khNLnPT&page=1&doc=2](http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=X14ANNVIVbX6khNLnPT&page=1&doc=2)
- [DUM15] **Dumitrașcu A.-E.**, Lepadatescu B., Dumitrașcu D.-I., Nedelcu A., Ciobanu D.V., Reliability Estimation of Parameters of Helical Wind Turbine with Vertical Axis, *The Scientific World Journal*, ISSN 1537-744X, Impact Factor: 1.22, SRI: 0.644, Accepted 17 November 2014,  
[http://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=UA&search\\_mode=GeneralSearch&qid=2&SID=U1vQNkdfQmsdoUHmpT3&page=1&doc=1](http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=2&SID=U1vQNkdfQmsdoUHmpT3&page=1&doc=1)
- [DUM17] Dumitrașcu D.-I., Morariu C.O., **Dumitrașcu A.-E.**, Ciobanu D.V., Reliability estimation of towed grader attachment using finite element analysis and point estimation, *Transactions of FAMENA*, ISSN: 1333-1124, Impact Factor: 0.317, SRI: 0.187, Accepted 09 March 2017.
- [DUM17a] **Dumitrașcu A.-E.**, Musat E.C., Dumitrașcu D.-I., Ciobanu D.V., Salca E.A., Influence of sessile oak log characteristics on the efficiency in veneer cutting, *BioResources* 12(2), p. 2579-2591, ISSN: 1930-2126, Impact Factor: 1.334, SRI: 1.427, DOI: 10.15376/biores.12.2.2579-2591  
[https://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes\\_12/BioRes\\_12\\_2\\_2579\\_Dumitrascu\\_MDC\\_S\\_Sessile\\_Oak\\_Veneer\\_Cutting\\_Efficiency\\_11092.pdf](https://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_12/BioRes_12_2_2579_Dumitrascu_MDC_S_Sessile_Oak_Veneer_Cutting_Efficiency_11092.pdf)
- [FPM15] Prelucrarea prin injecție, Curs FPMPC, Note de curs, 2015, [xa.yimg.com/kq/groups/23251651/79230355/name/C2\\_Injectie+si+design.ppt.pdf](http://xa.yimg.com/kq/groups/23251651/79230355/name/C2_Injectie+si+design.ppt.pdf)
- [FRO13] Frost, J., How to identify the distribution of your data using Minitab, 2013, <http://blog.minitab.com/blog/adventures-in-statistics/how-to-identify-the-distribution-of-your-data-using-minitab>
- [GAS11] Gaspar B., Naess A., Leira B. J., Guedes Soares C., Efficient system reliability analysis by finite element structural models. In ASME 30th International Conference on Ocean,

- Offshore and Arctic Engineering: Structures, Safety and Reliability 2, p. 693-702, 2011, DOI: 10.1115/OMAE2011-49950
- [HAW15] Hawthorne Cat - Cat Motor Graders, [www.hawthornecat.com/cat\\_motor\\_graders](http://www.hawthornecat.com/cat_motor_graders)
- [IOV09] Iovanas D., **Dumitrașcu A.-E.**, Fiabilitatea echipamentelor tehnologice fabricate prin utilizarea de elemente modulate interschimbabile încărcate prin sudare, Editura Lux Libris, ISBN 978-973-131-055-8, 240 pagini, 2009.
- [IOV14] Iovanas R.F., Iovanas D.M., **Dumitrașcu A.-E.**, Estimating the Reliability for Asphalt Milling Machines Teeth Manufactured by Claddings Processes, Advanced Materials Research, Vol. 1029 (2014), ISSN: 1662-8985, p. 88-93, Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028, <http://www.scientific.net/AMR.1029.88>
- [JIA15] Jiang Renyan, Introduction to Quality and Reliability Engineering, Springer Series in Reliability Engineering 2015, DOI 10.1007/978-3-662-47215-6
- [KEC93] Kececioglu, D. B., Reliability & Life Testing Handbook, vol. I, PTR Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.
- [KEC94] Kececioglu, D. B., Reliability & Life Testing Handbook, vol. II, PTR Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1994.
- [KIA14] Kiam Beng Yeo, Wai Heng Choong and Wen Yen Hau, Prediction of propeller blade stress distribution through FEA. Journal of Applied Sciences 14, 2014, 3046-3054. DOI: 10.3923/jas.2014.3046.3054
- [KOT 02] Kotz S., Johnson N.L., Process Capability Indices – A Review 1992 – 2000. Journal of Quality Technology, Vol. 34, Nr. 1, p. 1 – 19, ISSN 1017-0405, January 2002.
- [LAR13] Larson R., Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), 2013, available at: [http://www.coe.montana.edu/me/ME\\_MET\\_Capstone/Recurring%20Documents/Failure%20Modes%20and%20Effects%20Analysis%20\(FMEA\).pdf](http://www.coe.montana.edu/me/ME_MET_Capstone/Recurring%20Documents/Failure%20Modes%20and%20Effects%20Analysis%20(FMEA).pdf), accessed: 18.11.2013
- [LEP07] Lepădateșcu B., **Dumitrașcu A.-E.**, Enescu I., Establishing parameters that influence the length and shape of the abrasive grain path at traverse superfinishing. The 4th International Conference on Economic Engineering and Manufacturing Systems - ICEEMS 2007, Transilvania University of Brasov. In RECENT, Vol. 8 (2007), No. 3a(21a), p. 513-516, ISSN 1582-0246, Novembre 2007, Brasov, <http://www.journals.indexcopernicus.com/RECENT,p4064,3.html>
- [LEP08] Lepădateșcu B., Buzatu C., **Dumitrașcu A.-E.**, Enescu I., Study Regarding Superfinishing of Flat Circular Surfaces. International Conference on “Computing and Solutions in Manufacturing Engineering - CoSME '08”, Published in Academic Journal of Manufacturing Engineering, Issue 1/2008, Politehnica Publishing House, p. 210-215, ISSN 1583-7904, September 25 – 27, 2008, Brasov, Romania, <http://www.journals.indexcopernicus.com/Academic+Journal+of+Manufacturing+Engineering,p3557,3.html>
- [LEP10a] Lepădateșcu B., **Dumitrașcu A.-E.**, Enescu I., Increasing the parts surface quality through superfinishing process. The Journal of the Advanced Materials and Operations Society - AMO, Issue 4, Vol. 1, “St. Ivan Rilski” Publishing House, ISSN 1313-8987, pp. 89-92, 2010.
- [LEP10b] Lepădateșcu B., Mugea N., **Dumitrașcu A.-E.**, Enescu I., Studies regarding designing and testing of a multirotor helical wind turbine with vertical axis for a power of 1000 W, International Conference “Mechanics and Machine Elements”, p. 140-145, ISSN: 1314-040X, November 3-5, Sofia, Bulgaria, 2010.
- [LEP11a] Lepădateșcu B., **Dumitrașcu A.-E.**, Enescu I., Nedelcu A., Research Regarding the Improvement of Workpieces Surface Finish by Machining Through Superfinishing Process. Recent Advances in Manufacturing Engineering, Proceedings of the 4th International Conference on Manufacturing Engineering Quality and Production Systems, Barcelona, Spain, September 15-17, p. 190-195, ISBN: 978-1-61804-031-2,

- 2011, <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2011/Barcelona/MEQAPS/MEQAPS-31.pdf>
- [LEP11b] Lepadatescu B., **Dumitrașcu A.-E.**, Enescu I., Nedelcu A., Researches regarding the improvement of workpieces surface finish by machining through superfinishing process. International Conference on MANUFACTURING ENGINEERING, QUALITY and PRODUCTION SYSTEMS (MEQAPS), pp. 190-195, ISBN: 978-960-474-294-3, April 11-13, Available from: <http://www.scopus.com>
- [LEP11c] Lepadatescu B., Mugea N., **Dumitrașcu A.-E.**, Enescu I., Studies Regarding Designing and Testing of a Multirotor Helical Wind Turbine with Vertical Axis for a Power of 1000 W, Proceedings of the 9th IASME/WSEAS International Conference on Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment (THE'11), 23-25 August, Florence, p. 43-46, 2011, <http://www.scopus.com>
- [LUC14] Luczak M., Manzato S., Peeters B., Branner K., Berring P., Kahsin M., Updating Finite Element Model of a Wind Turbine Blade Section Using Experimental Modal Analysis Results, Shock and Vibration, Hindawi Publishing Corporation, Vol. 2014, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/684786>
- [MAH11] Mahdavi M., Mahdavi M., Reliability Based Improving Model for Complicated Systems Lifetime Distribution, Journal of Scientific & Industrial Research, No. 70, p. 751-755, 2011.
- [MAR 02] Martinescu I., Popescu I., Analiza fiabilității și securității sistemelor tehnologice. Editura Universității „Transilvania” Brașov, 2002.
- [MAR 95] Martinescu I., Popescu I., Fiabilitate. Editura Gryfon, 1995.
- [MEC08] Meck K.-D., Zhu, G., Improving mechanical seal reliability with advanced computational engineering tools. Part 1: FEA. Sealing Technology 1, 8-11, 2008, DOI: 10.1016/S1350-4789(08)70023-0
- [MOH07] Mohan S., Gopalakrishnan M., Balasubramanian H., Chandrashekar A., A Lognormal Approximation of Activity Duration in PERT Using Two Time Estimates, Journal of the Operational Research Society, no. 58, p. 827–831, 2007.
- [MON 96] Montgomery D. C., Introduction to Statistical Quality Control. Third Edition, John Wiley and Sons, New York, 1996.
- [MON11a] Montgomery D. C., Runger G. C., Applied statistics probability engineers. 5th ed. New-York: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [MON11b] Montgomery D. C., Runger G. C., Hubele N. F., Engineering statistics. 5th ed. New-York: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [MOR 04] Morariu C. O., Păunescu T., Informatică aplicată în inginerie. Editura Universității Transilvania din Brașov, ISBN 973-635-302-8, 2004.
- [MOR 99] Morariu C.O., Optimizarea încercărilor de fiabilitate a rulmenților. Teză de doctorat, Universitatea „Transilvania” Brașov, 1999.
- [MOR10] Morariu C. O., Probabilities and applied statistics. Vol. I., Transilvania University Publishing House, Brasov, 2010.
- [MOT11] Motka C. P., Momin R. I., Development of backhoe machine by 3-D modelling using CAD software and verify the structural design by using finite element method. International Journal for Innovative Research in Science & Technology, no. 8, p. 49-52, 2015.
- [MUG05] Mugea N., Lepadatescu B., Types of pumps for multiblade wind turbines. In: "Challenges in Higher Education and Research in the 21st Century", Sozopol, Bulgaria, 1-4 iunie 2005.
- [MUG09] Mugea N., Lepadatescu B., Buzatu C., Mugea C.T., Enescu. I., Studies on the Design of a Wind Turbine with Vertical Axis and with a Helical Rotor Shape. In: Proceedings of the 2nd International Conference on ENVIRONMENTAL and GEOLOGICAL

- SCIENCE and ENGINEERING (EG'09), Transilvania University of Brasov, Romania, 24-26 September 2009, p. 198-192. ISSN: 1790-2769.
- [MUN09] Munteanu T., Gurguiatu G., Bălănuță C., Fiabilitate și calitate în inginerie electrică: note de curs, Editura Universității Galați, ISBN 978-606-8008-24-0, 2009.
- [MUS16] Musat E.C., Salca E.A., Dinulica F., Ciobanu, V.D., **Dumitrașcu A.-E.**, Evaluation of color variability of oak veneers for sorting, *BioResources* 11(1), p. 573-584, ISSN: 1930-2126, Impact Factor: 1.425, SRI: 1.995, February 2016, Accession Number: WOS:000367732700047  
[http://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=UA&search\\_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=V1tJkMhyBeh44Li4o54&page=1&doc=1](http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=V1tJkMhyBeh44Li4o54&page=1&doc=1)
- [NAG13] Nagatsuka H., Kamakura T., Balakrishnan N., A consistent method of estimation for the three-parameter Weibull distribution. *Computational Statistics & Data Analysis*, no. 58, p. 210-226, DOI:10.1016/j.csda.2012.09.005, 2013.
- [NAY12] Nayak A. O., Ramkumar G., Manoj T., Kannan M. A., Manikandan D., Chakravarthy, S., Holistic design and software aided finite element analysis (FEA) of an All-Terrain Vehicle. *Journal of Mechanical Engineering Research* 4, 199-212, DOI: 10.5897/JMER12.009, 2012.
- [NIS03] NIST, Engineering Statistics Handbook, 2003, available at: [www.itl.nist.gov](http://www.itl.nist.gov).
- [NIS13] Anderson-Darling Test Engineering Statistics Handbook, 2013.  
<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35e.htm>
- [OPR 05] Oprean C., Țițu M., Statistică tehnică și proiectarea experimentelor. Controlul statistic al calității și fiabilității. Colecția „Prelucrarea datelor experimentale”, Sibiu, 2005.
- [PAR09] Park C.-W., Kwon K.-S., Kim W.-B., Min B.-K., Park S.-J., Sung I.-H., Yoon Y. S., Lee K.-S., Lee J.-H., Seok J., Energy consumption reduction technology in manufacturing – A selective review of policies, standards, and research, *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, Vol. 10, No. 5, pp. 151-173, 2009.
- [PAT11] Patel B. P., Prajapati J. M., A review on FEA and optimization of backhoe attachment in hydraulic excavator. *International Journal of Engineering and Technology*, no. 3, p. 505-511, 2011.
- [PEP13] Pepa D., Testul Kolmogorov-Smirnov, UMF Carol Davila, București, noiembrie 2013,  
[http://www.cermi.utcluj.ro/doc/Lucr\\_05.pdf](http://www.cermi.utcluj.ro/doc/Lucr_05.pdf)
- [PIC14] Picotech, Measuring the Performance of a Wind Turbine, 2014  
<http://www.picotech.com/applications/wind-turbine-performance.htm>
- [POP 93] Popescu I., et al., Fiabilitate. Bazele teoretice. Universitatea „Transilvania” Brașov, 1993.
- [QRH14] Quality and Reliability HandBook. Energy Efficient Innovations on Semiconductor, Rev. 8, May 2014.
- [QS95] QS-9000 Reference Manual. Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Automotive Industry Action Group, Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, 1995.
- [RAD06] Radeș M., Analiza cu elemente finite, Suport de curs, Universitatea Politehnica București, 2006, <http://www.resist.pub.ro/CursuriRades/04%20M%20Rades%20-%20Analiza%20cu%20elemente%20finite.pdf>
- [ROM05] Romeu J.L., Anderson-Darling: A Goodness of Fit Test for Small Samples Assumptions, RAC START, DoD Reliability Analysis Center, Volume 10, Number 5, 2005.
- [SHS15] Shaping Processes. Guide to Manufacturing Processes, SHS IBDT, 2015, available at: [http://www.schenectady.k12.ny.us/users/patterson/IBDT%20Website/Page\\_Generators/Shaping%20Processes.html#Injection](http://www.schenectady.k12.ny.us/users/patterson/IBDT%20Website/Page_Generators/Shaping%20Processes.html#Injection)

- [ŠOL12] Šolc M., Applying of method FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) in the logistics process, *Advanced Research in Scientific Areas*, 2012, p. 1906-1911, available at: <http://www.arsa-conf.com>
- [SUT 04] Sutherland J.W., *Quality Engineering*. Michigan Technological University, Dept. of Mechanical Engineering, october 22, 2004.
- [TUD14] Tudosoiu C., *Calculul, materializarea și încercarea unei sisteme de utilaje acționată de tractorul universal de 70 CP în vederea reparării și întreținerii drumurilor auto forestiere*, teza de doctorat, conducător științific prof.dr. ing. Ciobanu Valentina, Universitatea Transilvania din Brasov, 2014.
- [VAR12] Vardeman S.B., Morris M.D., *The Average Run Length Concept, Statistical Quality Assurance Methods for Engineers*, <http://www.public.iastate.edu/~vardeman/IE361/Modules/361module15.pdf>
- [VIT04] Vittal S., Teboul M., *Performance and Reliability Analysis of Wind Turbines using Monte Carlo Methods based on System Transport Theory*, American Institute for Aeronautics and Astronautics, 2004.
- [WAL06] Walford C.A., *Wind Turbine Reliability: Understanding and Minimizing Wind Turbine Operation and Maintenance Costs*, New Mexico: Sandia National Laboratories, 2006.
- [YON10] Yongjun P., Liang H., Qiliang W., Mingmin, C., *Dynamic impact response analysis and simulation on grader blade*. In *International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE)*, Wuhan, 6001-6004, 2010, DOI:10.1109/MACE.2010.5536846
- [YOO13] Yoon S.-H., Lim H.-C., Kim D.K., *Study of Several Design Parameters on Multi-blade Vertical Axis Wind Turbine*, *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, Vol. 14, No. 5, p. 831-837, 2013.
- [TER15] TEREX, *Heavy duty motor graders. Motor graders product range*, 2015, [www.terex.com/construction/en/idc03/groups/webcontent/@web/@con/documents/web\\_content/ucm03\\_081012.pdf](http://www.terex.com/construction/en/idc03/groups/webcontent/@web/@con/documents/web_content/ucm03_081012.pdf)