

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE
UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
FACULTATEA DE INGINERIE MECANICĂ ȘI ELECTRICĂ
DEPARTAMENTUL DE INGINERIE MECANICĂ, INDUSTRIALĂ ȘI
TRANSPORTURI**

Ing. REBEDEA NARCIS-IONEL

TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL FIABILITĂȚII, MENTE-
NABILITĂȚII ȘI DISPONIBILITĂȚII UNOR SISTEME
DE TRANSPORT MINIERE**

**CONDUCĂTOR DE DOCTORAT
Prof. univ. dr. ing. RADU SORIN-MIHAI**

PETROȘANI, 2020

CUPRINS

INTRODUCERE

CAPITOLUL I CARACTERIZAREA GENERALĂ A DURATEI DE VIAȚĂ A SISTEMELOR TEHNICE

- 1.1. Definirea conceptului de durată de viață a unui sistem tehnic
- 1.2. Definirea conceptului de fiabilitate
- 1.3. Definirea conceptului de mentenabilitate
- 1.4. Strategii de mentenanță
- 1.5. Definirea conceptului de disponibilitate
- 1.6. Legătura intrinsecă între fiabilitate și mentenabilitate
- 1.7. Concluzii

CAPITOLUL II STUDIUL FIABILITĂȚII MAȘINILOR COMBinate DE ÎNCĂRCAT, TRANSPORTAT ȘI DEPOZITAT

- 2.1. Prezentarea generală a mașinilor combinate de încărcat, transportat și depozitat
- 2.2. Evaluarea fiabilității operaționale a mașinii de încărcat și transportat
 - 2.2.1. Considerații generale privind determinarea fiabilității operaționale a mașinii de încărcat și transportat
 - 2.2.2. Determinarea funcției empirice de repartiție a defectelor
 - 2.2.3. Estimarea parametrilor și testarea legilor de distribuție
 - 2.2.4. Cuantificarea principalilor indicatori de fiabilitate
- 2.3. Analiza funcționalității mașinii de încărcat și transportat
- 2.4. Stabilirea momentului optim de intervenție asupra mașinii de încărcat și transportat
- 2.5. Studiul funcționalității cilindrilor hidraulici de manevrare a cupei mașinii de încărcat
 - 2.5.1. Considerații generale
 - 2.5.2. Cuantificarea fiabilității operaționale a cilindrilor hidraulici
 - 2.5.3. Analiza funcționalității cilindrului hidraulic
- 2.6. Studiul funcționalității pompelor hidraulice din sistemul de frânare a mașinii de încărcat
 - 2.6.1. Cuantificarea fiabilității operaționale a pompelor hidraulice
 - 2.6.2. Analiza funcționalității pompei hidraulice
- 2.7. Estimarea duratei medii de utilizare a plăcuțelor de frână din componența sistemului de frânare
 - 2.7.1. Considerații generale
 - 2.7.2. Cuantificarea fiabilității operaționale a plăcuțelor de frână
 - 2.7.3. Funcționalitatea plăcuțelor de frână
- 2.8. Concluzii

CAPITOLUL III BAZA DE DATE PENTRU STUDIUL FMD AL TRANSPORTOARELOR CU BANDĂ PE ROLE

- 3.1. Definirea obiectivului studiului FMD
- 3.2. Baza de date primară pentru studiul FMD a transportoarelor cu bandă pe role
- 3.3. Prelucrarea și testarea datelor primare
- 3.4. Repartiția defectărilor transportoarelor cu bandă pe role
 - 3.4.1. Repartiția timpilor operativi pentru transportorul cu bandă TB-1
 - 3.4.2. Repartiția timpilor operativi pentru transportorul cu bandă TB-2
 - 3.4.3. Repartiția timpilor operativi pentru transportorul cu bandă TB-3
 - 3.4.4. Repartiția timpilor operativi pentru transportorul cu bandă TB-4
- 3.5. Concluzii

CAPITOLUL IV STUDIUL DISPONIBILITĂȚII UNUI SISTEM DE TRANSPORTOARE CU BANDĂ PE ROLE

- 4.1. Caracterizarea generală a disponibilității unui sistem
- 4.2. Evaluarea fiabilității sistemului de transportoare cu bandă pe role
 - 4.2.1. Evaluarea fiabilității transportorului cu bandă TB-1
 - 4.2.2. Evaluarea fiabilității transportorului cu bandă TB-2
 - 4.2.3. Evaluarea fiabilității transportorului cu bandă TB-3
 - 4.2.4. Evaluarea fiabilității transportorului cu bandă TB-4
 - 4.2.5. Evaluarea fiabilității sistemului de transport
- 4.3. Evaluarea mentenabilității sistemului de transport
 - 4.3.1. Evaluarea mentenabilității transportorului cu bandă TB-1
 - 4.3.2. Evaluarea mentenabilității transportorului cu bandă TB-2
 - 4.3.3. Evaluarea mentenabilității transportorului cu bandă TB-3
 - 4.3.4. Evaluarea mentenabilității transportorului cu bandă TB-4
- 4.4. Evaluarea disponibilității sistemului de transport
- 4.4. Concluzii

CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

- Concluzii generale
- Contribuții personale

BIBLIOGRAFIE

ANEXA A1 ESTIMAREA PARAMETRILOR DISTRIBUȚIILOR DEFECTELOR PENTRU MAȘINA DE ÎNCĂRCAT, TRANSPORTAT ȘI DEPOZITAT

- A1.1. Estimarea parametrilor distribuțiilor timpilor până la defectarea cilindrilor hidraulici de manevrare a cupei
- A1.2. Estimarea parametrilor distribuțiilor timpilor până la defectarea pompei cu piston din circuitul hidraulic de frânare
- A1.3. Estimarea parametrilor distribuțiilor timpilor până la scoaterea din folosință a plăcuțelor de frână din sistemul de frânare
- A1.4. Estimarea parametrilor și testarea distribuțiilor defectărilor pentru mașina de încărcat, transportat și depozitat

ANEXA A2 ESTIMAREA PARAMETRILOR DISTRIBUȚIILOR TIMPILOR FUNCȚIONALI LA TRANSPORTOARELE CU BANDĂ PE ROLE

- A2.1. Estimarea parametrilor distribuțiilor timpilor dintre defecțiuni, TB-1
- A2.2. Estimarea parametrilor distribuțiilor timpilor de reparare, TB-1
- A2.3. Estimarea parametrilor distribuțiilor timpilor dintre defecțiuni, TB-2
- A2.4. Estimarea parametrilor distribuțiilor timpilor de reparare, TB-2
- A2.5. Estimarea parametrilor distribuțiilor timpilor dintre defecțiuni, TB-3
- A2.6. Estimarea parametrilor distribuțiilor timpilor de reparare, TB-3
- A2.7. Estimarea parametrilor distribuțiilor timpilor dintre defecțiuni, TB-4
- A2.8. Estimarea parametrilor distribuțiilor timpilor de reparare, TB-4

INTRODUCERE

În accepțiunea acestei lucrări un studiu complex de fiabilitate, mentenabilitate și disponibilitate este recunoscut sub denumirea de studiu FMD. Denumirea provine de la inițialele celor trei entități care se întrepătrund, respectiv, Fiabilitate, Mentenabilitate și Disponibilitate.

Prima etapă în realizarea unui studiu FMD este legată de baza de date primară avută la dispoziție. Ca să fie utilă, baza de date trebuie să cuprindă seriilor cronologice ale timpilor de funcționare până la defectare sau de restabilire a funcționării sistemului. Acest lucru presupune stabilirea cu suficientă precizie a momentelor de apariție și de remediere a defecțiunilor. Acești timpi de funcționare efectivă sau de reparare reprezintă datele de intrare absolut necesare pentru efectuarea unui studiu eficient. Prelucrarea unei baze de date primare care nu reflectă realitatea conduce la obținerea unor rezultate, care la rândul lor nu sunt reale. Implementarea acestor rezultate are drept consecință luarea de decizii eronate, care conduc la pierderi economice considerabile.

Ultima dintre etapele de realizare a unui studiu FMD este interpretarea rezultatelor, care depinde în totalitate de abilitățile tehnice ale inginerilor tehnologi și fiabiliști. Interpretarea rezultatelor se face în strânsă concordanță cu managementul de producție, dezvoltare și mentenanță aplicat la nivel de organizație.

Etapile intermediare, care se referă în principal la cuantificarea indicatorilor de fiabilitate, mentenabilitate și disponibilitate, sunt relativ ușor de rezolvat prin utilizarea tehnicii performante.

Rezolvarea primei și ultimei etape, depinde în exclusivitate de priceperea operatorului uman, de experiența acestuia, care nu pot fi înlocuite cu nimic altceva.

Referitor la sistemele tehnice utilizate în industria minieră, s-au efectuat relativ puține studii FMD. Pentru industria carboniferă de subteran și suprafață sunt recunoscute rezultatele obținute de colectivul de ingineri mecanici din cadrul Universității din Petroșani. În egală măsură trebuie menționate abordările din sectorul industriei extractive a minereurilor neferoase de la Universitatea de Nord din Baia-Mare.

În domeniul industriei carbonifere, studiile clasice de fiabilitate, în ordinea efectuării, au fost orientate spre: susținerile mecanizate de abataj, în speță susținerea mecanizată SMA-2. Sunt utilaje destinate exploatarea huilei în abatajele cu front lung; transportoarele cu raclete TR-3 și TR-5; diverse utilaje utilizate în uzinele de preparare a huilei; excavatoarele cu rotor, în speță excavatorul EsRc-1400, utilizate la exploatarea lignitului în bazinul Olteniei; transportoarele de mare capacitate utilizate pentru transportul cărbunelui în cariere;

Scopul acestei lucrări este de a realiza un studiu de fiabilitate, mentenabilitate și disponibilitate asupra a două categorii de sisteme de transport. Studiile FMD se referă la mașinile combinate de încărcat, transportat și depozitat și la transportoarele cu bandă pe role. Lucrarea nu tratează în mod special proiectarea unor sisteme fiabile pentru domeniul luat în studiu. Conținuturile principale sunt legate de modul de evaluare, măsurare și previziune a fiabilității și mentenabilității unui sistem.

Importanța temei este reliefată de rezultatele concrete obținute prin studiile realizate asupra produselor analizate. În egală măsură, din punct de vedere teoretic, lucrarea poate constitui un ghid de analiză a funcționalității oricărui tip de element, mașină sau utilaj electromecanic.

Rezultatele obținute prin elaborarea lucrării pot fi utilizate de către agenții economici care exploatează sisteme tehnice de acest gen. În același timp rezultatele pot sta în atenția tuturor celor care au preocupări în proiectarea și implementarea studiilor FMD.

CAPITOLUL I. CARACTERIZAREA GENERALĂ A DURATEI DE VIAȚĂ A SISTEMELOR TEHNICE

Scopul acestui capitol este de a prezenta conceptele ce definesc și cuantifică un studiu FMD al unui produs de natură electromecanică. Un studiu FMD cuprinde informații, mai mult sau mai puțin complete, privind fiabilitatea, mentenabilitatea, mentenanța și disponibilitatea produsului analizat.

În prima parte este prezentată funcția intensității de defectare definită pe durata de viață a unui sistem tehnic. Această funcție este recunoscută în literatura de specialitate sub denumirea de „curba cadă de baie”. Forma acestei curbe este strict influențată de cele patru entități enumerate.

Sunt definite cele patru concepte utilizate în practica industrială, fiabilitatea, mentenabilitatea, mentenanța și disponibilitate. Din aceste definiții rezultă legăturile structurale dintre ele, toate, în egală măsură concurând la caracterizarea funcționalității unui produs. Este reliefată complexitatea conceptului de fiabilitate, care într-o prezentare completă trebuie să cuprindă abordări de natură tehnică, operațională, comercială și de management.

Evaluarea fiabilității și mentenabilității unui produs poate fi făcută prin patru modalități:

- utilizarea bazei de date privind valori specifice ale indicatorilor de fiabilitate și mentenabilitate pentru elemente componente și cunoașterea arhitecturii sistemului;
- pornind de la informațiile provenite după utilizarea produsului sau din reclamațiile efectuate de beneficiar, fiind vorba despre o analiză a fiabilității și mentenabilității operaționale. Această modalitate este aplicată în extenso pe parcursul acestei lucrări;
- realizarea de încercări asupra produsului nou, în scopul verificării performanțelor înainte de lansarea lui în producție;
- pornind de la părerea unor experți, atunci când nu se dispune de nici o informație asupra fiabilității și mentenabilității unei componente sau a unui sistem nou.

CAPITOLUL II STUDIUL FIABILITĂȚII MAȘINILOR COMBinate DE ÎNCĂRCAT, TRANSPORTAT ȘI DEPOZITAT

Acest capitol este destinat studiului fiabilității mașinilor combinate de încărcat, transportat și depozitat, utilaje care au o largă utilizare în diverse sectoare ale activităților industriale. În prima parte se analizează fiabilitatea ansamblului mașinii de încărcat, cu aplicabilitate directă asupra acțiunilor de mentenanță. În partea a doua sunt cuantificați și interpretați indicatorii cantitativi specifici fiabilității operaționale pentru trei sisteme componente ale mașinii.

Studiul de fiabilitate efectuat reprezintă oglinda funcționalității mașinii indicând nivelul calitativ al acesteia la momentul efectuării studiului. Studiul justifică, pe de-o parte propunerile de îmbunătățire și modernizare a produsului, dar mai ales utilizarea strategiei de mentenanță predictivă în funcție de starea utilajului.

Evaluarea indicatorilor de fiabilitate pentru ansamblul mașinii de încărcat și transportat

Pentru determinarea funcției empirice de repartiție a defectelor sunt evidențiate cele 169 de defecte apărute la mașina de încărcat și transportat pe o perioadă de 2,5 ani. Sunt luate în considerare numai defectările semnificative, care au efect negativ asupra parametrilor nominali de funcționare a mașinii, fiind excluse defectele minore. Defectele luate în studiu nu au provocat o daună semnificativă și nu au prezentat un risc semnificativ pentru om. Pentru stabilirea timpului efectiv de funcționare se consideră că mașina de încărcat și transportat lucrează efectiv 400 ore/lună. Acestea sunt intervalele egale de timp ce compun durata de efectuare a studiului de fiabilitate.

Funcția de fiabilitate, $R(t)$, figura 2.5, cuantifică probabilitatea de bună funcționare în timp a mașinii de încărcat, în condiții de mediu de subteran și aplicarea mentenanței preventive. Dacă dinamica apariției defectelor urmează distribuția Weibull biparametrică, funcția de fiabilitate se exprimă cu relația

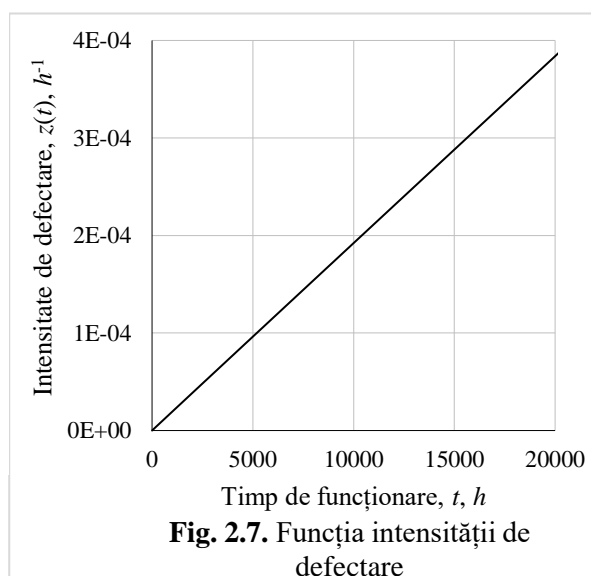
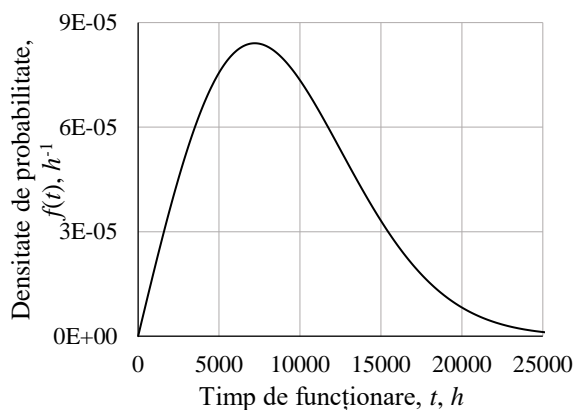
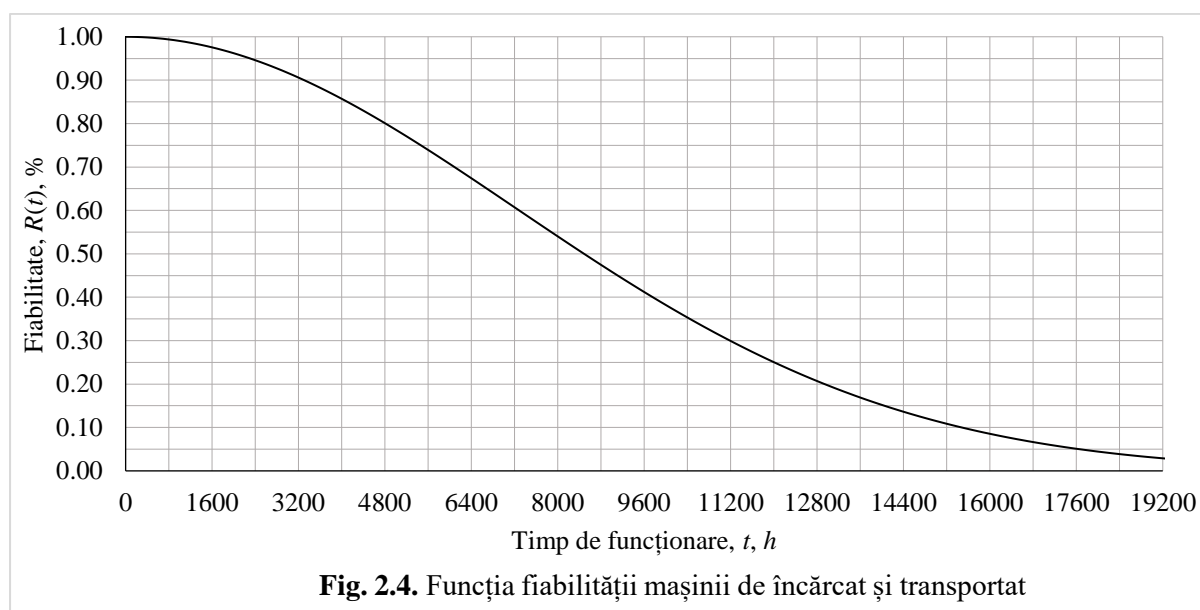
$$R(t/10196; 1,998) = e^{-\left(\frac{t}{10196}\right)^{1,998}}, \quad t > 0. \quad (2.12)$$

Indicatorul densitate de probabilitate a timpului de defectare, figura 2.6, denumit și densitatea repartiției timpului de bună funcționare, $f(t)$, în h^{-1} , are semnificația vitezei instantanee de apariție a defectelor. Pentru distribuția Weibull biparametrică normată se exprimă cu relația

$$f(t/10196; 1,998) = 1,959 \cdot 10^{-4} \left(\frac{t}{10196}\right)^{0,998} e^{-\left(\frac{t}{10196}\right)^{1,998}}, \quad t > 0, \quad h^{-1}. \quad (2.14)$$

Indicatorul rata sau intensitatea de defectare, notat cu $z(t)$, în h^{-1} , figura 2.7, descrie probabilitatea de defectare a mașinii de încărcat la un moment dat. Relația de calcul a indicatorului pentru distribuția Weibull biparametrică normată este

$$z(t/10196; 1,998) = 1,959 \cdot 10^{-4} \left(\frac{t}{10196}\right)^{0,998}, \quad t > 0, \quad h^{-1}. \quad (2.16)$$



Rezultatele obținute în determinarea principalilor indicatori de fiabilitate conduc la o serie de concluzii și aprecieri. Concluziile se referă, în principal, la indicatorii cantitativi de fiabilitate ce caracterizează funcționalitatea mașinii combinate de încărcat și transportat. În egală măsură, se fac aprecieri privind determinarea funcției empirice de repartiție a defecțiunilor, precum și asupra metodologiilor de estimare a parametrilor distribuțiilor.

1. Funcția empirică de repartiție s-a determinat pe baza frecvenței absolute a defectelor semnificative considerate pe intervale egale de timp de 400 ore. Această valoare corespunde timpului efectiv de lucru pe perioada unei luni calendaristice. Matematic funcția empirică de repartiție reprezintă frecvența relativă cumulată de apariție a defectelor. Pentru determinarea funcției de repartiție s-au luat în calcul numai defecțiunile de natură mecanică, pentru care cauza principală de apariție este procesul de uzare. Utilizarea acestei modalități de evaluare a funcției empirice de repartiție este determinată de baza de date precară privind exploatarea mașinii de încărcat și transportat.

2. Aplicarea testului de concordanță Kolmogorov-Smirnov (KS) demonstrează că dinamica apariției și manifestării defectelor urmează legea de distribuție Weibull biparametrică normată. Acest lucru arată că această lege de distribuție caracterizează cel mai bine funcționalitatea mașinii de încărcat și transportat. Parametrii distribuției Weibull biparametrice normate sunt, parametrul de formă, $\beta = 1,998$ și parametrul de scară reală, $\eta = 10196 h$. Se precizează că legile de distribuție exponențială și normală nu sunt validate, ceea ce este sugerat și de valoarea parametrului β al distribuției Weibull.

3. Parametrii distribuției Weibull biparametrice normate sunt estimați prin metoda celor mai mici pătrate. Aceasta este o metodă statistică parametrică care permite calculul punctual al parametrilor unei distribuții indicate. Literatura de specialitate indică că prin utilizarea metodei analitice a celor mai mici pătrate se obțin cele mai realiste rezultate. În egală măsură se utilizează și metoda grafică, care se bazează tot pe liniarizarea funcției de repartiție ca și metoda analitică prezentată. Distribuțiile Weibull cu parametri calculați prin metoda verosimilității maxime și prin cea a momentelor nu sunt validate. Nevalidarea acestor distribuții confirmă ideea cunoscută că, prin aplicarea metodelor statistice parametrice punctuale de evaluare a parametrilor se obțin valori orientative ale acestora.

4. Funcțiile de fiabilitate și de defectare, permit o apreciere în ansamblu a funcționalității mașinii de încărcat și transportat. Acești indicatori nu pot face nici o referire la elementele sau subansamblurile componente ale mașinii, care să permită indicarea nivelului calitativ al acestora. Conform figurii 2.4, probabilitatea ca mașina de încărcat să nu se defecteze după 4800 de ore de exploatare efectivă este de 80%. Trebuie precizat că valoarea este adevărată în condițiile exploatării corespunzătoare a mașinii, îndeosebi cu respectarea condițiilor impuse de mentenanța preventiv-planificată. Altfel spus, trebuie să ne așteptăm, cu un nivel de încredere de 80%, că mașina nu se va defecta după 4800 de ore de funcționare. Se menționează că această perioadă de funcționare efectivă corespunde la 12 luni calendaristice, respectiv un an.

5. Se remarcă o descreștere lentă a curbei funcției de fiabilitate, ceea ce sugerează o viteză instantanee de defectare mică. Conform curbei densității de probabilitate, figura 2.5, viteza instantanee de defectare este de ordinul 10^{-5} defectări/oră, ceea ce sugerează un nivel relativ ridicat al fiabilității.

6. Evoluția în timp a intensității sau ratei de defectare, figura 2.6, oferă cele mai multe informații cu privire la funcționalitatea mașinii de încărcat. În primul rând se remarcă cvasiliniaritatea evoluției intensității sau ratei de defectare, caracteristică unui parametru de formă $\beta = 1,998$. În fiabilitate este recunoscută distribuția Rayleigh pentru care creșterea intensității de defectare este liniară. Ordinul de mărime de 10^{-4} pentru intensitatea sau rata de defectare indică un nivel de calitate acceptabil al ansamblului mașinii de încărcat. Nivelul se consideră acceptabil având în vedere gradul de uzură existent după un timp considerabil de funcționare. Liniaritatea funcției intensității de defectare arată că procesul crește proporțional cu un factor foarte mic, care conform figurii 2.7 are valoarea $2 \cdot 10^{-8}$ (def/h)/h. Acest lucru arată că mașina este formată din elemente omogene cu caracteristici de fiabilitate apropiate. Evoluția în timp a intensității de defectare arată că mașina de încărcat, conform curbei duratei de viață, se situează în perioada principală de funcționare. În această etapă defectele apar, în principal, datorită procesului de uzare. La aceasta se adaugă oboseala materialelor, având în vedere că, la momentul efectuării studiului de fiabilitate, mașina are un număr considerabil de ore de funcționare. Trebuie luate în considerare și coroziunea și abrazivitatea, procese care sunt accentuate în condițiile de lucru din subteran.

7. Pentru un nivel al fiabilității de 50% timpul median de defectare este de circa 8500 ore, ceea ce sugerează că jumătate din numărul total defecte se produc până în acest moment. Aceasta poate constitui un indiciu pentru programarea activității de mentenanță preventivă. Media timpului de bună funcționare între două defectări, MTBF, este, de asemenea, de circa 9000 de ore, ce corespunde calendaristic la 1,8 ani.

Evaluarea indicatorilor de fiabilitate pentru cilindrul hidraulic pentru manevrarea cupei mașinii de încărcat

Tabelul 2.11. Valorile estimate ale parametrilor legilor teoretice de repartiție

Distribuția	Parametru					
	λ, h^{-1}	m, h	σ, h	β	η, h	γ, h
Exponențială negativă, Ep	5,130E-04					
Normală, Nv		2098,421	1026,384			
Weibull biparametrică normală, Wp				1,915	2410,605	
Weibull biparametrică normală, Wv				2,008	2313,752	
Weibull triparametrică, Wm				2,153	2369,473	1,831E-06

Tabelul 2.12. Testarea legilor teoretice de repartiție a timpilor dintre defecțiuni

Distribuția, simbol	Funcția de repartiție, $F(t)$	Testul K-S, $D_{max} < D_{cr} = D_{\alpha, 19}$			
		Abaterea maximă, D_{max}	Riscul, $\alpha, \%$	Valoarea critică, $D_{\alpha, 19}$	Validare
Exponențială negativă, Ep	$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-5,130 \cdot 10^{-4} t}$ (2.25)	0,303597	2,5	$D_{\alpha, 19} = \mathbf{0,320607}$	DA
			0,5	$D_{\alpha, 19} = 0,383792$	
Normală, Nv	$F(t) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-2098,421}{1026,384}\right)$ (2.26) $F(t) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-2098,421}{1026,384}\right)$ (2.27)	0,199908	20	$D_{\alpha, 19} = \mathbf{0,237346}$	DA
			0,5	$D_{\alpha, 19} = 0,383792$	
Weibull biparametrică, Wp	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{2410,605}\right)^{1,915}}$ (2.28)	0,217284	20	$D_{\alpha, 19} = \mathbf{0,237346}$	DA
			0,5	$D_{\alpha, 19} = 0,383792$	
Weibull biparametrică, Wv	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{2313,752}\right)^{2,008}}$ (2.29)	0,246697	10	$D_{\alpha, 19} = \mathbf{0,271357}$	DA
			0,5	$D_{\alpha, 19} = 0,383792$	
Weibull triparametrică, Wm	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t-1,831E-06}{2369,473}\right)^{2,153}}$ (2.30)	0,228676	20	$D_{\alpha, 19} = \mathbf{0,237346}$	DA
			0,5	$D_{\alpha, 19} = 0,383792$	

Tabelul 2.14. Indicatori cantitativi de fiabilitate caracteristici cilindrilor hidraulici. Distribuția normală normală Nv

Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare, UM
1	Funcția de fiabilitate, $R(t)$	$R(t) = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = 1 - \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = 1 - \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-2098,421}{1026,384}\right)$ (2.38)	Fig. 2.12
2	Funcția de defectare, $F(t)$	$F(t) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-2098,421}{1026,384}\right)$ (2.39)	Fig. 2.13
3	Funcția densității de probabilitate a timpului dintre defectări, $f(t)$	$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)^2} = \frac{1}{1026,384\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-2098,421}{1026,384}\right)^2}$ (2.40)	Fig. 2.14

Tabelul 2.14. Indicatori cantitativi de fiabilitate caracteristici cilindrului hidraulic. Distribuția normală normată Nv

Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare, UM
4	Funcția intensității de defectare, $z(t)$	$z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{1}{1026,384 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-2098,421}{1026,384} \right)^2}$ (2.41)	Fig. 2.15
5	Timpul mediu de funcționare, $MTBF, E(t)$	$MTBF = m = 2098,421$	(2.42) 2098 h
6	Timpul median de funcționare, $t_{0,5}, t_{med}$	$t_{0,5} = m = 2098,421$	(2.43) 2098 h
7	Dispersia timpului de funcționare, D	$D = \sigma^2 = (1026,384)^2$	(2.44) 1053464 h ²

Tabelul 2.17. Indicatori cantitativi de fiabilitate caracteristici cilindrului hidraulic. Distribuția Weibull triparametrică Wm

Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare UM
1	Funcția de fiabilitate, $R(t)$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t-1,831E-06}{2369,473}\right)^{2,153}}$	(2.59) Fig. 2.12
2	Funcția de defectare, $F(t)$	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t-1,831E-06}{2369,473}\right)^{2,153}}$	(2.60) Fig. 2.13
3	Funcția densității de probabilitate a timpului până la defectare, $f(t)$	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} =$ $= 9,086 \cdot 10^{-4} \left(\frac{t-1,831E-06}{2369,473}\right)^{1,153} e^{-\left(\frac{t-1,831E-06}{2369,473}\right)^{2,153}}$	(2.61) Fig. 2.14
4	Funcția intensității de defectare, $z(t)$	$z(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} = 9,086 \cdot 10^{-4} \left(\frac{t-1,831E-06}{2369,473}\right)^{1,153}$	(2.62) Fig. 2.15
5	Media timpului de funcționare, $MTBF, E(t)$	$MTBF = \gamma + \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) = 1,831 \cdot 10^{-4} + 2369,473 \Gamma\left(\frac{1}{2,153} + 1\right)$	(2.63) 2098 h
6	Mediana timpului de funcționare, $t_{0,5}$	$t_{0,5} = \gamma + \eta \sqrt[\beta]{-\ln 0,5} = 1,831 \cdot 10^{-4} + 2369,473 \sqrt[2,153]{-\ln 0,5}$	(2.64) 1999 h
7	Dispersia timpului de funcționare, D	$D = \eta^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \right]^2 \right\} =$ $= 2369,473^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{2,153} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{2,153} + 1\right) \right]^2 \right\}$	(2.65) 1053872 h ²

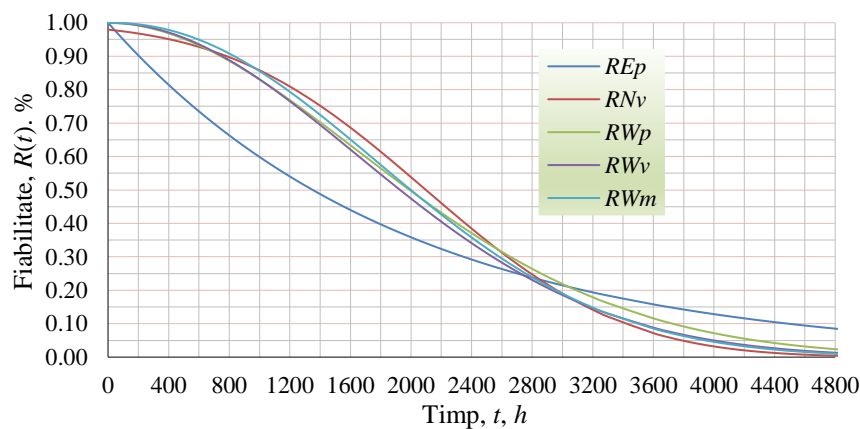


Fig. 2.12. Funcțiile fiabilității cilindrului hidraulic

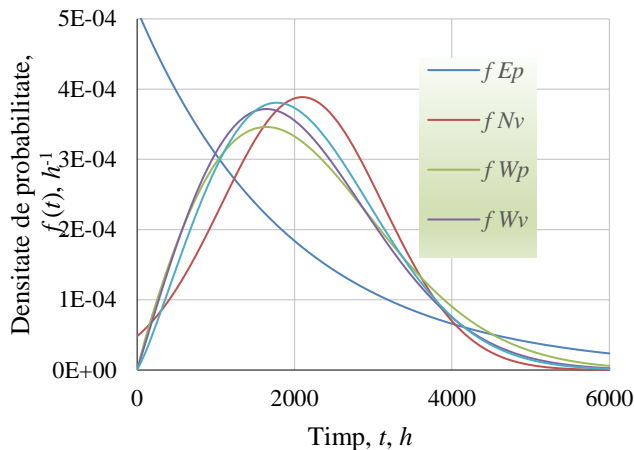


Fig. 2.14. Funcțiile densității de probabilitate

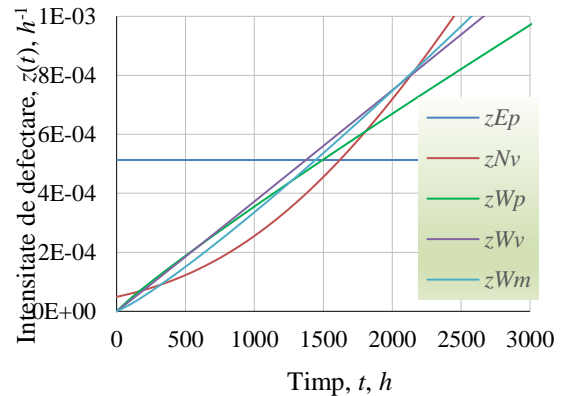


Fig. 2.15. Funcțiile intensității de defectare

Rezultatele obținute în determinarea principalilor indicatori de fiabilitate conduc la o serie de concluzii și predicții privind funcționalitatea cilindrilor hidraulici.

1. Funcția empirică de repartiție a defecțiunilor s-a determinat pe baza seriei statistice formată din timpurile de bună funcționare dintre defecțiuni. Datele empirice îndeplinesc criteriile de independență și distribuire după aceeași lege. Matematic funcția empirică de repartiție s-a calculat utilizând cel mai uzual estimator indicat de literatura de specialitate pentru distribuțiile Weibull. Timpul de bună funcționare a cilindrilor este în concordanță cu timpul efectiv de lucru a mașinii de transportat pe perioada unei luni calendaristice care este de 400 ore. Pentru determinarea funcției de repartiție s-au luat în calcul numai defecțiunile semnificative de natură mecanică. Cauzele principale de apariție a acestor defecte sunt procesele de uzare, deformare, rupere și oboseală.

2. Din figurile 2.12 și 2.13 rezultă tendința de grupare, chiar suprapunere a curbelor fiabilității și nefiabilității, pentru distribuțiile normală și Weibull în cele trei forme. Pentru aceste distribuții, distanțele maxime dintre legea empirică de repartiție a timpilor până la defectare și legile teoretice sunt cele mai mici. Ecartul ajunge la circa 20% pentru distribuția normală, pentru distribuțiile Weibull fiind mai mari cu maxim 5%. Valoarea cea mai mică a ecartului și a dispersiei timpului de bună funcționare demonstrează că distribuția normală caracterizează cel mai bine funcționalitatea cilindrilor hidraulici. Datorită diferențelor relativ mici se apreciază că, în egală măsură, legile de distribuție normală și Weibull pot caracteriza la fel de bine funcționalitatea produsului. Se consideră că, deși este validat, modelul exponențial subestimează buna funcționare a produsului analizat.

3. Funcțiile de fiabilitate și de defectare permit o apreciere în ansamblu a funcționalității cilindrilor hidraulici. Acești indicatori nu pot face nici o referire la elementele componente ale cilindrilor, care să permită indicarea nivelului calitativ al acestora.

4. Conform figurii 2.12, probabilitatea ca cilindrul hidraulic să nu se defecteze după 1200 de ore de funcționare efectivă este de 80%. Altfel spus, trebuie să ne așteptăm, cu un nivel de încredere de 80%, că cilindrul hidraulic nu se va defecta după 1200 de ore de funcționare. Se menționează că această perioadă de funcționare efectivă corespunde la trei luni calendaristice.

5. Pentru o perioadă de funcționare de 2000 ore, ceea ce corespunde la cinci luni calendaristice, fiabilitatea motorului devine egală cu nonfiabilitatea, adică 50%. Valoarea corespunde mediei timpului de bună funcționare, și este confirmată de calculul indicatorului pentru legile de distribuție validate. Această valoare de cinci luni poate fi luată în considerare pentru includerea în programul de revizii verificarea integrității cilindrilor, sau chiar înlocuirea acestora. Este necesar să se urmărească integritatea etanșărilor, gradul de uzare a elementelor de montare a cilindrilor și nivelul de deformare a tijei.

6. Scăderea fiabilității de la 80% la 50% corespunde unei durate de funcționare de 800 ore. Aceasta demonstrează că viteza de defectare are o valoare relativ mare, lucru confirmat de panta lină descrescătoare a funcției fiabilității. Acest lucru este demonstrat și de graficele densității de probabilitate și intensității sau ratei de defectare.

7. Analiza variației intensității de defectare arată trendul crescător al acesteia, explicabil prin manifestarea în timp, în special a proceselor de uzare și oboseală. Valoarea acesteia de ordinul a 10^{-3} defectări/oră, pentru timpul mediu de funcționare este totuși o valoare modestă. Conform distribuțiilor Weibull, la care parametrul de formă $\beta=2$, creșterea ratei de defectare este liniară cu un factor de proporționalitate de $4 \cdot 10^{-7}$ (def/h)/h. Acest lucru demonstrează și faptul că cilindrul este constituit din elemente omogene cu nivele de fiabilitate apropiate.

8. Forma aproximativ simetrică a curbei densității de probabilitate arată egalitatea mediei timpului de bună funcționare cu mediana acestuia, în jurul valorii de 2000 ore. Acest lucru sugerează că 50% dintre defecte apar până la această dată, iar cealaltă jumătate după. Acest lucru are influență asupra programării reviziilor și reparațiilor.

9. Valorile indicatorilor de fiabilitate obținuți pentru cilindrul hidraulic analizat conduc la necesitatea reducerii numărului și frecvenței de apariție a defectelor semnificative. Acest deziderat se poate realiza prin reconsiderarea construcției cilindrului, având în vedere că reprezintă o soluție învechită. Trebuie reconsiderate calitatea garniturilor de etanșare și caracteristicile mecanice ale materialelor pentru tija cilindrului și elementele de fixare.

Evaluarea indicatorilor de fiabilitate pentru pompa hidraulică din sistemul de frânare

Tabelul 2.19. Valorile estimate ale parametrilor legilor de repartiție a defectărilor

Distribuția	Parametru					
	λ, h^{-1}	m, h	σ, h	β	η, h	γ, h
Exponențială negativă, Ep	$1,488 \cdot 10^{-4}$					
Normală, Nv		7030,417	1541,101			
Weibull biparametrică, Wp				5,125	7641,913	
Weibull biparametrică, Wv				4,998	7706,140	
Weibull triparametrică, Wm				5,246	7635,829	6,24E-06

Tabelul 2.20. Testarea legilor teoretice de repartiție a timpilor dintre defectiuni

Distribuția, simbol	Funcția de repartiție, $F(t)$	Testul K-S, $D_{max} < D_{cr} = D_{\alpha, 12}$			
		Abaterea maximă, D_{max}	Riscul, $\alpha, \%$	Valoarea critică, $D_{\alpha, 12}$	Validare
Exponențială, Ep	$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-1,488 \cdot 10^{-4} t}$ (2.66)	0,544472	0,5	$D_{\alpha, 12} = \mathbf{0,476715}$	NU
Normală, Nv	$F(t) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-7030,417}{1541,101}\right)$ (2.67)	0,141006	20	$D_{\alpha, 12} = \mathbf{0,295770}$	DA
	$F(t) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-7030,417}{1541,101}\right)$ (2.68)		0,5	$D_{\alpha, 12} = 0,476715$	
Weibull biparametrică, Wp	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{7641,913}\right)^{5,125}}$ (2.69)	0,163483	20	$D_{\alpha, 12} = \mathbf{0,295770}$	DA
			0,5	$D_{\alpha, 12} = 0,476715$	
Weibull biparametrică, Wv	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{7706,140}\right)^{4,998}}$ (2.70)	0,178514	20	$D_{\alpha, 12} = \mathbf{0,295770}$	DA
			0,5	$D_{\alpha, 12} = 0,476715$	
Weibull triparametrică, Wm	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t-6,24E-06}{7635,829}\right)^{5,246}}$ (2.71)	0,162262	20	$D_{\alpha, 12} = \mathbf{0,295770}$	DA
			0,5	$D_{\alpha, 12} = 0,476715$	

Tabelul 2.23. Indicatori cantitativi de fiabilitate caracteristici pompei hidraulice.			
Distribuția Weibull biparametrică normată Wv			
Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare, UM
1	Funcția de fiabilitate, $R(t)$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t}{7706,140}\right)^{4,998}}$ (2.86)	Fig. 2.18
2	Funcția de defectare, $F(t)$	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{7706,140}\right)^{4,998}}$ (2.87)	Fig. 2.19
3	Funcția densității de probabilitate a timpului până la defectare, $f(t)$	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} =$ $= 6,485 \cdot 10^{-4} \left(\frac{t}{7706,140}\right)^{3,998} e^{-\left(\frac{t}{7706,140}\right)^{4,998}}$ (2.88)	Fig. 2.20
4	Funcția intensității de defectare, $z(t)$	$z(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} = 6,485 \cdot 10^{-4} \left(\frac{t}{7706,140}\right)^{3,998}$ (2.89)	Fig. 2.21
5	Media timpului de funcționare, $MTBF, E(t)$	$MTBF = \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) = 7706,140 \cdot \Gamma\left(\frac{1}{4,998} + 1\right)$ (2.90)	7075 h
6	Mediana timpului de bună funcționare, $t_{0,5}, t_{med}$	$t_{0,5} = \eta \sqrt[\beta]{-\ln 0,5} = 7706,140 \sqrt[4,998]{-\ln 0,5}$ (2.91)	7161 h
7	Dispersia timpului de bună funcționare, D	$D = \eta^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \right]^2 \right\} =$ $= 7706,140^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{4,998} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{4,998} + 1\right) \right]^2 \right\}$ (2.92)	2628378 h^2

Tabelul 2.22. Indicatori cantitativi de fiabilitate caracteristici pompei hidraulice.
Distribuția Weibull biparametrică normată Wp

Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare, UM
1	Funcția de fiabilitate, $R(t)$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t}{7641,913}\right)^{5,125}}$ (2.79)	Fig. 2.18
2	Funcția de defectare, $F(t)$	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{7641,913}\right)^{5,125}}$ (2.80)	Fig. 2.19
3	Funcția densității de probabilitate a timpului până la defectare, $f(t)$	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} =$ $= 7,944 \cdot 10^{-4} \left(\frac{t}{7641,913}\right)^{4,125} e^{-\left(\frac{t}{7641,913}\right)^{5,125}}$ (2.81)	Fig. 2.20
4	Funcția intensității de defectare, $z(t)$	$z(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} = 6,706 \cdot 10^{-4} \left(\frac{t}{7641,913}\right)^{4,125}$ (2.82)	Fig. 2.21
5	Media timpului de funcționare, $MTBF, E(t)$	$MTBF = \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) = 7641,913 \Gamma\left(\frac{1}{5,125} + 1\right)$ (2.83)	7026 h
6	Mediana timpului de bună funcționare, $t_{0,5}, t_{med}$	$t_{0,5} = \eta \sqrt[\beta]{-\ln 0,5} = 7641,913 \sqrt[5,125]{-\ln 0,5}$ (2.84)	7114 h
7	Dispersia timpului de bună funcționare, D	$D = \eta^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \right]^2 \right\} =$ $= (7641,913)^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{5,125} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{5,125} + 1\right) \right]^2 \right\}$ (2.85)	2473270 h^2

Rezultatele obținute în determinarea principalilor indicatori de fiabilitate conduc la o serie de concluzii și predicții privind funcționalitatea pompei hidraulice cu piston.

1. Funcția empirică de repartiție a defecțiunilor se determină pe baza seriei statistice formată din timpii de bună funcționare dintre defecțiuni. Datele îndeplinesc criteriile de independență și de distribuire identică. Matematic funcția empirică de repartiție se calculează utilizând cel mai uzual estimator

indicat de literatura de specialitate pentru distribuția Weibull. Pentru determinarea funcției de repartiție s-au luat în calcul numai defecțiunile semnificative de natură mecanică. Cauzele principale de apariție a defectelor sunt procesele de uzare și deformare a suprafețelor pistonului și cilindrului. Timpul de bună funcționare a pompelor este în concordanță cu timpul efectiv de 400 ore de lucru a mașinii de transportat pe perioada unei luni calendaristice.

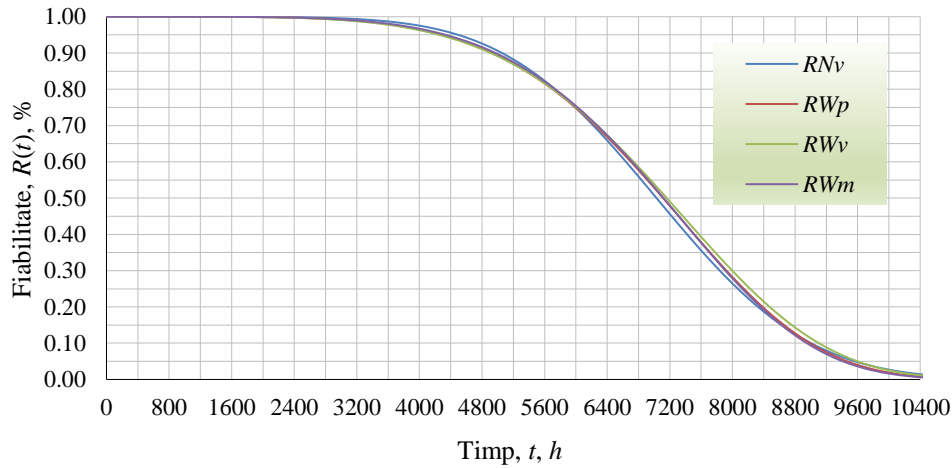


Fig.2.18. Funcțiile fiabilității pompei hidraulice

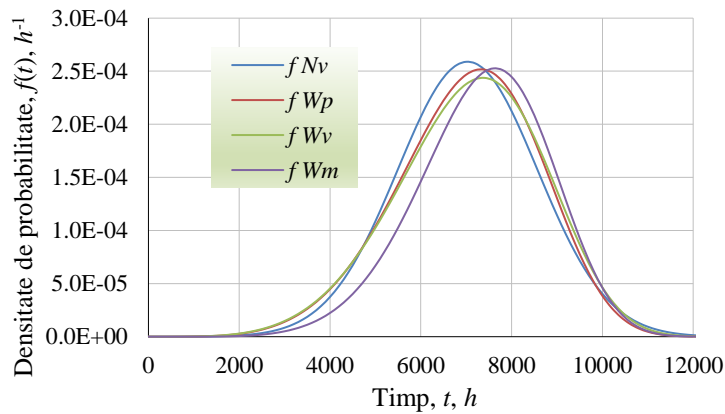


Fig. 2.20. Funcțiile densității de probabilitate

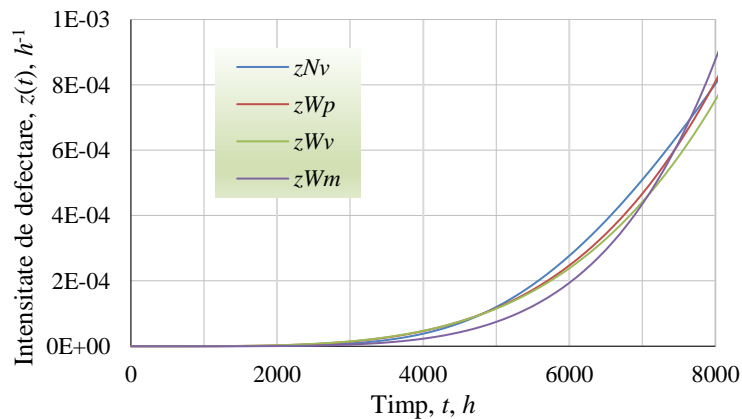


Fig. 2.21. Funcțiile intensității de defectare

2. Din figura 2.18 rezultă tendința de suprapunere a curbelor fiabilității și nefiabilității, pentru distribuțiile normală și Weibull în cele trei forme. Pentru distribuția normală, ecartul de 14% dintre distribuția empirică și cea teoretică are valoarea cea mai mică. Acest lucru arată că distribuția normală caracterizează cel mai bine funcționalitatea pompei. Afirmația este susținută și de valoarea cea mai mică a dispersiei timpilor de bună funcționare.

Pentru distribuțiile Weibull ecartul variază între 16-18 %, valori care sunt foarte apropiate. Valorile relativ apropiate ale ecarturilor susțin ideea că oricare dintre cele patru distribuții pot să caracterizeze foarte bine funcționalitatea pompei hidraulice.

3. Funcțiile de fiabilitate și de defectare permit o apreciere în ansamblu a funcționalității pompei hidraulice. Acești indicatori nu pot face nici o referire la elementele componente ale pompei, care să permită indicarea nivelului calitativ al acestora.

4. Conform figurii 2.18 până la 3200 ore de funcționare, practic, pompa nu se defectează. Probabilitatea ca pompa hidraulică să nu se defecteze după 5400 de ore de funcționare efectivă este de 80%. Altfel spus, trebuie să ne așteptăm, cu un nivel de încredere de 80%, că pompa hidraulică nu se va defecta după 5600 de ore de funcționare. Se menționează că această perioadă de funcționare efectivă corespunde la 14 luni calendaristice, respectiv 1,2 ani.

5. Pentru o perioadă de funcționare de 7200 ore, ceea ce corespunde la 18 luni calendaristice, (1,5 ani) fiabilitatea pompei devine egală cu nefiabilitatea, adică 50%. Valoarea corespunde mediei timpului de bună funcționare, și este confirmată de calculul indicatorului pentru legile de distribuție validate. Această valoare de 18 luni poate fi luată în considerare pentru includerea în programul de revizii a verificării integrității pompelor, sau chiar înlocuirea acestora.

6. Scăderea fiabilității de la 80% la 50% corespunde unei durate de funcționarea de 1600 ore. Aceasta demonstrează că viteza de defectare este mare, conform graficului densității de probabilitate a timpului de funcționare fiind de ordinul a 10^{-4} defectări/oră.

Acest lucru este confirmat de panta mare a funcției fiabilității și de graficele densității de probabilitate și intensității de defectare.

7. Analiza variației intensității de defectare arată trendul crescător al acesteia, explicabil prin manifestarea în timp, în special, a proceselor de uzare și deformare a suprafețelor funcționale ale pompei. Valoarea acesteia de ordinul a 10^{-3} defectări/oră, pentru timpul mediu de funcționare este o valoare foarte mare.

8. Forma aproximativ simetrică a curbei densității de probabilitate arată egalitatea mediei timpului de bună funcționare cu mediana acestuia, în jurul valorii de 7000 ore. Acest lucru sugerează că 50% dintre defecte apar până la această dată, iar cealaltă jumătate după. Acest lucru are influență asupra programării reviziilor și reparațiilor.

9. Valorile indicatorilor de fiabilitate obținuți conduc la necesitatea reducerii numărului și frecvenței de apariție a defectelor semnificative. Acest deziderat se poate realiza prin reconsiderarea construcției pompei, având în vedere că reprezintă o soluție învechită. Trebuie reconsiderate construcția de ansamblu a suprafețelor conjugate ale pistonului și cilindrului pompei, privind calitatea materialelor și tehnologia de execuție.

Evaluarea duratei medii de utilizare a plăcuțelor de frână din componența sistemului de frânare

Tabelul 2.26. Valorile estimate ale parametrilor legilor teoretice de repartiție

Distribuția	Parametrul					
	λ, h^{-1}	m, h	σ, h	β	η, h	γ, h
Exponențială negativă, E_p	$1,014 \cdot 10^{-3}$					
Normală, N_v		1494,167	245,630			
Weibull biparametrică, W_p				6,811	1599,153	
Weibull biparametrică, W_v				7,026	1605,691	
Weibull triparametrică, W_m				7,166	1595,352	2,447E-04

Tabelul 2.27. Testarea legilor teoretice de repartiție a timpilor de utilizare a plăcuțelor

Distribuția, simbol	Funcția de repartiție, $F(t)$	Testul K-S, $D_{max} < D_{cr} = D_{\alpha, 24}$			
		Abaterea maximă, D_{max}	Riscul, α , %	Valoarea critică, $D_{\alpha, 24}$	Validare
Exponențială negativă, E_p	$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-1,014 \cdot 10^{-3} t}$ (2.100)	0,697183	0,5	$D_{\alpha, 24} = \mathbf{0,343184}$	NU
Normală, N_v	$F(t) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-1494,167}{245,630}\right)$ (2.101)	0,131922	20	$D_{\alpha, 24} = \mathbf{0,212048}$	DA
	$F(t) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-1494,167}{245,630}\right)$ (2.102)		0,5	$D_{\alpha, 24} = 0,343184$	
Weibull biparametrică, W_p	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{1599,153}\right)^{6,811}}$ (2.103)	0,148327	20	$D_{\alpha, 24} = \mathbf{0,212048}$	DA
			0,5	$D_{\alpha, 24} = 0,343184$	
Weibull biparametrică, W_v	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{1605,691}\right)^{7,026}}$ (2.104)	0,163513	20	$D_{\alpha, 24} = \mathbf{0,212048}$	DA
			0,5	$D_{\alpha, 24} = 0,343184$	
Weibull triparametrică, W_m	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t-2,447E-04}{1595,352}\right)^{7,166}}$ (2.105)	0,156463	20	$D_{\alpha, 24} = \mathbf{0,212048}$	DA
			0,5	$D_{\alpha, 24} = 0,343184$	

Tabelul 2.28. Indicatori cantitativi de fiabilitate caracteristici plăcuțelor de frână. Distribuția normală normală N_v

Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare, UM
1	Funcția de fiabilitate, $R(t)$	$R(t) = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = 1 - \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = 1 - \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-1494,167}{245,630}\right)$ (2.106)	Fig. 2.24
2	Funcția de defectare, $F(t)$	$F(t) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-1494,167}{245,630}\right)$ (2.107)	Fig. 2.25
3	Funcția densității de probabilitate, $f(t)$	$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)^2} = \frac{1}{245,630\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-1494,167}{245,630}\right)^2}$ (2.108)	Fig. 2.26
4	Funcția intensității de defectare, $z(t)$	$z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{1}{245,630\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-1494,167}{245,630}\right)^2}}{1 - \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-1494,167}{245,630}\right)}$ (2.109)	Fig. 2.27
5	Media timpului de bună funcționare, $MTBF$, $E(t)$	$MTBF = m = 1494$, (2.110)	1494 h
6	Mediana timpului de bună funcționare, $t_{0,5}$, t_{med}	$t_{0,5} = m = 1494,167$ (2.111)	1494 h
7	Dispersia timpului de funcționare, D	$D = \sigma^2 = (245,630)^2$ (2.112)	60334 h ²

Tabelul 2.30. Indicatori cantitativi de fiabilitate caracteristici plăcuței de frână. Distribuția Weibull biparametrică normală W_v

Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare, UM
1	Funcția de fiabilitate, $R(t)$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t}{1605,691}\right)^{7,026}}$ (2.120)	Fig. 2.24

**Tabelul 2.30. Indicatori cantitativi de fiabilitate caracteristici plăcuței de frână.
Distribuția Weibull biparametrică normală Wv**

Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare, UM
2	Funcția de defectare, $F(t)$	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{1605,691}\right)^{7,026}}$ (2.121)	Fig. 2.25
3	Funcția densității de probabilitate timpului de utilizare, $f(t)$	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} =$ $= 4,375 \cdot 10^{-3} \left(\frac{t}{1605,691}\right)^{6,026} e^{-\left(\frac{t}{1605,691}\right)^{7,026}}$ (2.122)	Fig. 2.26
4	Funcția intensității de defectare, $z(t)$	$z(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} = 4,375 \cdot 10^{-3} \left(\frac{t}{1605,691}\right)^{6,026}$ (2.123)	Fig. 2.27
5	Media timpului de utilizare, $MTBF$, $E(t)$	$MTBF = \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) = 1605,691 \Gamma\left(\frac{1}{7,026} + 1\right)$ (2.124)	1502 h
6	Mediana timpului de utilizare, $t_{0,5}$, t_{med}	$t_{0,5} = \eta \sqrt[\beta]{-\ln 0,5} = 1605,691 \sqrt[7,026]{-\ln 0,5}$ (2.125)	1524 h
7	Dispersia timpului de utilizare, D	$D = \eta^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \right]^2 \right\} =$ $= (1605,691)^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{7,026} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{7,026} + 1\right) \right]^2 \right\}$ (2.126)	63280 h ²

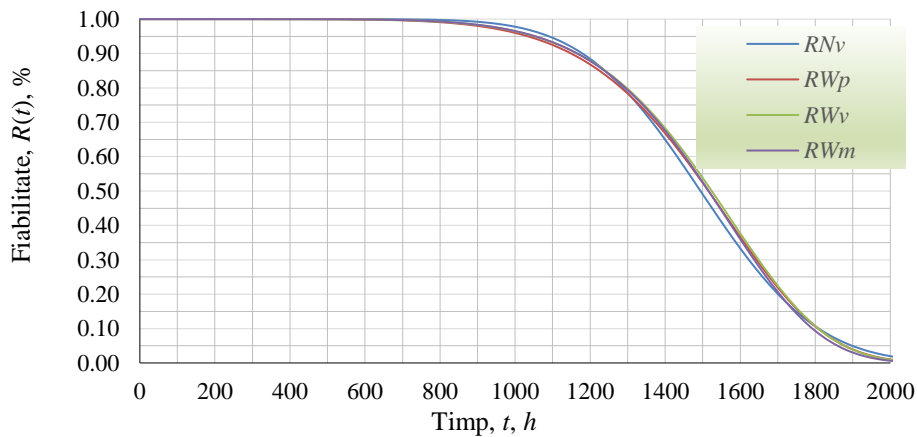


Fig. 2.24. Funcțiile fiabilității plăcuțelor de frână

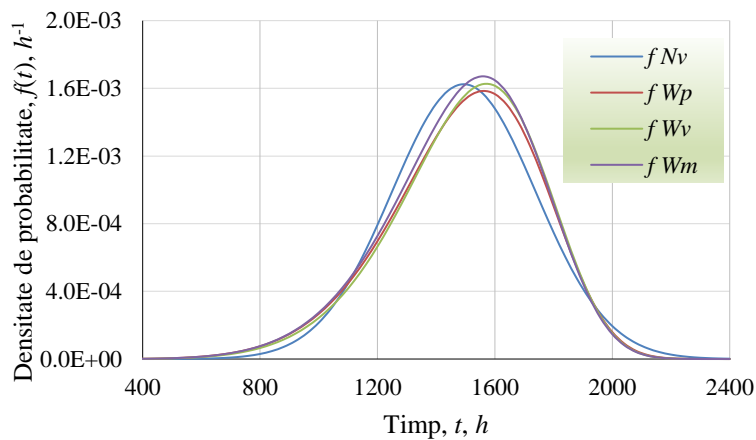


Fig. 2.26. Funcțiile densității de probabilitate

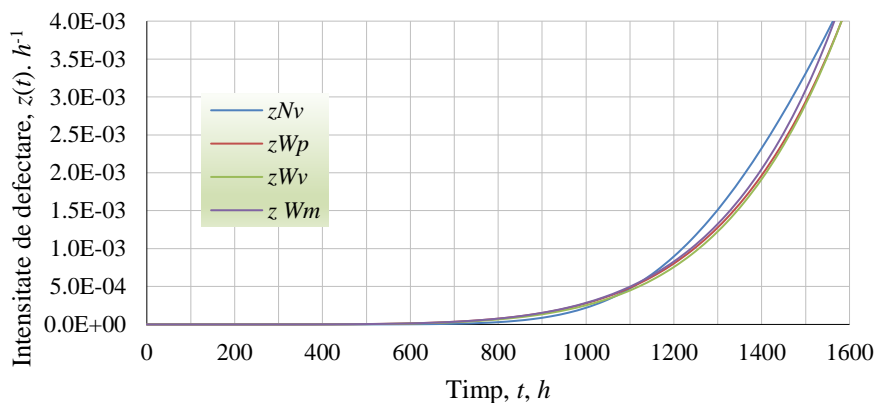


Fig. 2.27. Funcțiile intensității de defectare

1. Funcția empirică de repartiție a defecțiunilor se determină pe baza seriei statistice formată din timpii până la scoaterea din uz a plăcuțelor de frână. Datele îndeplinesc criteriile de independență și de distribuire identică. Matematic funcția empirică de repartiție se calculează utilizând cel mai uzual estimator indicat de literatura de specialitate pentru distribuția Weibull. Pentru determinarea funcției de repartiție s-au luat în considerare numai defecțiunile semnificative cauzate de uzura peste limita admisă a plăcuțelor. Timpul de bună funcționare a plăcuțelor este în concordanță cu timpul efectiv de 400 ore de lucru a mașinii de transportat pe perioada unei luni calendaristice. Se apreciază însă că pe perioada unei luni calendaristice, timpul efectiv de lucru a plăcuțelor este de 200 ore.

2. Din figura 2.24 rezultă diferențele mici dintre curbele fiabilității și nefiabilității, pentru distribuțiile normală și Weibull în cele trei forme. Pentru distribuția normală, ecartul de 13% dintre distribuția empirică și cea teoretică are valoarea cea mai mică. Acest lucru arată că distribuția normală caracterizează cel mai bine funcționalitatea plăcuțelor de frână. Afirmația este susținută și de valoarea cea mai mică a dispersiei timpilor de bună funcționare. Pentru distribuțiile Weibull ecartul variază între 14,8-16,3 %, valori care sunt foarte apropiate. Valorile relativ apropiate ale ecarturilor susțin ideea că oricare dintre cele patru distribuții pot să caracterizeze foarte bine funcționalitatea plăcuțelor. Valoarea mică a dispersiei, respectiv abaterii standard a timpilor de utilizare a plăcuțelor arată omogenitatea producției de plăcuțe.

3. Conform figurii 2.24, probabilitatea ca plăcuțele să nu fie scoase din funcțiune după 1300 de ore de funcționare efectivă este de 80%. Altfel spus, trebuie să ne așteptăm, cu un nivel de încredere de 80%, că plăcuțele nu vor fi scoase din funcțiune după 1300 de ore. Această perioadă corespunde la o perioadă de funcționare efectivă de numai 3,25 luni pentru mașină, și de 6,5 luni pentru plăcuțe.

4. Pentru o perioadă de funcționare de 1500 ore, ceea ce corespunde la 7,5 luni calendaristice, fiabilitatea plăcuțelor devine egală cu nefiabilitatea, adică 50%. Valoarea corespunde mediei timpului de bună funcționare, și este confirmată de calculul indicatorului pentru legile de distribuție validate. Această valoare de 7,5 luni poate fi luată în considerare pentru includerea în programul de revizii verificarea integrității plăcuțelor, sau chiar înlocuirea acestora.

5. Scăderea fiabilității de la 80% la 50% corespunde unei durate de funcționare de 200 ore. Aceasta demonstrează că viteza de defectare este foarte mare, conform graficului densității de probabilitate a timpului de funcționare fiind de ordinul a 10^{-3} defectări/oră. Acest lucru este confirmat de panta mare a funcției fiabilității și de graficele densității de probabilitate și intensității de defectare.

6. Analiza variației intensității de defectare arată că practic până la 1000 ore de utilizare, respectiv cinci luni, plăcuțele de frână sunt sigure în stare corespunzătoare. După această perioadă apare un trend crescător al acesteia, mai lent la început, urmat de o creștere pronunțată. Valoarea acesteia de ordinul a 10^{-3} defectări/oră, pentru timpul mediu de funcționare este o valoare foarte mare. Acest lucru arată nivelul calitativ foarte scăzut a plăcuțelor.

7. Valorile indicatorilor de fiabilitate obținuți indică necesitatea măririi duratei de utilizare a plăcuțelor. Acest deziderat se poate realiza prin reconsiderarea construcției de ansamblu a plăcuțelor. Trebuie reconsiderat în primul rând calitatea materialului antifricțiune din construcția plăcuțelor.

CAPITOLUL III BAZA DE DATE PENTRU STUDIUL FMD AL TRANSPORTOARELOR CU BANDĂ PE ROLE

Obiectivul acestui capitol este de a stabili baza funcțională de date care să permită cuantificarea indicatorilor FMD pentru cele patru transportoare cu bandă pe role. Baza de date funcțională este formată din seriile statistice ce exprimă, pentru fiecare transportor, timpii dintre defecțiuni, precum și timpii de restabilire a fiecărei defecțiuni.

Datele primare sunt înregistrate pe o perioadă de șase luni. Ele cuprind, separat pentru cele patru transportoare, ziua și ora apariției defectului și ziua și ora remedierii acestuia. Aceste date, denumite date brute, provin din raportările zilnice ale opririlor, precum și din înregistrările comenzilor de lucru create de personalul de asigurare a mentenanței. Pentru carierele din bazinul Oltenia sunt create condițiile de înregistrare a acestor date primare la dispeceratele carierelor. Aceste date primare utilizate în studiul FMD sunt considerate date secundare. Aceasta înseamnă că datele sunt colectate de altcineva decât cei ce analizează fiabilitatea și mentenabilitatea. Datele sunt contabilizate în scopul general de furnizare de informații despre producție și mentenanță.

Baza de date primară permite determinarea timpilor cronologici dintre defecțiuni și a timpilor efectiv de efectuare a reparațiilor. Pentru evaluarea datelor primare se stabilesc seriile cronologice ale timpilor de funcționare între defecțiuni TBF_i , precum și ale timpilor de reparare TTR_i . De asemenea se stabilesc timpii cumulativi de funcționare $CTBF_i$ și de reparare $CTTR_i$.

Evaluarea seriilor cronologice ale timpilor operaționali

Evaluarea seriilor cronologice se realizează prin aplicarea testului de corelare de tendință a timpilor de funcționare și reparare, precum și a celui de corelare serială.

Testul de corelare de tendință se obține prin raportarea timpilor cumulativi de funcționare și de reparare la numărul total de defecțiuni. Dependența aproximativ liniară dintre date indică că acestea sunt distribuite identic. Aplicarea testului de corelare de tendință pentru cele patru transportoare arată că timpii funcționali sunt distribuiți identic. Acest lucru arată că aceștia pot fi cuantificați prin aceeași lege de distribuție

Testul de corelare serială, care cuantifică dispersia datelor consecutive, arată legătura care există între două defectări consecutive, sugerând dacă datele sunt independente sau nu. Aplicarea testului de corelare serială pentru cele patru transportoare arată că datele sunt independente. Acest lucru arată că nu există nici o legătură între două defectări consecutive, altfel spus, defectarea anterioară nu influențează defectarea viitoare.

Cele două teste de corelație permit utilizarea aceleași legi teoretice de distribuție ce guvernează manifestarea defectelor pentru cele patru transportoare cu bandă pe role. Repartițiile analizează timpii până la defectare sau dintre defecțiuni, precum și timpii de reparare sau de restabilire a funcționării transportoarelor.

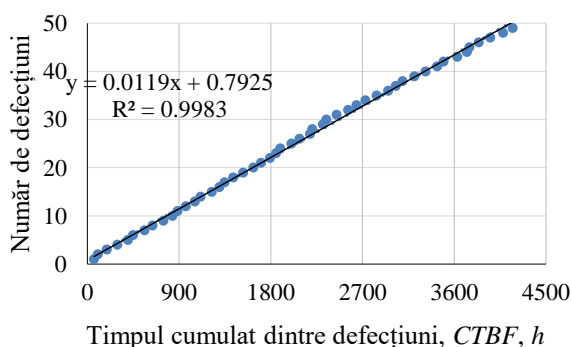


Fig. 3.3. Testul de corelare de tendință a timpilor TBF_i , TB-1

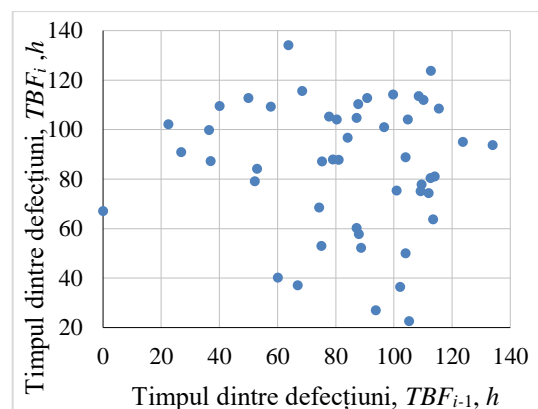


Fig. 3.4. Testul de corelare serială a timpilor dintre defecțiuni TBF_i , TB-1

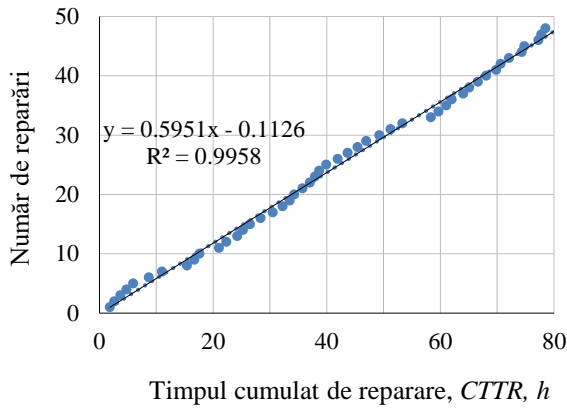


Fig. 3.5. Testul de corelare de tendință a timpilor TTR_i , TB-1

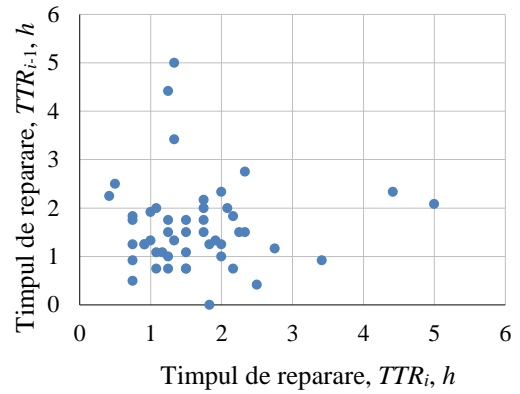


Fig. 3.6. Testul de corelare serială a timpilor de reparare TTR_i , TB-1

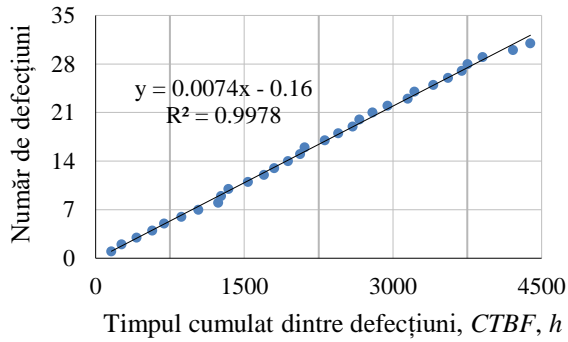


Fig. 3.7. Testul de corelare de tendință a timpilor TBF_i , TB-2

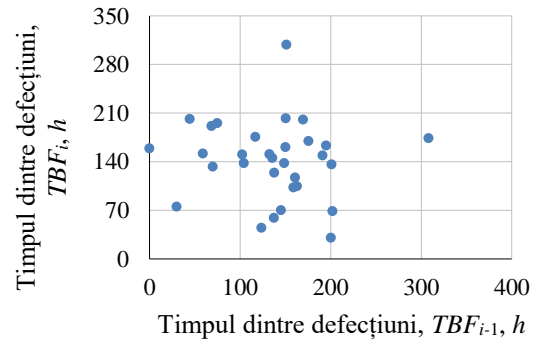


Fig. 3.8. Testul de corelare serială a timpilor TBF_i , TB-2

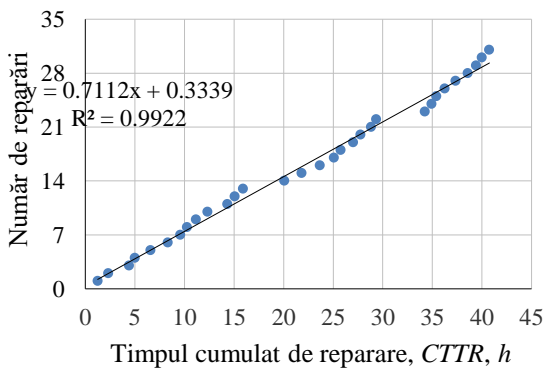


Fig. 3.9. Testul de corelare de tendință a timpilor TTR_i , TB-2

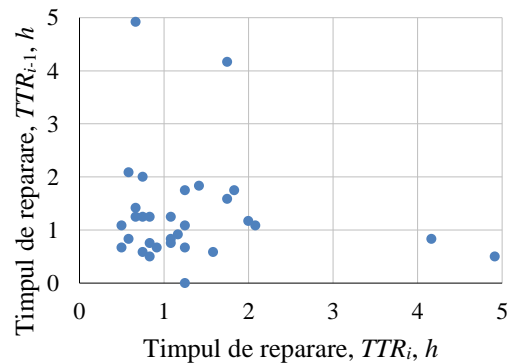


Fig. 3.10. Testul de corelare serială a timpilor TTR_i , TB-2

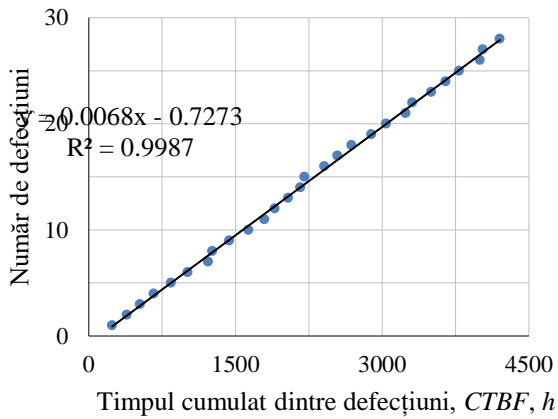


Fig. 3.11. Testul de corelare de tendință a timpilor TBF_i , TB-3

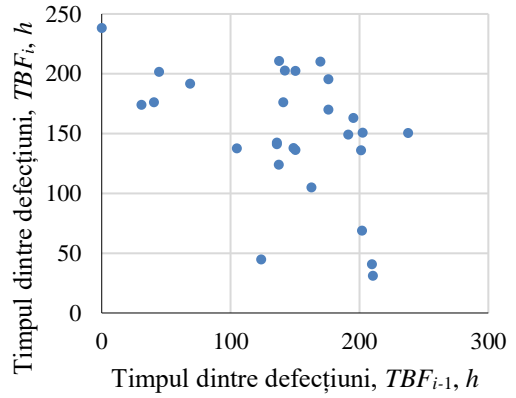


Fig. 3.12. Testul de corelare serială a timpilor TBF_i , TB-3

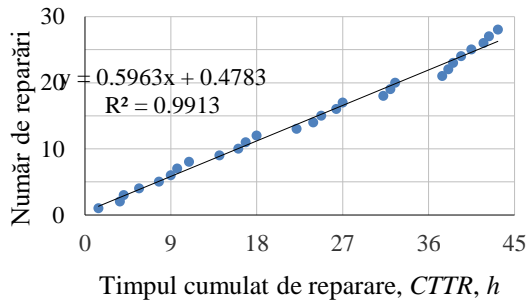


Fig. 3.13. Testul de corelare de tendință a timpilor TTR_i , TB-3

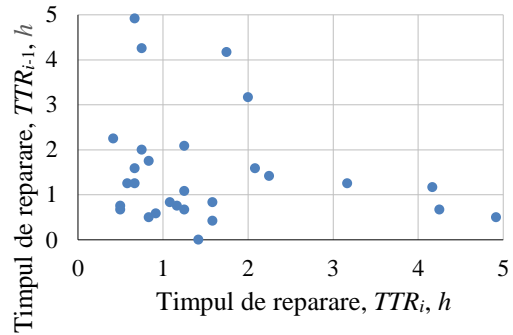


Fig. 3.14. Testul de corelare serială a timpilor TTR_i , TB-3

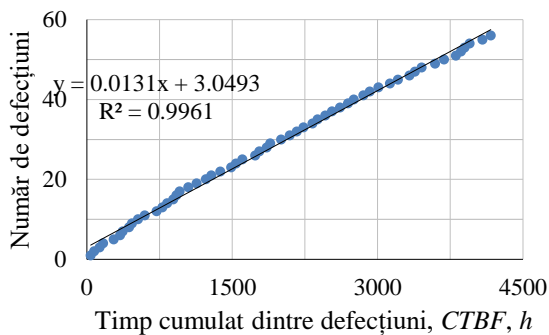


Fig. 3.15. Testul de corelare de tendință a timpilor TBF_i , TB-4

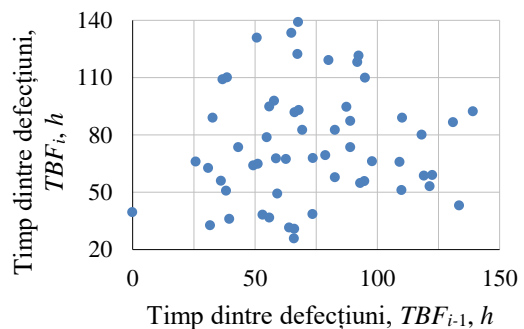


Fig. 3.16. Testul de corelare serială a timpilor TBF_i , TB-4

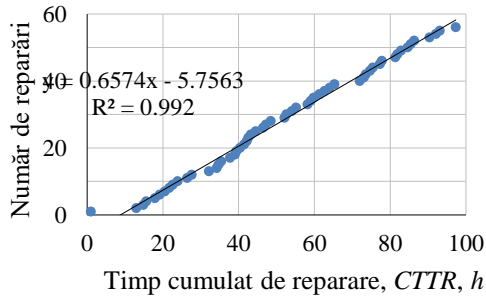


Fig. 3.17. Testul de corelare de tendință a timpilor TTR_i , TB-4

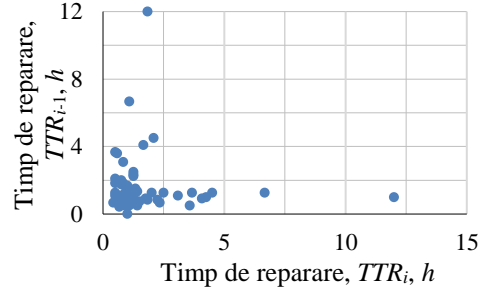


Fig. 3.18. Testul de corelare serială a timpilor TTR_i , TB-4

Repartiția defectărilor transportoarelor cu bandă pe role

Tabelul 3.13. Transportorul cu bandă TB-1. Seria statistică a timpilor dintre defecțiuni, TBF_i, t_i . Funcția empirică de repartiție $\hat{F}(t_i)$

i	TBF_i, t_i, h	$\hat{F}(t_i)$	i	TBF_i, t_i, h	$\hat{F}(t_i)$	i	TBF_i, t_i, h	$\hat{F}(t_i)$	i	TBF_i, t_i, h	$\hat{F}(t_i)$
1	22,500	0,014170	14	74,333	0,277328	27	90,833	0,540486	40	109,500	0,803644
2	26,917	0,034413	15	75,083	0,297571	28	93,750	0,560729	41	110,250	0,823887
3	36,416	0,054656	16	75,333	0,317814	29	95,000	0,580972	42	111,917	0,844130
4	37,000	0,074899	17	77,750	0,338057	30	96,667	0,601215	43	112,667	0,864372
5	40,083	0,095142	18	79,083	0,358300	31	99,750	0,621457	44	112,750	0,884615
6	50,000	0,115385	19	80,333	0,378543	32	101,000	0,641700	45	113,500	0,904858
7	52,167	0,135628	20	81,083	0,398785	33	102,167	0,661943	46	114,084	0,925101
8	52,917	0,155870	21	84,083	0,419028	34	104,000	0,682186	47	115,500	0,945344
9	57,750	0,176113	22	87,167	0,439271	35	104,083	0,702429	48	123,750	0,965587
10	60,167	0,196356	23	87,250	0,459514	36	104,750	0,722672	49	134,000	0,985830
11	63,750	0,216599	24	87,750	0,479757	37	105,250	0,742915			
12	67,000	0,236842	25	87,917	0,500000	38	108,500	0,763158			
13	68,500	0,257085	26	88,750	0,520243	39	109,250	0,783401			

Tabelul 3.14. Transportorul cu bandă TB-1. Valorile estimate ale parametrilor legilor teoretice de repartiție a timpilor dintre defecțiuni, TBF_i

Distribuția	Parametru					
	$\lambda(t), h^{-1}$	$m(t), h$	$\sigma(t), h$	$\beta(t)$	$\eta(t), h$	$\gamma(t), h$
Exponențială negativă, Ep	$1,304 \cdot 10^{-2}$					
Normală normată, Nv		85,184	26,591			
Weibull biparametrică, Wp				3,022	96,143	
Weibull biparametrică, Wv				3,031	91,669	
Weibull triparametrică, Wm				3,553	94,598	4,278E-09

Tabelul 3.15. Transportorul cu bandă TB-1. Testarea legilor teoretice de repartiție a timpilor dintre defecțiuni

Distribuția, simbol	Funcția de repartiție, $F(t)$	Testul K-S, $D_{max} < D_{cr} = D_{\alpha, 49}$			
		Abaterea maximă, D_{max}	Riscul, α , %	Valoarea critică, $D_{cr} = D_{\alpha, 49}$	Validare
Exponențială, Ep	$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-1,304 \cdot 10^{-2} t}$ (3.1)	0,383877	0,5	$D_{\alpha,49} = \mathbf{0,242772}$	NU
Normală, Nv	$F(t) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-85,184}{26,591}\right)$ (3.2)	0,110700	20	$D_{\alpha,49} = \mathbf{0,149870}$	DA
	$F(t) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-85,184}{26,591}\right)$ (3.3)		0,5	$D_{\alpha,49} = 0,242772$	
Weibull biparametrică, Wp	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{96,143}\right)^{3,022}}$ (3.4)	0,131562	20	$D_{\alpha,49} = \mathbf{0,149870}$	DA
			0,5	$D_{\alpha,49} = 0,242772$	
Weibull biparametrică, Wv	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{91,669}\right)^{3,031}}$ (3.5)	0,157141	10	$D_{\alpha,19} = \mathbf{0,171279}$	DA
			0,5	$D_{\alpha,49} = 0,242772$	
Weibull triparametrică, Wm	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t-4,278E-09}{94,598}\right)^{3,553}}$ (3.6)	0,107523	20	$D_{\alpha,49} = \mathbf{0,149870}$	DA
			0,5	$D_{\alpha,49} = 0,242772$	

Tabelul 3.16. Transportorul cu bandă TB-1. Seria statistică a timpilor de reparare, TTR_i, tr_i . Funcția empirică de repartiție $\hat{M}(tr_i)$

i	TTR_i, tr_i, h	$\hat{M}(tr_i)$	i	TTR_i, tr_i, h	$\hat{M}(tr_i)$	i	TTR_i, tr_i, h	$\hat{M}(tr_i)$	i	TTR_i, tr_i, h	$\hat{M}(tr_i)$
1	0,417	0,014170	14	1,083	0,277328	27	1,500	0,540486	40	2,167	0,803644
2	0,500	0,034413	15	1,167	0,297571	28	1,500	0,560729	41	2,167	0,823887
3	0,750	0,054656	16	1,250	0,317814	29	1,750	0,580972	42	2,250	0,844130
4	0,750	0,074899	17	1,250	0,338057	30	1,750	0,601215	43	2,333	0,864372
5	0,750	0,095142	18	1,250	0,358300	31	1,750	0,621457	44	2,333	0,884615
6	0,750	0,115385	19	1,250	0,378543	32	1,750	0,641700	45	2,500	0,904858
7	0,750	0,135628	20	1,250	0,398785	33	1,833	0,661943	46	2,750	0,925101
8	0,917	0,155870	21	1,333	0,419028	34	1,833	0,682186	47	3,417	0,945344
9	0,917	0,176113	22	1,333	0,439271	35	1,917	0,702429	48	4,417	0,965587
10	1,000	0,196356	23	1,333	0,459514	36	2,000	0,722672	49	5,000	0,985830
11	1,000	0,216599	24	1,500	0,479757	37	2,000	0,742915			
12	1,083	0,236842	25	1,500	0,500000	38	2,000	0,763158			
13	1,083	0,257085	26	1,500	0,520243	39	2,083	0,783401			

Tabelul 3.17. Transportorul cu bandă pe role TB-1. Valorile estimate ale parametrilor legilor teoretice de repartiție a timpilor de reparare

Distribuția	Parametru												
	$\mu(tr), h^{-1}$	$m(tr), h$	$\sigma(tr), h$	$m(lgtr), h$	$t_{med}(lgtr), h$	$\sigma(lgtr)$	$\beta(tr)$	$\eta(tr), h$	$\beta(tr)$	$\eta(tr), h$	$\beta(tr)_r$	$\eta(tr), h$	$\gamma(tr), h$
Exponențială, Ep	0,691												
Normală, Nv		1,646	0,886										
Lognormală, LNv				0,376	1,457	0,499							
Weibull biparametrică normată, Wp							2,378	1,844					
Weibull biparametrică normată, Wv									2,022	1,882			
Weibull triparametrică, Wm											1,935	1,856	2,148E-10

Tabelul 3.18. Transportorul cu bandă pe role TB-1. Testarea legilor teoretice de repartiție a timpilor de reparare

Distribuția, simbol	Funcția de repartiție, $M(tr)$	Testul K-S, $D_{max} < D_{cr} = D_{\alpha, 49}$			
		Abaterea maximă, D_{max}	Riscul, α , %	Valoarea critică, $D_{cr} = D_{\alpha, 49}$	Validare
Exponențială, Ep	$M(tr) = 1 - e^{-\mu tr} = 1 - e^{-0,691 tr}$ (3.7)	0,370109	0,5	$D_{\alpha,49} = \mathbf{0,242772}$	NU
Normală normată, Nv	$M(tr) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{tr-m}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{tr-1,646}{0,886}\right)$ (3.8)	0,126248	20	$D_{\alpha,49} = \mathbf{0,149870}$	DA
	$M(tr) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{tr-m}{\sigma}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{tr-1,646}{0,886}\right)$ (3.9)		0,5	$D_{\alpha,49} = 0,242772$	
Lognormală normată, LNv	$M(tr) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\ln tr - m}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\ln tr - 0,376}{0,499}\right)$ (3.10)	0,082644	20	$D_{\alpha,49} = \mathbf{0,149870}$	DA
	$M(tr) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{1}{\sigma} \ln \frac{tr}{t_{med}}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{1}{0,499} \ln \frac{tr}{1,457}\right)$ (3.11)		0,5	$D_{\alpha,49} = 0,242772$	
Weibull biparametrică, Wp	$M(tr) = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{1,844}\right)^{2,378}}$ (3.12)	0,103087	20 0,5	$D_{\alpha,49} = \mathbf{0,149870}$ $D_{\alpha,49} = 0,242772$	DA
Weibull biparametrică, Wv	$M(tr) = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{1,882}\right)^{2,022}}$ (3.13)	0,109716	20 0,5	$D_{\alpha,49} = \mathbf{0,149870}$ $D_{\alpha,49} = 0,242772$	DA
Weibull triparametrică, Wm	$M(tr) = 1 - e^{-\left(\frac{tr-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{tr-2,148E-10}{1,856}\right)^{1,935}}$ (3.14)	0,124559	20 0,5	$D_{\alpha,49} = \mathbf{0,149870}$ $D_{\alpha,49} = 0,242772$	DA

Tabelul 3.19. Transportorul cu bandă pe role TB-2. Seria statistică a timpilor dintre defecțiuni, TBF_i, t_i . Funcția empirică de repartiție $\hat{F}(t_i)$

i	TBF_i, t_i, h	$\hat{F}(t_i)$	i	TBF_i, t_i, h	$\hat{F}(t_i)$	i	TBF_i, t_i, h	$\hat{F}(t_i)$	i	TBF_i, t_i, h	$\hat{F}(t_i)$
1	30,250	0,022293	9	117,167	0,277070	17	150,167	0,531847	25	175,750	0,786624
2	44,500	0,054140	10	123,750	0,308917	18	150,500	0,563694	26	191,417	0,818471
3	59,167	0,085987	11	132,583	0,340764	19	151,416	0,595541	27	195,250	0,850318
4	68,667	0,117834	12	135,917	0,372611	20	159,083	0,627389	28	200,500	0,882166
5	69,917	0,149682	13	137,667	0,404459	21	160,833	0,659236	29	201,333	0,914013
6	74,917	0,181529	14	137,917	0,436306	22	163,083	0,691083	30	202,083	0,945860
7	102,667	0,213376	15	145,250	0,468153	23	169,667	0,722930	31	308,340	0,977707
8	104,500	0,245223	16	148,916	0,500000	24	173,916	0,754777			

Tabelul 3.20. Transportorul cu bandă pe role TB-2. Valorile estimate ale parametrilor legilor teoretice de repartiție a timpilor dintre defecțiuni, TBF_i

Distribuția	Parametru					
	$\lambda(t), h^{-1}$	$m(t), h$	$\sigma(t), h$	$\beta(t)$	$\eta(t), h$	$\gamma(t), h$
Exponențială negativă, Ep	$7,896 \cdot 10^{-3}$					
Normală normată, Nv		141,519	56,505			
Weibull biparametrică, Wp				2,391	161,799	
Weibull biparametrică, Wv				2,355	154,278	
Weibull triparametrică, Wm				2,701	201,020	-39,494

Tabelul 3.21. Transportorul cu bandă pe role TB-2. Testarea legilor teoretice de repartiție a timpilor dintre defecțiuni

Distribuția, simbol	Funcția de repartiție, $F(t)$	Testul de validare K-S, $D_{max} < D_{cr} = D_{\alpha, 49}$			
		Abaterea maximă, D_{max}	Riscul, α , %	Valoarea critică, $D_{cr} = D_{\alpha, 31}$	Validare
Exponențială, Ep	$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-7,896 \cdot 10^{-3} t}$ (3.15)	0,373916	0,5	$D_{\alpha,31} = \mathbf{0,303328}$	NU
Normală, Nv	$F(t) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-141,519}{56,505}\right)$ (3.16)	0,128254	20	$D_{\alpha,31} = \mathbf{0,187316}$	DA
	$F(t) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-141,519}{56,505}\right)$ (3.17)		0,5	$D_{\alpha,31} = 0,303328$	
Weibull biparametrică, Wp	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{161,799}\right)^{2,391}}$ (3.18)	0,153746	20	$D_{\alpha,31} = \mathbf{0,187316}$	DA
			0,5	$D_{\alpha,31} = 0,303328$	
Weibull biparametrică, Wv	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{154,278}\right)^{2,355}}$ (3.19)	0,194417	10	$D_{\alpha,31} = \mathbf{0,214125}$	DA
			0,5	$D_{\alpha,31} = 0,303328$	
Weibull triparametrică, Wm	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t+39,494}{201,020}\right)^{2,701}}$ (3.20)	0,172736	20	$D_{\alpha,31} = \mathbf{0,187316}$	DA
			0,5	$D_{\alpha,31} = 0,303328$	

Tabelul 3.22. Transportorul cu bandă pe role TB-2. Seria statistică a timpilor de reparare, TTR_i, tr_i . Funcția empirică de repartiție $\hat{M}(tr_i)$

i	TTR_i, tr_i, h	$\hat{M}(tr_i)$	i	TTR_i, tr_i, h	$\hat{M}(tr_i)$	i	TTR_i, tr_i, h	$\hat{M}(tr_i)$	i	TTR_i, tr_i, h	$\hat{M}(tr_i)$
1	0,500	0,022293	9	0,750	0,277070	17	1,083	0,531847	25	1,750	0,786624
2	0,500	0,054140	10	0,750	0,308917	18	1,167	0,563694	26	1,750	0,818471
3	0,583	0,085987	11	0,833	0,340764	19	1,250	0,595541	27	1,833	0,850318
4	0,583	0,117834	12	0,833	0,372611	20	1,250	0,627389	28	2,000	0,882166
5	0,667	0,149682	13	0,833	0,404459	21	1,250	0,659236	29	2,083	0,914013
6	0,667	0,181529	14	0,917	0,436306	22	1,250	0,691083	30	4,167	0,945860
7	0,667	0,213376	15	1,083	0,468153	23	1,417	0,722930	31	4,917	0,977707
8	0,750	0,245223	16	1,083	0,500000	24	1,583	0,754777			

Tabelul 3.23. Transportorul cu bandă pe role TB-2. Valorile estimate ale parametrilor legilor teoretice de repartiție a timpilor de reparare

Distribuția	Parametru												
	$\mu(tr), h^{-1}$	$m(tr), h$	$\sigma(tr), h$	$m(lgtr), h$	$t_{med}(lgtr), h$	$\sigma(lgtr)$	$\beta(tr)$	$\eta(tr), h$	$\beta(tr)$	$\eta(tr), h$	$\beta(tr)_r$	$\eta(tr), h$	$\gamma(tr), h$
Exponențială, Ep	0,790												
Normală, Nv		1,314	0,976										
Lognormală, LNv				0,100	1,105	0,555							
Weibull biparametrică, Wp							1,867	1,284					
Weibull biparametrică, Wv									1,573	1,482			
Weibull triparametrică, Wm											1,362	1,436	1,73E-12

Tabelul 3.24. Transportorul cu bandă pe role TB-2. Testarea legilor teoretice de repartiție a timpilor de reparare

Distribuția, simbol	Funcția de repartiție, $M(tr)$	Testul K-S, $D_{max} < D_{cr} = D_{\alpha, 31}$			
		Abaterea maximă, D_{max}	Riscul, $\alpha, \%$	Valoarea critică, $D_{cr} = D_{\alpha, 31}$	Validare
Exponențială, Ep	$M(tr) = 1 - e^{-\mu tr} = 1 - e^{-0,790 tr}$ (3.21)	0,326176	0,5	$D_{\alpha,31} = \mathbf{0,303328}$	NU
Normală, Nv	$M(tr) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{tr-m}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{tr-1,314}{0,976}\right)$ (3.22)	0,217425	5	$D_{\alpha,31} = \mathbf{0,237884}$	DA
	$M(tr) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{tr-m}{\sigma}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{tr-1,314}{0,976}\right)$ (3.23)		0,5	$D_{\alpha,31} = 0,303328$	
Lognormală, LNv	$M(tr) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\ln tr - m}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\ln tr - 0,100}{0,555}\right)$ (3.24)	0,103029	20	$D_{\alpha,31} = \mathbf{0,187316}$	DA
	$M(tr) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{1}{\sigma} \ln \frac{tr}{t_{med}}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{1}{0,555} \ln \frac{tr}{1,105}\right)$ (3.25)		0,5	$D_{\alpha,31} = \mathbf{0,303328}$	
Weibull biparametrică, Wp	$M(tr) = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{1,284}\right)^{1,867}}$ (3.26)	0,157795	20 0,5	$D_{\alpha,31} = \mathbf{0,187316}$ $D_{\alpha,31} = \mathbf{0,303328}$	DA
Weibull biparametrică, Wv	$M(tr) = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{1,482}\right)^{1,573}}$ (3.27)	0,165634	20 0,5	$D_{\alpha,31} = \mathbf{0,187316}$ $D_{\alpha,31} = 0,303328$	DA
Weibull triparametrică, Wm	$M(tr) = 1 - e^{-\left(\frac{tr-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{tr+1,73E-12}{1,436}\right)^{1,362}}$ (3.28)	0,211507	10 0,5	$D_{\alpha,31} = \mathbf{0,214125}$ $D_{\alpha,31} = \mathbf{0,303328}$	DA

Tabelul 3.25. Transportorul cu bandă pe role TB-3. Seria statistică a timpilor dintre defecțiuni, TBF_i, t_i . Funcția empirică de repartiție $\hat{F}(t_i)$

i	TBF_i, t_i, h	$\hat{F}(t_i)$	i	TBF_i, t_i, h	$\hat{F}(t_i)$	i	TBF_i, t_i, h	$\hat{F}(t_i)$	i	TBF_i, t_i, h	$\hat{F}(t_i)$
1	30,834	0,024648	8	136,000	0,271127	15	150,500	0,517606	22	195,250	0,764085
2	40,583	0,059859	9	137,417	0,306338	16	162,750	0,552817	23	201,333	0,799296
3	44,500	0,095070	10	137,667	0,341549	17	169,667	0,588028	24	202,083	0,834507
4	68,667	0,130282	11	140,834	0,376761	18	173,750	0,623239	25	202,500	0,869718
5	104,833	0,165493	12	142,250	0,411972	19	175,917	0,658451	26	209,833	0,904930
6	123,750	0,200704	13	148,916	0,447183	20	176,083	0,693662	27	210,583	0,940141
7	135,917	0,235915	14	150,333	0,482394	21	191,417	0,728873	28	237,917	0,975352

Tabelul 3.26. Transportorul cu bandă pe role TB-3. Valorile estimate ale parametrilor legilor teoretice de repartiție a timpilor dintre defecțiuni, TBF_i

Distribuția	Parametru					
	$\lambda(t), h^{-1}$	$m(t), h$	$\sigma(t), h$	$\beta(t)$	$\eta(t), h$	$\gamma(t), h$
Exponențială negativă, Ep	$7,263 \cdot 10^{-3}$					
Normală normată, Nv		150,074	53,337			
Weibull biparametrică normată, Wp				2,181	175,319	
Weibull biparametrică normată, Wv				2,438	159,828	
Weibull triparametrică, Wm				3,076	167,872	1,121E-06

Tabelul 3.27. Transportorul cu bandă pe role TB-3. Testarea legilor teoretice de repartiție a timpilor dintre defecțiuni TBF_i

Distribuția, simbol	Funcția de repartiție, $F(t)$	Testul K-S, $D_{max} < D_{cr} = D_{\alpha, 28}$			
		Abaterea maximă, D_{max}	Riscul, α , %	Valoarea critică, $D_{cr} = D_{\alpha, 28}$	Validare
Exponențială, Ep	$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-7,263 \cdot 10^{-3} t}$ (3.29)	0,427435	0,5	$D_{\alpha, 28} = \mathbf{0,318625}$	NU
Normală, Nv	$F(t) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-150,074}{53,337}\right)$ (3.30)	0,194633	20	$D_{\alpha, 28} = \mathbf{0,196798}$	DA
	$F(t) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-150,074}{53,337}\right)$ (3.31)		0,5	$D_{\alpha, 28} = 0,318625$	
Weibull biparametrică, Wp	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{175,319}\right)^{2,181}}$ (3.32)	0,236001	5	$D_{\alpha, 28} = \mathbf{0,249934}$	DA
			0,5	$D_{\alpha, 28} = 0,318625$	
Weibull biparametrică, Wv	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{159,828}\right)^{2,438}}$ (3.33)	0,289451	1	$D_{\alpha, 28} = \mathbf{0,299707}$	DA
			0,5	$D_{\alpha, 28} = 0,318625$	
Weibull triparametrică, Wm	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t-1,121E-06}{167,872}\right)^{3,076}}$ (3.34)	0,206150	10	$D_{\alpha, 28} = \mathbf{0,224974}$	DA
			0,5	$D_{\alpha, 28} = 0,318625$	

Tabelul 3.28. Transportorul cu bandă TB-3. Seria statistică a timpilor de reparare, TTR_i, tr_i . Funcția empirică de repartiție $\hat{M}(tr_i)$

i	TTR_i, tr_i, h	$\hat{M}(tr_i)$	i	TTR_i, tr_i, h	$\hat{M}(tr_i)$	i	TTR_i, tr_i, h	$\hat{M}(tr_i)$	i	TTR_i, tr_i, h	$\hat{M}(tr_i)$
1	0,417	0,024648	8	0,750	0,271127	15	1,250	0,517606	22	2,000	0,764085
2	0,500	0,059859	9	0,750	0,306338	16	1,250	0,552817	23	2,083	0,799296
3	0,500	0,095070	10	0,833	0,341549	17	1,250	0,588028	24	2,250	0,834507
4	0,583	0,130282	11	0,833	0,376761	18	1,417	0,623239	25	3,167	0,869718
5	0,667	0,165493	12	0,917	0,411972	19	1,583	0,658451	26	4,167	0,904930
6	0,667	0,200704	13	1,083	0,447183	20	1,583	0,693662	27	4,250	0,940141
7	0,667	0,235915	14	1,167	0,482394	21	1,750	0,728873	28	4,917	0,975352

Tabelul 3.29. Transportorul cu bandă pe role TB-3. Valorile estimate ale parametrilor legilor teoretice de repartiție a timpilor de reparare TTR_i

Distribuția	Parametru												
	$\mu(tr), h^{-1}$	$m(tr), h$	$\sigma(tr), h$	$m(lgtr), h$	$t_{med}(lgtr), h$	$\sigma(lgtr)$	$\beta(tr)$	$\eta(tr), h$	$\beta(tr)$	$\eta(tr), h$	$\beta(tr)_r$	$\eta(tr), h$	$\gamma(tr), h$
Exponențială, Ep	0,667												
Normală, Nv		1,545	1,205										
Lognormală, LNv				0,198	1,219	0,677							
Weibull biparametrică, Wp							1,649	1,703					
Weibull biparametrică, Wv									1,437	1,978			
Weibull triparametrică, Wm											1,292	1,670	5,035E-10

Tabelul 3.30. Transportorul cu bandă pe role TB-3. Testarea legilor teoretice de repartiție a timpilor de reparare

Distribuția, simbol	Funcția de repartiție, $M(tr)$	Testul de validare K-S, $D_{max} < D_{cr} = D_{\alpha, 28}$			
		Abaterea maximă, D_{max}	Riscul, α , %	Valoarea critică, $D_{cr} = D_{\alpha, 28}$	Validare
Exponențială, Ep	$M(tr) = 1 - e^{-\mu tr} = 1 - e^{-0,667 tr}$ (3.35)	0,259028	2,5	$D_{\alpha;28} = \mathbf{0,272545}$	DA
			0,5	$D_{\alpha;28} = 0,318625$	
Normală, Nv	$M(tr) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{tr-m}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{tr-1,545}{1,205}\right)$ (3.36)	0,184591	20	$D_{\alpha;28} = \mathbf{0,196798}$	NU
	$M(tr) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{tr-m}{\sigma}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{tr-1,545}{1,205}\right)$ (3.37)		0,5	$D_{\alpha;28} = 0,318625$	
Lognormală, LNv	$M(tr) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\ln tr-m}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\ln tr-0,198}{0,667}\right)$ (3.38)	0,095652	20	$D_{\alpha;28} = \mathbf{0,196798}$	DA
	$M(tr) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{1}{\sigma} \ln \frac{tr}{t_{med}}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{1}{0,677} \ln \frac{tr}{1,219}\right)$ (3.39)		0,5	$D_{\alpha;28} = 0,318625$	
Weibull biparametrică, Wp	$M(tr) = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{1,703}\right)^{1,649}}$ (3.40)	0,136695	20	$D_{\alpha;28} = \mathbf{0,196798}$	DA
			0,5	$D_{\alpha;28} = 0,318625$	
Weibull biparametrică, Wv	$M(tr) = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{1,978}\right)^{1,437}}$ (3.41)	0,184247	20	$D_{\alpha;28} = \mathbf{0,196798}$	DA
			0,5	$D_{\alpha;28} = 0,318625$	
Weibull triparametrică, Wm	$M(tr) = 1 - e^{-\left(\frac{tr-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{tr+5,035E-10}{1,670}\right)^{1,292}}$ (3.42)	0,165202	20	$D_{\alpha;28} = \mathbf{0,196798}$	DA
			0,5	$D_{\alpha;28} = 0,318625$	

Tabelul 3.31. Transportorul cu bandă pe role TB-4. Seria statistică a timpilor dintre defecțiuni, TBF_i, t_i . Funcția empirică de repartiție $\hat{F}(t_i)$

i	TBF_i, t_i, h	$\hat{F}(t_i)$	i	TBF_i, t_i, h	$\hat{F}(t_i)$	i	TBF_i, t_i, h	$\hat{F}(t_i)$	i	TBF_i, t_i, h	$\hat{F}(t_i)$
1	25,833	0,012411	15	54,833	0,260638	29	68,000	0,508865	43	93,083	0,757092
2	31,000	0,030142	16	55,916	0,278369	30	69,416	0,526596	44	94,750	0,774823
3	31,667	0,047872	17	56,000	0,296099	31	73,583	0,544326	45	95,000	0,792553
4	32,750	0,065603	18	57,917	0,313830	32	73,667	0,562057	46	97,917	0,810284
5	36,167	0,083333	19	58,667	0,331560	33	78,834	0,579787	47	109,250	0,828014
6	36,833	0,101064	20	59,167	0,349291	34	80,166	0,597518	48	110,000	0,845745
7	38,250	0,118794	21	62,750	0,367021	35	82,750	0,615248	49	110,250	0,863475
8	38,667	0,136525	22	64,083	0,384752	36	82,750	0,632979	50	118,250	0,881206
9	39,583	0,154255	23	65,000	0,402482	37	86,667	0,650709	51	119,167	0,898936
10	43,250	0,171986	24	66,000	0,420213	38	87,417	0,668440	52	121,500	0,916667
11	49,333	0,189716	25	66,167	0,437943	39	89,000	0,686170	53	122,500	0,934397
12	50,833	0,207447	26	66,333	0,455674	40	89,000	0,703901	54	131,000	0,952128
13	51,167	0,225177	27	67,500	0,473404	41	91,917	0,721631	55	133,500	0,969858
14	53,167	0,242908	28	67,750	0,491135	42	92,500	0,739362	56	139,166	0,987589

Tabelul 3.32. Transportorul cu bandă pe role TB-4. Valorile estimate ale parametrilor legilor teoretice de repartiție a timpilor dintre defecțiuni, TBF_i

Distribuția	Parametru					
	$\lambda(t), h^{-1}$	$m(t), h$	$\sigma(t), h$	$\beta(t)$	$\eta(t), h$	$\gamma(t), h$
Exponențială negativă, Ep	$1,545 \cdot 10^{-2}$					
Normală normată, Nv		74,421	29,094			
Weibull biparametrică normată, Wp				2,897	83,367	
Weibull biparametrică normată, Wv				2,984	84,833	
Weibull triparametrică, Wm				2,766	83,616	6,013E-08

Tabelul 3.33. Transportorul cu bandă pe role TB-4. Testarea legilor teoretice de repartiție a timpilor dintre defecțiuni TBF_i

Distribuția, simbol	Funcția de repartiție, $F(t)$	Testul de validare K-S, $D_{max} < D_{cr} = D_{\alpha, 56}$			
		Abaterea maximă, D_{max}	Riscul, $\alpha, \%$	Valoarea critică, $D_{cr} = D_{\alpha, 56}$	Validare
Exponențială, Ep	$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-1,545 \cdot 10^{-2} t}$ (3.43)	0,368232	0,5	$D_{\alpha, 56} = \mathbf{0,227425}$	NU
Normală, Nv	$F(t) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-74,421}{29,094}\right)$ (3.44)	0,096204	20	$D_{\alpha, 56} = \mathbf{0,140398}$	DA
	$F(t) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-74,421}{29,094}\right)$ (3.45)		0,5	$D_{\alpha, 56} = 0,227425$	
Weibull biparametrică, Wp	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{83,367}\right)^{2,897}}$ (3.46)	0,083422	20 0,5	$D_{\alpha, 56} = \mathbf{0,140398}$ $D_{\alpha, 56} = 0,227425$	DA
Weibull biparametrică, Wv	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{84,833}\right)^{2,984}}$ (3.47)	0,105281	20 0,5	$D_{\alpha, 56} = \mathbf{0,140398}$ $D_{\alpha, 56} = 0,227425$	DA
Weibull triparametrică, Wm	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t-1,121E-06}{83,616}\right)^{2,766}}$ (3.48)	0,077472	20 0,5	$D_{\alpha, 56} = \mathbf{0,140398}$ $D_{\alpha, 56} = 0,227425$	DA

Tabelul 3.34. Transportorul cu bandă pe role TB-4. Seria statistică a timpilor de reparare, TTR_i, tr_i . Funcția empirică de repartiție $\hat{M}(tr_i)$

i	TTR_i, tr_i, h	$\hat{M}(tr_i)$	i	TTR_i, tr_i, h	$\hat{M}(tr_i)$	i	TTR_i, tr_i, h	$\hat{M}(tr_i)$	i	TTR_i, tr_i, h	$\hat{M}(tr_i)$
1	0,417	0,012411	15	0,833	0,260638	29	1,250	0,508865	43	1,833	0,757092
2	0,500	0,030142	16	0,833	0,278369	30	1,250	0,526596	44	2,000	0,774823
3	0,500	0,047872	17	0,917	0,296099	31	1,250	0,544326	45	2,083	0,792553
4	0,500	0,065603	18	0,917	0,313830	32	1,250	0,562057	46	2,250	0,810284
5	0,500	0,083333	19	0,917	0,331560	33	1,250	0,579787	47	2,333	0,828014
6	0,500	0,101064	20	0,917	0,349291	34	1,250	0,597518	48	2,500	0,845745
7	0,583	0,118794	21	1,000	0,367021	35	1,333	0,615248	49	3,083	0,863475
8	0,667	0,136525	22	1,000	0,384752	36	1,333	0,632979	50	3,583	0,881206
9	0,667	0,154255	23	1,083	0,402482	37	1,417	0,650709	51	3,667	0,898936
10	0,667	0,171986	24	1,083	0,420213	38	1,417	0,668440	52	4,083	0,916667
11	0,750	0,189716	25	1,083	0,437943	39	1,500	0,686170	53	4,250	0,934397
12	0,750	0,207447	26	1,083	0,455674	40	1,667	0,703901	54	4,500	0,952128
13	0,750	0,225177	27	1,250	0,473404	41	1,750	0,721631	55	6,667	0,969858
14	0,833	0,242908	28	1,250	0,491135	42	1,833	0,739362	56	12,000	0,987589

Tabelul 3.35. Transportorul cu bandă pe role TB-4. Valorile estimate ale parametrilor legilor teoretice de repartiție a timpilor de reparare TTR_i

Distribuția	Parametru												
	$\mu(tr),$ h^{-1}	$m(tr),$ h	$\sigma(tr),$ h	$m(lgtr),$ h	$t_{med}(lgtr),$ h	$\sigma(lgtr)$	$\beta(tr)$	$\eta(tr),$ h	$\beta(tr)$	$\eta(tr),$ h	$\beta(tr)_r$	$\eta(tr),$ h	$\gamma(tr),$ h
Exponențială, Ep	0,515												
Normală, Nv		1,738	1,844										
Lognormală, LNv				0,262	1,299	0,697							
Weibull biparametrică, Wp							1,595	1,848					
Weibull biparametrică, Wv									1,226	1,883			
Weibull triparametrică, Wm											0,943	1,692	5,87 E-09

Tabelul 3.36. Transportorul cu bandă pe role TB-4. Testarea legilor teoretice de repartiție a timpilor de reparare

Distribuția, simbol	Funcția de repartiție, $M(tr)$	Testul de validare K-S, $D_{max} < D_{cr} = D_{\alpha, 56}$			
		Abaterea maximă, D_{max}	Riscul, $\alpha, \%$	Valoarea critică, $D_{cr} = D_{\alpha, 56}$	Validare
Exponențială, Ep	$M(tr) = 1 - e^{-\mu tr} = 1 - e^{-0,515 tr}$ (3.49)	0,214684	0,5	$D_{\alpha,56} = 0,227425$	DA
Normală, Nv	$M(tr) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{tr-m}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{tr-1,738}{1,844}\right)$ (3.50)	0,238531	0,5	$D_{\alpha,56} = 0,227425$	NU
	$M(tr) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{tr-m}{\sigma}\right) =$ $= \text{NORMSDIST}\left(\frac{tr-1,738}{1,844}\right)$ (3.51)				
Lognormală, LNv	$M(tr) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\ln tr - m}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\ln tr - 0,262}{0,697}\right)$ (3.52)	0,119561	20	$D_{\alpha,56} = 0,140398$	DA
	$M(tr) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{1}{\sigma} \ln \frac{tr}{t_{med}}\right) =$ $= \text{NORMSDIST}\left(\frac{1}{0,697} \ln \frac{tr}{1,299}\right)$ (3.53)				
Weibull biparametrică, Wp	$M(tr) = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{1,848}\right)^{1,595}}$ (3.54)	0,188113	$\frac{2,5}{0,5}$	$D_{\alpha,56} = 0,194387$ $D_{\alpha,56} = 0,227425$	DA
Weibull biparametrică, Wv	$M(tr) = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{1,883}\right)^{1,226}}$ (3.55)	0,166366	$\frac{5}{0,5}$	$D_{\alpha,56} = 0,176694$ $D_{\alpha,56} = 0,227425$	DA
Weibull triparametrică, Wm	$M(tr) = 1 - e^{-\left(\frac{tr-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{tr-5,87E-09}{1,692}\right)^{0,943}}$ (3.56)	0,258976	0,5	$D_{\alpha,56} = 0,227425$	NU

CAPITOLUL IV STUDIUL DISPONIBILITĂȚII UNUI SISTEM DE TRANSPORTOARE CU BANDĂ PE ROLE

Obiectivul final al acestui capitol este evaluarea disponibilității operaționale a sistem de transport format din patru transportoare cu bandă pe role montate în serie.

Disponibilitatea operațională este demonstrată în timpul exploatarei și este cuantificată pe baza fiabilității și mentenabilității operaționale. Disponibilitatea este dată de suma a două probabilități, probabilitatea funcționării fără defectare, $R(t)$, și probabilitatea reparării, exprimată prin funcția de

mentenabilitate $M(tr)$. Disponibilitatea unui sistem tehnic se poate exprima prin *coeficientul de disponibilitate*, KA , denumit și *proporția de timp activ* sau *disponibilitatea intrinsecă*.

Reprezintă probabilitatea ca un sistem să funcționeze în mod corespunzător în orice moment, pe durata perioadelor de funcționare efectivă și de reparare, în condiții specificate. Disponibilitatea intrinsecă exclude astfel timpii în care sistemul staționează, deși este capabil de funcționare, denumiți timpii liberi, precum și timpii de mentenanță preventivă, a celor destinați acțiunilor logistice, administrative și de stocare. Indicatorul este definit prin relația

$$KA = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (4.3)$$

Evaluarea fiabilității sistemului de transportoare cu bandă pe role

Criteriile de optimizare utilizate pentru adoptarea distribuțiilor sunt dispersia și ecartul dintre repartițiile empirice și teoretice. Sunt adoptate acele distribuții pentru care dispersia și ecartul au valorile cele mai mici. În tabelele prezentate sunt sintetizați principalii indicatori de fiabilitate pentru cele patru transportoare cu bandă pe role. Pentru fiecare transportor este adoptată distribuția care caracterizează cel mai bine funcționalitatea acestuia.

Tabelul 4.4. Indicatori cantitativi de fiabilitate caracteristici transportorului TB-1. Distribuția Weibull triparametrică Wm

Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare, UM
1	Funcția de fiabilitate, $R(t)$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t-4,278E-9}{94,598}\right)^{3,553}}$ (4.25)	Fig. 4.1
2	Funcția densității de probabilitate a timpului de funcționare, $f(t)$	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = \frac{3,553}{94,598} \left(\frac{t-4,278E-09}{94,598}\right)^{2,553} e^{-\left(\frac{t-4,278E-09}{94,598}\right)^{3,553}}$ (4.26)	Fig. 4.2
3	Funcția intensității de defec-tare, $z(t)$	$z(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} = \frac{3,553}{94,598} \left(\frac{t-4,278E-09}{94,598}\right)^{2,553}$ (4.27)	Fig. 4.3
4	Media timpului de funcționare, $MTBF$, $E(t)$	$E(t) = \gamma + \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) = 4,278 \cdot 10^{-9} + 94,598 \Gamma\left(\frac{1}{3,553} + 1\right)$ (4.28)	85 h
5	Mediana timpului de funcționare, $t_{0,5}$, t_{med}	$t_{0,5} = \gamma + \eta \sqrt[\beta]{-\ln 0,5} = 4,278 \cdot 10^{-9} + 94,598 \sqrt[3,553]{-\ln 0,5}$ (4.29)	85 h
6	Dispersia timpului de funcționare, D	$D = \eta^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \right]^2 \right\} = 94,598^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{3,553} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{3,553} + 1\right) \right]^2 \right\}$ (4.30)	707 h ²

Tabelul 4.5. Indicatori cantitativi de fiabilitate caracteristici transportorului TB-2. Distribuția normală normată Nv

Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare, UM
1	Funcția de fiabilitate, $R(t)$	$R(t) = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = 1 - \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = 1 - \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-141,519}{56,505}\right)$ (4.31)	Fig. 4.4
2	Funcția densității de probabilitate a timpului de funcționare, $f(t)$	$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)^2} = \frac{1}{56,505 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-141,519}{56,505}\right)^2}$ (4.32)	Fig. 4.5
3	Funcția intensității de defec-tare, $z(t)$	$z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{1}{56,505 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-141,519}{56,505}\right)^2}}{1 - \text{NORMSDIST}\left(\frac{t-141,519}{56,505}\right)}$ (4.33)	Fig. 4.6
4	Timpul mediu de funcționare, $MTBF$, $E(t)$	$MTBF = m = 141,519$ (4.34)	142 h

Tabelul 4.5. Indicatori cantitativi de fiabilitate caracteristici transportorului TB-2.
Distribuția normală normată N_v

Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare, UM
5	Timpul median de funcționare, $t_{0,5}, t_{med}$	$t_{0,5} = t_{med} = m = 141,519$ (4.35)	142 h
6	Dispersia timpului de funcționare, D	$D = \sigma^2 = 56,505^2$ (4.36)	3193 h ²

Tabelul 4.12. Indicatori cantitativi de fiabilitate caracteristici transportorului TB-3.
Distribuția Weibull triparametrică W_m

Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare, UM
1	Funcția de fiabilitate, $R(t)$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t-1,121E-06}{167,872}\right)^{3,076}}$ (4.73)	Fig. 4.7
2	Funcția densității de probabilitate a timpului de funcționare, $f(t)$	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} =$ $= \frac{3,076}{167,872} \left(\frac{t-1,121E-06}{167,872}\right)^{2,076} e^{-\left(\frac{t-1,121E-06}{167,872}\right)^{3,076}}$ (4.74)	Fig. 4.8
3	Funcția intensității de defectare, $z(t)$	$z(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} = \frac{3,076}{167,872} \left(\frac{t-1,121E-06}{167,872}\right)^{2,076}$ (4.75)	Fig. 4.9
4	Media timpului de funcționare, $MTBF, E(t)$	$E(t) = \gamma + \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) = 1,121E-6 + 167,872 \cdot \Gamma\left(\frac{1}{3,076} + 1\right)$ (4.76)	150 h
5	Mediana timpului de funcționare, $t_{0,5}, t_{med}$	$t_{0,5} = \gamma + \eta \sqrt[\beta]{-\ln 0,5} = 1,121E-6 + 167,872 \sqrt[3,076]{-\ln 0,5}$ (4.77)	141 h
6	Dispersia timpului de funcționare, D	$D = \eta^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \right]^2 \right\} =$ $= 167,872^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{3,076} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{3,076} + 1\right) \right]^2 \right\}$ (4.78)	2845 h ²

Tabelul 4.15. Indicatori cantitativi de fiabilitate caracteristici transportorului TB-4.
Distribuția Weibull biparametrică normată W_v

Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare, UM
1	Funcția de fiabilitate, $R(t)$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t}{84,833}\right)^{2,984}}$ (4.91)	Fig. 4.10
2	Funcția densității de probabilitate a timpului dintre defectări, $f(t)$	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} =$ $= \frac{2,984}{84,833} \left(\frac{t}{84,833}\right)^{1,984} e^{-\left(\frac{t}{84,833}\right)^{2,984}}$ (4.92)	Fig. 4.11
3	Funcția intensității de defectare, $z(t)$	$z(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} = \frac{2,984}{84,833} \left(\frac{t}{84,833}\right)^{1,984}$ (4.93)	Fig. 4.12
4	Timpul mediu de funcționare, $MTBF, E(t)$	$E(t) = \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) = 84,833 \Gamma\left(\frac{1}{2,984} + 1\right)$ (4.94)	76 h
5	Mediana timpului de funcționare, $t_{0,5}, t_{med}$	$t_{0,5} = \eta \sqrt[\beta]{-\ln 0,5} = 84,833 \sqrt[2,984]{-\ln 0,5}$ (4.95)	75 h
6	Dispersia timpului de funcționare, D	$D = \eta^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \right]^2 \right\} =$ $= 84,833^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{2,984} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{2,984} + 1\right) \right]^2 \right\}$ (4.96)	765 h ²

Funcția fiabilității sistemului format de cele patru transportoare dispuse în serie este

$$R_S(t) = e^{-\left(\frac{t-4,278E-9}{94,598}\right)^{3,553}} \cdot \int_t^{\infty} \frac{1}{56,505 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-141,519}{56,505}\right)^2} dt \cdot e^{-\left(\frac{t-1,121E-06}{167,872}\right)^{3,076}} \cdot e^{-\left(\frac{t}{84,833}\right)^{2,984}} \quad (4.108)$$

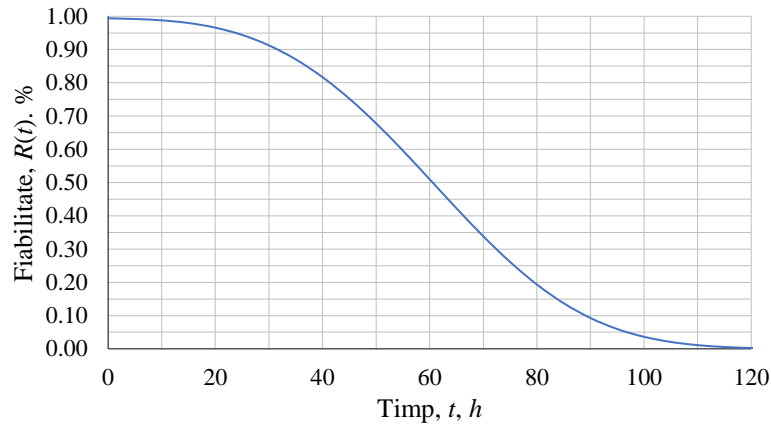


Fig. 4.13. Funcția fiabilității sistemului de transport

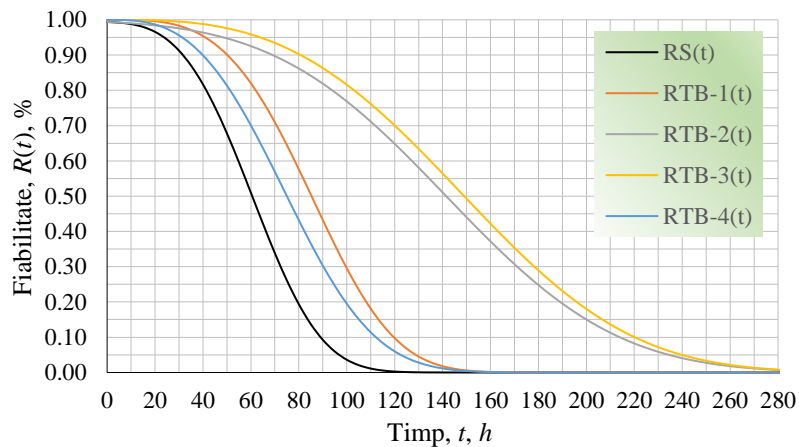


Fig. 4.14. Funcțiile fiabilității sistemului și subsistemelor componente

Evaluarea mentenabilității sistemului de transport

Criteriile de optimizare utilizate pentru adoptarea distribuțiilor sunt dispersia și ecartul dintre repartițiile empirice și teoretice. Sunt adoptate acele distribuții pentru care dispersia și ecartul au valorile cele mai mici. În tabelele prezentate în această secțiune sunt sintetizați principalii indicatori de mentenabilitate care caracterizează cel mai bine funcționalitatea transportoarelor.

Tabelul 4.18. Indicatori cantitativi de mentenabilitate caracteristici transportorului TB-1. Distribuția lognormală normată N_V

Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare, UM
1	Funcția de mentenabilitate, $M(tr)$	$M(tr) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\ln tr - m}{\sigma}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{1}{\sigma} \ln \frac{tr}{tr_{med}}\right) =$ $= \text{NORMSDIST}\left(\frac{1}{0,499} \ln \frac{tr}{1,457}\right) \quad (4.120)$	Fig. 4.15

Tabelul 4.18. Indicatori cantitativi de mentenabilitate caracteristici transportorului TB-1. Distribuția lognormală normată $N\nu$

Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare, UM
2	Funcția densității de probabilitate a timpului de reparare, $f(tr)$	$f(tr) = \frac{1}{tr} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln tr - m}{\sigma}\right)^2} = \frac{1}{tr} \frac{1}{0,499 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln tr - 0,376}{0,499}\right)^2}$ (4.121)	Fig. 4.16
3	Funcția intensității de reparare, $z(tr)$	$z(tr) = \frac{f(tr)}{1-M(tr)} = \frac{\frac{1}{tr} \frac{1}{0,499 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln tr - 0,376}{0,499}\right)^2}}{1 - \text{NORMSDIST}\left(\frac{1}{0,499} \ln \frac{tr}{1,457}\right)}$ (4.122)	Fig. 4.17
4	Media timpului de reparare, $MTTR$, $E(tr)$	$MTTR = E(tr) = e^{m + \frac{\sigma^2}{2}} = e^{0,376 + \frac{0,499^2}{2}}$ (4.123)	1,650 h
5	Mediana timpului de reparare, $tr_{0,5}$, tr_{med}	$tr_{0,5} = tr_{med} = e^m = e^{0,376}$ (4.124)	1,457 h
6	Timpul maxim de mentenanță corectivă pentru $P=90\%$, $tr_{max;0,90}$	$tr_{max;0,90} = e^{m + 1,29\sigma} = e^{0,376 + 1,29 \cdot 0,499}$ (4.125)	2,772 h
7	Timpul maxim de mentenanță corectivă pentru de 95%, $tr_{max;0,95}$	$tr_{max;0,95} = e^{m + 1,64\sigma} = e^{0,376 + 1,64 \cdot 0,499}$ (4.126)	3,301 h
8	Dispersia timpului de reparare, D	$D = (e^{\sigma^2} - 1) e^{2m + \sigma^2} = (e^{0,499^2} - 1) e^{2 \cdot 0,376 + 0,499^2}$ (4.127)	0,769 h ²

Tabelul 4.23. Indicatori cantitativi de mentenabilitate caracteristici transportorului TB-2. Distribuția lognormală normată $LN\nu$

Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare, UM
1	Funcția de mentenabilitate, $M(tr)$	$M(tr) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\ln tr - m}{\sigma}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{1}{\sigma} \ln \frac{tr}{tr_{med}}\right) = \text{NORMSDIST}\left(\frac{1}{0,555} \ln \frac{tr}{1,105}\right)$ (4.160)	Fig. 4.18
2	Funcția densității de probabilitate a timpului de reparare, $f(tr)$	$f(tr) = \frac{1}{tr} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln tr - m}{\sigma}\right)^2} = \frac{1}{tr} \frac{1}{0,555 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln tr - 0,100}{0,555}\right)^2}$ (4.161)	Fig. 4.19
3	Funcția intensității de reparare, $z(tr)$	$z(tr) = \frac{f(tr)}{1-M(tr)} = \frac{\frac{1}{tr} \frac{1}{0,555 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln tr - 0,100}{0,555}\right)^2}}{1 - \text{NORMSDIST}\left(\frac{1}{0,555} \ln \frac{tr}{1,105}\right)}$ (4.162)	Fig. 4.20
4	Media timpului de reparare, $MTTR$, $E(tr)$	$MTTR = E(tr) = e^{m + \frac{\sigma^2}{2}} = e^{0,100 + \frac{0,555^2}{2}}$ (4.163)	1,289 h
5	Mediana timpului de reparare, $tr_{0,5}$, tr_{med}	$tr_{0,5} = tr_{med} = e^m = e^{0,100}$ (4.164)	1,105 h
6	Timpul maxim de mentenanță corectivă pentru probabilitatea de 90%, $tr_{max;0,90}$	$tr_{max;0,90} = e^{m + 1,29\sigma} = e^{0,100 + 1,29 \cdot 0,555}$ (4.165)	2,261 h
7	Timpul maxim de mentenanță corectivă pentru probabilitatea de 95%, $tr_{max;0,95}$	$tr_{max;0,95} = e^{m + 1,64\sigma} = e^{0,100 + 1,64 \cdot 0,555}$ (4.166)	2,746 h
8	Dispersia timpului de repunere în funcțiune, D	$D = (e^{\sigma^2} - 1) e^{2m + \sigma^2} = (e^{0,555^2} - 1) e^{2 \cdot 0,100 + 0,555^2}$ (4.167)	0,600 h ²

**Tabelul 4.30. Indicatori cantitativi de mentenabilitate caracteristici transportorului TB-3.
Distribuția Weibull biparametrică normată W_p**

Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare, UM
1	Funcția de mentenabilitate, $M(tr)$	$M(tr) = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{1,703}\right)^{1,649}}$ (4.215)	Fig. 4.21
2	Funcția densității de probabilitate a timpului de reparare, $f(tr)$	$f(tr) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{tr}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{tr}{\eta}\right)^\beta} = \frac{1,649}{1,703} \left(\frac{tr}{1,703}\right)^{0,649} e^{-\left(\frac{tr}{1,703}\right)^{1,649}}$ (4.216)	Fig. 4.22
3	Funcția intensității de reparare, $z(tr)$	$z(tr) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{tr}{\eta}\right)^{\beta-1} = \frac{1,649}{1,703} \left(\frac{tr}{1,703}\right)^{0,649}$ (4.217)	Fig. 4.23
4	Media timpului de reparare, $MTTR$, $E(tr)$	$MTTR = \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) = 1,703 \Gamma\left(\frac{1}{1,649} + 1\right)$ (4.218)	1,523 h
5	Mediana timpului de reparare, $tr_{0,5}$, tr_{med}	$tr_{0,5} = \eta \sqrt[\beta]{-\ln 0,5} = 1,703 \cdot \sqrt[1,649]{-\ln 0,5}$ (4.219)	1,364 h
6	Timpul maxim de mentenanță corectivă pentru probabilitatea de 90%, $tr_{max;0,90}$	$tr_{max;0,90} = \eta \sqrt[\beta]{-\ln 0,1} = 1,703 \cdot \sqrt[1,649]{-\ln 0,1}$ (4.220)	2,824 h
7	Timpul maxim de mentenanță corectivă pentru probabilitatea de 95%, $tr_{max;0,95}$	$tr_{max;0,95} = \eta \sqrt[\beta]{-\ln 0,05} = 1,703 \cdot \sqrt[1,649]{-\ln 0,05}$ (4.221)	3,313 h
8	Dispersia timpului de reparare, D	$D = \eta^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \right]^2 \right\} = 1,703^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{1,649} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{1,649} + 1\right) \right]^2 \right\}$ (4.222)	0,899 h^2

**Tabelul 4.35. Indicatori cantitativi de mentenabilitate caracteristici transportorului TB-4.
Distribuția Weibull biparametrică normată W_p**

Nr. crt.	Denumirea și simbolul indicatorului	Relația de calcul	Valoare, UM
1	Funcția de mentenabilitate, $M(tr)$	$M(tr) = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{tr}{1,848}\right)^{1,595}}$ (4.254)	Fig. 4.24
2	Funcția densității de probabilitate a timpului de reparare, $f(tr)$	$f(tr) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{tr}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{tr}{\eta}\right)^\beta} = \frac{1,595}{1,848} \left(\frac{tr}{1,848}\right)^{0,595} e^{-\left(\frac{tr}{1,848}\right)^{1,595}}$ (4.255)	Fig. 4.25
3	Funcția intensității de reparare, $z(tr)$	$z(tr) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{tr}{\eta}\right)^{\beta-1} = \frac{1,595}{1,848} \left(\frac{tr}{1,848}\right)^{0,595}$ (4.256)	Fig. 4.26
4	Media timpului de reparare, $MTTR$, $E(tr)$	$MTTR = \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) = 1,848 \Gamma\left(\frac{1}{1,595} + 1\right)$ (4.257)	1,657 h
5	Mediana timpului de reparare, $tr_{0,5}$, tr_{med}	$tr_{0,5} = \eta \sqrt[\beta]{-\ln 0,5} = 1,848 \cdot \sqrt[1,595]{-\ln 0,5}$ (4.258)	1,469 h
6	Timpul maxim de mentenanță corectivă pentru probabilitatea de 90%, $tr_{max;0,90}$	$tr_{max;0,90} = \eta \sqrt[\beta]{-\ln 0,1} = 1,848 \cdot \sqrt[1,595]{-\ln 0,1}$ (4.259)	3,117 h
7	Timpul maxim de mentenanță corectivă pentru probabilitatea de 95%, $tr_{max;0,95}$	$tr_{max;0,95} = \eta \sqrt[\beta]{-\ln 0,05} = 1,848 \cdot \sqrt[1,595]{-\ln 0,05}$ (4.260)	3,677 h
8	Dispersia timpului de reparare, D	$D = \eta^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \right]^2 \right\} = 1,848^2 \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{1,595} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{1,595} + 1\right) \right]^2 \right\}$ (4.261)	1,131 h^2

Evaluarea disponibilității sistemului de transport

Pentru un subsistem component al sistemului indicatorul se exprimă prin relația

$$A_i(t) = KA_i = \frac{MTBF_i}{MTBF_i + MTTR_i}, \quad (4.270)$$

în care i are semnificația TB-1, TB-2, TB-3 sau TB-4.

În această relație, $MTBF_i$ reprezintă media timpilor de bună funcționare (timpuri între defecțiuni), iar $MTTR_i$ media timpilor aferenți reparațiilor.

Indisponibilitatea, $U_i(t)$, definită cu relația

$$U_i(t) = 1 - A_i(t), \quad (4.271)$$

exprimă proporția de timp în care sistemul nu poate fi utilizat.

Pentru sistemul serie format din cele patru transportoare, disponibilitatea este

$$A_S(t) = \prod_{i=1}^4 A_i(t) = A_{TB-1}(t) \cdot A_{TB-2}(t) \cdot A_{TB-3}(t) \cdot A_{TB-4}(t) \quad (4.272)$$

Tabelul 4.37. Evaluarea disponibilității transportoarelor cu bandă pe role								
Nr. crt.	Transportorul	Număr defectări, n	$MTBF_i$		$MTTR_i$		$A_i(t),$ $\frac{MTBF_i}{MTBF_i + MTTR_i}$	$U_i(t),$ $U_i(t) = 1 - A_i(t),$ <i>ore/an; zile/an</i>
			Valoare, h	Distribuția/ relația	Valoare, h	Distribuția/ relația		
1	Transportorul TB-1	49	85,183	$Wm/(4.28)$	1,650	$LNv/(4.123)$	0,980998	166; 6,93
2	Transportorul TB-2	31	141,519	$Nv/(4.34)$	1,289	$LNv/(4.163)$	0,990974	79; 3,29
3	Transportorul TB-3	28	150,075	$Wm/(4.76)$	1,523	$Wp/(4.218)$	0,989954	88; 3,67
4	Transportorul TB-4	56	75,736	$Wv/(4.94)$	1,657	$Wp/(4.257)$	0,978590	188; 7,81
5	Sistemul de transport: $A_S(t) = 0,941773$; $U_S(t) = 510$ ore/an; $U_S(t) = 21$ zile/an							

Într-o altă variantă, disponibilitatea sistemului se poate calcula cunoscând funcția de fiabilitatea a sistemului, $R_S(t)$,

În acest caz, disponibilitatea $A_S(t)$ a sistemului rezultă din relația

$$A_S(t) = \frac{MTBF_S}{MTBF_S + MTTR_S}. \quad (4.273)$$

În această relație $MTBF_S$ reprezintă media timpului de bună funcționare pentru sistem, iar $MTTR_S$ media timpului de reparare a sistemului.

Indicatorul $MTBF_S$ rezultă din relația

$$MTBF_S = \int_0^{\infty} R_S(t) dt = \int_0^{\infty} \left[e^{-\left(\frac{t-4,278E-9}{94,598}\right)^{3,553}} \cdot \int_t^{\infty} \frac{1}{56,505 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-141,519}{56,505}\right)^2} dt \cdot e^{-\left(\frac{t-1,121E-06}{167,872}\right)^{3,076}} \cdot e^{-\left(\frac{t}{84,833}\right)^{2,984}} \right] dt \quad (4.274)$$

Rezolvarea cu utilitarul Mathcad a integralei conduce la valoarea parametrului pentru sistem, $MTBF_S = 60,436$ ore.

Pentru determinarea parametrului $MTTR_S$ se consideră ansamblul format de cele patru transportoare ca un singur produs caracterizat de cele 164 de defecte.

Seria statistică cu 164 de termeni, este formată din timpurile de reparare tr_i , în ore: 0,500; 0,583; 0,667; 0,667; 0,667; 0,750; 0,7500; 0,833; 0,833; 0,917; 1,083; 1,167; 1,250; 1,250; 1,250; 1,417; 1,583; 1,583; 1,750; 2,000; 2,083; 2,250; 3,167; 4,167; 4,250; 4,917; 0,417; 0,500; 0,500; 0,500; 0,500; 0,500; 0,583; 0,667; 0,667; 0,667; 0,750; 0,750; 0,750; 0,833; 0,833; 0,833; 0,917; 0,917; 0,917; 0,917; 1,000; 1,000; 1,083; 1,083; 1,083; 1,083; 1,250; 1,250; 1,250; 1,250; 1,250; 1,250; 1,250; 1,250; 1,333; 1,333; 1,417; 1,417; 1,500; 1,667; 1,750; 1,833; 1,833; 2,000; 2,083; 2,250; 2,333; 2,500; 3,083; 3,583;

3,667; 4,083; 4,250; 4,500; 6,667; 12,000.

Prelucrarea statistică a seriei arată că timpii de reparare a întregului sistem urmează o lege de distribuție lognormală definită prin parametrii:

- media, $m(\lg tr) = \text{AVERAGE } \ln(tr_i) (1:164) = 0,254417 h$;
- mediana, $t_{med}(\lg tr) = e^{m(\lg tr)} = 1,289710 h$;
- parametrul de formă, $\sigma(\lg tr) = \text{STDEV } \ln(tr_i) (1:164) = 0,615947$
- funcția de repartiție, $M(tr_i) = \text{NORMSDIST } \ln\left(\frac{tr_i}{t_{med}}\right) \frac{1}{\sigma}$.

Cu aceste valori, parametrul $MTTR_S$ este

$$MTTR_S = E(tr)_S = e^{m + \frac{\sigma^2}{2}} = e^{0,254417 + \frac{0,615947^2}{2}} = 1,559 h.$$

Această valoare a mediei timpului de reparare pentru sistem nu este realistă, în realitate fiind mult mai mare. Pentru un nivel de încredere de 95%,

$$MTTR_S = tr_{max;0,95} = e^{m + 1,64\sigma} = e^{0,254417 + 1,64 \cdot 0,615947} = 3,541 h.$$

Cu valorile mediilor timpilor de funcționare și reparare disponibilitatea $A_S(t)$ a sistemului este

$$A_S(t) = \frac{MTBF_S}{MTBF_S + MTTR_S} = \frac{60,436}{60,436 + 3,541} = 0,944652 = 94,4652\%.$$

Raportat la un an , rezultă $U_S(t) = 485 ore$, respectiv $U_S(t) = 20$ de zile de indisponibilitate

BIBLIOGRAFIE (selectivă)

- [2]. Baicu, F., *Elemente de fiabilitate*, Editura Victor, București, 2005.
- [5]. Baron, T., Isaic-Maniu, A., Tövissi, L., Niculescu, D., Baron, C., Antonescu, V., Roman, I., *Calitate și fiabilitate. Manual practic*, Vol. I-II, Editura Tehnică, București, 1988.
- [8]. Băjenescu, I.T., *Fiabilitatea sistemelor tehnice*, Editura Matrix Rom, București, 2003.
- [10]. Burlacu, G., Dăneț, N., Bandrabur, C., Duminică, T., *Fiabilitatea, mentenabilitatea și disponibilitatea sistemelor tehnice*, Editura MatrixRom, București, 2005.
- [11]. Dhillon, B.S., *Design reliability. Fundamentals and applications*, CRC Press LLC, 1999.
- [12]. Dhillon, B.S., *Mining Equipment Reliability, Maintainability and Safety*, Springer/Verlag London Limited, 2008.
- [16]. Florea, A., *Fiabilitate și protecția muncii, Vol. I, Fiabilitate*, Litografia Institutului de Mine Petroșani, 1988.
- [17]. Gîlma, I., *Studiu privind îmbunătățirea siguranței în funcționare a unor utilaje din industria minieră*, Teză de doctorat, Universitatea din Petroșani, Petroșani, 2017.
- [19]. Johann David De La Cruz Ordoñez, *Estudio de confiabilidad del equipo SCOOPTRAM*, Universidad Nacional de Ingenieria, Lima - Peru, 2015.
- [21]. Jula, D., Dumitrescu, I., *Fiabilitatea sistemelor de transport*, Editura Focus, Petroșani, 2009.
- [30]. Praporgescu, G., Mihăilescu, S., Jula, D., *Aspecte privind determinarea disponibilității excavatoarelor cu rotor din cadrul E.M. Jilț*, Revista TERO nr. 70-71, 2007.
- [31]. Rebedea, N.I., *Tehnici de cuantificare a fiabilității, mentenabilității și disponibilității sistemelor tehnice*, Raport de cercetare nr.1, Universitatea din Petroșani, 2017
- [32]. Rebedea, N.I., *Contribuții la evaluarea fiabilității mașinilor de încărcat, transportat și depozitat*, Raport de cercetare nr. 2, Universitatea din Petroșani, 2017
- [33]. Rebedea, *Rezultate obținute în cuantificarea disponibilității transportoarelor cu bandă pe role*, Raport de cercetare nr. 3, Universitatea din Petroșani, 2018.
- [52]. * * *, *System Analysis Reference, Reliability, Availability & Optimization*, ReliaSoft Corporation, Worldwide Headquarters, 1450 South Eastside Loop, Tucson, Arizona 85710-6703, USA.