4. PROIECTAREA 6 SIGMA

4.1. Introducere

Calitatea sistemelor – înțelese ca produse, procese, servicii – este o dorință atât a proiectanților cât şi a beneficiarilor. Statistica este un domeniu de bază pentru analiza calității.

Înțelegerea şi percepția asupra aspectelor esențiale ale unui beneficiar asupra unui produs este un punct critic în asigurarea succesului produsului respectiv. Calitatea impune respect şi diferențiază un produs de un altul. Una din căile de dezvoltare cu succes a produselor pe această linie este *Design For Six Sigma* (DFSS).

Utilizatorii cer produse perfecte, definind perfecțiunea prin: cost, calitate, performanță, estetică, ambalaj, etc. În acelaşi timp se impune îmbunătățirea predicției şi capabilității de dezvoltare a produselor. Marketingul cere reducerea costurilor şi creşterea profitului. Sunt aspecte care au generat în dezvoltarea DFSS.

După 1980 are loc un puternic schimb de informație referitoare la calitate dinspre societatea japoneză spre cea americană. Acest lucru se concretizează prin instruire în domeniul TQM, Metoda Taguchi, Management şi planificare, etc.

Ca răspuns General Electric se lansează în această opțiune după 1990, raportând în 1999 că produsele sale respectă DFSS şi salvând pe această cale 2 bilioane $. Firma Motorola se înscrie pe aceeaşi traiectorie.

Six Sigma (sigma provine de la litera grecească care reprezintă deviația standard în statistică) reprezintă o metodologie de creştere a capabilității şi de a reduce defectele în orice proces. Deviația standard reprezintă metrica de bază în analiza statistică a măsurărilor.

Dar ce este această proiectare ?

Six Sigma Engineering asigură un proces adecvat pentru a îmbunătăți calitatea şi a reduce defectele. Cum realizează acest lucru ?

Conceptul fundamental pentru statistică este unitatea statistică. Unitatea statistică reprezintă forma individuală de manifestare obiectivă a fenomenelor şi proceselor supuse statisticii. Fiecare unitate statistică are anumite caracteristici cantitative şi calitative. Totalitatea unităților care printr-o proprietate comună pot fi considerate împreună, formează, o colectivitate statistică. Prin ordonarea şi gruparea datelor statistice, după caracteristici de grupare, se obțin seriile statistice.

Cercetarea unei colectivități se poate exprima prin variabile aleatoare care reprezintă variația unei caracteristici întâmplătoare ce rezultă din cercetarea colectivității respective. Această variație este pusă în evidență de seria statistică de repartiție (repartiția variabilei aleatoare).

O variabilă aleatoare poate fi:

- *Discretă*, repartiția în acest exprimându-se sub forma:

$$X : \begin{pmatrix} x_i \\ f(x_i) \end{pmatrix}, i = 1,2,...,n \qquad (4.1)$$

unde x_i reprezintă variantele respective iar $f(x_i)$ reprezintă probabilitătile respective $f(x_i) = P(X = x_i)$. Funcția f(x) se numeşte funcția de probabilitate.

- Continuă, repartiția exprimându-se în acest caz sub forma:

$$X : \begin{pmatrix} x \\ \varphi(x) \end{pmatrix}, x \in [a,b] \qquad (4.2)$$

unde φ(x) este densitatea de probabilitate în punctul x.

O altă formă de exprimare a legii de repartiție, care caracterizează atât variabila aleatoare discretă cât şi cea continuă, este funcția de repartiție. Prin definiție, funcția de repartiție a unei variabile aleatoare X este probabilitatea evenimentului ca variabila X să ia o valoare mai mică decât un x_0 dat:

$$F(x) = P(X < x_0) = \sum_i f(x_i) \qquad (4.3)$$

$$F(x) = P(X < x_0) = \int_a^{x_0} \varphi(x) \cdot dx \qquad (4.4)$$

Formule de calcul pentru funcțiile de repartiție şi respective densitatea de probabilitate sunt prezentate în literature de specialitate [4.2], [4.9].

De exemplu pentru o repartiție normală (Gauss) densitatea de probabilitate se exprimă printr-o relație de forma:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2} \qquad (4.5)$$

unde: *m* şi *σ* sunt parametrii repartiției (media şi respectiv dispersia), e = 2.71828, π = 3.14159.

Funcția de repartiție în cazul legii normale este dată de relația:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)^2} dt \qquad (4.6)$$

Pentru a construi curba de repartiție normală este necesară determinarea punctelor de extrem şi de inflexiune ale funcţiei.

Pe principiul clasic al analizei matematice se poate determina:

- Maximul funcţiei are loc în punctul $x = \mu$ şi este de valoare $f_{\max} = \dfrac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$;
- Punctele de inflexiune se găsesc la abscisa $x = \mu \pm \sigma$

Curba densităţii de probabilitate are forma de clopot, simetrică teoretic faţă de o axă paralelă cu axa ordonatelor şi asimptotică la axa absciselor.

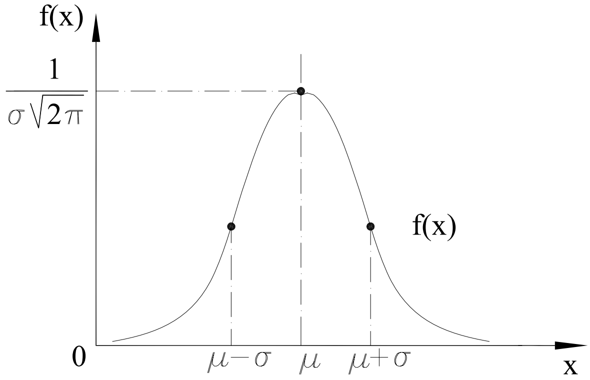

Fig. 4.1 Graficul densităţii de probabilitate pentru funcţia normală

Exemplu 4. 1

O variabilă urmărită în procesul de măsurare prezintă o variaţie între 23 [U.M.] şi 88 [U.M.] cu o frecvenţă reprezentată în tabelul 4.1. Se cere să se determine media variabilei respective, dispersia şi să se reprezinte curba densităţii de probabilitate.

Din observaţia variaţiei amplitudinii $R = x_{\max} - x_{\min} = 89 - 23 = 66$ *[U.M.] se pot admite 7 intervale egale de mărime* $h = 10$.

Tabelul 4.1

Intervalul [U.M.]	**Frecvenţa n_i**	**Frecvenţa relativă** $f(x_i) = \dfrac{n_i}{n}$
20 – 30	6	0.06
30 – 40	12	0.12
40 - 50	16	0.16
50 - 60	32	0.32
60 - 70	15	0.15
70 - 80	13	0.13
80 - 90	6	0.06
Total n = 100	**1**	

Calcul parametrilor distribuţiei conduce la valorile:

- Media: $\mu = 55$ [U.M.]
- Dispersia: $\sigma = 20$.

Graficul densității de probabilitate este reprezentat în figura 4.2 Utilizarea relației (4.6) permite trasarea curbei densității de probabilitate pentru legea normală de repartiție.

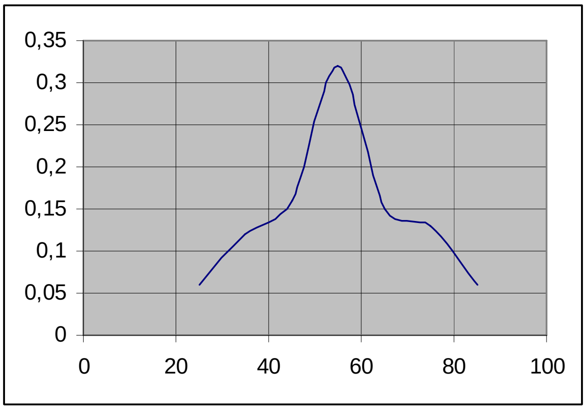

Fig. 4.2 Densitatea de probabilitate

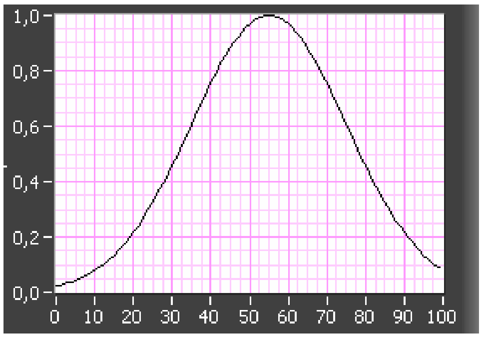

Fig. 4.3 Graficul densitații de probabilitate (rel.4.6)

Curba densității de probabilitate se localizează prin media μ şi are forma determinată de dispersia σ (fig.4.4). Proporţia de observații care aparţin unui interval centrat este prezentată în figura 4.5

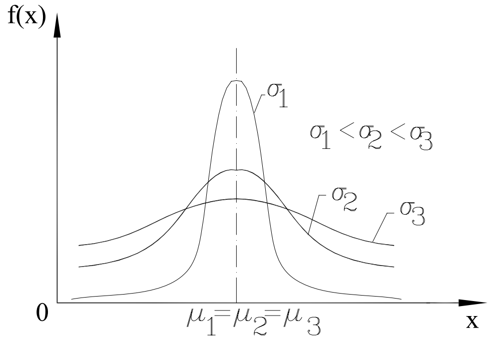

Fig. 4.4 Densitatea de probabilitate funcție de dispersie

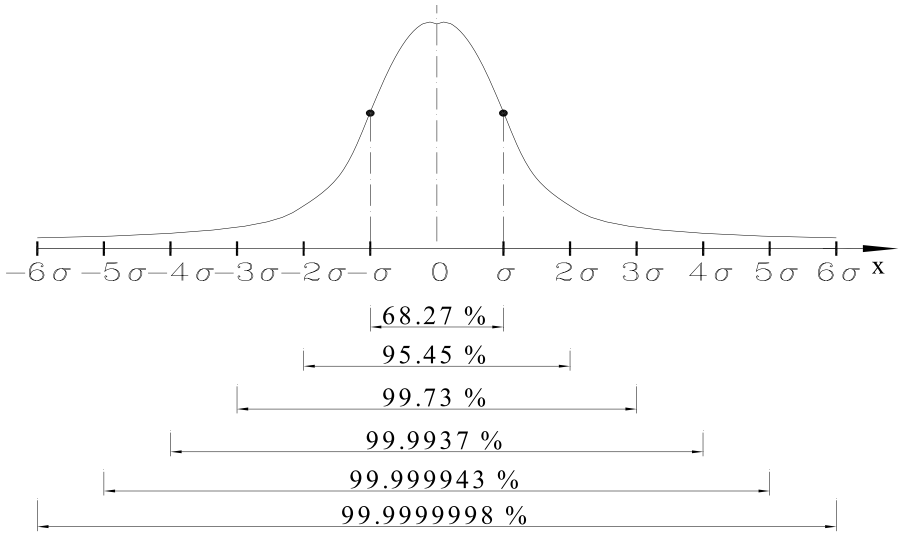

Fig. 4.5 Intervale centrate

4.2. Proiectare 6 sigma

4.2.1. Introducere

Graficul unei variații şi performanțele procesului 6σ sunt evidențiate în figura 4.6. Limitele zonei admise sunt impuse de beneficiar. Metoda 3σ conduce la rebut şi un preț ridicat. Printr-un proces de reducere a valorii dispersiei se obține o creştere a calității.

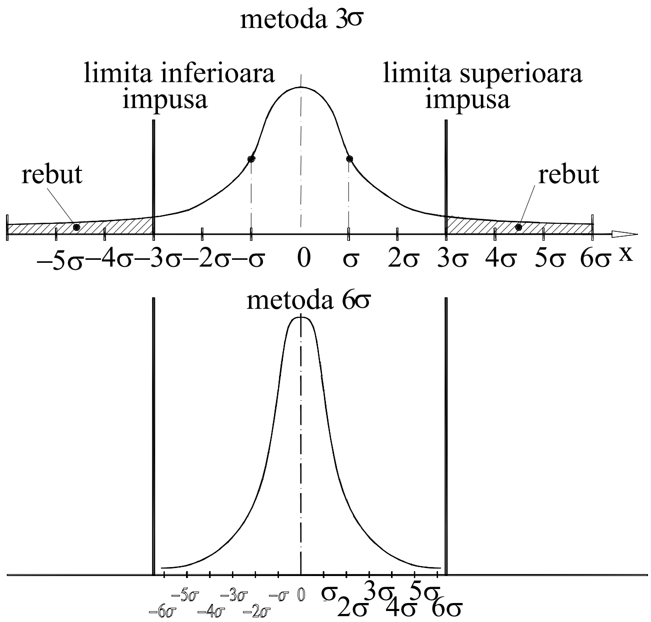

Fig. 4.6 Performanțele 6σ

Fazele metodei *six sigma* sunt prezentate în mod succinct în figura 4.7 prin conținutul corespunzător fiecărei faze.

D	Definirea problemelor, defectelor
M	Se măsoară nivelul de performanță curent
A	Se analizează totatilitatea cauzelor care stau la baza problemelor / defectelor
I	Îmbunătățirea situației prin identificarea şi implementarea soluțiilor care elimină sursa de defecte
C	Controlul prin monitorizare a performanțelor pentru procesul analizat şi îmbunătățit

Fig. 4.7 Fazele metodei 6 sigma

Reprezentând costul total al produsului în raport cu valorile nominale ale dispersiei se constată o dependență parabolică cu un extrem (valoare minimă) a costului. Acel punct se constituie în bariera tipică pentru metoda *six sigma* (fig.4.8).

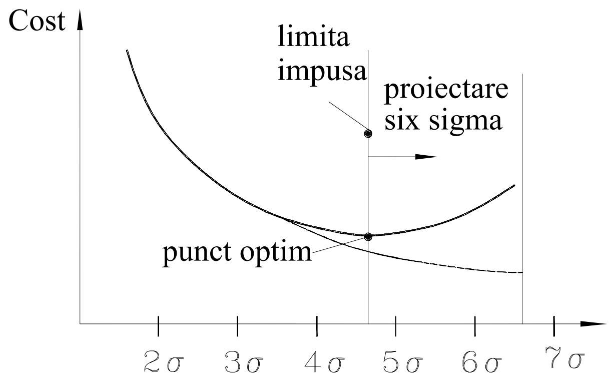

Fig. 4.8 Costul produsului

Această metodologie se aplică atât pentru crearea de noi produse cât şi pentru reproiectarea celor existente în vederea îmbunătățirii performanțelor. Se consideră că prețul de cost, pentru modificările care se impugn, este incomparabil mai mic în perioada de proiectare.

Procedeul de proiectare *six sigma* (Design For Six Sigma - DFSS) se bazează pe adăugarea unor opțiuni variantei DMAIC tradiționale .

Schema de abordare a modului de lucru funcție de existența sau nu a prodului / serviciilor este prezentată în figura 4.9

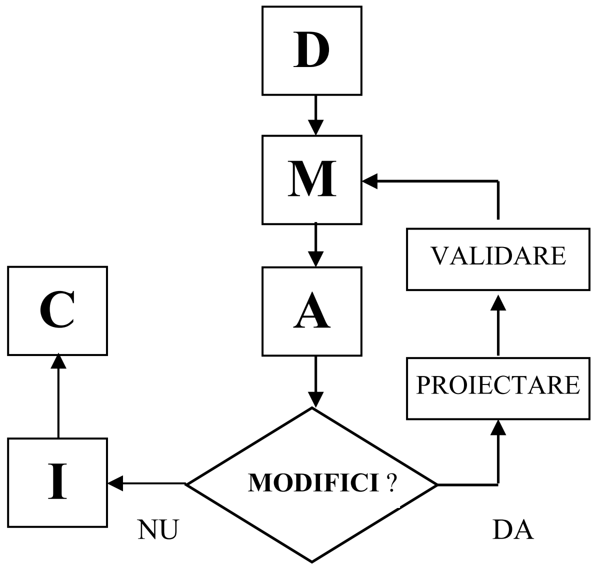

Fig. 4.9 Procedeul de proiectare 6 sigma

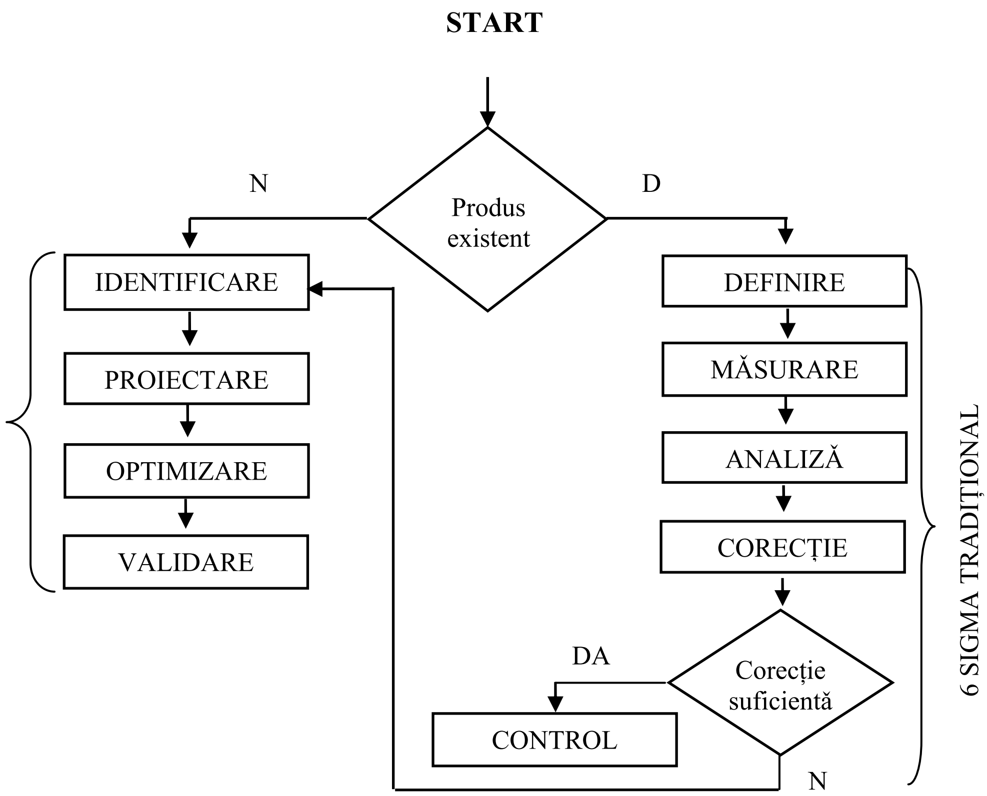

Fig. 4.10 Schema logică de proiectare

Factorii critici (CTx – *Critical to x*) pe fazele prezentate şi aspectele măsurabile sunt prezentate în tabelul 4.2

Tabelul 4.2

Faza	CTx	Aspecte măsurabile
Definire	Date iniţiale pentru proiect Scopul proiectului	Bursa de acţiuni, venit Resurse, buget
Măsurare	Factorii critici de îndeplinire	Necesităţile beneficiarului au prioritate
	Factorii critici de calitate (CTQ)	Caracteristicile de calitate, valori de referinţă, toleranţe, funcţii de transfer
Analiză	Lipsuri în cele prezentate anterior	Tehnologia prioritară, cost, fiabilitate
Proiectare	Factorii critici ai produsului	Variabilele de ieşire a procesului din transferul de la variabilele de intrare.
	Criteriul de selecţie a proiectării	Criteriile de apreciere, studiu de fezabilitate, alegerea furnizorilor
Validare	Toleranţele	Intrări optimizate, toleranţe, fiabilitate
	Factorii critici ai producţiei	Teste, controlul planului, proceduri standard

Cele patru etape ale fazei de proiectare sunt evidenţiate prin referinţe direct aplicative în schema logică din figura 4.11.

4.2.2. Interval de încredere

Fiind dată o densitate de repartiţie *f(x, λ)* care conţine parametrul necunoscut *λ* putem considera că realizând o selecţie de volum *n* definită prin $\{x_1, x_2, \ldots x_n\}$ există două statistici $\overline{\lambda_1}(x_1, x_2, \ldots x_n)$ şi $\overline{\lambda_2}(x_1, x_2, \ldots x_n)$ astfel ca să fie îndeplinită inegalitatea:

$$P\left[\overline{\lambda_1}(x_1, x_2, \ldots, x_n)\right] \le \lambda \le P\left[\overline{\lambda_2}(x_1, x_2, \ldots, x_n)\right] = \delta \qquad (4.7)$$

şi unde *δ* nu depinde de *λ*. Aceasta înseamnă că a fost determinat un interval $[\lambda_1\ \lambda_2]$, denumit *interval de încredere*, care acoperă pe λ cu o probabilitate δ [4.6]. Valoarea *δ* se numeşte *prag de încredere* al intervalului considerat.

În proiectarea *six sigma* intervalul de încredere $I.I. = [\lambda_1\ \lambda_2]$ pentru o repartiţie normală standard, ilustrat sugestiv în figura 4.12, se calculează cu o relaţie de forma:

$$I.I. = \overline{x} \pm Z_{\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \qquad (4.8)$$

unde: este valoarea medie, *σ* este deviaţia standard, $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ este valoarea variabilei *Z* pentru un nivel de încredere *α*.

Pentru o distribuţie *t* (fig.4.13) intervalul de încredere se calculează prin relaţia:

$$I.I. = \overline{x} \pm t_{\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \qquad (4.9)$$

unde: $\overline{x}$ este valoarea medie, S este abaterea standard, $t_{\frac{\alpha}{2}}$ este valoarea variabilei t pentru un nivel de încredere α.

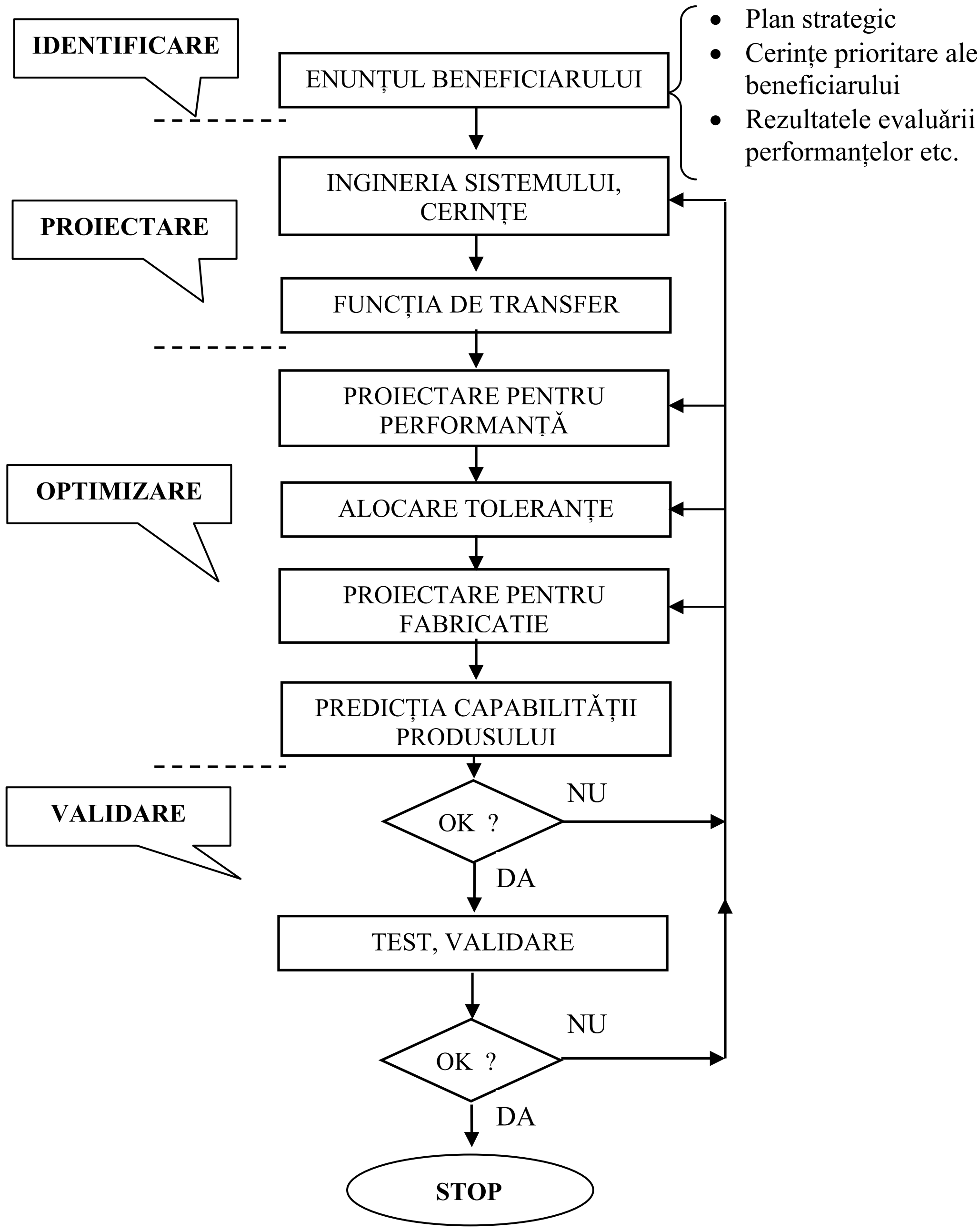

Fig. 4.11 Schema logică de proiectare 6 sigma

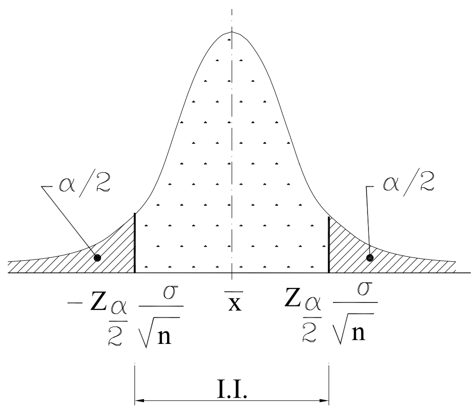

Fig. 4.12 Intervalul de încredere pentru o repartiție normală standard

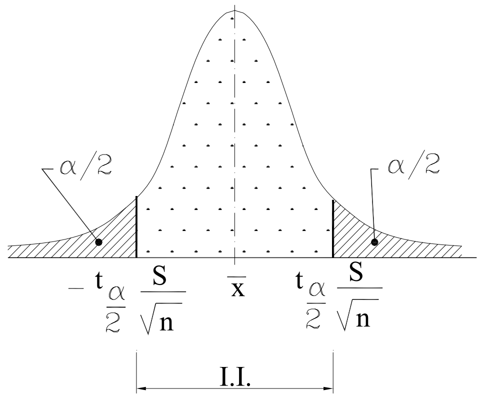

Fig. 4.13 Intervalul de încredere pentru o distribuție t

Exemplu 4. 2

Să se determine intervalul de încredere I.I. la un nivel de încredere de 95 % dacă valoarea medie a unui eşantion de $n = 50$ *este* $\bar{x} = 24.6$ *iar deviația standard este* $\sigma = 3$.

Din [4.2, pag.328] pentru nivelul de încredere dat se determină $Z_{\frac{\alpha}{2}} = 1.96$.

Pe baza relației (4.8) se poate calcula:

$$I.I. = 24.6 \pm 1.96 \cdot \frac{3}{\sqrt{50}} = 24.6 \pm 0.83 = \begin{cases} 23.83 \\ 25.43 \end{cases} \qquad (4.10)$$

4.2.3. Metrica defectelor în 6 sigma

O unitate produs se consideră deteriorat dacă are cel puțin un defect. Se impune să se determine toate oportunitățile posibile pentru problema analizată, excluderea evenimentelor rare, gruparea defectelor similare, evitarea aspectelor banale, definirea oportunităților consistente.

Proporția p de deteriorare se defineşte prin raportul dintre numărul de unități deteriorate *NUD* şi numărul total de unități produs *NUP*:

$$q = \frac{NUD}{NUP} \quad (4.11)$$

Probabilitatea de lipsă a defectelor va fi. $p = 1 - q$.

Numărul de defecte pe unitate *dpu* se defineşte ca numărul de defecte *ND* raportat la numărul total de unități produs:

$$dpu = \frac{ND}{NUP} \quad (4.12)$$

Probabilitatea de a găsi r defecte în eşantionul considerat cu un *dpu*, poate fi estimată cu o distribuție Poisson [4.11].

Numărul de defecte pe oportunitate *dpo* se defineşte ca fiind raportul dintre numărul de defecte *ND* şi produsul dintre numărul de unități *NUP* şi numărul oportunităților pe unitate *OPU*:

$$dpo = \frac{ND}{NUP \times OPU} \quad (4.13)$$

Defectele la un milion de oportunități *dpmo* se determină printr-o relație de forma:

$$dpmo = dpo \times 1.000.000 \quad (4.14)$$

În concordanță cu proiectarea robustă se defineşte un coeficient de capabilitate *CP* ca fiind raportul dintre valoare maximă a intervalului permis pentru o caracteristică şi variație normală ±3σ:

$$C_P = \frac{L.S. - L.I.}{3\sigma} \quad (4.15)$$

Valori ale coeficientului de capabilitate pentru diverse valori ale lui σ sunt date în tabelul 4.3.

Tabelul 4.3

Grad de valorificare	dpmo	σ	CP	Costul pentru calitate inferioară
0,840	160.000	2,50	0,83	40 %
0,870	130.000	2,63	0,88	
0,900	100.000	2,78	0,93	
0,945	55.000	3,10	1,03	30 %
0,980	20.000	3,55	1,18	20 %
0,995	5.000	4,07	1,36	
0,999	1.000	4,60	1,53	10 %
0,99975	250	4,98	1,66	5 %
0,9999	100	5,22	1,74	
0,99998	20	5,61	1,87	
0,9999966	3.4	6.00	2,00	

Corespondenţa calitativă dintre cei doi parametri este ilustrată sugestiv în figura 4.14 (L.I. – limita inferioară, L.S. limita superioară). În acelaşi timp parametrul *dpmo* se poate converti în valoarea coeficientului Cp [4.11].

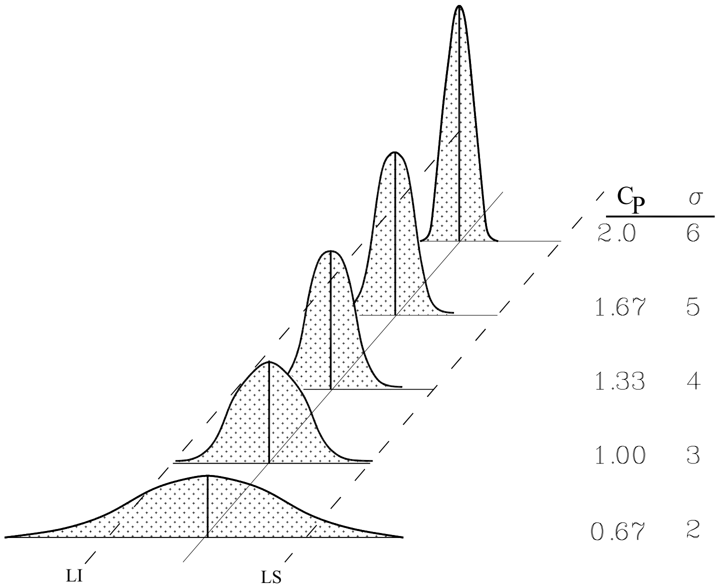

Fig. 4.14Corespondenţa calitativă între cei doi parametri

Exemplu 4. 3

Se cere să se determine care este parametrul dmpo *dacă s-au identificat 8 defecte la 160 de unităţi cu 10 oportunităţi la fiecare unitate. Care este coeficientul de capabilitate ?*

Pe baza relaţiilor anterioare (4.12) - (4.14) se calculează:

$$dpu = \frac{8}{160} = 0.05 \quad (4.16)$$

$$dpo = \frac{8}{160 \cdot 10} = 0.005 \quad (4.17)$$

$$dmpo = dpo \times 1.000.000 = 0,005 \times 1.000.000 = 5.000 \quad (4.18)$$

Din tabelul 4.3 se determină CP = 1,36

La nivelul anilor 1980 s-a introdus noţiunea de *concepţie robustă* ca o experienţă din proiectarea experimentelor (*Design of Experiment*) şi orientată spre o nouă concepţie a sistemelor (produse, servicii, metode etc.).

O definiţie a acestei concepţii ar fi în esenţă concepţia unor produse insensibile la variabilitatea transmisă de componente. De ex. pentru un produs echivalat cu un amplificator electronic, performanţa se referă la valoarea nominală a tensiunii. Parametrii elementelor componente (tranzistoare, rezistenţe, sursă de curent etc.)

influențează prin variabilitatea lor performanțele produsului.

Sistemic, produsul se poate prezenta asemănător cu figura 4.15.

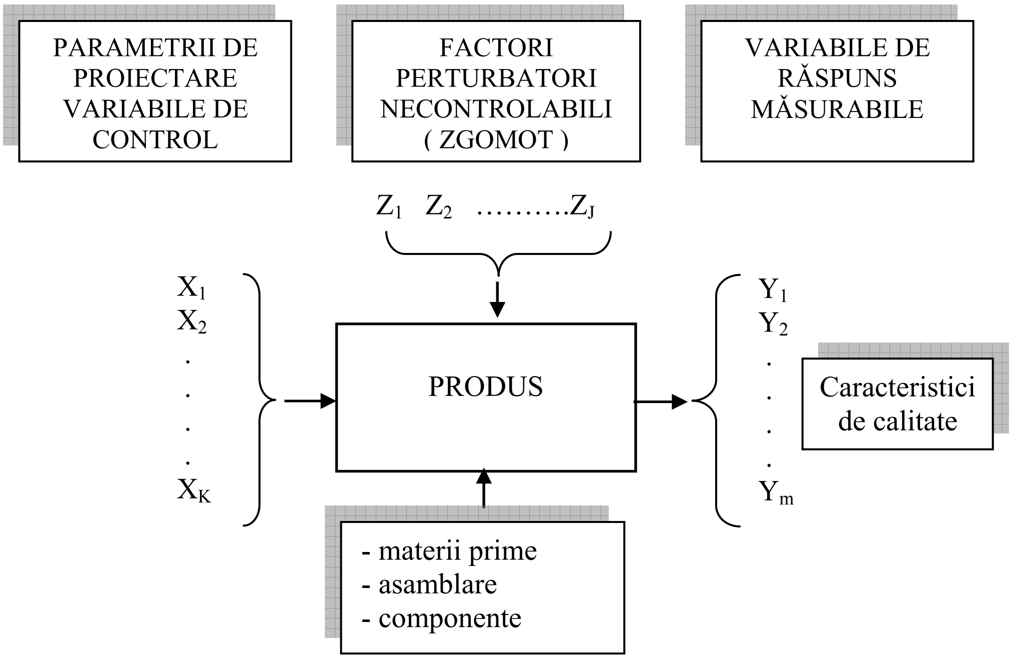

Fig. 4.15 Prezentarea sistemică a unui produs

Variabilele de răspuns (ieşirea sistemului) se pot defini printr-o relație generalizată de forma:

$$Y = f(X_1, X_2, ..., X_k) + \varepsilon \qquad (4.19)$$

unde funcția f poate fi cunoscută (formă liniară, neliniară) sau necunoscută (calculabilă, observabilă prin experiment).

Conform concepției de proiectare, calitatea Y a produsului este puțin sensibilă la facorii perturbatori (zgomot) Z. În acelaşi timp conceptul de proiectare analizează interacțiunea dintre variabilele X şi Z pentru a obține performanțe acceptabile, măsurabile prin Y, ale produsului. Conform metodei Taguchi (fig.4.16), variabilele se clasifică conform tabelului 4.4.

Tabelul 4.4

Variabila	Caracterizare
Funcția	Măsurabilă prin ieşirea Y
Control	Parametrii de proiectare X
Zgomot	Variabile necontrolabile Z
Semnal	Variabile principale de intrare
Reglaj	Permit modificarea valorii medii pentru Y fără a afecta varianța pentru Y

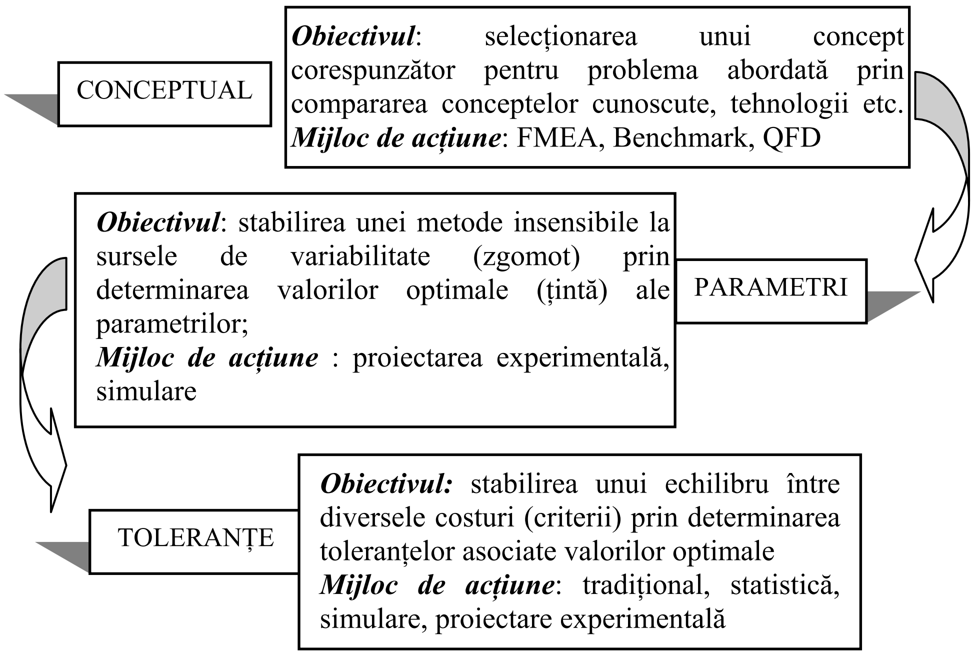

Fig. 4.16 Metodologia de proiectare Taguchi

Funcția de pierdere pătratică (fig.4.17), pierderile medii (fig.4.18) sunt câteva din abordările avute în vedere în proiectarea Taguchi pe baza cărora pot fi evaluate performanțele alternativelor şi stabilit proiectul corespunzător în cadrul unui proces de optimizare .

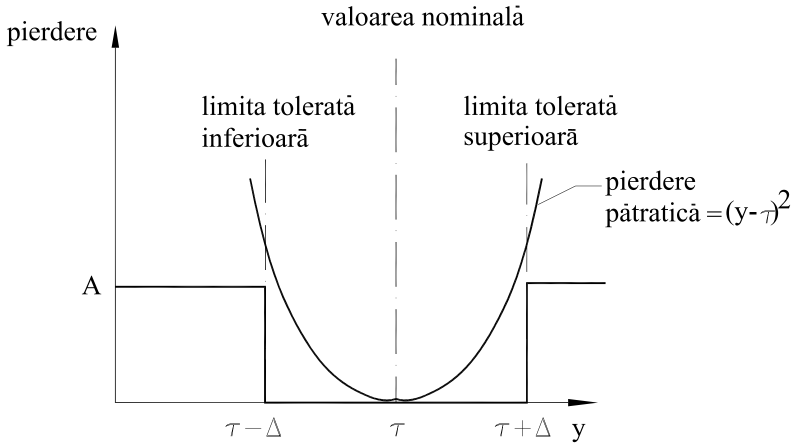

Fig. 4.17 Funcția de pierdere pătratică

Pierderile medii se pot defini printr-o relație de forma:

$$PM = \sigma^2 + (\mu - y_0)^2 \qquad (4.20)$$

Minimizarea pierderilor concomitent cu determinarea variabilei de control corespunzătoare se poate realiza prin metoda Taguchi sau metoda clasică [4.10], [4.11]. Metoda Taguchi apelează la raportul semnal – zgomot calculat prin relația:

$$SB_N = 10 \cdot \lg\left(\frac{\mu^2}{\sigma^2}\right) = -20 \cdot \lg(CV) \qquad (4.21)$$

unde coeficientul de variație CV are valoarea:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \qquad (4.22)$$

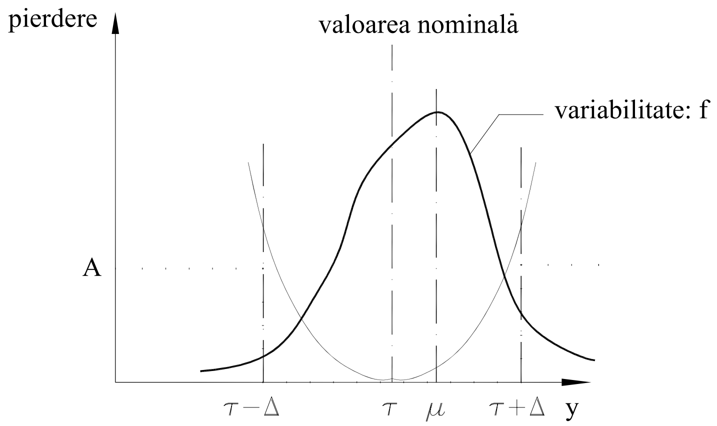

Fig. 4.18 Funcția pierderi medii

Exemplu 4. 4

Se consideră circuitul RL reprezentat în figura 4.19. Se cere abordarea problemei de proiectare optimală pe criteriul 6 sigma.

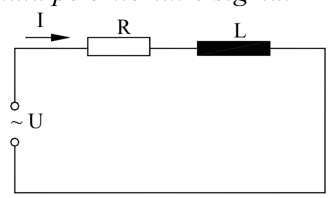

Fig. 4.19 Circuit R-L

Valoarea vizată în procesul de proiectare se consideră cea a curentului prin circuit:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (2 \cdot \pi \cdot f \cdot L)^2}} = 3\ A \qquad (4.23)$$

Variabilele şi rolul acestora în funcționarea circuitului este următoarea:

- *funcție răspuns: Y - curentul I;*
- *factor de control: - rezistența R cu toleranțele ± 10 %;*

- *factor de adaptare: - inductivitatea L cu toleranțele ± 10 %;*
- *factor de zgomot: U = 24 V, ± 10 %, ,* $f = \{48, 49, 50\}$ *Hz R, L, cu valorile nominale şi limitele de variație.*

Utilizând o abordare systemică, relația (4.19) se poate scrie sub foma:

$$Y = f(U, R, f, L) = I \tag{4.24}$$

Se consideră disponibile 3 variante de proiect cu valorile nominale pentru R, L cele prezentate în tabelul 4.5.

Tabelul 4.5

	R [Ω]	L [H]
Proiectul 1	7,00	0,0126
Proiectul 2	1,85	0,0256
Proiectul 3	6,50	0,0150

Numărul cazurilor posibile şi deci dimensiunea matricii externe este definit de numărul de valori pentru variabile:

$$3\,\mathrm{var}.U \times 3\,\mathrm{var}.R \times 3\,\mathrm{var}.L \times 3\,\mathrm{var}.f = 3^4 = 81 \tag{4.25}$$

Utilizând facilitățile Excel s-au calculat variantele disponibile pentru cele 3 proiecte conform celor prezentate în tabelele 4.6, 4.7, 4.8.

Tabelul 4.6

nr.crt.	U	f	R	L	Y=I
1	21,6	48	6,30	0,01134	3,013197442
2	21,6	48	6,30	0,01260	2,935839559
3	21,6	48	6,30	0,01386	2,856904687
4	21,6	48	7,00	0,01134	2,772493501
..	..	..	..	..	..
79	26,4	50	7,70	0,01134	3,111660195
80	26,4	50	7,70	0,01260	3,049241831
81	26,4	50	7,70	0,01386	2,984440857

Tabelul 4.7

nr.crt.	U	f	R	L	Y=I
1	21,6	48	1,6650	0,02304	3,022919533
2	21,6	48	1,6650	0,02560	2,734770631
3	21,6	48	1,6650	0,02816	2,495798204
4	21,6	48	1,8500	0,02304	3,003851106
..	..	..	..	..	..
79	26,4	50	2,0350	0,02304	3,511164979
80	26,4	50	2,0350	0,02560	3,182271516
81	26,4	50	2,0350	0,02816	2,908199264

Tabelul 4.8

nr.crt.	U	f	R	L	Y=I
1	21,6	48	5,850	0,01350	3,030561342
2	21,6	48	5,850	0,01500	2,920834213
3	21,6	48	5,850	0,01650	2,812414031
4	21,6	48	6,500	0,01350	2,816207024
..	..	..	..	..	..
79	26,4	50	7,150	0,01350	3,17565763
80	26,4	50	7,150	0,01500	3,082942414
81	26,4	50	7,150	0,01650	2,989352723

Performanțele corespunzătoare celor 3 proiecte sunt evidențiate în cadrul tabelului 4.9. indicându-se proiectul ales pe baza parametrului SB.

Tabelul 4.9

	min	max	$\overline{Y}$	σ	CV	PM	SB
Pr.1	2,44181	3,68279	2,9988	0,1009	0,1059	8,5043	19,498
Pr.2	2,37940	3,68460	2,9644	0,1171	0,1154	8,3223	18,751
Pr.3	2,44580	3,70400	3,0099	0,0964	0,1031	8,5642	19,729

PM minim

Proiectul cel mai bun

4.3. Probleme propuse

- variabilă urmărită în procesul de măsurare prezintă o variație între 15 [U.M.] şi 95 [U.M.] cu o frecvență reprezentată în tabelul alăturat. Se cere să se determine media variabilei respective, dispersia şi să se reprezinte curba densității de probabilitate.

Tabelul 4.10

Intervalul [UM]	Frecvența
10 - 20	5
20 - 30	14
30 - 40	17
40 - 50	20
50 - 60	35
60 – 70	23
70 - 80	18
80 - 90	8

- Să se determine intervalul de încredere I.I. la un nivel de încredere de 95 % dacă valoarea medie a unui eşantion de $n = 35$ este $\overline{x} = 14.6$ iar deviaţia standard este $\sigma = 2.3$
- Se cere să se determine care este parametrul dmpo dacă s-au identificat 6 defecte la 140 de unităţi cu 8 oportunităţi la fiecare unitate. Care este coeficientul de capabilitate ?
- Să se optimizeze un circuit R – L paralel cu valorile parametrilor corespunzător exemplului 4.4 utilizând metoda 6 sigma.

4.4. Bibliografia capitolului 4

[4.1]Barker, Th. B., Engineering quality by design, Marcel Dekker, Inc., New York, 1990
[4.2]Davidescu, A., Analiza şi procesarea datelor în Matlab, Editura Politehnica, Timişoara, 2003
[4.3]Karna, A., Environmentally oriented product design. A Guide for Companies in the Electrical and Electronics Industry, Helsinki, 1998
[4.4] Kiemele, M.J., Using the design for six Sigma (DFSS) Aproach to Design, Test and Evaluate to Reduce Program Risk, http://www.dtic.mil/ndia/2003test/kiemele.pdf
[4.5]Mazur, G.H., QFD in Support of Design for Six Sigma, (-)
[4.6]Mihoc, Gh.,ş.a., Bazele matematice ale teoriei fiabilităţii, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1976
[4.7]Militaru, C., Fiabilitatea şi precizia în tehnologia construcţiilor de maşini, Editura Tehnică, Bucureşti, 1987
[4.8]Millea, A., Cartea metrologului. Metrologie generală, Editura Tehnică, Bucureşti, 1985
[4.9]Resa, I.D.,s.a., Probleme de statistică rezolvate pe calculator, Editura Facla, Timisoara, 1984
[4.10]***, Business Process Initiative: Design for Six Sigma, UGS PLM Solutions 2004
[4.11]***, Six Sigma Tutorial, www.sixsigmatutorial.com/Six-Sigma/Six-Sigma-in - Engineering.aspx