

Capitolul 4 FIABILITATEA SISTEMELOR

4.1 ASPECTE GENERALE

Din punct de vedere al fiabilității, sistemele sunt dispozitive complexe, alcătuite din mai multe componente care, la rândul lor, sunt considerate dispozitive.

Poziționarea reciprocă a componentelor în cadrul sistemului trebuie privită din două puncte de vedere:

- structural – funcțional;
- fiabilistic.

Rezultă două scheme diferite:

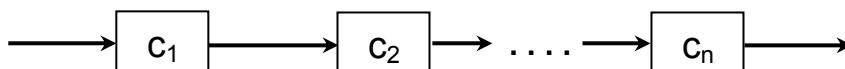
- **schema constructiv – funcțională**, care redă poziția relativă a componentelor în cadrul arhitecturii sistemului și care permite analiza funcțională a acestuia;
- **schema logică de fiabilitate**, care urmărește să evidențieze modul în care fiabilitatea unui component al sistemului poate influența fiabilitatea întregului sistem.

Componentele, care din punct de vedere fizic sunt așezate în paralel, în cazul schemei logice de fiabilitate pot fi amplasate în serie.

4.2 FIABILITATEA SISTEMELOR CU COMPONENTELE DISPUSE ÎN SERIE

Un sistem are **componentele dispuse în serie** din punct de vedere al fiabilității dacă **defectarea oricăruia dintre acestea conduce la defectarea întregului sistem**.

Schema logică de fiabilitate



Funcția de fiabilitate a sistemului:

$$R(t)_{\text{sistem}} = \prod_{i=1}^n R(t)_i ; R(t)_i \leq 1.$$

$$\Rightarrow R(t)_{\text{sistem}} \leq R(t)_i, \forall i \in [1, n].$$

OBSERVAȚIE:

Funcția de fiabilitate a unui sistem cu componentele dispuse în serie din punct de vedere al fiabilității este mai mică sau cel mult egală cu funcția de fiabilitate a celui mai slab component.

Deoarece $R(t) = e^{-\int_0^t z(t) dt}$, rezultă: $R(t)_{\text{sistem}} = e^{-\sum_{i=1}^n \int_0^t z(t)_i dt}$.

Dacă $z(t)_i = \lambda_i, \forall i \in [1, n]$,

Atunci $R(t)_{\text{sistem}} = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t} = e^{-t \sum_{i=1}^n \lambda_i} = e^{-\lambda_{\text{sistem}} \cdot t}$, unde $\lambda_{\text{sistem}} = \sum_{i=1}^n \lambda_i$.



APLICAȚII NUMERICE

APLICAȚIA I

Enunț:

La un lanț de distribuție cu 50 de zale se cunosc, la un moment dat, t : $R(t)_i = 0,99$ pentru $i = 1 \dots 49$ și $R(t)_{50} = 0,95$ pentru cea de a 50-a za. Să se calculeze valoarea funcției de fiabilitate pentru întreg lanțul. Să se efectueze calculul și pentru cazul în care și cea de a 50-a za ar avea aceeași valoare a funcției fiabilității cu celelalte zale.

Rezolvare:

Pentru prima situație:

$$R(t)_{lan\tau} = \prod_{i=1}^{50} R(t)_i = 0,99^{49} \cdot 0,95 = 0,581.$$

În cel de al doilea caz, când fiabilitatea zalei „slabe” a fost adusă la același nivel cu fiabilitatea celorlalte zale:

$$R(t)'_{lan\tau} = \prod_{i=1}^{50} R(t)_i = 0,99^{50} = 0,605.$$

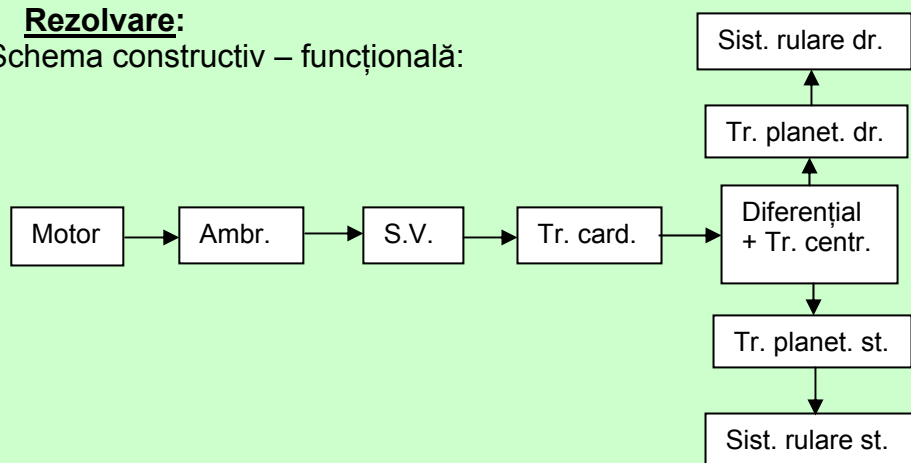
APLICAȚIA II

Enunț:

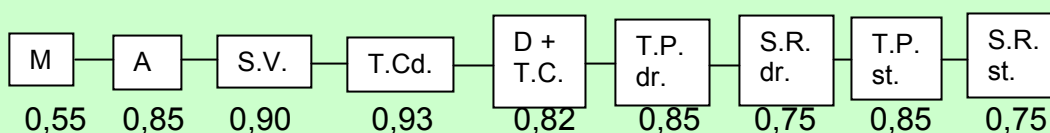
Să se deseneze schema constructiv – funcțională și schema logică de fiabilitate pentru grupul moto-propulsor al unui automobil cu formula roților 4 x 2 și să se calculeze valoarea funcției sale de fiabilitate, cunoscându-se valorile funcției respective pentru componentele sale.

Rezolvare:

Schema constructiv – funcțională:



Schema logică de fiabilitate:



Fiabilitatea sistemului:

$$R(t)_{sistem} = \prod_{i=1}^9 R(t)_i = 0,130 .$$

Se observă că $R(t)_{sistem} = 0,13 \ll R(t)_{min} = 0,55$.

Se acționează asupra componentelor celor mai puțin fiabile, mărindu-li-se valoarea funcției fiabilității, după cum urmează:

$$R(t)_{motor} = 0,7; R(t)_{sist.rul.} = 0,8.$$

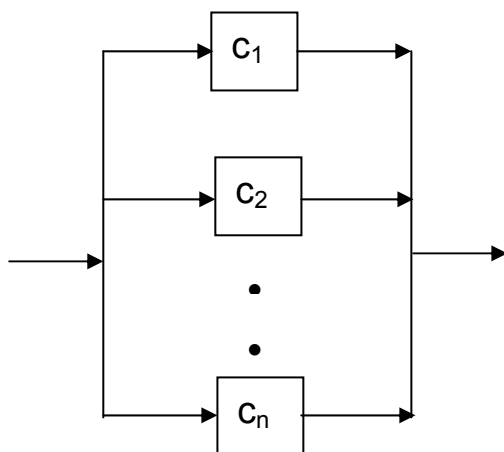
Pentru întregul sistem va rezulta o nouă valoare a funcției fiabilității:

$R'(t)_{sistem} = 0,189$, înregistrându-se o mărire în raport cu valoarea inițială cu peste 45%.

4.3 FIABILITATEA SISTEMELOR CU COMPONENTELE DISPUSE ÎN PARALEL

Un sistem are **componentele dispuse în paralel** din punct de vedere al fiabilității dacă defectarea sistemului se produce numai după **defectarea tuturor componentelor**.

Schema logică de fiabilitate



Funcția de repartiție: $F(t)_{sist.} = \prod_{i=1}^n F(t)_i$;

Funcția de fiabilitate:

$$R(t)_{sist.} = 1 - F(t)_{sist.} = 1 - \prod_{i=1}^n F(t)_i;$$

$$R(t)_{sist.} = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R(t)_i]$$

Deoarece $F(t)_i \leq 1$, rezultă că

$$F(t)_{sist.} \leq F(t)_i, \forall i \in [1, n].$$

Dar $R(t)_{sist.} = 1 - F(t)_{sist.}$

Deci $R(t)_{sist.} \geq R(t)_i, \forall i \in [1, n]$

OBSERVAȚIE:

Funcția de fiabilitate a unui sistem cu componentele dispuse în paralel din punct de vedere al fiabilității este mai mare sau cel puțin egală cu fiabilitatea celui mai rezistent component.



APLICAȚIE NUMERICĂ

Enunț:

Lanțul de distribuție de la aplicația anterioară este înlocuit cu un lanț dublu. Considerându-se că unul din componentele noului lanț are $R(t)_1 = 0,581$, iar celălalt $R(t)_2 = 0,605$, să se calculeze valoarea funcției fiabilității noului lanț.

Rezolvare:

Noua soluție constructivă are cele două componente în paralel din punct de vedere al fiabilității deoarece, chiar dacă unul din semilanțuri cedează, celălalt asigură funcționarea sistemului de distribuție al motorului. Deci:

$$R(t)_{\text{lanț dublu}} = 1 - [1 - R(t)_1] \cdot [1 - R(t)_2] = 1 - (1 - 0,581) \cdot (1 - 0,605) = 0,834$$

Rezultă că fiabilitatea lanțului dublu este net superioară celei a lanțului simplu.

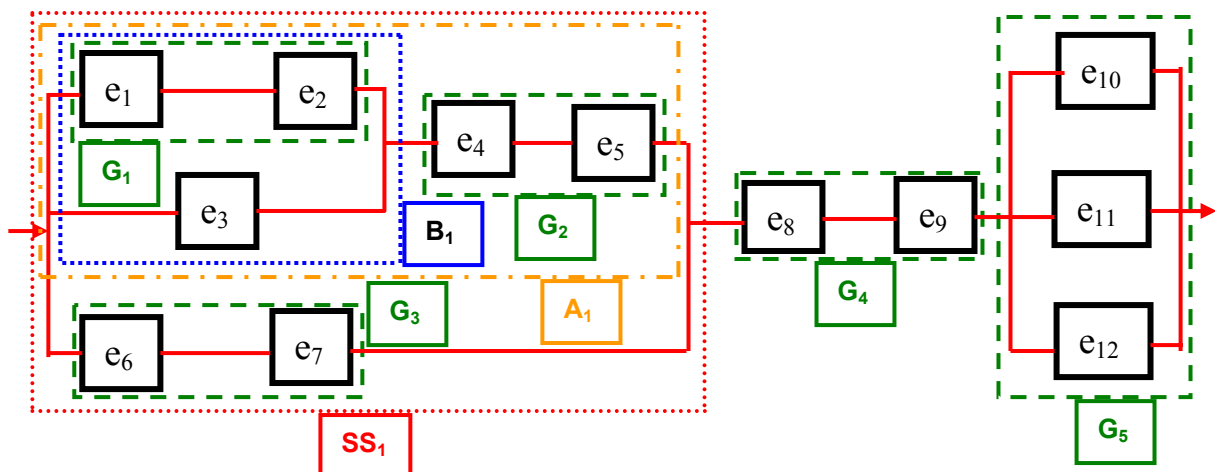
4.4 FIABILITATEA SISTEMELOR CU COMPONENTELE DISPUSE MIXT

4.4.1 Sisteme compuse din subsisteme, ansambluri, blocuri și elemente amplasate în serie și/sau paralel

Sistemele complexe pot avea în structură componente amplasate atât în serie cât și în paralel din punct de vedere al fiabilității.

Fiabilitatea sistemelor de acest tip se determină în etape succesive, pornind de la calculul fiabilității celor mai simple grupări având elemente cu același tip de dispunere, continuând cu calculul fiabilității ansamblurilor formate din grupări legate în același fel ș.a.m.d., până la definirea fiabilității întregului sistem.

Exemplu:



G – grupare; B – bloc; A – ansamblu; SS – subsistem.

$$R_{G1} = R_1 R_2; \quad R_{G2} = R_4 R_5; \quad R_{G3} = R_6 R_7; \quad R_{G4} = R_8 R_9;$$

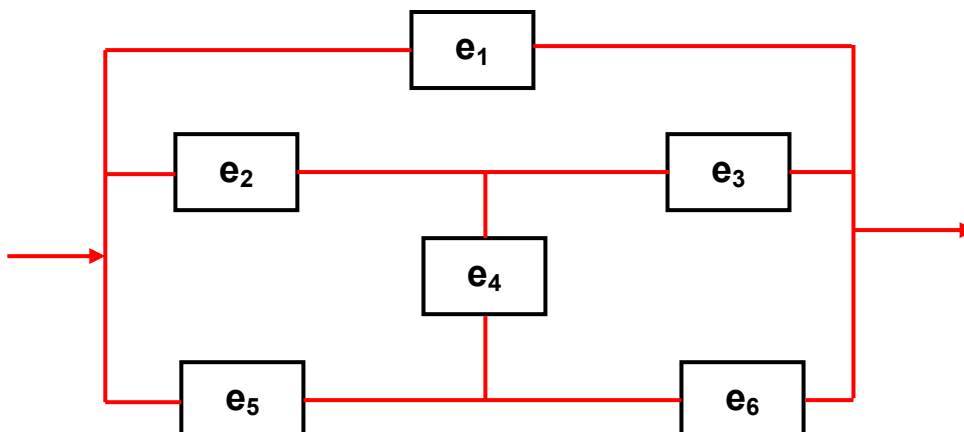
$$R_{G5} = 1 - (1 - R_{10}) (1 - R_{11}) (1 - R_{12});$$

$$R_B = 1 - (1 - R_{G1}) (1 - R_3); \quad R_{A1} = R_{B1} R_{G2}; \quad R_{SS} = 1 - (1 - R_{A1}) (1 - R_{G3});$$

$$R_{SIST.} = R_{SS} R_{G4} R_{G5}$$

4.4.2 Sisteme ale căror componente nu sunt dispuse numai în grupări de tip serie și/sau paralel

Exemplu:



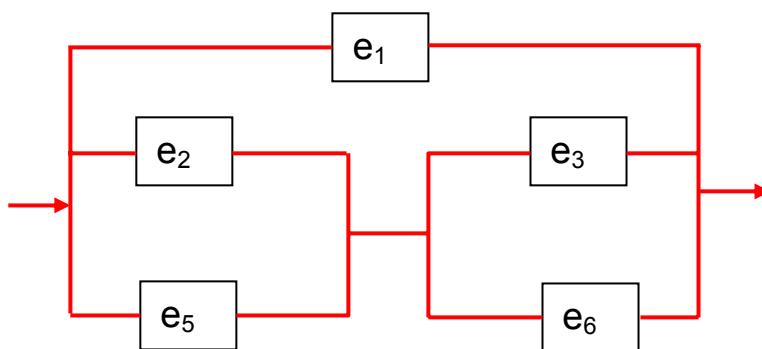
Valoarea funcției fiabilității unui astfel de sistem se determină cu ajutorul **formulei fiabilității totale:**

$$R_{sist.} = R(s=1/j=1) \cdot R_j + R(s=1/j=0) \cdot (1 - R_j)$$

în care: $s=1$ simbolizează starea de bună funcționare a sistemului;
 $j=1$ – starea de fiabilitate maximă a componentului j ;
 $j=0$ – starea de defect a componentului j .

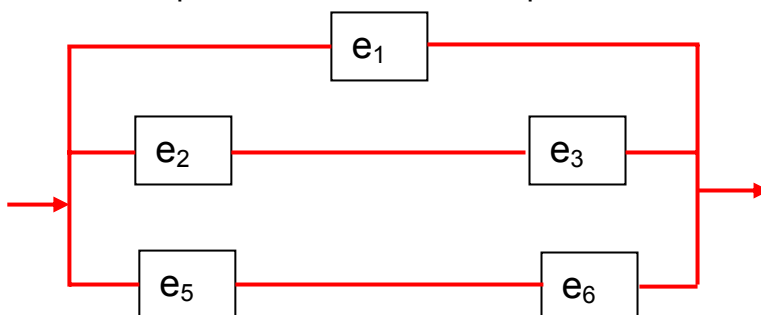
Elementul j este componentul care împiedică descompunerea sistemului numai în grupări de tip serie și/sau paralel. În exemplul dat componentul j este e_4 .

Schema sistemului atunci când componentul e_4 are fiabilitate maximă ($R_4 = 1$) este:



Rezultă: $R(s = 1/e_4 = 1) = 1 - (1 - R_1) \cdot \{1 - [1 - (1 - R_2) \cdot (1 - R_5)] \cdot [1 - (1 - R_3) \cdot (1 - R_6)]\}$.

Schema sistemului pentru cazul în care componentul e_4 este defect este:



Rezultă: $R(s = 1/e_4 = 0) = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_2 \cdot R_3) \cdot (1 - R_5 R_6)$.

Pentru sistem se obține în final:

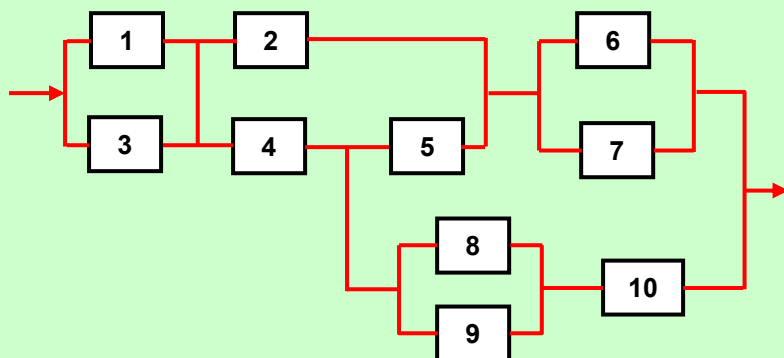
$$R_{sist} = \{1 - (1 - R_1) \cdot \{1 - [1 - (1 - R_2) \cdot (1 - R_5)] \cdot [1 - (1 - R_3) \cdot (1 - R_6)]\}\} \cdot R_4 + [1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_2 R_3) \cdot (1 - R_5 R_6)] \cdot (1 - R_4)$$



APLICAȚIE NUMERICĂ

Enunț:

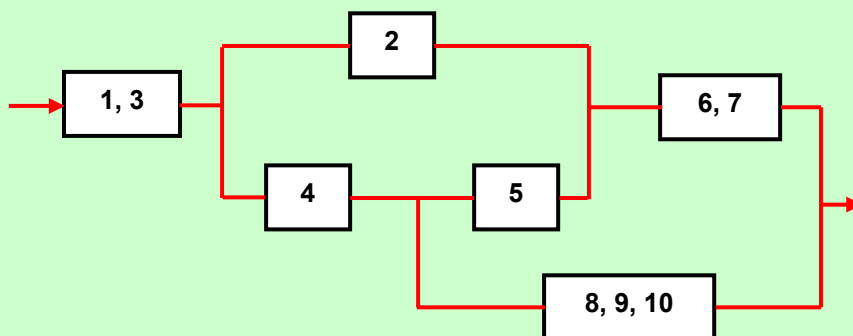
Să se determine fiabilitatea sistemului a cărui schemă logică de fiabilitate este redată mai jos:



dacă, la un anumit moment, valorile probabilităților de bună funcționare ale componentelor sistemului sunt respectiv: $R_1 = 0,9$; $R_2 = 0,8$; $R_3 = 0,7$; $R_4 = 0,6$; $R_5 = 0,5$; $R_6 = 0,6$; $R_7 = 0,7$; $R_8 = 0,8$; $R_9 = 0,9$; $R_{10} = 0,5$.

Rezolvare:

Analizând schema logică de fiabilitate a sistemului se observă că unele componente pot fi grupate în blocuri caracterizate prin același mod de dispunere a lor. Drept urmare, schema logică de fiabilitate se simplifică la forma:



Valorile funcțiilor de fiabilitate pentru blocurile de componente astfel formate sunt:

$$R_{1,3} = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_3) = 1 - (1 - 0,9) \cdot (1 - 0,7) = 0,97;$$

$$R_{8,9} = 1 - (1 - R_8) \cdot (1 - R_9) = 1 - (1 - 0,8) \cdot (1 - 0,9) = 0,98;$$

$$R_{8,9,10} = R_{8,9} \cdot R_{10} = 0,98 \cdot 0,5 = 0,49;$$

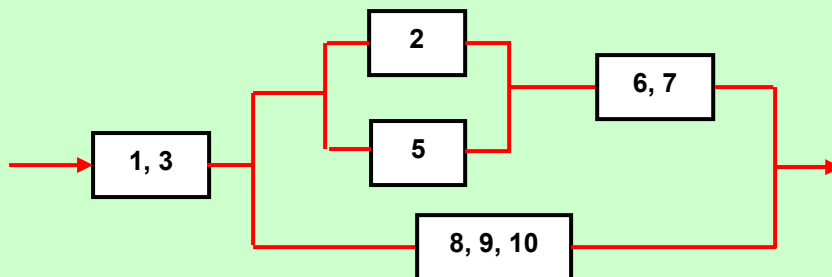
$$R_{6,7} = 1 - (1 - R_6) \cdot (1 - R_7) = 1 - (1 - 0,6) \cdot (1 - 0,7) = 0,88.$$

În această schemă simplificată componentele nu mai pot fi asociate în grupări cu același tip de amplasare. Drept element care împiedică organizarea sistemului în astfel de grupări pot fi considerate mai multe componente: elementul

4, blocul 6-7, elementul 5 și blocul 8-9-10.

Cazul I: $j = 4$

Schema logică de fiabilitate a sistemului atunci când elementul 4 are fiabilitate maximă este:



Fiabilitățile subansamblurilor și sistemului sunt în acest caz:

$$R_{1,3} = 0,97;$$

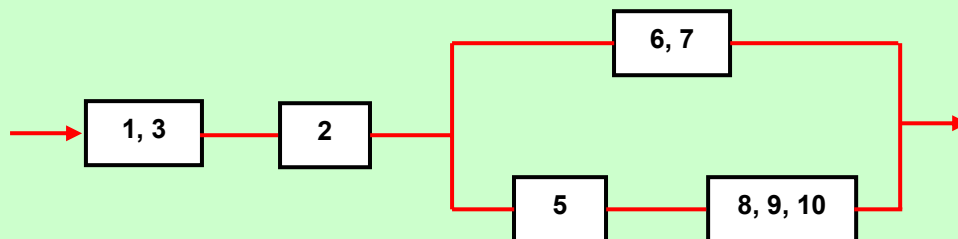
$$R_{2,5} = 1 - (1 - R_2) \cdot (1 - R_5) = 1 - (1 - 0,8) \cdot (1 - 0,5) = 0,9;$$

$$R_{2,5,6,7} = R_{2,5} \cdot R_{6,7} = 0,9 \cdot 0,88 = 0,792;$$

$$R_{2,5,6,7,8,9,10} = 1 - (1 - R_{2,5,6,7}) \cdot (1 - R_{8,9,10}) = 1 - (1 - 0,792) \cdot (1 - 0,49) = 0,89392;$$

$$R(s=1/j=1) = R_{1,3} \cdot R_{2,5,6,7,8,9,10} = 0,97 \cdot 0,89392 = \mathbf{0,8671}.$$

Considerând elementul 4 în stare de defect, schema logică de fiabilitate a sistemului devine:



Fiabilitățile subansamblurilor și sistemului sunt în acest caz:

$$R_{5,8,9,10} = R_5 \cdot R_{8,9,10} = 0,5 \cdot 0,49 = 0,245;$$

$$R_{5,6,7,8,9,10} = 1 - (1 - R_{6,7}) \cdot (1 - R_{5,8,9,10}) = 1 - (1 - 0,88) \cdot (1 - 0,245) = 0,9094;$$

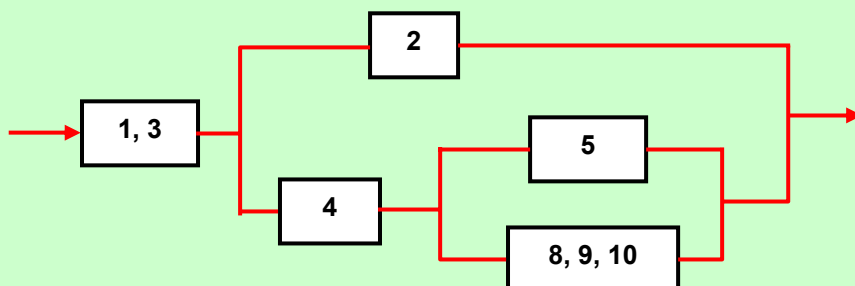
$$R(s=1/j=0) = R_{1,3} \cdot R_2 \cdot R_{5,6,7,8,9,10} = 0,97 \cdot 0,8 \cdot 0,9094 = \mathbf{0,7057}.$$

Se determină fiabilitatea sistemului:

$$R_{sis} = 0,8671 \cdot 0,6 + 0,7057 \cdot (1 - 0,6) = \mathbf{0,8025}.$$

Cazul II $j = 6, 7$

Schema logică de fiabilitate a sistemului atunci când blocul elementelor 6 și 7 are fiabilitate maximă este:



Fiabilitățile subansamblelor și sistemului sunt în acest caz:

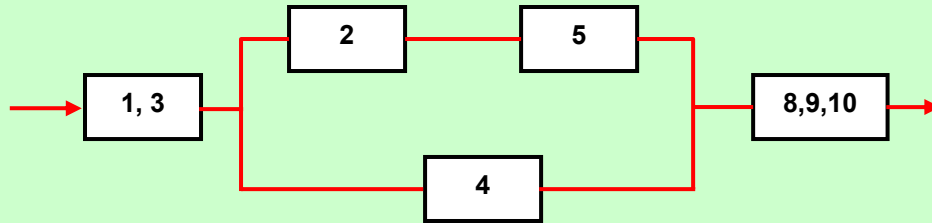
$$R_{5,8,9,10} = 1 - (1 - R_5) \cdot (1 - R_{8,9,10}) = 1 - (1 - 0,5) \cdot (1 - 0,49) = 0,745;$$

$$R_{4,5,8,9,10} = R_4 \cdot R_{5,8,9,10} = 0,6 \cdot 0,745 = 0,447;$$

$$R_{2,4,5,8,9,10} = 1 - (1 - R_2) \cdot (1 - R_{4,5,8,9,10}) = 0,97 \cdot 0,8894 = 0,8627$$

$$R(s=1/j=1) = R_{1,3} \cdot R_{2,4,5,8,9,10} = 0,97 \cdot 0,8894 = \mathbf{0,8627}.$$

În cazul în care blocul elementelor 6 și 7 este defect, schema sistemului devine:



Iar fiabilitățile subsansamblurilor și sistemului, în acest caz, sunt:

$$R_{2,5} = R_2 \cdot R_5 = 0,8 \cdot 0,5 = 0,4;$$

$$R_{2,4,5} = 1 - (1 - R_4) \cdot (1 - R_{2,5}) = 1 - (1 - 0,6) \cdot (1 - 0,4) = 0,76;$$

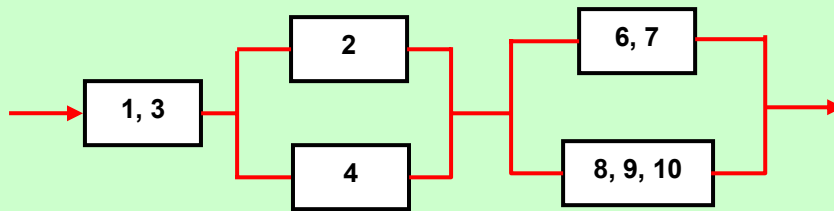
$$R(s=1/j=0) = R_{1,3} \cdot R_{2,4,5} \cdot R_{8,9,10} = 0,97 \cdot 0,76 \cdot 0,49 = \mathbf{0,3612}.$$

Se determină fiabilitatea sistemului:

$$R_{sis} = 0,8627 \cdot 0,88 + 0,3612 \cdot (1 - 0,88) = \mathbf{0,8025}.$$

Cazul III j = 5

Situația în care elementul 5 are fiabilitate maximă:

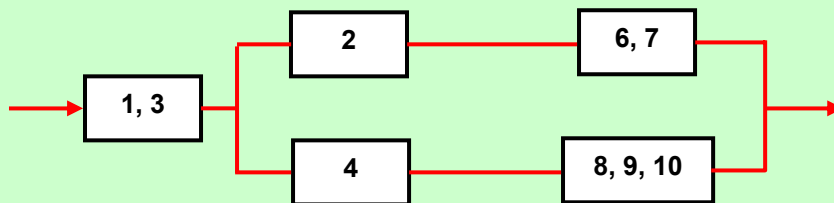


$$R_{2,4} = 1 - (1 - R_2) \cdot (1 - R_4) = 1 - (1 - 0,8) \cdot (1 - 0,6) = 0,92;$$

$$R_{6,7,8,9,10} = 1 - (1 - R_{6,7}) \cdot (1 - R_{8,9,10}) = 1 - (1 - 0,88) \cdot (1 - 0,49) = 0,9388;$$

$$R(s=1/j=1) = R_{1,3} \cdot R_{2,4} \cdot R_{6,7,8,9,10} = 0,97 \cdot 0,92 \cdot 0,9388 = \mathbf{0,8378}.$$

Situația în care elementul 5 este defect:



$$R_{2,6,7} = R_2 \cdot R_{6,7} = 0,8 \cdot 0,88 = 0,704;$$

$$R_{4,8,9,10} = R_4 \cdot R_{8,9,10} = 0,6 \cdot 0,49 = 0,294;$$

$$R_{2,4,6,7,8,9,10} = 1 - (1 - R_{2,6,7}) \cdot (1 - R_{4,8,9,10}) = 1 - (1 - 0,294) \cdot (1 - 0,49) = 0,791;$$

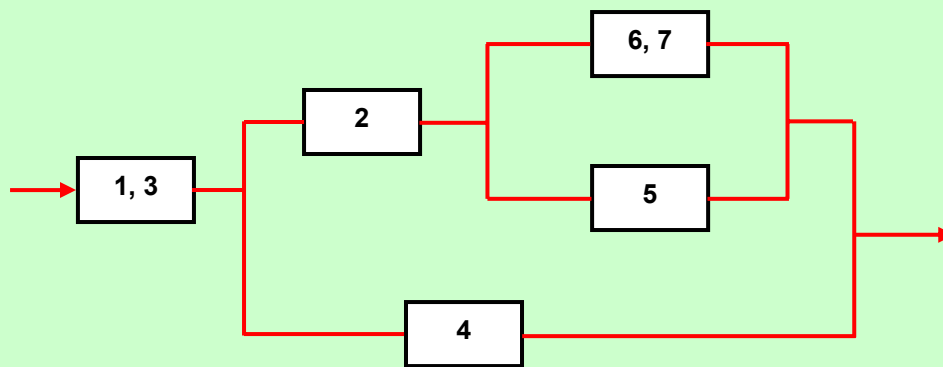
Fiabilitatea sistemului este:

$$R(s=1/j=0) = R_{1,3} \cdot R_{2,4,6,7,8,9,10} = 0,97 \cdot 0,791 = \mathbf{0,7673}.$$

$$R_{sis} = 0,8378 \cdot 0,5 + 0,7673 \cdot (1 - 0,5) = \mathbf{0,8025}.$$

Cazul IV j = 8, 9, 10

Situația în care blocul de elemente 8,9,10 are fiabilitatea la nivel maxim:

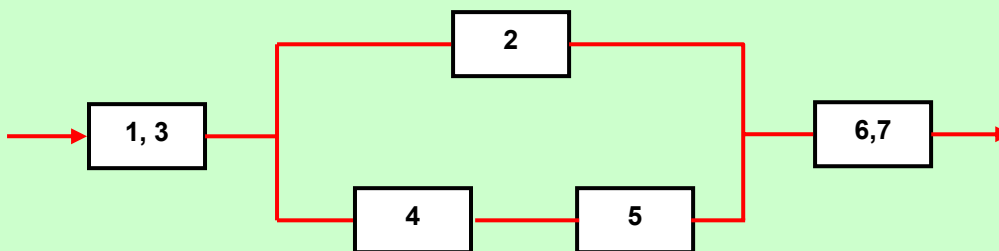


$$R_{2,5,6,7} = R_2 \cdot [1 - (1 - R_{6,7}) \cdot (1 - R_5)] = 0,8 \cdot [1 - (1 - 0,88) \cdot (1 - 0,5)] = 0,752;$$

$$R_{2,4,5,6,7} = 1 - (1 - R_4) \cdot \{1 - R_2 \cdot [1 - (1 - R_{6,7}) \cdot (1 - R_5)]\} = \\ = 1 - (1 - 0,6) \cdot \{1 - 0,8 \cdot [1 - (1 - 0,88) \cdot (1 - 0,5)]\} = 0,9008;$$

$$R(s=1/j=1) = R_{1,3} \cdot R_{2,4,5,6,7} = 0,97 \cdot 0,9008 = \mathbf{0,8738}.$$

Situația în care blocul de elemente 8,9,10 este defect:



$$R(s=1/j=0) = R_{1,3} \cdot [1 - (1 - R_2) \cdot (1 - R_4 \cdot R_5)] \cdot R_{6,7} \\ = 0,97 \cdot [1 - (1 - 0,8) \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,6)] \cdot 0,88 = \mathbf{0,7341}.$$

Fiabilitatea sistemului este:

$$R_{sis} = 0,8738 \cdot 0,49 + 0,7341 \cdot 0,51 = \mathbf{0,8025}.$$

OBSERVAȚIE:

Valoarea funcției fiabilității sistemului este aceeași, indiferent care din componentele sistemului sunt considerate a împiedica organizarea acestuia în grupări de același tip.

OBSERVAȚIE:

În unele cazuri concrete, la alcătuirea schemei logice de fiabilitate trebuie ținut seama de particularitățile funcționale privind sensul de parcurgere al diagramei, atunci când se consideră anumite componente ca fiind de tipul „j”. Astfel, sensul de parcurgere în cazul unui sistem hidraulic va trebui să respecte traseul de la pompă către elementul de execuție și nu se va accepta sensul invers; o acționare prin cablu va putea funcționa, de asemenea, într-un singur sens, cel corespunzător întinderii cablului și nu în cel al comprimării cablului etc.

4.5 REDUNDANȚA LA AUTOVEHICULE

În fiabilitate, redundanța reprezintă un procedeu prin care se obține creșterea fiabilității unui sistem prin **utilizarea dispozitivelor de rezervă**.

Clasificare

1^o După **durata de acționare** a dispozitivelor de rezervă:

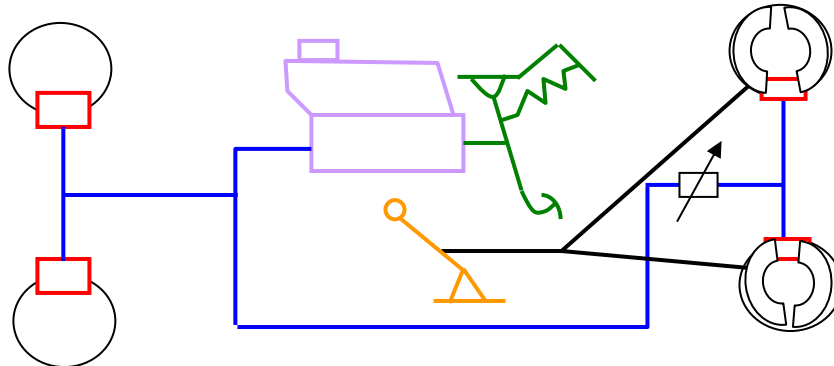
- redundanță **activă** – dispozitivele de rezervă funcționează permanent (circuit dublu de frânare);
- redundanță **pasivă** – dispozitivele de rezervă funcționează numai în caz de necesitate (frâna de staționare);
- redundanță **semiactivă** – dispozitivele de rezervă funcționează în mod normal la o solicitare parțială, iar în caz de defectare a dispozitivului principal vor prelua total sarcina sistemului (servodirecția).

2^o După **natura rezervării**

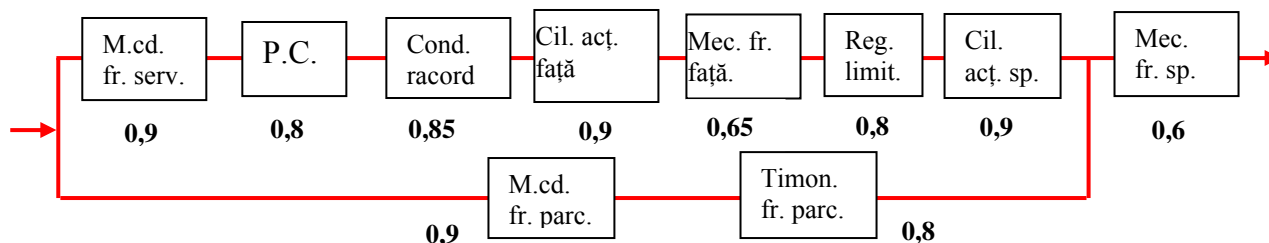
- redundanță **structurală** – se referă la construcția sistemului (circuit dublu al frânei de serviciu);
- redundanță de **solicitare** – dispozitivul este astfel construit încât solicitarea în utilizare este mai mică decât rezistența lui;
- redundanță **funcțională** – în caz de necesitate, dispozitivul de rezervă preia funcțiuni suplimentare (frâna de staționare poate prelua, temporar, funcțiunile frânei de serviciu).

Exemplu: sistemul de frânare al unui autoturism

Schema constructiv – funcțională a unui sistem de frânare cu circuit simplu



Schema logică de fiabilitate a unui sistem de frânare cu circuit simplu



Valoarea funcției de fiabilitate pentru frâna de serviciu:

$$R_{fr.serv.} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,65 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,6 = \mathbf{0,155}$$

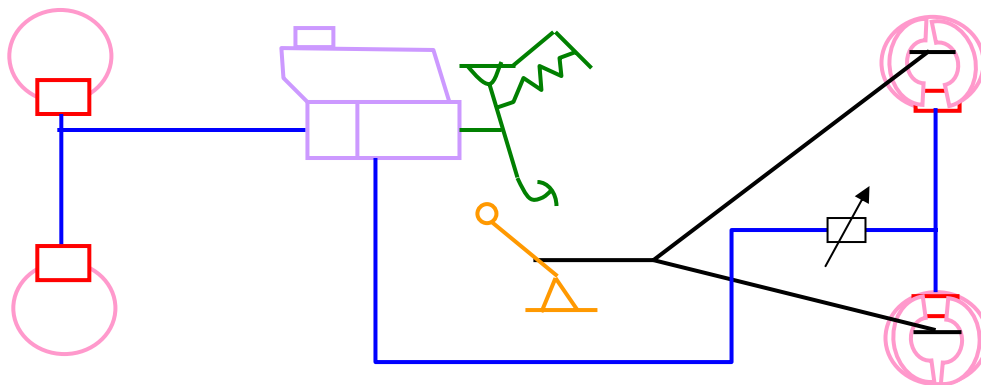
Valoarea funcției de fiabilitate pentru frâna de parcare:

$$R_{fr.parc.} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,6 = \mathbf{0,432}$$

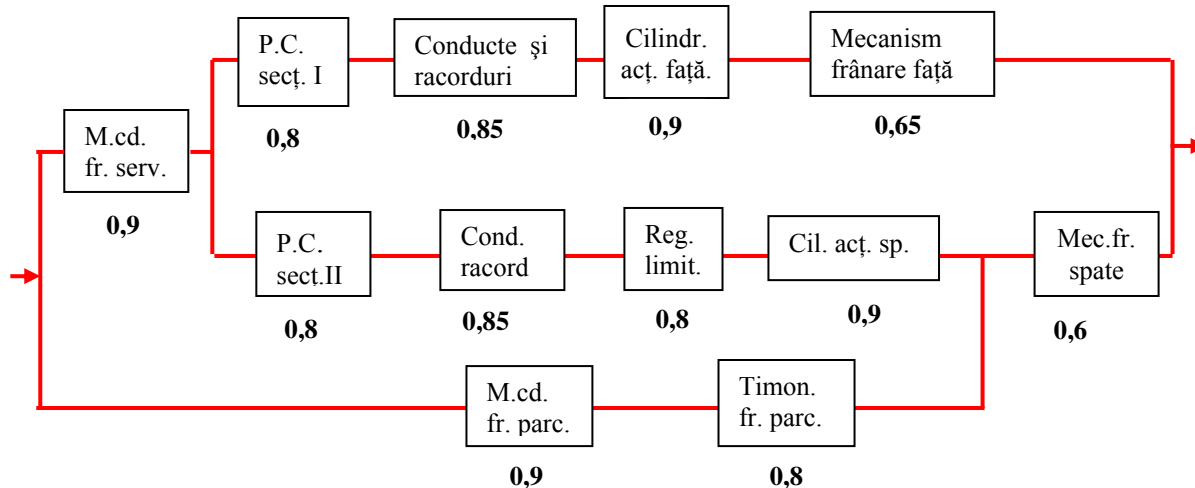
Valoarea funcției de fiabilitate pentru întreg sistemul de frânare:

$$R_{sist.fr.} = [1 - (1 - 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,65 \cdot 0,8 \cdot 0,9) \cdot (1 - 0,9 \cdot 0,8)] \cdot 0,6 = \mathbf{0,475}$$

Schema constructiv – funcțională a unui sistem de frânare cu circuit dublu



Schema logică de fiabilitate a unui sistem de frânare cu circuit dublu



Valoarea funcției de fiabilitate pentru frâna de serviciu:

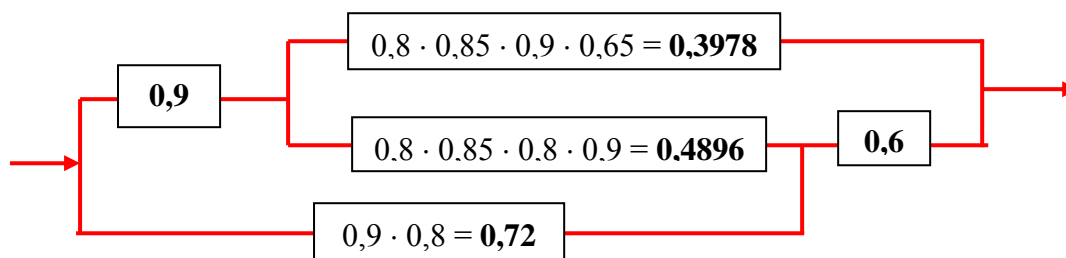
$$R_{fr.serv.} = 0,9 \cdot [1 - (1 - 0,8 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,65) \cdot (1 - 0,8 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,6)] = \mathbf{0,517}$$

Valoarea funcției de fiabilitate pentru frâna de parcare:

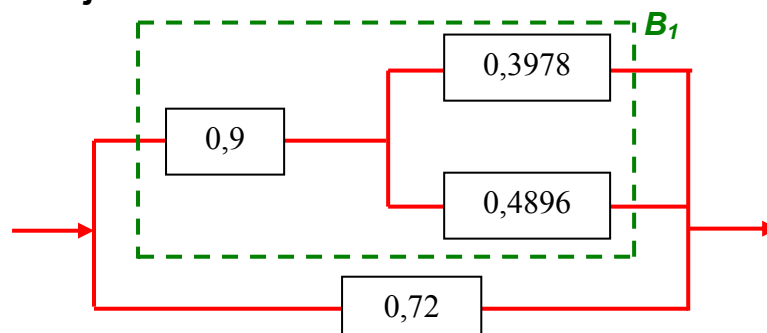
$$R_{fr.parc.} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,6 = \mathbf{0,432}$$

Valoarea funcției de fiabilitate pentru întreg sistemul de frânare:

Dispozitivul „mecanism frânare spate” împiedică gruparea componentelor sistemului numai în blocuri de tip serie și/sau paralel. Schema logică de fiabilitate se poate structura în varianta simplificată:



a) starea $s = 1/j = 1$



$$R_{B1} = 0,9 [1 - (1 - 0,3978) (1 - 0,4896)] = 0,6234 ;$$

$$R_{(s=1/j=1)} = 1 - (1 - 0,6234) (1 - 0,72) = \mathbf{0,8946}$$

b) starea $s = 1/j = 0$



$$R_{(s=1/j=0)} = 0,9 \cdot 0,3978 = \mathbf{0,3580}$$

Fiabilitatea sistemului (se aplică formula fiabilității totale):

$$R_{sist.} = R_{(s=1/j=1)} \cdot R_j + R_{(s=1/j=0)} \cdot (1 - R_j) = 0,8946 \cdot 0,6 + 0,358 \cdot (1 - 0,6) = \mathbf{0,680}$$

Concluzii

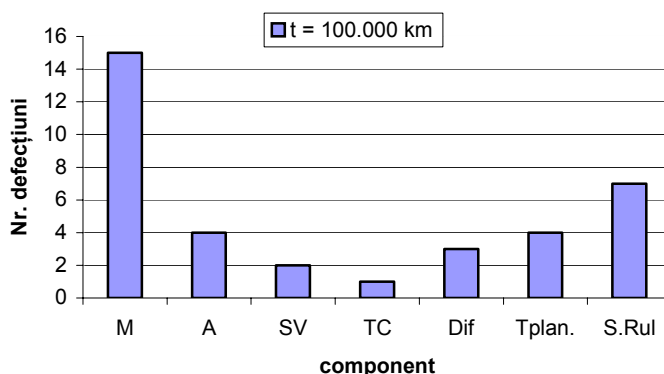
- Fiabilitatea frânei de serviciu crește de la 0,155 la 0,517, deci de **3,34 ori**;
- Fiabilitatea întregului sistem de frânare crește de la 0,475 la 0,680, deci de 1,43 ori.

4.6 CONSTRUCȚII GRAFICE UTILIZATE ÎN STUDIUL FIABILITĂȚII SISTEMELOR

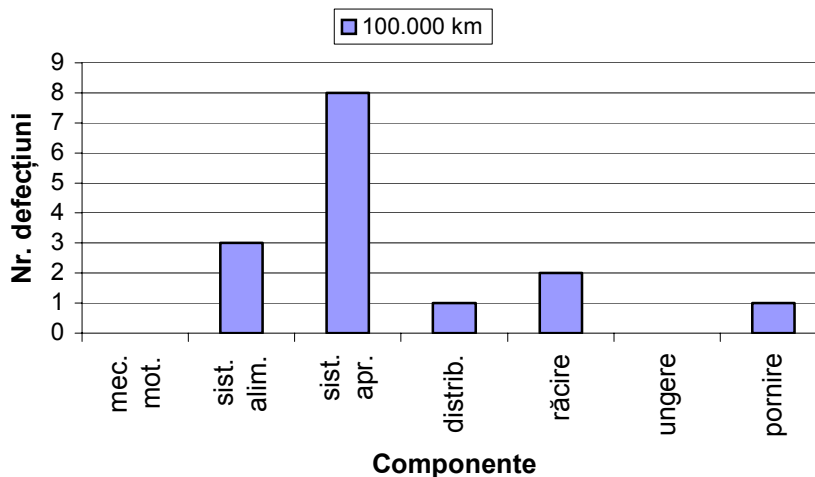
4.6.1 Diagrama PARETO

Se prezintă sub forma unei histograme care arată numărul de defecțiuni înregistrate până la un moment dat „t” la fiecare din componentele unui sistem.

Diagrama PARETO - grup moto-propulsor



PARETO - motor



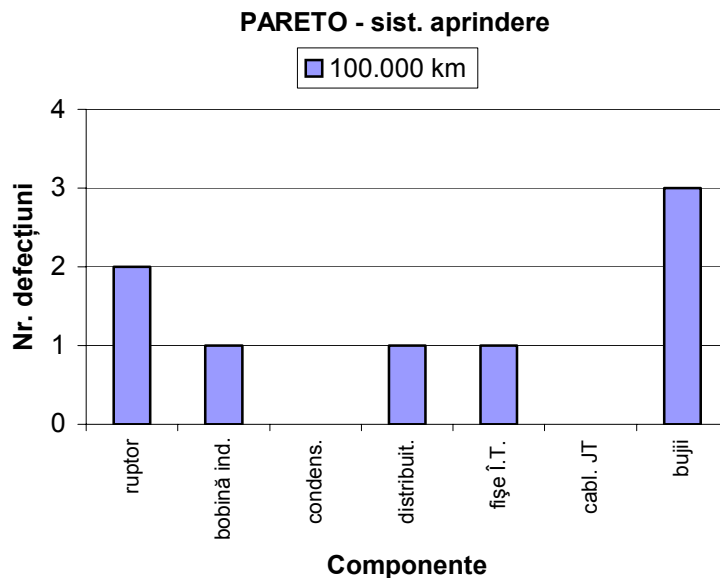


Diagrama PARETO permite evidențierea componentei cu fiabilitatea cea mai scăzută a unui sistem. În cazul sistemelor complexe se ridică diagrame PARETO în etape succesive, până la evidențierea elementelor simple cu cea mai mare rată a căderilor.

4.6.2 Matricea defectelor

Prezintă numărul de defecțiuni înregistrate pe fiecare componentă a sistemului la intervale de timp egale.

Se procedează la însumarea numerelor de defecțiuni pe orizontală, deci pentru fiecare componentă în parte, pe durata desfășurării experimentului. În dreapta matricei se construiește histograma corespunzătoare, care reprezintă diagrama PARETO a sistemului.

Apoi se însumează numerele defecțiunilor pe verticală, deci pe intervale de timp. În partea inferioară a matricei se construiește o histogramă care prezintă evoluția numărului de defecțiuni din intervalele de timp Δt pentru întregul sistem. Deoarece densitatea de probabilitate a timpului de bună funcționare este $f(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}$, iar N_0 și Δt sunt constante,

rezultă că histograma respectivă reprezintă histograma lui $f(t)$, dar la altă scară.

