INGINERIA ȘI MANAGEMENTUL CALITĂȚII

Conf.univ.dr.ing. Adrian P. Pugna

Departamentul Management
Facultatatea de Management in Producție și Tansporturi
Universitatea Politehnica Timisoara, Romania

Copyright © 2017 Adrian P. Pugna

CAP.I INGINERIA CALITĂȚII
- Definire și concepte de bază -

1.1 CONCEPTUL DE CALITATE

"calitate" ⟵ ***"qualis"*** ⟵ ***”fel de-a fi”***

Sensuri

- ”*aptitudinea pentru utilizare*” (J.M. Juran);
- ”*conformitatea cu necesităţile*” (P. Crosby);
- ”*satisfacerea unei necesităţi*”;
- ”*gradul de satisfacere a consumatorului de prima dată şi de fiecare dată*”;
- „*un cost mai mic pentru o utilizare dată*”;
- ”*conformitatea produsului sau a serviciului cu exigenţele clienţilor interni sau externi*”;
- ”*a face lucrul potrivit de prima dată*” etc.

1.2 Definiții ale calității

În sensul cel mai general → *„Calitatea este o categorie filosofică si exprimă însuşirile esenţiale ale unui obiect, serviciu, care îl fac să se distingă de toate celelalte produse (servicii) similare, care au aceeaşi destinaţie, respectiv utilitate”.*

Literatura de specialitate → *„Calitatea reprezintă gradul de utilitate sau aptitudinea de utilizare în conformitate cu cerinţele”.*

J.M. Juran → *„Calitatea reprezintă gradul de utilitate sau aptitudinea de utilizare a produsului”.*

Phil Crosby → *„Calitatea reprezintă conformitatea cu cerinţele existente în domeniu şi nu ca bun sau elegant”.*

G. Taguchi → *„Calitatea reprezintă un minim de pierdere dinspre produs spre societate, din momentul în care produsul este livrat”.*

STAS 8402-1991 → *„Calitatea reprezintă ansamblul de proprietăţi şi caracteristici ale unui produs sau serviciu care îi conferă acestuia aptitudinea de a satisface necesităţile exprimate sau implicite".*

→ Din definiţia enunţată mai sus rezultă următoarele idei importante:

- ✓ ***Calitatea este întotdeauna descrisă de un ansamblu de caracteristici ;***
- ✓ ***Calitatea există numai în relaţia cu clientul;***
- ✓ ***Prin calitate trebuie satisfăcute atât nevoile exprimate, cât şi cele implicite.***

Dicţionarele de specialitate furnizează în general ***două tipuri de definiţii*** ale calităţii care sunt importante pentru manageri.

Acestea se bazează fie pe ***relaţia dintre calitate şi caracteristicile produsului***, fie pe ***relaţia dintre calitate şi lipsa deficienţelor.***

Caracteristicile produsului au un impact direct asupra volumului vânzărilor, astfel că, din acest punct de vedere, ***o calitate mai bună, de obicei, costă mai mult***.

Pe de altă parte, ***deficienţele produsului au un impact direct asupra costurilor,*** astfel încât, din acest punct de vedere, o ***calitate mai bună, de obicei costă mai puţin.***

Integrarea celor două perspective într-o singură definiţie este foarte dificilă, fapt ilustrat de Juran (1989), care a arătat că ***nu există consens deplin cu privire la semnificaţia dată conceptului de calitate***

Tab. 1.1 Principalele semnificaţii ale calităţii

„Caracteristici ale produselor-serviciilor care satisfac nevoile consumatorilor”	**„Lipsa deficienţelor”**
Efectul major se manifestă asupra *vânzărilor*	**Efectul major se manifestă asupra *costurilor***
În general, ***un nivel înalt de calitate costă mai mult***	În general ***un nivel înalt de calitate costă mai puţin***
Un ***nivel înalt de calitate*** permite firmelor: • sa mărească nivelul de satisfacţie al consumatorilor; • să realizeze produse mai ușor vandabile; • să facă faţă concurenţei; • să îşi mărească segmentul de piaţă; • să realizeze venituri mai mari din vânzări; • să practice preţuri competitive.	Un ***nivel înalt de calitate*** permite firmelor: • să reducă numărul de erori; • să reducă numărul de rebuturi; • să reducă numărul de defecte de • funcţionare şi reparaţii în garanţie; • să reducă insatisfacţia clienţilor; • să diminueze activităţile de • inspecţie/testare; • să reducă timpul de lansare pe piaţă a produselor noi; • să-şi îmbunătăţească gradul de utilizare a • capacităţii de producţie; • să mărească performanţa livrărilor.

În acelaşi timp, practica arată că, pe fondul unor dezbateri controversate, se pot identifica o serie de ***termeni cheie preferaţi*** de firme pentru ***definirea conceptului de calitate***

Tab. 1.2 Termeni cheie utilizaţi în definirea calităţii

Termeni cu frecvenţă mare de utilizare	**Termeni controversaţi**	**Termeni cu frecvenţă mică de utilizare**
Calitatea serviciilor: • caracteristici, performanţă, competitivitate; • promptitudine, curtoazie; • capabilitatea proceselor; • lipsa erorilor; • conformitate cu standarde şi proceduri. ***Calitatea produselor:*** • caracteristici, performanţă, competitivitate; • „interfaţă prietenoasă”; • siguranţă în funcţionare; • lipsa defectelor de funcţionare; • fiabilitate, mentenabilitate, disponibilitate; • durabilitate, estetică; • capabilitatea proceselor; • costurile calităţii scăzute; • conformitate cu specificaţii, standarde, proceduri.	• procese interne (recrutare, elaborarea statelor de plată); • durata ciclului de fabricaţie; • promptitudine; • lipsa erorilor; • competitivitate; • siguranţa locului de muncă.	• preţ; • costuri (alte decât cele datorate deficienţilor); • absenteism; • „responsa-bilitatea socială” faţă de angajaţi, mediu, public etc.

În activitatea practică, legată de producţia şi circulaţia mărfurilor, au apărut ***noţiuni concrete, uzuale, aplicative***, care derivă din noţiunea teoretică a calităţii.

Astfel, ***calitatea*** este cunoscută în mai multe ***ipostaze*** a căror ignorare poate produce confuzie în relaţiile dintre producător şi beneficiar:

- ***Calitatea proiectată*** *reflectă valorile individuale ale proprietăţilor la un nivel ales în urma comparării mai multor variante, în scopul satisfacerii într-o anumită măsură a nevoilor consumatorilor.*

  - *acestei ipostaze i se acordă mare atenţie, întrucât ponderea ei în obţinerea unui produs de calitate este de circa 70%, deci are un rol hotărâtor în prevenirea defectelor şi în economisirea de resurse materiale şi umane.*

- ***Calitatea potenţială****, reflectă calitatea produselor după proiectare, dar înainte de fabricaţie.*

- ***Calitatea omologată*** *exprimă valorile individuale ale proprietăţilor produsului, avizate de o comisie de specialişti, în vederea realizării seriei "0", şi care are caracterul de etalon.*

- ***Calitatea prescrisă*** *a unei mărfi indică nivelul limitativ al valorilor individuale (selecţionate) ale proprietăţilor produsului, înscrise în standarde norme, specificaţii.*

  - pe baza ei se face recepţia calitativă a loturilor de mărfuri între producători şi beneficiari (comerţ, turism).

- ***Calitatea fabricaţiei*** *desemnează gradul de conformitate a produsului cu documentaţia tehnică.*

- ***Calitatea contractată*** *exprimă valorile individuale asupra cărora s-a convenit între părţile contractante.*

  - de regulă este apropiată de cea prescrisă în standarde, dar poate să fie la un nivel superior acesteia.

- ***Calitatea livrată*** *presupune nivelul efectiv al calităţii produselor livrate de furnizor.*

- ***Calitatea reală*** *exprimă nivelul determinat la un moment dat pe circuitul tehnic (recepţie, transport, păstrare etc.) şi se compară cu calitatea prescrisă sau contractată.*

- ***Calitatea tehnică*** *sau industrială a unei mărfi exprimă gradul de conformitate a valorilor individuale ale proprietăţilor (de regulă tehnice şi funcţionale), faţă de prescripţiile standardelor şi normelor în vigoare, lăsându-se pe planul secund celelalte proprietăţi.*

  - ***este punctul de vedere al producătorului.***

- ***Calitatea parţială*** *reprezintă raportul dintre calitatea cerută si cea obţinută.*

- ***Calitatea comercială*** *exprimă nivelul, caracteristicilor psiho-senzoriale, varietatea gamei sortimentale, mărimea termenului de garanţie, activitatea de "service", modul de prezentare şi ambalare ,volumul cheltuielilor de întreţinere şi funcţionare, etc.*

- *Această ipostază este de mare importanţă în luarea deciziei de cumpărare, ea reprezentând* ***punctul de vedere al consumatorului****.*

- *Consumatorul priveşte produsul prin prisma serviciului pe care-l aduce în timpul utilizării şi al costului global al acestuia.*

- ***Calitatea comercială*** *este cea care* ***are impact major pe piaţă****.*

- ***Calitatea comercială*** *este punctul de plecare în aprecierea mărfurilor şi se înţelege implicit în orice discuţie care vizează calitatea.*

În **analiza calităţii** se utilizează mai mulţi **termeni de specialitate**.

Cei mai importanţi sunt:

- ✓ ***Cerinţele calităţii***, sunt expresiile ***cererilor formulate de beneficiari (utilizatori, consumatori) în timpul cercetărilor de piaţă*** si ***reprezintă comanda socială, la un moment dat***.

Consumatorii chestionaţi ***îşi exprimă opţiunile pentru un nivel sau altul de calitate al produselor prin intermediul unor formulări generale, care vizează unul sau mai multe aspecte ale calităţii***, **fără să indice precis valoarea unei proprietăţi**.

- ✓ ***Proprietăţile*** sunt ***însuşirile specificate ale unui produs (serviciu) necesar obţinerii lui pentru acoperirea unei nevoi***, şi care **conferă produselor o utilitate (valoare de întrebuinţare).**

- ***Ele apar în documentaţia tehnică (standarde, norme)*** **ca urmare a „traducerii" în termeni tehnici şi economici a cerinţelor de calitate formulate de consumatori**, sau **după omologarea produselor de către specialiştii în domeniu (ingineri şi economişti).**

- ***Numărul proprietăţilor este relativ mare***, în funcţie de natura produsului, acestea fiind necesare pentru fabricaţia lui, **între limitele de toleranţă admise de documentaţia tehnico-economică**.

- ***Proprietăţile sunt prevăzute în proiecte şi prescrise în standarde şi norme*** sub forma **proprietăţilor fizice, chimice, mecanice etc**.

- ✓ ***Caracteristici de calitate***. Datorită varietăţii sortimentelor de mărfuri cu aceeaşi destinaţie, în practica economică se face apel la un ***număr restrâns de proprietăţi care conferă produsului o anumită trăsătură definitorie a gradului de utilitate pentru satisfacerea unei nevoi*** şi care se numesc ***caracteristicile calităţii***.

⇨ Ele sunt deci, ***cele mai importante proprietăţi selecţionate după aportul lor la stabilirea gradului de utilitate a produsului la un moment dat***.

⇨ ***Caracteristicile calităţii reprezintă prima treaptă a sintezei pentru evaluarea corectă a calităţii***.

⇨ În ele se regăsesc ***proprietăţi*** apropiate ***care exprimă gradul de satisfacere a unui segment de nevoi*** (caracteristici estetice, tehnice, ergonomice etc.).

✓ ***Funcţiile calităţii***. ***Sunt rezultatul grupării a două sau mai multe caracteristici înrudite, complementare, care exprimă gradul de satisfacere al nevoii.***

Funcţiile calităţii ***reprezintă penultima treaptă a sintezei caracteristicilor în stabilirea calităţii produsului ca întreg, în toată complexitatea sa, în vederea estimării gradului de satisfacere al nevoii oamenilor la un moment dat.***

În general, ***caracteristicile de calitate*** ale unui produs se pot grupa în ***trei funcţii esenţiale***: **tehnică**, **economică**, **socială**, după aportul pe care îl au la satisfacerea nevoii beneficiarilor.

- ✓ ***Parametrii calităţii*** exprimă ***mărimea, valoarea proprietăţilor şi caracteristicilor de calitate ale produselor*** (ex: rezistenţa la rupere : 51 kg/mm^2 etc).

  - în cazul proprietăţilor psiho-senzoriale, mărimea acestora se exprimă prin noţiuni: dulce, amar etc.

- ✓ ***Indicii calităţii*** exprimă ***valorile relative ale mărimii unei proprietăţi, faţă de cea prescrisă sau de referinţă***.

- ✓ ***Indicatorii calităţii*** sunt ***expresiile cifrice sau noţionale ale funcţiilor, sau ai calităţii produselor sau serviciilor***.

  - au o sferă de cuprindere mai mare la nivelul unui produs, al unui lot de mărfuri sau al producţiei unei întreprinderi.

Ex.: durabilitatea unui motor (funcţie) – 10 ani; calitatea unui lot este de maximum 2% defecte etc.

1.3 Funcțiile calității

- Calitatea are un ***caracter complex şi dinamic***.

- Din definiţia calităţii, rezultă că ea înglobează un ***ansamblu de caracteristici tehnico-funcţionale, economice, sociale, psiho-senzoriale, care împreună satisfac într-un anumit grad nevoia socială la un moment dat şi într-un anumit loc***.

- Din această grupare a caracteristicilor de calitate se pot deduce şi ***funcţiile*** pe care le îndeplineşte.

a. Funcţia tehnică a calităţii este conferită de grupa caracteristicilor tehnico-funcţionale (respectiv de proprietăţi intrinseci, fizice, mecanice, fiabilitate, etc.) şi exprimă gradul de utilitate, de satisfacere a unor nevoi, sau a unor segmente importante ale acestora.

Caracteristicile care stau la baza acestei funcţii se pot împărţi în două subgrupe:

1. ***Caracteristici tehnice;***

2. ***Caracteristici funcţionale;***

1. ***Caracteristicile tehnice*** ale produselor finite îşi au originea în calitatea materiilor prime, materialelor, precum şi în calitatea procesului tehnologic, al nivelului tehnic al mijloacelor de producţie, prin intermediul cărora sunt dirijaţi parametrii de calitate.

Aceste caracteristici au caracter obiectiv şi o valoare ştiinţifică ridicată. Valorile lor sunt măsurate cu exactitate în laboratoare specializate.

Ele sunt prevăzute în standarde şi stau la baza negocierilor dintre producători şi comercianţi, fiind de regulă, hotărâtoare pentru succesul multor produse pe piaţă.

Pentru produsele de folosinţă îndelungată, aceste caracteristici tehnico-funcţionale au cea mai importanţă în stabilirea nivelului calitativ, motiv pentru care se foloseşte denumirea de ***„nivel tehnic”*.**

✓ ***Observații***

✓ ***Nivelul tehnic*** *al produselor* ***exprimă*** ***mărimea caracteristicilor tehnico-funcţionale*** *în care s-a materializat şi concretizat* ***nivelul calităţii producţiei, respectiv al utilajelor şi instalaţiilor****.*

✓ Între ***nivelul tehnic*** şi ***calitate*** există un raport ca de la parte la întreg.

✓ ***Nivelul tehnic*** este un **atribut** al ***calităţii produselor*** şi poate influenţa în mare măsură calitatea lor.

✓ Noţiunea de ***calitate nu poate fi desprinsă*** de ***nivelul tehnic al produselor***.

✓ Pe de altă parte, ***deşi nivelul tehnic al produselor este esenţial***, el ***este insuficient pentru a asigura un înalt nivel calitativ produselor***.

1.3.1 Determinarea nivelului tehnic absolut

Există mai multe ***căi de determinare a nivelului tehnic***, care sunt variații și combinații care se spijină în fapt pe ***două principii de bază***.

Principiul 1 constă în definirea unui ***indicator global*** ca ***sumă*** a unor indicatori parţiali,

Principiul 2 constă în definirea unui ***indicator global*** ca ***produs*** al acestor indicatori parţiali.

Ambele căi vizează o ***analiză de tip multicriterial***, în care fiecărui criteriu (caracteristică) de calitate îi este asociată o ***pondere*** cu care aceasta participă la formarea imaginii de ansamblu.

La ambele căi pentru determinarea nivelului tehnic este nevoie de o ***referinţă (etalon)*** în raport cu care se determină nivelul produsului analizat.

Metodele de determinare a nivelului tehnic se diferențiază prin:

- ***modul de agregare al indicatorilor individuali*** (elementari) într-un singur indicator global,
- de ***măsurile de obiectivizare a comparaţiei efectuate***,
- de ***exploatarea informaţiilor obţinute***,
- de ***algoritmii de calcul folosiţi***.

⇨ La ***metodele de tip sumă indicatorii de tip elementar se înmulţesc cu ponderea fiecăruia***.

⇨ La ***metodele de tip produs indicatorii de tip elementar se ridică la o putere egală cu ponderea***.

1.3.1.1 Metodologia de determinare la care agregarea indicatorului se face prin însumare

- În principiu, toate metodologiile de determinare a unui indicator al nivelului tehnic al produselor folosesc ***principiul utilităţii*** în sensul enunţat de von Neumann - Morgenstern, care ***presupune transformarea caracteristicilor în utilităţi***, ***însumându-le ponderat***.

- Punctele de vedere din care se analizează produsul sunt prezentate în Tabelul 1.3.

- Ele trebuie alese cu mult discernământ, nefiind toate adecvate oricărui tip de produs.

- De exemplu, la maşini şi aparate predomină aspectele tehnice, la produsele industriei uşoare prezentarea pe piaţă, la produsele farmaceutice şi alimentare conţinutul în substanţe active, lipsa de nocivitate etc. Lista din Tabelul 1.3 poate fi adoptată şi în analiza serviciilor, adăugând unele aspecte specifice acestora.

Tab. 1.3 Grupe de indicatori ai nivelului tehnic

Nr. crt.	Grupa de indicatori	Subgrupa de indicatori	Aspecte descrise (caracteristici)	Mod de analiză
1	Tipologică			Nu se compară
2	Tehnico-funcţională	Utilizare	• Performanţe. • Productivitate, precizii. • Conţinut de substanţe. • Caracteristici dimensionale (toleranţe). • Caracteristici fizico-chimice pentru materiale. • Caracteristici de rezistenţă.	Se analizează separat şi se agregheazăă la diferite niveluri până la nivelul produsului
		Mediu înconjurător	• Utilizare economicoasă a resurselor utilizatorului (consumuri specifice în exploatare). • Poluare şi deşeuri • Aspecte de igienă. • Aspecte ergonomice. • Aspecte fiziologice. • Aspecte psihologice	
		Fiabilitate	• Fiabilitate, mentenabilitate; • Disponibilitate; • Durată de viaţă	
		Nivel de automatizare	• Automatizare, electronizare; • Funcţiuni realizate de microprocesoare	
3	Prezentare pe piaţă	• Tipizare, standardizare; • Estetică şi modă; • Organoleptice; • Ambalare, mod de livrare	Folosirea elementelor tipizate, standardizate, formă sortimentală	Se analizează separat şi se agregheză la diferite niveluri până la nivelul produsului
4	Economici	• Preţ pe piaţa internaţională; • Costuri anuale de exploatare; • Termen de garanţie		Se analizează separat

- ***Numărul optim de caracteristici, utilităţi*** care descriu un produs este între **10** şi **25**.

- Alegerea acestora se face respectând punctul de vedere al beneficiarilor, avându-se grijă să fie ***independente între ele*** pentru a nu se accentua artificial anumite aspecte.

- De asemenea, pentru fiecare caracteristică mai trebuie determinat ***semnul de influenţă***.

  - acesta poate fi (**+)** dacă valoarea mai mare este mai bună.
  - acesta poate fi (**-**) dacă valoarea mai mică este mai bună.

- Pentru cazul în care este suficientă încadrarea între două limite, metodologia prevede reducerea situaţiei la (**+**) sau (**-**) după cum este mai bună flexibilitatea, o dispersie mai mică sau atingerea unei valori absolute.

Relaţiile de calcul:

a) Pentru indicatorii elementari:

$$I_i = R_i \cdot P_i \qquad (1.1)$$

unde: I_i - indicatorul calitativ al caracteristicii i;

R_i - raportul calitativ al caracteristicii i;

P_i - ponderea caracteristicii i.

b) Pentru raportul calitativ (atât pentru semnul de influenţă „+” cât şi pentru semnul de influenţă „ – ”):

$$R_i = \frac{\text{valoarea produsului analizat}}{\text{valoarea produsului de referinţă}} \qquad (1.2)$$

c) pentru indicatorul corespunzător la diferite nivele de agregare (indicatorul sintetic):

$$Q = \frac{\sum I_i}{\sum P_i} \qquad (1.3)$$

unde: Q – indicatorul sintetic;

ΣI_i – suma indicatorilor elementari comparaţi;

ΣP_i – suma ponderilor indicatorilor elementari comparaţi.

d) pentru nivelul de informare:

$$N(\%) = \frac{\sum PCC_i}{\sum PCTC_i} \cdot 100 \qquad (1.4)$$

unde: $\sum PCC$ – suma ponderilor caracteristicilor comparate;

$\sum PCTC$ – suma ponderilor caracteristicilor ce trebuiau comparate.

✓ *Observații*

Conceptul ***nivelului de informare*** este echivalentul aceluia de ***nivel de încredere*** din statistica matematică. (se recomandă ca acest nivel să nu fie sub 60%).

Alegerea referinţelor alături de ***stabilirea nomenclatorului de caracteristici şi a ponderii acestora*** are drept consecinţă, pentru toate metodele de determinare a nivelului tehnic (inclusiv pentru cea descrisă mai sus), apariţia unui ***inerent caracter de subiectivitate***.

Pentru stabilirea nomenclatorului de caracteristici şi a ponderilor acestora se pot folosi diferite metode de investigare în rândul utilizatorilor.

- O ***greşeală frecventă*** ce poate apare este aceea că analistul, de regulă din partea furnizorului (proiectant sau executant), tinde ***să stabilească caracteristicile şi ponderile astfel încât comparaţia să apară favorabilă şi nivelul de informare maxim (100%)***.

- ***Stabilirea mai întâi a caracteristicilor şi a ponderilor printr-o metodă ce prevede consultarea utilizatorilor***, consemnarea acestora în documentaţia referitoare la produsul (familia de produse) respectiv(ă) constituie o ***cale de obiectivizare a rezultatelor***.

- Alegerea unor ***produse de comparaţie învechite*** sau care ***nu se desfac pe segmentul de piaţă*** pentru care se efectuează analiza, conduce la ***deformarea concluziilor***.

- ***Lărgirea nejustificată a segmentului de piaţă*** vizat permite, de asemenea, alegerea unui amalgam neomogen de produse de comparaţie, efectul de ***deformare subiectivă a concluziilor*** fiind şi în acest caz inerent.

1.3.1.2 Metodologia de determinare la care agregarea indicatorului se face prin înmulțire

În baza principului utilităţii von Neuman – Morgerstern şi a funcţiilor de producţie Cobb – Douglas, ***nivelul tehnic absolut*** este definit de o relaţie de forma:

$$N_{tai} = a \cdot \prod_{j \in S_1} \left(\frac{K_{ij}}{K_{1j}} \right)^{\gamma_j} \cdot \prod_{j \in S_2} \left(\frac{K_{1j}}{K_{ij}} \right)^{\gamma_j} \qquad (1.5)$$

unde: a – o constantă ce defineşte nivelul tehnic al produsului de referinţă (de regulă, a = 1000) ;

1 – produsul de referinţă (oricare produs dintre cele analizate poate fi considerat de referinţă);

i – produsul analizat;

K_{ij} – valoarea caracteristicii j pentru produsul i;

S_1 – submulţimea caracteristicilor a căror valoare este direct proporţională cu calitatea;

S_2 – submulţimea caracteristicilor a căror valoare este invers proporţională cu calitatea;

γ_j – ponderea caracteristicii j;

j – caracteristica produsului.

✓ ***Observație***

✓ Valorile N_{tai} rezultă peste sau sub valoarea produsului de referinţă, care este 1000, fapt ce permite o ierarhizare a lor.

Nivelul tehnic relativ se calculează cu relaţia:

$$N_{r\,i}(\%) = \frac{N_{tai}}{\max\left\{N_{tai}\right\}} \cdot 100 \qquad (1.6)$$

✓ ***Observații***

✓ Produsul cu cel mai înalt nivel tehnic are valoarea 100, iar celelalte valori sub 100.

✓ ***Determinarea ponderilor de influenţă*** ale caracteristicilor tehnice se poate efectua prin metoda **MISENIT** sau prin metoda **STEM**.

Metoda MISENIT

Metoda se bazează pe ***elasticitatea funcţiei cheltuieli de exploatare*** (elasticitatea este proprietatea valorii unei funcţii de a se modifica atunci când argumentul se modifică).

Etapele de calculare a ponderilor

1) Se construieşte funcţia cheltuieli de exploatare:

$$C_e = f\left(K_1, K_2, K_3, \ldots, K_j, \ldots, K_n\right) \qquad (1.7)$$

unde K_j – caracteristica de calitate.

2) Se calculează cheltuielile de exploatare.

3) Se îmbunătăţesc caracteristicile cu o mică valoare (de exemplu, cu 1%):

$$K_j^{'} = K_j \cdot (1 \pm 0{,}01) \quad (1.8)$$

Se consideră semnul (+) dacă $j \in S_1$ şi semnul (-) dacă $j \in S_2$.

4) Se calculează cheltuielile de exploatare cu caracteristicile îmbunătăţite:

$$C_e^{'} = f\left(K_1^{'}, K_2^{'}, K_3^{'}, \ldots, K_j^{'}, \ldots, K_n^{'}\right) \quad (1.9)$$

5) Se determină economia marginală:

$$\Delta = C_e^{'} - C_e \qquad (1.10)$$

6) Se determină costurile de exploatare în cazul în care se îmbunătăţeşte câte o singură caracteristică:

$$\begin{aligned}
C_1 &= f\left(K_1^{'}, K_2, K_3, \ldots, K_j, \ldots, K_n\right) \\
C_2 &= f\left(K_1, K_2^{'}, K_3, \ldots, K_j, \ldots, K_n\right) \\
&\vdots \\
C_i &= f\left(K_1, K_2, K_3, \ldots, K_i^{'}, \ldots, K_n\right) \\
&\vdots \\
C_n &= f\left(K_1, K_2, K_3, \ldots, K_j, \ldots, K_n^{'}\right)
\end{aligned} \qquad (1.11)$$

7) Se calculează participaţiile caracteristicilor la economia marginală:

$$\Delta_j = C_e - C_j \qquad (1.12)$$

8) Se calculează ponderea caracteristicilor:

$$\gamma_j = \frac{\Delta j}{\Delta} \qquad (1.13)$$

cu observaţia că: $\sum_{j=1}^{n} \gamma_j = 1$

Exemplu de calcul

Se cere să se calculeze, folosind metoda MISENIT, nivelul tehnic a 3 generatoare electrice de 100 MW, care au următoarele valori pentru caracteristici (Tabelul 1.4):

Tab. 1.4 Caracteristicile de calitate pentru 3 generatoare de 100 MW

Caracteristica	Simbol	U.M.	Generator		
			G1	G2	G3
Randament	η	-	0,96	0,98	0,95
Greutate (masă)	G (m)	t	120	150	120
Greutate (masă) specifică	g_s (m_s)	t/MW	1,2	1,5	1,2
Suprafaţa utilă	S_u	m^2	2000	2200	2500
Durabilitate	θ	ore	50.000	60.000	50.000
Timpul mediu de bună funcţionare	MTBF	ore	2000	2000	1500

Se alege generatorul G1 drept produs de referinţă.

Mulţimea S a caracteristicilor este alcătuită din:

$$S = \{\eta, g_s, G, S_u, \theta, MTBF\}$$

Submulţimea S_1, a caracteristicilor ce trebuie să fie cât mai mari, este:

$$S_1 = \{\eta, \theta, MTBF\}$$

Submulţimea S_2, a caracteristicilor ce trebuie să fie cât mai mici, este:

$$S_2 = \{g_s, G, S_u\}$$

Pentru calculul ponderii caracteristicilor se construieşte funcţia „***cheltuieli specifice de exploatare***”.

În cazul utilajelor energetice (cazane, turbine, generatoare electrice, motoare, compresoare, transformatoare) formula de principiu pentru cheltuielile de exploatare este:

$$C_e = E + A_1 + A_2 + R + C + D$$

în care: C_e – cheltuielile specifice de exploatare;

E – costul energiei;

A_1 – amortizarea utilajelor;

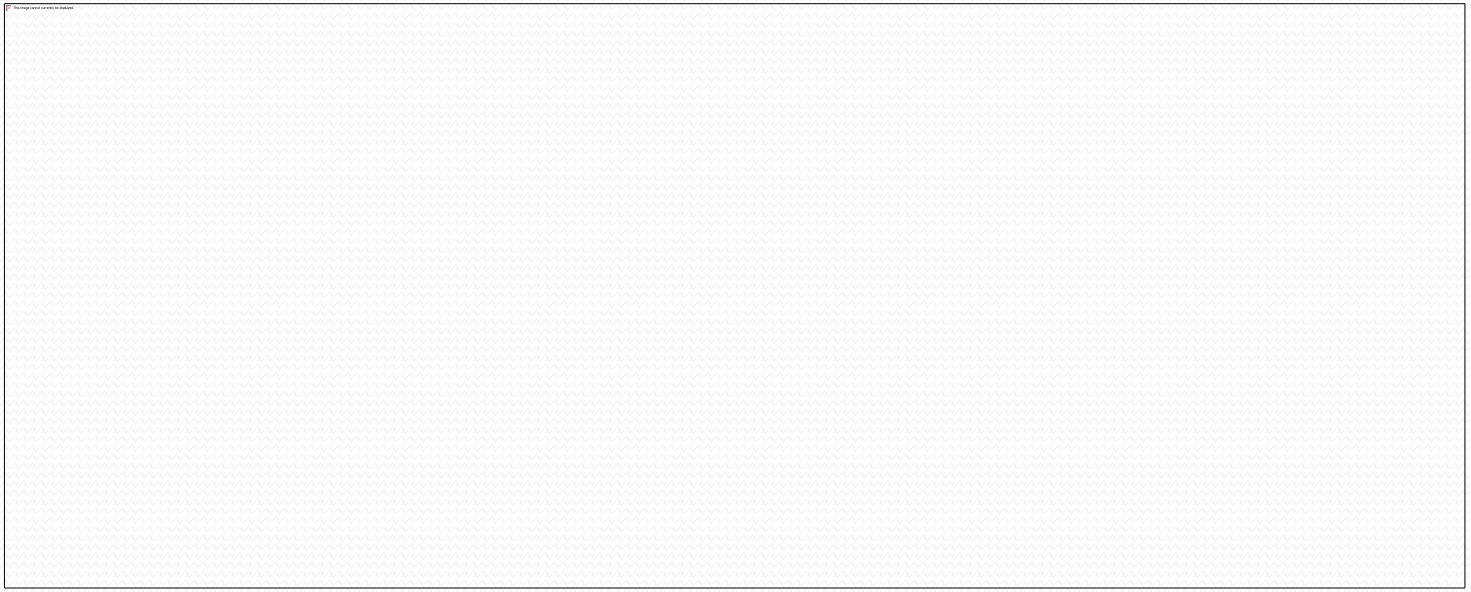
A_2 – amortizarea clădirilor;

R – cheltuieli de întreţinere-reparaţii;

C – cheltuieli convenţional constante;

D – taxa pentru fondurile fixe.

Adaptată pentru generatoarele electrice, relaţia devine:



în care au intervenit următoarele mărimi (în paranteză sunt menţionate valorile lor pentru aceste generatoare):

c – costul specific al energiei de antrenare la cupla dintre turbină şi generator (0,17 lei/kWh);

a – procentajul scăderii randamentului la fiecare $\Delta t \cdot \eta$ ore de funcţionare (0,02%);

T – durata de serviciu a generatorului (40 ani);

k_s – coeficientul majorării suprafeţei ocupate de maşină pentru considerarea suprafeţelor auxiliare ($k_s = 30$);

V_s – valoarea specifică a clădirii (4.000 lei/m^2);

C_{R1} – cheltuieli pentru întreţinerea şi reparaţiile efectuate în primul ciclu de reparaţii (150 lei);

b – procentajul creşterii cheltuielilor de întreţinere şi reparaţii la fiecare perioadă de funcţionare Δt_R (5%);

k – cheltuieli convenţional constante. (54.000 lei/an);

C_k – costul amortizării specifice (210 lei/t);

ε – rata eficienţei economice normale (0,1%);

p – puterea generatorului;

h – numărul orelor de funcţionare pe an, ţinând seama de siguranţa în funcţionare şi de durabilitate:

$$h = t \cdot \left(1 - \frac{d_0}{MTBF}\right) - \frac{d_R}{\theta}$$

unde: t – fondul nominal de timp (6500 h/an) ($t = \Delta t_R$);

d_0 – durata medie statistică a unei întreruperi accidentale (40 h);

d_R – durata reparaţiilor planificate (2000 ore/ciclu).

După efectuarea calculelor rezultă valoarea cheltuielilor specifice de exploatare :

$$C_e = 0{,}1793171 \text{ lei/kWh.}$$

Se îmbunătăţesc caracteristicile cu 1% şi se recalculează, în aceste condiţii, cheltuielile specifice de exploatare rezultând:

$$C'_e = 0{,}177506675 \text{ lei/kWh.}$$

Economia marginală este:

$$\Delta = C_e - C'_e = 0{,}00181050 \text{ lei/kWh.}$$

În Tabelul 1.5 sunt trecute valorile pentru costurile specifice de exploatare, când se îmbunătăţeşte pe rând câte o singură caracteristică, participarea caracteristicilor la economia marginală şi ponderea caracteristicilor.

Tab. 1.5 Valorile parametrilor luaţi în considerare la determinarea nivelului tehnic prin metoda MISENIT

Caracteristica	C_j	Δ_j	γ_j
η	0,17760368	1,713500	0,937167
g_s	0,17926270	0,054484	0,027616
G	0,17926270	0,054484	0,027616
S_u	0,17931388	0,003296	0,002600
θ	0,17930625	0,10926	0,005500
MTBF	0,17931621	0,000968	0,000500

Calculul nivelului tehnic absolut se efectuează cu relaţia (1.5):

$$N_{ta\ G1} = 1000$$

$$N_{ta\ G2} = 1000 \cdot \left(\frac{0,98}{0,96}\right)^{0,937167} \cdot \left(\frac{60}{50}\right)^{0,0055} \cdot \left(\frac{2000}{2000}\right)^{0,0005} \cdot \left(\frac{1,2}{1,5}\right)^{0,027616} \cdot \left(\frac{100}{120}\right)^{0,027616} \cdot \left(\frac{2000}{2200}\right)^{0,0026} = 1008,32$$

$$N_{ta\ G3} = 1000 \cdot \left(\frac{0,95}{0,96}\right)^{0,937167} \cdot \left(\frac{50}{50}\right)^{0,0055} \cdot \left(\frac{1500}{2000}\right)^{0,0005} \cdot \left(\frac{1,2}{1,2}\right)^{0,027616} \cdot \left(\frac{100}{90}\right)^{0,027616} \cdot \left(\frac{2000}{2500}\right)^{0,0026} = 985$$

Calculul nivelului tehnic relativ se efectuează cu relaţia (1.6):

$$N_{r\ G1} = \frac{1000}{1008} \cdot 100 = 99\,\%$$

$$N_{r\ G2} = \frac{1008}{1008} \cdot 100 = 100\,\%$$

$$N_{r\ G3} = \frac{985}{1008} \cdot 100 = 97\,\%$$

CONCLUZII

- Ordinea ierarhică a produselor este **G2**, **G1**, **G3**.
- Între **G2** şi **G1** deosebirea este mică din punct de vedere al nivelului tehnic.
- Considerând că preţurile celor două produse sunt 12 milioane lei (pentru **G1**) şi 18 milioane lei (pentru **G2**), poate exista tendinţa de cumpărare a lui **G1**.
  - dar calculând economia obţinută folosind **G2**, ea rezultă la 1,4 milioane lei/an faţă de **G1**.
  - această economie permite ca diferenţa de investiţie de 6 milioane lei să fie recuperată în 4,3 ani.
  - întrucât în energetică norma de recuperare pentru investiţii suplimentare este de 8 ani, rezultă că adoptarea lui **G2** faţă de **G1** este justificată şi din punct de vedere al eficienţei economice.

Metoda STEM

Această metodă este de o fineţe mai mică decât cea anterioară, dar permite, în schimb, un calcul mai rapid al ponderilor în condiţiile în care analistul trebuie să fie un specialist în domeniul exploatării produselor respective.

Pentru aceasta, se compară caracteristicile două câte două, definindu-se o matrice A cu elementele a_{j1j2} stabilite astfel:

$$a_{j1j2}=\begin{cases} 4 \quad \text{pentru} \quad K_{j1} >> K_{j2} \\ 2 \quad \text{pentru} \quad K_{j1} > K_{j2} \\ 1 \quad \text{pentru} \quad K_{j1} \cong K_{j2} \\ 0 \quad \text{pentru} \quad K_{j1} < K_{j2} \end{cases} \qquad (1.14)$$

unde K_j sunt caracteristicile de calitate

Semnele care intervin au următoarele semnificaţii:

(>>) - mult mai important;

(>) - mai important;

(≈) - echivalent;

(<) - mai puţin important.

În aceste condiţii ponderile caracteristicilor se calculează cu relaţia:

$$\gamma_j = \frac{\sum_{j2} a_{j1j2}}{\sum_{j1}\sum_{j2} a_{j1}a_{j2}} \qquad (1.15)$$

Exemplu de calcul

Se cere să se determine, cu ajutorul metodei STEM, nivelul tehnic a 5 pompe cu pistoane radiale, cu presiunea de refulare p = 210 bari, cunoscând valorile pentru următoarele caracteristici care sunt prezentate în Tabelul 1.6.

Tab. 1.6 Caracteristicile pompelor cu pistoane radiale

Caracteristica	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
Randament, η	0,857	0,85	0,87	0,86	0,88
Debit specific, q (l/min)	65	46	51	48	50,5
Turaţia, n (rot/min)	1475	1590	1500	1550	1500
Masa, m (kg)	79,4	81,6	79,5	81,5	80
Moment de inerţie la antrenare, GD^2 (daN·m^2)	0,4	0,7	0,5	0,8	0,5
Puterea motorului de antrenare, p (kW)	26	18,5	20	19	19,5

Submulţimea S_1, a caracteristicilor ce trebuie să fie cât mai mari, este:

$$S_1 = \{\eta, q\}$$

Submulţimea S_2, a caracteristicilor ce trebuie să fie cât mai mici, este:

$$S_2 = \{m, GD^2, n, p\}$$

Ponderea caracteristicilor, determinată conform relaţiei (1.14), este prezentată în Tabelul 1.7.

Tab. 1.7 Ponderea caracteristicilor

Carac-teristica	**η**	**q**	**n**	**m**	**GD^2**	**P**	**Σ**	**γ**
η	-	1	2	4	4	4	15	0,357
q	1	-	2	4	4	4	15	0,357
n	0	0	-	2	2	2	6	0,142
m	0	0	0	-	1	0	1	0,023
GD^2	0	0	0	1	-	0	1	0,023
P	0	0	0	2	2	-	4	0,095

Produsul de referinţă se alege P_5.

Calculul nivelului tehnic absolut se face cu relaţia (1.5):

$$N_{ta\ P_1} = 1000 \cdot \left(\frac{0,857}{0,88}\right)^{0,357} \cdot \left(\frac{65}{50,5}\right)^{0,357} \cdot \left(\frac{1500}{1457}\right)^{0,142} \cdot \left(\frac{80}{79,4}\right)^{0,023} \cdot$$

$$\cdot \left(\frac{0,5}{0,4}\right)^{0,023} \cdot \left(\frac{19,5}{26}\right)^{0,095} = 1062,9$$

$$N_{ta\ P_2} = 1000 \cdot \left(\frac{0,85}{0,88}\right)^{0,350} \cdot \left(\frac{46}{50,5}\right)^{0,357} \cdot \left(\frac{1500}{1590}\right)^{0,142} \cdot \left(\frac{80}{81,6}\right)^{0,023} \cdot$$

$$\cdot \left(\frac{0,5}{0,7}\right)^{0,023} \cdot \left(\frac{19,5}{18,5}\right)^{0,095} = 944,43$$

$$N_{ta\ P_3} = 1000 \cdot \left(\frac{0,875}{0,88}\right)^{0,357} \cdot \left(\frac{51}{50,5}\right)^{0,357} \cdot \left(\frac{1500}{1500}\right)^{0,142} \cdot \left(\frac{80}{79,5}\right)^{0,023} \cdot$$

$$\cdot \left(\frac{0,5}{0,8}\right)^{0,023} \cdot \left(\frac{19,5}{20}\right)^{0,095} = 999,22$$

$$N_{ta\ P_4} = 1000 \cdot \left(\frac{0,86}{0,88}\right)^{0,357} \cdot \left(\frac{48}{50,5}\right)^{0,357} \cdot \left(\frac{1500}{1550}\right)^{0,142} \cdot \left(\frac{80}{81,5}\right)^{0,023} \cdot$$

$$\cdot \left(\frac{0,5}{0,8}\right)^{0,023} \cdot \left(\frac{19,5}{19}\right)^{0,095} = 971,46$$

$$N_{ta\ P_5} = 1000$$

2. Caracteristicile funcţionale, specifice în special produselor de folosinţă îndelungată sunt reprezentate cel mai elocvent de către **disponibilitate** cu cele două laturi ale ei: **fiabilitatea** şi **mentenabilitatea**.

✓ ***Observații***

✓ Aceste caracteristici ***exprimă calitatea pe termen lung***, verificabilă prin teste sociale, la un anumit nivel al costurilor pentru menţinerea în funcţiune a produselor.

✓ ***Mărimea acestor caracteristici determină volumul cheltuielilor la utilizator,*** reclamate de frecvenţa reparaţiilor efectuate în timp şi care afectează bugetul de familie.

✓ Datorită acestor implicaţii economice la beneficiar, ***caracteristicile de fiabilitate şi mentenabilitate reprezintă principalele elemente ale competitivităţii produselor de folosinţă îndelungată***.

b. Funcţia economică a calităţii constă în stabilirea unui **raport** între ***efortul producătorului pentru asigurarea calităţii*** (la care se adaugă cheltuielile serviciului adus) și ***gradul de satisfacere a nevoii beneficiarului***.

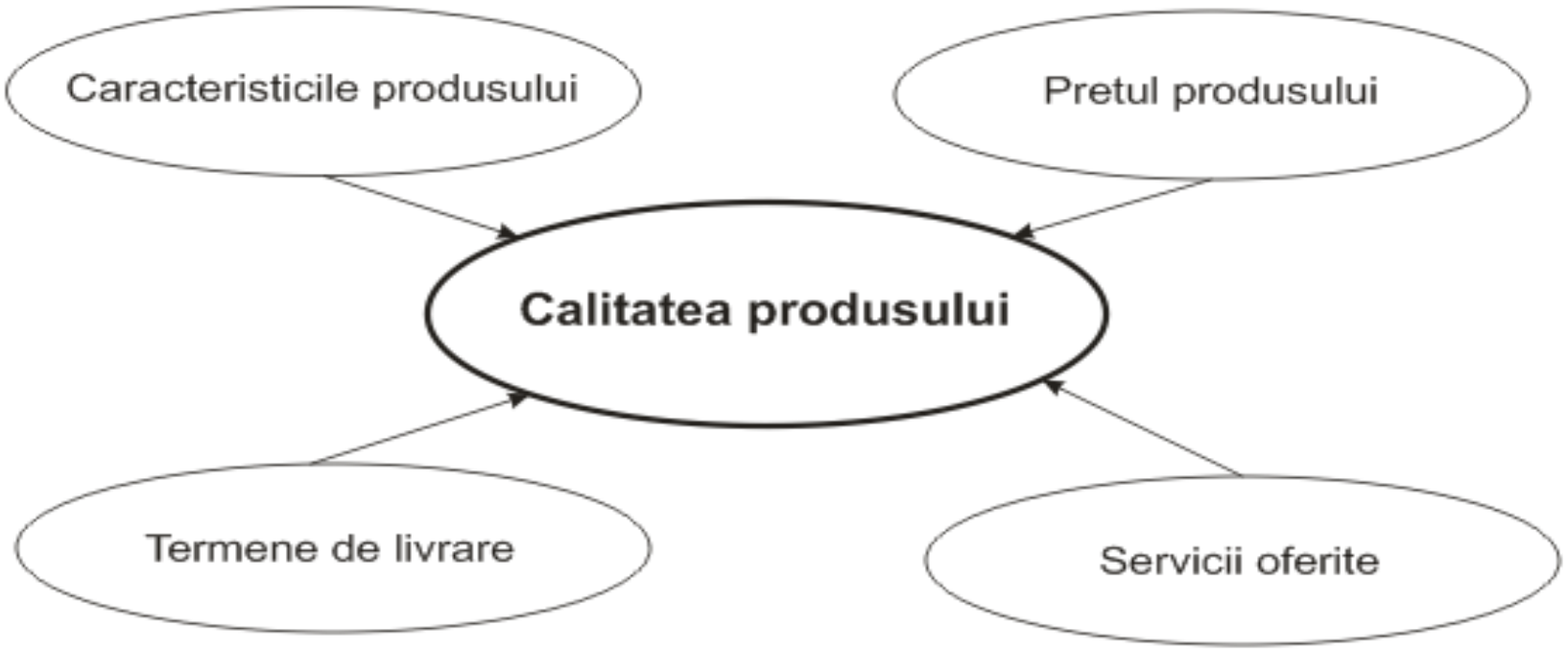
✓ Există deci, ***două influenţe economice ale calităţii***:

- ***una asupra costului de producţie*** (datorită nivelului prescris al caracteristicilor din prevederile proiectului) și
- ***alta asupra veniturilor beneficiarilor*** (datorită modului de satisfacere al nevoii pe durata de folosinţă a produsului, exprimată de fiabilitate).

c. Funcţia socială a calităţii**.** Această funcţie derivă din ***influenţa pe care o exercită calitatea produselor şi serviciilor asupra condiţiilor de muncă, asupra vieţii şi nivelului de trai, asupra mediului înconjurător***.

✓ În ultimul deceniu, ***această funcţie a crescut în importanţă***, datorită accentuării caracterului de masă a produselor şi serviciilor.

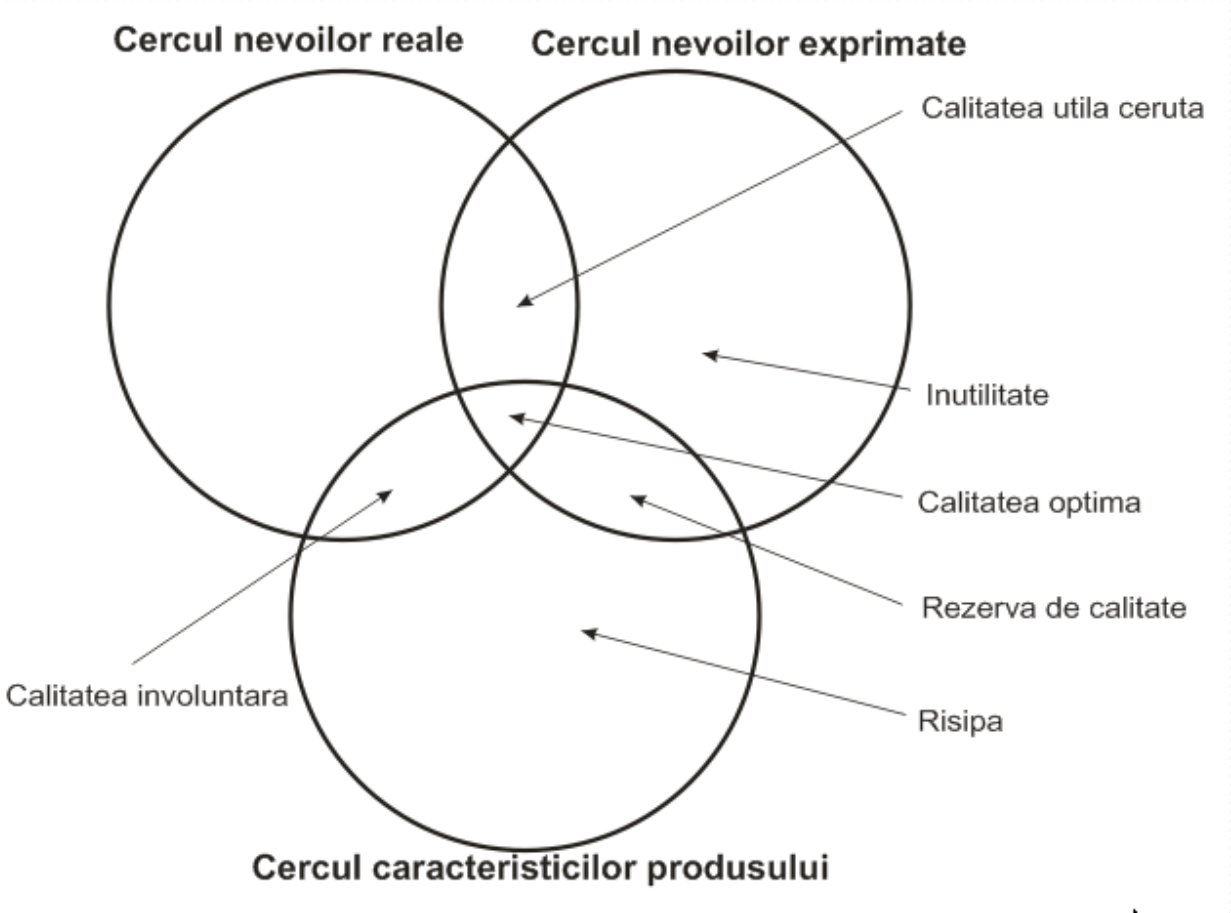
Calitatea unui produs este determinată, în general, de patru componente principale:

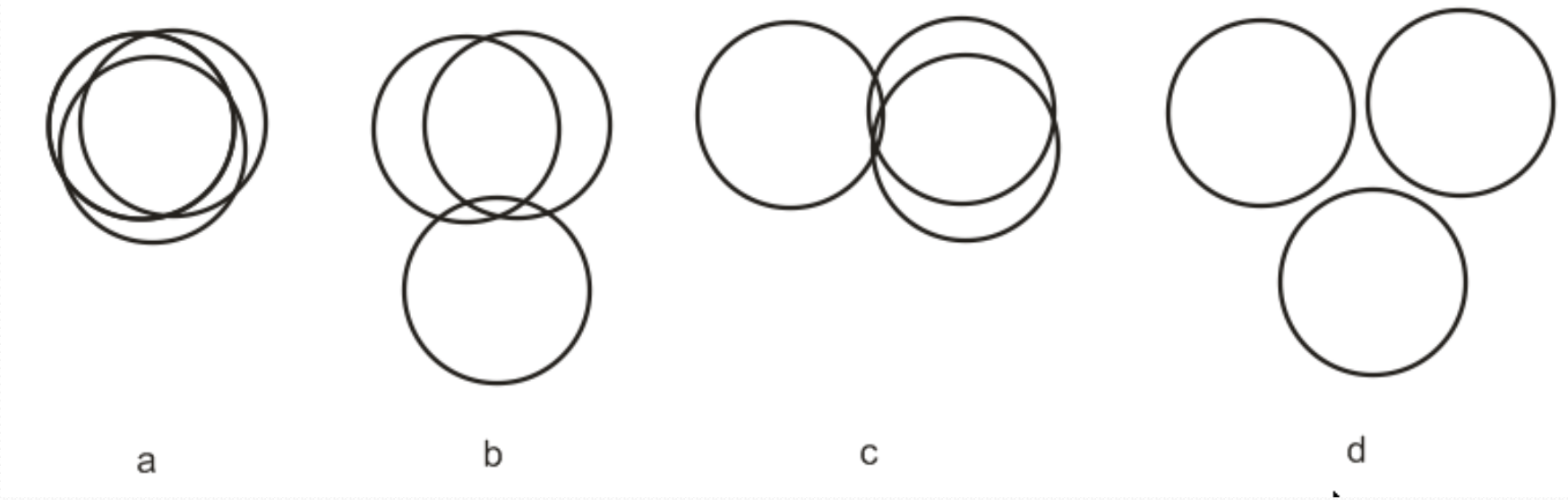


CARACTERISTICI DE CALITATE			
Criteriul de clasificare	**Tipuri**		**Observaţii**
Importanţa caracteristicii	funcţionale	critice	Asigură funcţionarea pentru utilizarea dorită, reduc la minimum riscul de accidente
		importante	
		minime	
	nefuncţionale		Nu influenţează funcţionarea produsului
Mod de exprimare	cantitative		Se exprimă prin mărimi concrete, măsurabile
	calitativ-atributive		Se exprimă printr-o apreciere calitativă
Posibilitatea de măsurare	direct măsurabile		Dimensiuni, greutăţi, puritate etc.
	indirect măsurabile		Puterea unui motor
	comparabile obiectiv cu o mostră etalon		Gradul de alb al unei ţesături
	comparabile subiectiv cu o mostră etalon		Gradul de vopsire
	psihosenzoriale		Se determină cu ajutorul simţurilor sau a senzaţiilor produse

- Prin ***nevoi exprimate*** se înţeleg acele caracteristici ale unui produs care sunt cuprinse în documentaţia constructivă (de comandă) a acestuia.

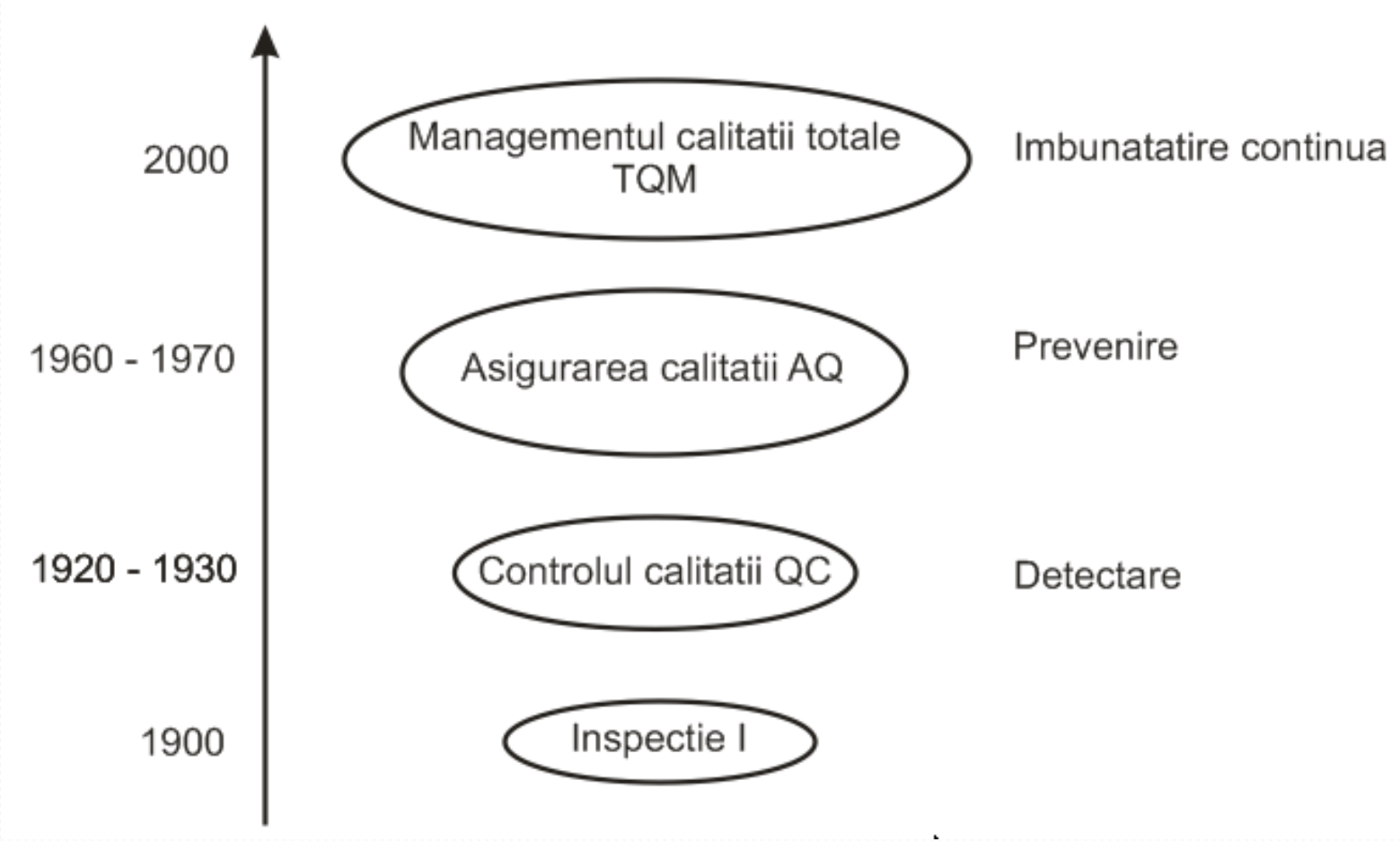
- Spre deosebire de nevoile exprimate, cele ***reale*** reprezintă caracteristicile cerute de către piaţă.




a
b
c
d

1.4 Caracterul dinamic al calității

- Inspecţia Calităţii (IC);
- Controlul Calităţii (CC);
- Asigurarea Calităţii (AC);
- Managementul Calităţii Totale (TQM).

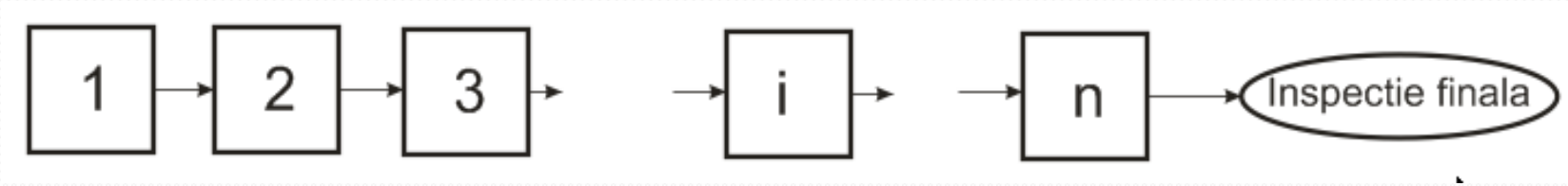

2000
Managementul calitatii totale TQM
Imbunatatire continua
1960 - 1970
Asigurarea calitatii AQ
Prevenire
1920 - 1930
Controlul calitatii QC
Detectare
1900
Inspectie I

Începutul secolului	Până în 1970 (AQL)	Până în 1980	Până în 1985 (SPC)	Până în 1990 (ISO 9000)		Actual (TQM)
1	2	3	4	5	6	7
Sortare	Identificarea cauzelor defectelor	Tendința spre zero defecte	Capabilitatea proceselor	Dezvoltarea studiilor privind capabilitatea proceselor	Prezentarea sistemelor	Dezvoltare la toate procesele si componentele firmei
Constatare, măsurare	Prezentare, îmbunătățire, asigurare, dezvoltare					
Calitatea este:						
Îndreptată spre produs			Orientată spre procese si sisteme			Orientată spre firmă
Controlul calității		Asigurarea calității		Managementul calității		

➢ ***Inspecţia calităţii*** este cea mai veche formă de control, ea fiind un proces de analiză “**post-eveniment**”.

În cadrul acestei etape, ***calitatea se obţine doar printr-un control final***, ***toată atenţia fiind concentrată asupra produsului finit şi nu asupra modului de obţinere a acestuia***.

Realizarea unui anumit ***nivel de calitate implică dirijarea tuturor produselor finite spre compartimentul de inspecţie a calităţii***, acesta din urmă având rolul să dejoace toate încercările care ar permite trecerea mai departe a unui produs neconform specificaţiilor.



Istoric

- La sfârşitul secolului al XIX-lea şi începutul secolului XX, ***F.W. Taylor a formulat o serie de principii de conducere şi organizare ştiinţifica a activităţilor din întreprindere care separă activităţile celor care proiectează de partea de execuţie şi control***.

- Taylor ***a atribuit inginerilor şi specialiştilor sarcina de a proiecta activităţile*** şi ***a lăsat muncitorilor şi inspectorilor responsabilitatea execuţiei şi calităţii lucrărilor***.

- ***Responsabilitatea pentru calitatea produselor o au executanţii***, care trebuie să execute produse conform cu specificaţiile, iar ***aprecierea acestei conformităţi revine inspectorilor de calitate .***

- ***Calitatea era asigurată***, în principal, ***prin controlul final al pieselor***, ***respectiv al produselor***, urmărindu-se ***identificarea celor neconforme***.

- Sistemul taylorist a reuşit să realizeze ***creşteri spectaculoase ale productivităţii,*** a condus la ***specializarea lucrărilor efectuate de indivizi***, în particular la nivelul forţei de muncă.

Acestor avantaje li s-au contrapus o serie de ***trăsături negative***:

- ***muncitorii nu înţeleg cum contribuie activitatea lor individuală la obiectivele întreprinderii***;
- ***reacţia inversă a informaţiilor (feedback-ul), către muncitori, necesară pentru reglarea proceselor, este deseori inadecvată sau chiar inexistentă***;
- ***se asigură oportunităţi reduse muncitorilor pentru a participa la proiectele de îmbunătăţire a calităţii***.

- ✓ ***Controlul calităţii*** este un proces ceva mai sofisticat decât inspecţia, el făcând apel, într-o oarecare măsură, ***la metodele statistice de control.***

- ✓ Odată cu introducerea ***Controlului Calităţii numărul neconformităţilor se reduce şi pot fi întâlnite acţiuni simple de verificare***, cum ar fi: ***controlul documentelor şi procedurilor***, ***testarea materiilor prime, culegerea datelor cu privire la performanţă*** etc.

Istoric

⇨ În anii ’20 începe o nouă etapă în abordarea calităţii, caracterizată prin ***aplicarea tehnicilor statistice de control***.

⇨ Încă din anul 1925, W.A. Shewhart propune ***utilizarea “fişei de control statistic al calităţii”***, destinată pentru ***controlul statistic pe fluxul de fabricaţie.***

⇨ Prin aplicarea tehnicilor statistice la controlul proceselor de fabricaţie ***se pot observa în timp util abateri ale caracteristicii de calitate de la valorile impuse prin specificaţii, se identifică şi se înlătură cauzele care pot provoca aceste abateri***.

În anii celui de-al doilea război mondial, profesorul W. Edward Deming întreprinde demersuri privind utilizarea metodelor statistice în industria de armament a S.U.A. introducând conceptul de :

„Nivel de Calitate Acceptabil” (Acceptable Quality Level - AQL), care exprimă procentul din punct de vedere al calităţii medii a produselor verificate în cadrul unui plan de control statistic.

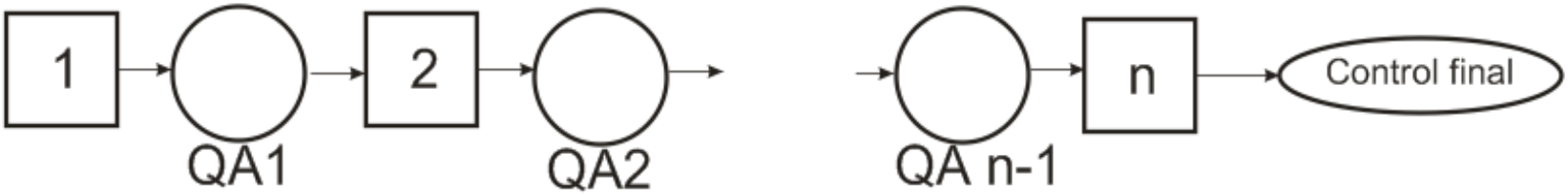
În anii ’50, în Japonia capătă o largă extindere metodele statistice, impulsionate de cursurile ţinute de J.M. Juran şi W.E. Deming, sub sloganul:

“Calitatea este problema tuturor”.

✓ ***Asigurarea calităţii*** presupune integrarea controlului în producţie şi proiectarea produselor de o manieră care să satisfacă cerinţele controlului integrat.

Se face trecerea de la ***calitatea produsului*** la ***calitatea procedeului*** de obţinere a acestuia, introducându-se totodată şi **noţiunea de prevenire!!!**

Defectele care apar sunt detectate chiar în locul în care au fost generate, aşadar ***costurile legate de apariţia produselor neconforme sunt cu mult mai mici***.



Istoric

- Experţii americani Deming, Feigenbaum, Juran au elaborat concepte noi în domeniul asigurării calităţii, care şi-au găsit aplicabilitate mai întâi în Japonia.
- Conceptele noi ale asigurării calităţii au fost dezvoltate ulterior în Japonia de profesorul Kaoru Ishikawa.
- Noua abordare a calităţii are în vedere ***controlul efectuat cu accentul pe prevenirea defectelor, cu un larg domeniu de activităţi controlate, de persoane şi compartimente implicate***:
  - ***controlul calităţii începe de la proiectarea produsului şi se termină cu livrarea acestuia către client;***
  - ***controlul este efectuat atât de personal de control specializat, cât şi de către fiecare persoană implicată în procesul de fabricaţie;***
  - ***pentru a realiza obiectivele "asigurării calităţii" este necesară implicarea tuturor compartimentelor întreprinderii.***
- Transpunerea în practică a conceptului de asigurare a calităţii înseamnă că ***eforturile trebuie să fie orientate spre eliminarea defectelor***, urmărindu-se înlocuirea controlului clasic, bazat pe constatare, cu tehnici de verificare şi autocontrol al operatorilor, utilizate în toate etapele realizării produsului.

Activităţile de control desfăşurate în sistemul de asigurare a calităţii devin control total, care se extinde la toate activităţile ce contribuie la asigurarea unui anumit grad de satisfacere a cerinţelor clienţilor:

- *controlul proiectului (de produs, de tehnologie);*
- *controlul documentelor, instrucţiunilor de lucru şi de asigurare a calităţii sub aspectul clarităţii, al integrităţii etc.;*
- *evaluarea capabilităţii procesului de fabricaţie de a asigura obţinerea produselor în conformitate cu cerinţele de calitate, înainte de trecerea la fabricaţia de serie;*
- *controlul resurselor utilizate: evaluarea capacităţii furnizorului de a realiza produse de calitate, verificări şi probe de recepţie ale produselor aprovizionate, verificarea contractelor cu beneficiarul, verificarea cunoştinţelor şi aptitudinilor personalului etc.;*
- *controlul proceselor de fabricaţie etc.;*
- *controlul şi încercarea produselor finite;*
- *controlul condiţiilor de manipulare şi depozitare;*
- *controlul metrologic şi al SDV-urilor;*
- *urmărirea comportării în exploatare a produselor, probe de fiabilitate şi mentenabilitate.*

- ***Managementul calităţii totale*** reprezintă un ansamblu de preocupări şi metode reunite la nivelul întreprinderii astfel încât să se obţină o generalizare a activităţilor performante în toate domeniile, pentru toate legăturile funcţionale şi operaţionale.

  - **Calitatea totală este ţinta urmărită, managementul fiind mijlocul de atingere a acestui scop.**

- ***Managementul calităţii totale*** este un sistem centrat pe calitate, bazat pe participarea tuturor membrilor unei colectivităţi, prin care se urmăreşte asigurarea succesului pe termen lung, prin satisfacerea clientului şi obţinerea de avantaje pentru toţi membrii organizaţiei şi pentru societate.

Aplicarea ***Managementului Calităţii Totale*** necesită o serie de schimbări în cadrul unei întreprinderi, cum ar fi:

- ***o schimbare de mentalitate în ceea ce priveşte munca:***
  - orientarea către client (satisfacerea fără rezerve a necesităţilor clientului);
  - prevenirea erorilor;
  - optimizarea muncii proprii.

- ***o schimbare a mediului de lucru:***
  - relaţiile de muncă trebuie să se bazeze pe comunicare, încredere, colaborare, participare;
  - însuşirea, pe cât este posibil, a spiritului japonez bazat pe disciplină, ataşament faţă de întreprindere, pe lucrul în echipă.

- ***o schimbare în sensul îmbunătăţirii continue:***
  - stabilirea periodică a unor indicatori de performanţă, cerinţele faţă de calitate a acestora sporind continuu în timp;
  - organizarea de echipe de îmbunătăţire continuă;
  - angajatul trebuie să-şi dedice timpul şi capacitatea pentru a găsi idei şi acţiuni de îmbunătăţire.

✓ *Observații*

✓ Conceptul de "***calitate totală***" diferă esenţial de preocupările care puneau accentul pe controlul calităţii şi este înţeles ca o extindere a problematicii calităţii la toate funcţiunile şi la toate nivelurile structurii organizatorice, de la directorul general la ultimul angajat, fiecare în parte trebuind să participe la procesul de îmbunătăţire continuă a calităţii.

⇨ Conceptul ***"calitate totală"*** are la bază următoarele principii**:**

- ✓ ***implicarea tuturor compartimentelor întreprinderii în realizarea şi ameliorarea calităţii***;
- ✓ ***în cadrul fiecărui compartiment toţi salariaţii au atribuţii precise privind calitatea;***
- ✓ ***problema calităţii este în primul rând o problemă de evitare a non-calităţii (imperfecţiuni, neconformităţi, defecte etc.) dar totodată de creştere a nivelului calitativ al produselor sau serviciilor***;
- ✓ **toate etapele traiectoriei produsului sunt luate în considerare în vederea asigurării calităţii**.

- ***Implementarea principiilor calităţii totale*** este astăzi predominantă în întreprinderile moderne pentru că ***asigură satisfacerea cerinţelor clienţilor, creşterea vânzărilor şi reducerea costurilor prin evitarea risipei de timp, materiale şi energie***.

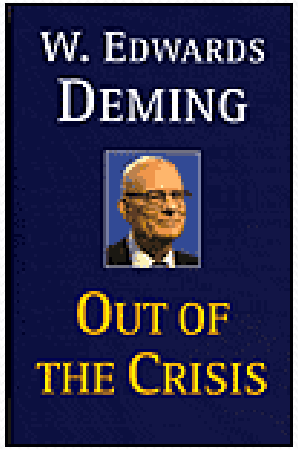
- Trebuie precizat că unele aspecte ale managementului calităţii totale (TQM) sunt uneori denumite calitate totală (TQ).

- Conform standardului SR ISO 8402:1995, "***Managementul calităţii totale este un mod de conducere a unei organizaţii, concentrat asupra calităţii, bazat pe participarea tuturor membrilor acesteia şi care vizează un succes pe termen lung prin satisfacerea clientului, precum şi avantaje pentru toţi membrii organizaţiei şi pentru societate***".

- Controlul calităţii totale trebuie considerat ca o componentă a managementului calităţii totale (TQM), iar rezultatul este calitatea totală.

1.5 Maeștrii ai Asigurării și Managementului Calității

W.E. Deming și ”Programul în 14 puncte”



1900 - 1993

- W.Edward Deming, elev ai statisticianului W.A.Shewhart, a fost preocupat, îndeosebi de ***interpretarea statistică a fenomenului calității.***
- A dezvoltat ideile profesorului său în lucrarea ***" The Statistical Theory of Errors"***, apărută în anul 1934.
- Începând cu anii '50, aceasta lucrare a stat la baza cursurilor pe care Deming le-a ţinut, alături de J-M.Juran, în Japonia.
- Ca o recunoaştere a meritelor sale, **Premiul Naţional pentru Calitate**, instituit în Japonia în 1951, a primit numele său.

Lucrarea sa de referinţă, în acest domeniu, **"Programul in 14 puncte"**, a apărut in 1982.

1. Asiguraţi îmbunătăţirea continuă a calității produselor și serviciilor, pe baza unui plan, pentru a deveni competitivi și pentru a putea rămîne în afaceri.

2. Adoptaţi o nouă filozofie, renunţând la "nivelul acceptabil" al calității.

3. Renunţaţi la controlul integral al produselor, introducând metodele de control statistic, pentru a stabili conformitatea cu cerinţele specificate.(Este preferabilă prevenirea defectelor, identificării lor)

4. Solicitaţi dovezi din partea furnizorilor, privind evidenta statistică a calității. Afacerile se bazează, in prezent, mai mult pe calitate, decât pe preţ: eliminaţi furnizorii care nu fac dovada unei asemenea evidențe.

5. Descoperiţi problemele. Conducerea este cea care trebuie sa se ocupe de imbunatatirea continua a tuturor proceselor din fiecare etapa a dezvoltării produsului, începând cu proiectarea si pana la asigurarea service-ului in utilizare.

6. Utilizaţi metode moderne de instruire a întregului personal din întreprindere.

7. Asiguraţi tuturor angajaţilor instrumentele necesare pentru desfăşurarea corespunzătoare a activităţilor. Responsabilitatea şefilor de echipa trebuie concentrata pe calitate, iar conducerea trebuie sa fie pregătita sa acţioneze imediat, pe baza rapoartelor acestora, referitoare la deficientele constatate.

8. Eliminaţi frica, încurajaţi comunicarea, astfel încât fiecare angajat sa-si poată prezenta punctul de vedere in mod deschis.

9. Înlăturaţi barierele dintre compartimentele întreprinderii. Formaţi echipe, cuprinzând persoane din compartimente diferite (cercetare, proiectare, producţie, desfacere) pentru identificarea problemelor si prevenirea lor in procesele ulterioare.

10. Eliminaţi afişele, sloganurile specifice muncii forţate. Înainte de a urmări creşterea productivităţii, asiguraţi-va ca aceasta nu este în defavoarea calitatii, pe care trebuie sa o îmbunătăţiţi continuu.

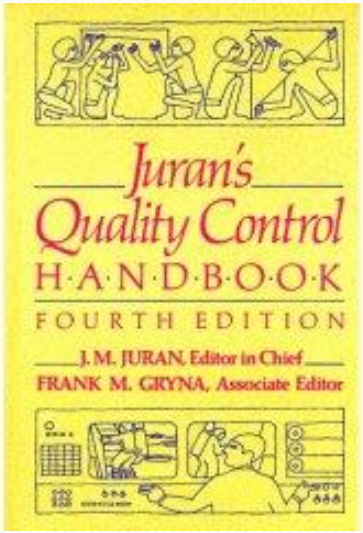
11. Revedeţi timpii de muncă normaţi, astfel încât sa nu devină un obstacol în calea productivităţii sau a calității.

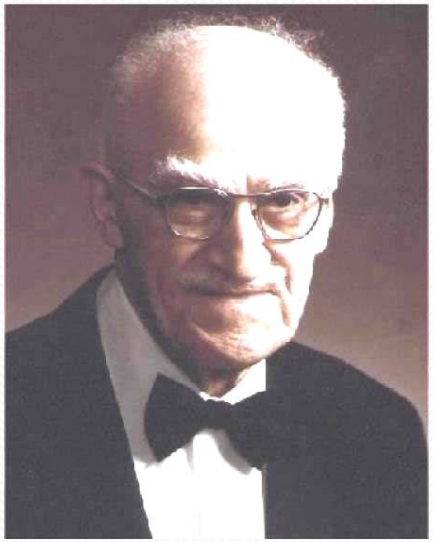
12. Eliminaţi toate obstacolele care-i împiedică pe oameni să fie mândri de munca lor.

13. Introduceţi un program riguros de instruire a personalului, în concordanță cu evoluţia procedeelor, metodelor si tehnicilor utilizate în toate compartimentele întreprinderii.

14. Creaţi o structură corespunzătoare, la nivelul conducerii de vârf, care sa asigure îndeplinirea celor 13 puncte anterioare.

J.M. Juran și ”Trilogia calității”





1904 - 2008

- Joseph Moses Juran, cel care este supranumit astăzi ***«Seniorul calităţii mondiale»*** s-a născut în Brăila, la 24 decembrie 1904.

- Juran elaborează, în 1928, prima sa lucrare în domeniul calităţii, intitulată **«Metode statistice aplicate problemelor de fabricaţie»,** care avea să fie utilizată ca punct de plecare pentru binecunoscutul **«AT&T Statistical Control Handbook»**.

- Inginer, avocat, profesor universitar, a iniţiat si coordonat, la începutul anilor '50, cursurile de perfecţionare a lucrărilor din industria japoneza, sub deviza "**calitatea este o problemă a tuturor**".

- Deținător al medaliei “National Medal of Technology” in SUA si al ordinului “Order of Sacre Treasure” in Japonia pentru dezvoltarea calității și întărirea prieteniei americano-japoneze.

- Cartea sa **"Quality Control Handbook",** publicată pentru prima dată în anul 1951, a devenit o lucrare de referinţă în organizarea controlului calității în întreprinderi.

- Ca și în cazul lui Deming, meritele lui Juran în domeniul managementului calității au fost recunoscute, in S.U.A., abia începând cu anii '80.

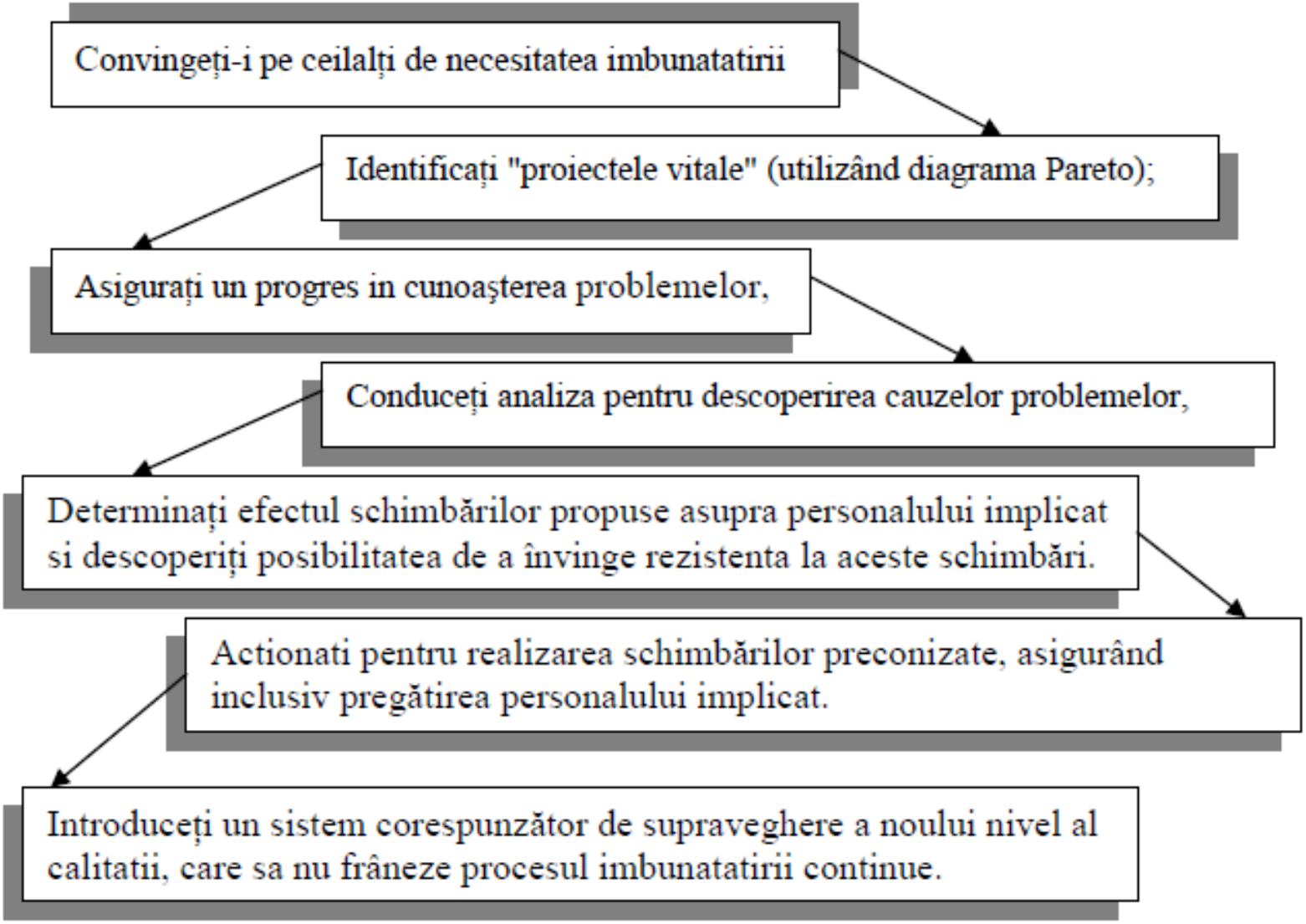
- Susţinând necesitatea unei îmbunătăţiri continue a calitatii, Juran face deosebire intre **"problemele sporadice"** si cele **"cronice".** În timp ce primele pot fi rezolvate de lucrători, cele cronice cad în sarcina managerilor.

- Acestea din urma au o pondere de 80%, astfel încât ***pentru îmbunătățirea calității este deosebit de importantă rezolvarea problemelor cronice***.

- Lucrarea sa **"Managerial Breakthrough"** s-a dorit a fi un ghid pentru soluţionarea problemelor cronice ale calității.

- Pentru a asigura imbunătătirea continuă a calităţii, Juran propune parcurgerea următoarei succesiuni de etape:

Succesiuni de etape pentru îmbunătăţirea continuă a calităţii (Juran)



Pentru rezolvarea sistematică a problemelor, Juran considera că sunt necesare două faze:

1. faza de "diagnostic" (analiza problemei), care conduce de la un simptom la cauza sa
2. faza "terapeutică" (eliminarea cauzelor), în care se stabileşte terapia necesară pentru rezolvarea problemelor.

În concepţia lui Juran, calitatea înseamnă **"corespunzător pentru utilizare" (fitness for use).**

Juran se număra printre primii care au susţinut faptul că ***nu trebuie abordată calitatea ca o entitate omogenă***, ***acelaşi produs trebuind sa satisfacă cerinţele diferite ale clienţilor***.

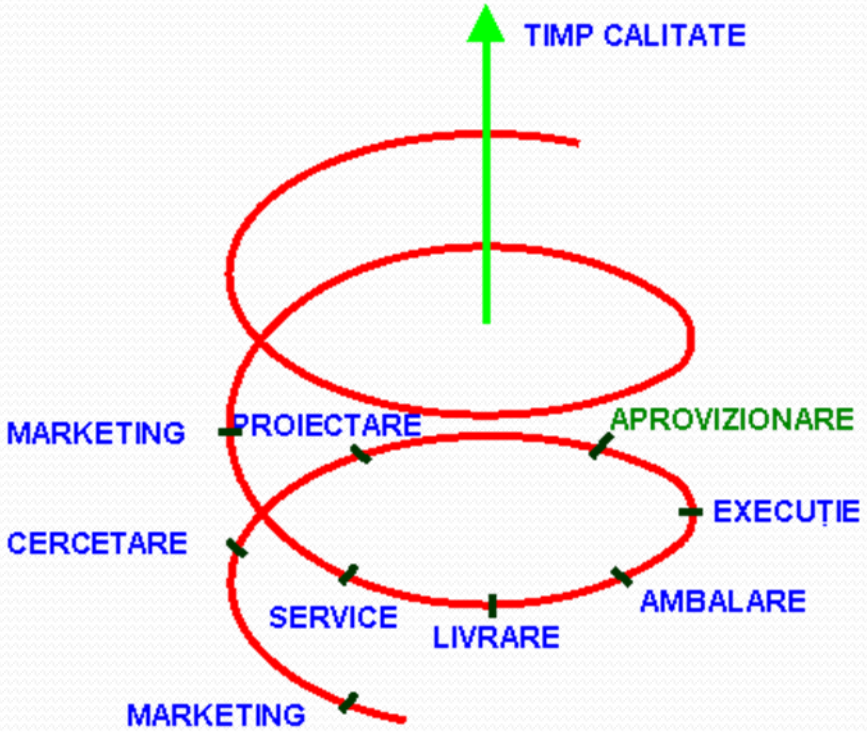
Pentru realizarea de produse **"corespunzătoare pentru utilizare",** este important ca ***cerinţele acestora***, definite pe baza studiilor de piaţă, să fie ***"traduse" în termeni tehnici***, sub forma ***specificaţiilor***.

- În opinia lui Juran **"conformitatea cu specificaţiile" (conformance to specification)** ***nu spune însă nimic despre gradul de satisfacere a cerinţelor clienţilor*** în vederea asigurării **"conformităţii pentru utilizare"**.

- Acestea trebuie privite prin prisma cunoscutei **"spirale a calității".**

- Aceasta **spirală** reprezintă, de fapt ***întreaga traiectorie a produsului***, de la cercetarea pieţei pentru identificarea nevoilor, trecând prin proiectare, producţie, vânzări, servicii post-vânzare, ajungând din nou la cercetare.

- Realizarea dezideratului **"corespunzător pentru utilizare"** depinde de toate compartimentele întreprinderii, deci ***teza potrivit căreia compartimentul calitate este singurul răspunzător pentru calitate este, in opinia lui Juran, inadecvată***.



”Spirala calităţii” reprezintă ***un model conceptual al activităţilor care influenţează calitatea unui produs sau serviciu pe întreaga durată de desfăşurare a fazelor***, începând cu identificarea necesităţilor şi până la evaluarea satisfacerii lor.

- **Abordarea calității prin prisma procesului de producţie trebuie înlocuită cu o abordare cuprinzătoare, la nivelul întreprinderii**, asigurându-se conlucrarea în acest sens a tuturor compartimentelor.

- În opinia lui Juran**, o importanță deosebită o prezintă, apoi, iniţierea unui program general de instruire, la toate nivelele managementului, în scopul imbunătățirii continue a calității**.

- ***Metodele statistice***, ca de exemplu controlul statistic al proceselor, controlul prin eşantionare ai loturilor de produse etc. ***sunt considerate componente importante ale sistemului de asigurare a calității***.

- Juran defineşte managementul calității în termenii "**Trilogiei calității“ (Quality Trilogy).**

- Juran, consideră că managementul calității ar cuprinde trei categorii de procese:

Planificarea calității ---►Controlul calității ----►Îmbunătățirea calității.

Trilogia calităţii – după Juran

Planificarea calității	**Controlul calității**	**Îmbunătățirea calității.**
Se stabileşte segmentul de piața căruia îi este destinat produsul Determinarea necesităților clienților Dezvoltarea caracteristicilor produsului care răspund necesităților clientului Dezvoltarea proceselor capabile sa determine caracteristicile produsului Transferul programelor către eforturile operative	Evaluarea comportării reale a produsului Compararea acesteia cu obiectivele propuse Acțiuni asupra neconcordantelor	Stabilirea infrastructurii Identificarea proiectelor de îmbunătățire Stabilirea echipelor care aplica proiectele de i îmbunătățire Asigurarea resurselor in vederea instruirii si pentru : -diagnosticarea cauzelor -remedii

A.V. Feigenbaum- părintele conceptului “Total Quality Control”

Armand Vallin Feigenbaum, născut în 1920 - Massachusetts.

- Din 1958 director mondial pentru calitate la General Electric
- Preşedinte al Societății Americane de Control al Calitatii (ASQC- American Society for Quality Control)
- Fondator si preşedinte al Academiei Internaţionale a Calităţii.
- Coproprietar al firmei de consultanţă ”General Systems”

Feigenbaum a definit pentru prima dată conceptul de **"Total Quality Control"**. într-un articol apărut în revista "Harvard Business", în anul 1956.

Astfel ***principiul de bază al conceptului de calitate totală***, ***care reflectă si diferenţa fundamentală faţă de alte concepte***, constă în aceea că, **“pentru a obţine o eficienţă corespunzătoare, ținerea sub control a calității trebuie să înceapă cu identificarea cerinţelor de calitate ale consumatorilor și să înceteze doar după ce produsul a ajuns la consumator si acesta este satisfăcut**”.

Total Quality Control înseamnă **coordonarea** acţiunilor lucrătorilor, a maşinilor si a informaţiilor pentru atingerea acestui obiectiv.

În principala sa lucrare **“Total Quality Control“** considerată şi în prezent de referinţă în domeniu, Feigenbaum formulează o definiţie completă a conceptului TQC:

"Total Quality Control “ reprezintă un sistem efectiv pentru integrarea eforturilor din toate compartimentele întreprinderii (marketing, proiectare, producţie si service) privind realizarea, menţinerea si îmbunătățirea calităţii în scopul satisfacerii totale a clientului, în condiţii de eficienţă .

Feigenbaum formulează **zece criterii cheie pentru succesul în calitate**:

1. Calitatea este un proces la nivelul companiei

2. Calitatea este ceea ce clientul spune că este

3. Calitatea și costul sunt o sumă și nu o diferenţă

4. Calitatea cere fanatism individual si colectiv

5. Calitatea este o formă de management

6. Calitatea este etică

7. Calitatea si inovaţia depind una de alta

8. Calitatea cere îmbunătăţire continuă

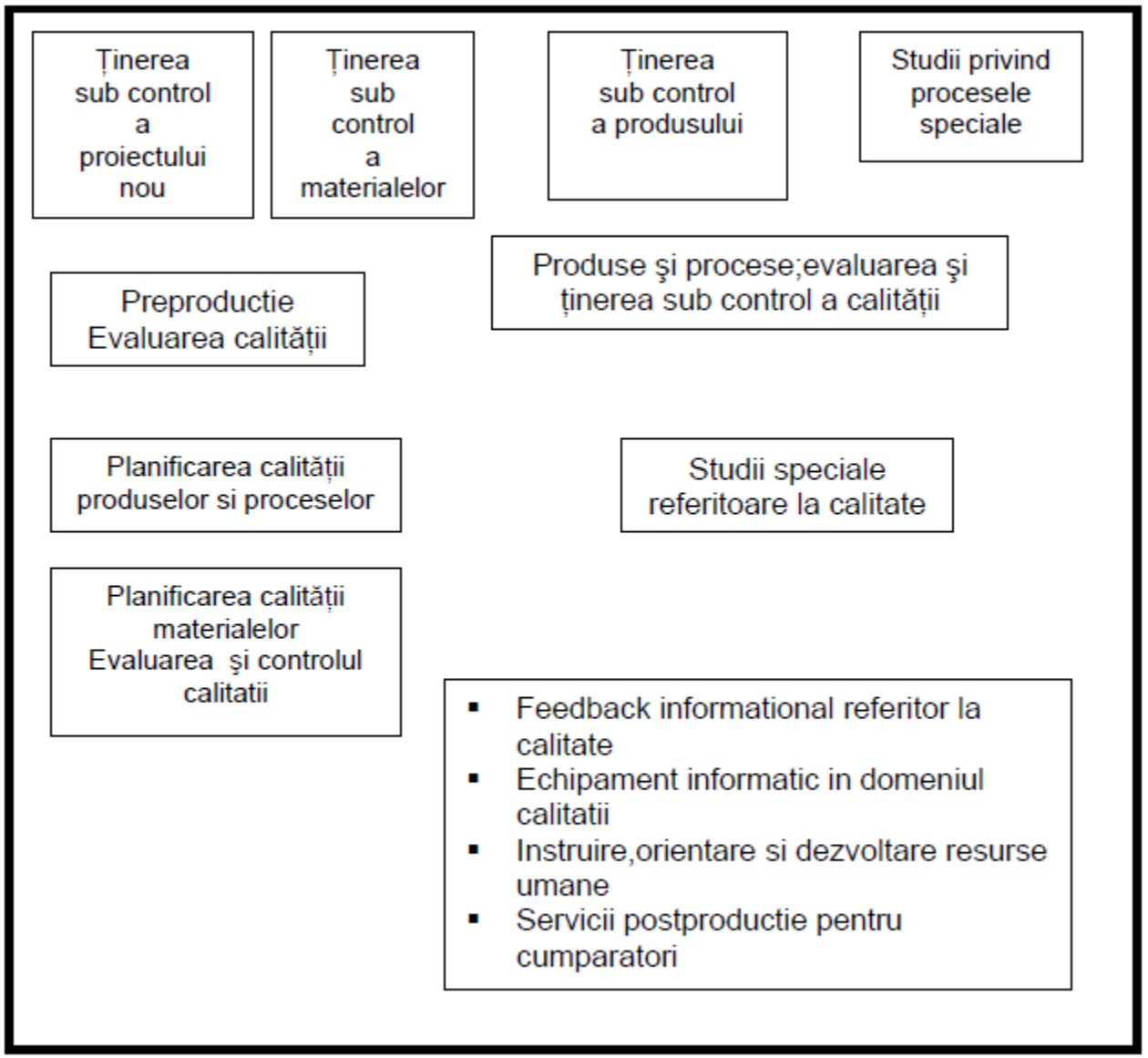
9. Calitatea este calea productivităţii efective si solicită mai puţin capital

10. Calitatea se implementează într-un sistem total care conectează compania cu clienţii si furnizorii

Feigenbaum mai formulează o serie de **principii ale calității totale**:

- ✓ formularea clară a politicii calității;
- ✓ orientarea absolută spre client;
- ✓ integrarea activităţilor la nivelul întreprinderii;
- ✓ stabilirea clară a atribuţiilor si responsabilităţilor;
- ✓ stabilirea unor măsuri speciale de asigure a calității la sub-funizori;
- ✓ asigurarea echipamentelor necesare de inspecţie si încercări;
- ✓ asigurarea unor procese, metode de supraveghere si a unui sistem informaţional eficient, referitor la calitate;
- ✓ motivarea - pregătirea lucrătorilor în domeniul calității;
- ✓ evaluarea nivelului calității prin costuri; măsuri corective eficiente;
- ✓ supravegherea continuă a sistemului calității, cu asigurarea unui feedback informaţional;
- ✓ audituri periodice ale sistemului calității.

Pentru implementarea acestui concept, Feigenbaum ia in considerare aşa numitele subsisteme prezentate in figură:



Feigenbaum pune accentul pe următoarele trei aspecte, pe care le considera deosebit de importante in abordarea calității:

- ***cerinţele consumatorului determină calitatea;***
- ***toţi sunt răspunzători pentru calitate, începând cu conducerea de vârf a întreprinderii si până la ultimul lucrător;***
- ***toate compartimentele întreprinderii, deci nu numai producția, participă la realizarea calității.***

Feigenbaum opinează că **un produs sau serviciu poate fi considerat de calitate superioară**, **numai atunci când satisface aşteptările consumatorului**.

Feigenbaum acordă însă o ***importanță deosebită corelaţiei dintre calitate si preţ,*** demonstrând o **"orientare spre costuri",** in definitivarea calității produselor.

Kaoru Ishikawa - creatorul conceptului ”Company Wide Quality Control”

1915 – 1989

- Kaoru Ishikawa - principala autoritate în domeniul calității în Japonia , **a dezvoltat teoriile experților americani Juran, Deming si Feigenbaum**, **a promovat conceptual implicării tuturor compartimentelor întreprinderii în realizarea calității punând accentul pe un management participativ**.

- De asemenea **este creatorul cercurilor de control a calității (quality control circles)**,denumite mai târziu “**cercurile calităţii** “, cu o foarte largă răspândire în Japonia.

În 1962, JUSE - Japanese Union of Scientists and Engineers a iniţiat primele cercuri ale calităţii (în anii 1980-1990 existau aproximativ 250.000 astfel de cercuri ale calităţii).

S-a creat un flux informaţional în dublu sens (de sus în jos si de jos în sus) **între grupurile participative de prim nivel (comitetul strategic)**, **de al doilea nivel – grupurile de progres (compuse din persoane cheie ale întreprinderii)** și **de al treilea nivel – cercurile calităţii**.

Obiectivele cercurilor calităţii în perioada de început au fost:

- ***îmbunătăţirea activităţii de conducere si a capacităţii manageriale a şefilor intermediari si superiori, sprijinind perfecţionarea prin autodezvoltare***

- ***crearea unui mediu conştient cu privire la importanţa calităţii***

- ***funcţionarea unui nucleu de activitate participativa si formativa in fiecare departament, in care sa se dezvolte aptitudinile umane, sa se mărească gradual abilităţile angajaţilor***

- De asemenea Ishikawa **este creatorul diagramei "cauză – efect", diagrama Ishikawa (diagrama fishbone).**

- ***Deşi este de acord cu conceptul TQC, dezvoltat de Feigenbaum***, **Ishikawa pledează pentru o abordare mai larga a calității, în afara domeniului strict profesional,** apreciind ca **trebuie acordată mai multă încredere nespecialiştilor.**

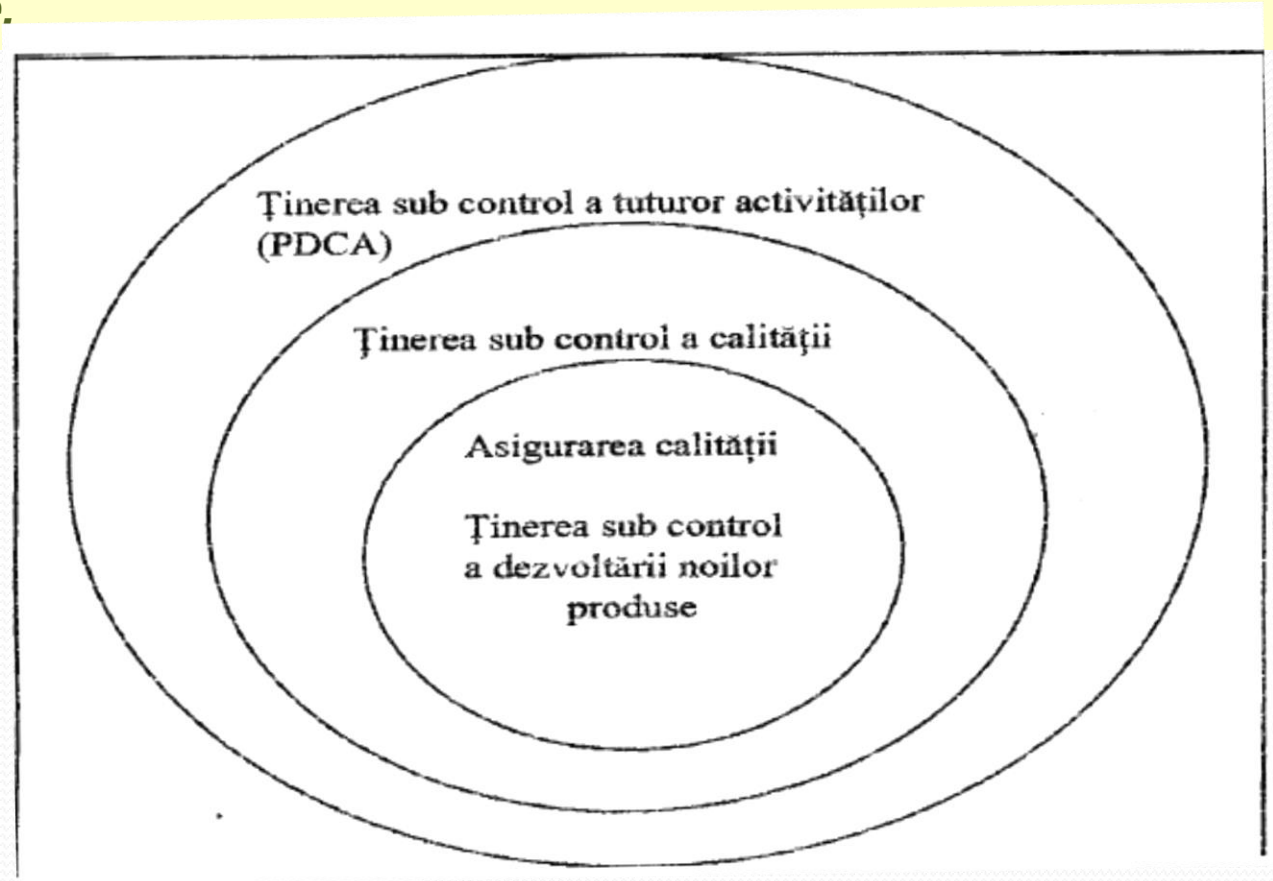
- Pentru a se diferenţia de opiniile lui Feigenbaum, începând cu anul 1968, Ishikawa și-a denumit propriul concept **"Company Wide Quality Control" (CWQC).**

- Ulterior, o serie de aspecte au fost clarificate, **ajungându-se, în prezent, ca cele două concepte să aibă aproape aceeaşi semnificaţie**.

- **Atât Feigenbaum cat si Ishikawa pledează, de fapt, pentru o implicare totală a firmei in realizarea și îmbunătățirea continuă a calității !!!**

Cele trei componente de baza ale **Company Wide Quality Control** sunt:

- ***asigurarea calității;***
- ***ținerea sub control a calității;***
- ***ținerea sub control a costurilor, cantităților și termenelor de livrare.***



- **Cercul interior "asigurarea calității", reprezintă nucleul conceptului QWQC.** Termenul de **”asigurare a calității”** este utilizat intr-un ***sens restrâns***, referindu-se în special la ***ținerea sub control a dezvoltării noilor produse.***

- **Măsurile de ținere sub control, corespunzătoare nivelului al doilea**, ***se referă la toate activităţile relevante pentru calitate***.

- **Cercul al treilea**, ***se referă la supravegherea desfăşurării tuturor activităţilor întreprinderii în scopul prevenirii deficientelor***.

- **Pentru satisfacerea cerinţelor clienţilor**, **este deosebit de importantă realizarea unor produse de calitate corespunzătoare**, dar, **in acelaşi timp, trebuie luate in considerare costurile, cantităţile solicitate, termenele de livrare stabilite**.

- **Supravegherea si îmbunătățirea activităţilor se poate realiza parcurgând cele patru etape ale ciclului PDCA (Plan-Do-Check-Act). La toate cele trei niveluri ale CWQC, cercurile calităţii joacă un rol important**.

Ishikawa **dă o dimensiune internă principiului orientării spre client**:

❖ Ishikawa ***atribuie această dimensiune persoanelor implicate în procesul de realizare a produselor din diferite compartimente ale întreprinderii (marketing, proiectare, producţie, vânzări etc.),*** consacrându-le **"client interni"**, spre deosebire de ***beneficiarii finali*** ai produselor care sunt **"clienţi externi".**

Acest principiu ("next process is your customer") va deveni ***unul din principiile de bază ale managementului total al calității***.

O **altă contribuţie importantă a lui Ishikawa** o reprezintă ***clarificarea unor aspecte statistice ale asigurării calității.***

Plecând de la **premisa că nu este posibila ținerea sub control a calității fără utilizarea unor metode statistice**, el clasifică aceste metode în ***trei categorii, in funcţie de dificultatea aplicării lor***:

Metodele statistice propuse de Ishikawa pentru ţinerea sub control a calităţii

Nr. Crt.	Metode statistice elementare	Metode statistice intermediare	Metode statistice avansate
1.	Diagrama Pareto	Teoria supravegherii statistice	Proiectare avansaă (asistată de calculator)
2.	Diagrama cauză-efect	Controlul statistic prin eșantioanare	Analiză multicriterială
3.	Stratificare	Metode de estimare statistică şi de testare a ipotezelor	Metode de cercetare operațională
4.	Fişa de verificare	Metode de analiză senzorială	
5.	Histograme	Metode de proiectare-experiment	
6.	Diagrama de corelație		
7.	Diagrama de control statistic a procesului		

- În **opinia lui Ishikawa**, ***metodele statistice intermediare și avansate sunt destinate specialiştilor***, în timp ce ***metodele statistice elementare (considerate "instrumente de bază" ale calităţii), ar trebui să fie însuşite de întregul personal al întreprinderii începând cu conducerea de vârf şi până la ultimul lucrător.***

- Pe baza experienţei dobândite în aplicarea celor **şapte instrumente de bază**, Ishikawa ajunge la concluzia ca **circa 95% din problemele care se pot ivi in cadrul unei întreprinderi, în domeniul calității, pot fi soluţionate cu ajutorul acestor instrumente**.

- Ishikawa consideră că **rezultatele mai bune înregistrate de industria japoneză**, **comparativ cu cea occidentală**, s-ar datora **modului diferit de abordare a calității, la nivelul întreprinderii**. În **țările vest-europene asigurarea calității reprezintă apanajul specialiştilor**, **în Japonia preocuparea pentru calitate este totală și permanentă**.

❖ **Punctele-cheie ale filozofiei lui Ishikawa în domeniul calității** sunt următoarele:

✓ ***calitatea este mai importantă decât obţinerea unui profit imediat;***

✓ ***orientarea politicii calității spre client și nu spre producător;***

✓ ***internalizarea relaţiei "client-furnizor" si desfiinţarea barierelor dintre compartimente;***

✓ ***utilizarea metodelor statistice ;***

✓ ***promovarea managementului partcipativ.***

Genichi Taguchi - promotorul unei ”metode revoluţionare de inginerie a calităţii ”

Genichi Taguchi - inginer japonez , născut în 1924 la Takamachi (Japonia).

- 1948 -1950 lucrează la Institutul Național De Statistică Matematică
- În 1980 implementează la Ford Motors Co., metoda de inginerie a calităţii care-i poartă numele.
- Din 1983 – director la Ford Supplier Institute Inc.
- considerat a fi primul specialist care ***a evaluat cantitativ calitatea produselor***.
- Taguchi a folosit pentru prima dată noţiunea de **„pierdere financiară”** în comparaţia calitativă a două produse.

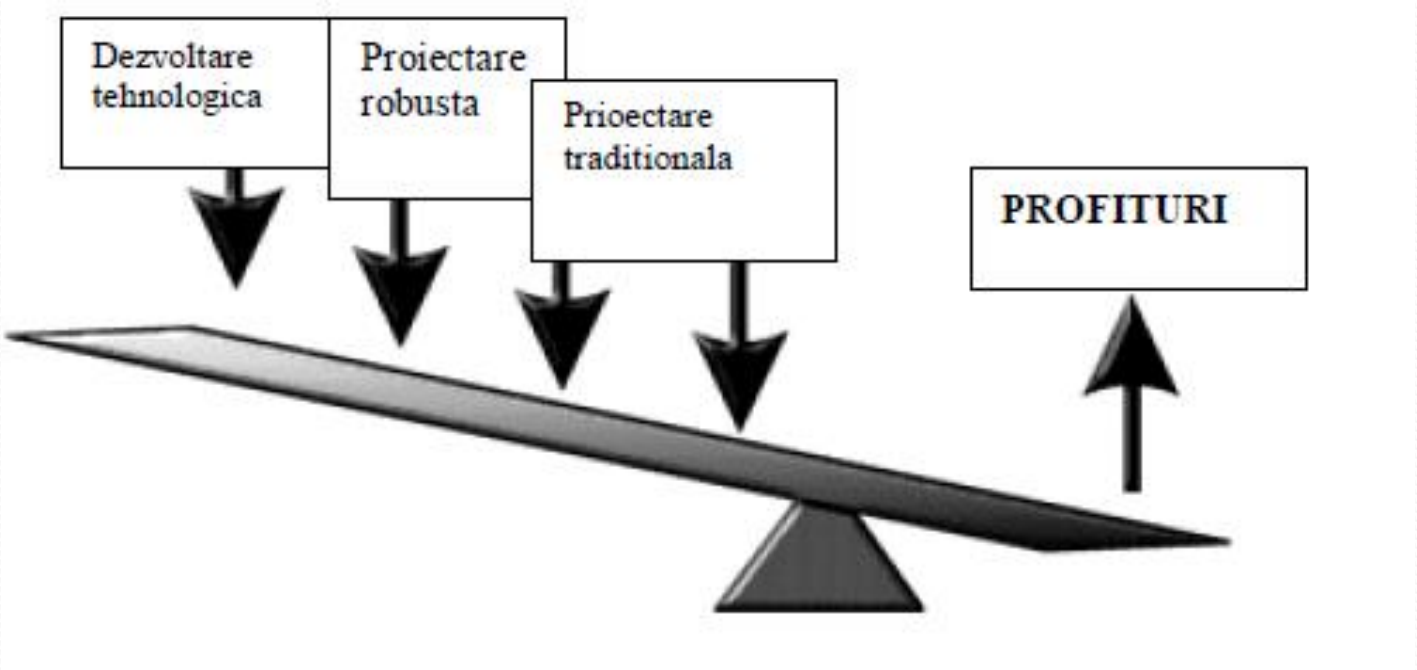
- Taguchi apreciază că **abaterile față de performanțele funcţionale dorite, specifice produsului, sunt cauza pierderilor financiare**.

- ***Posibilitatea de a controla variaţiile acestor performanțe*** decurge din **stabilirea, într-o primă etapă, a parametrilor determinanţi pentru asigurarea si menţinerea calității**, iar apoi **din stabilirea cantitativã a acestor variaţii**.

- Metoda Taguchi ***ține seama de dinamicitatea parametrilor*** si arată cum să se aplice practic o anume relaţie, optimizată pe baze statistice, relaţie existentã între parametrii unui produs sau proces.

- **Calitatea unui produs se măsoară prin abaterea unei anumite caracteristici funcţionale față de valoarea sa țintă (nominală, ideală).**

Taguchi **a intuit rolul proiectării și al dezvoltării tehnologice asupra ratei profitului**



Philip B.Crosby – ”Calitatea este gratuită”

(1926 - 2001)

- Fondator al **Quality College Florida**
- Concepte și contribuţii:
  - **”A face lucrurile bine de la început”**
  - **”Zero defecte”**

Strategia lui Crosby se compune din trei acţiuni:

1. Determinare

2. Pregătire la toate nivelurile

3. Implantare

Principiile absolute ale managementului calității, conform lui Crosby:

- **Calitatea se definește ca îndeplinirea cerinţelor**
- **În sistemul calității, de bază este prevenirea**
- **Standardul de realizare este "Zero defecte"**
- **Măsura calității nu sunt indicatorii ci preţul neîndeplinirii**

Cei 14 paşi pentru îmbunătățirea calității

1. Angajarea conducerii
2. Lucrul in echipă
3. Controlul proceselor
4. Evaluarea costului calității,
5. Crearea conștiinței calității,
6. Acţiunea corectivă,
7. Urmărirea îmbunătăţirii
8. Educarea personalului
9. "Zero defecte" ca indicator al schimbării,
10. Fixarea obiectivelor individuale și de grup,
11. Eliminarea cauzelor de eroare cu ajutorul tuturor,
12. Recunoaşterea si aprecierea participării,
13. Stabilirea "reuniunilor de calitate "periodice,
14. Repetarea întregului proces.

CAPITOLUL II
INSTRUMENTE STATISTICE ALE CALITĂŢII

2.1 Generalităţi

În vederea **stabilirii, controlului şi verificării caracteristicilor de calitate ale produselor, pentru controlul proceselor, evitarea neconformităţilor, analiza problemelor de calitate şi îmbunătăţirea calităţii**, se folosesc ***instrumente şi tehnici statistice***.

Instrumentele şi tehnicile statistice pot fi aplicate pentru următoarele activităţi (cf. SR EN ISO 9004-1:2010):

- **analiza pieţei;**
- **proiectarea caracteristicilor produsului;**
- **controlul proceselor şi determinarea capabilităţii acestora;**
- **determinarea nivelurilor calităţii în planurile de eşantionare utilizate în controlul statistic de recepţie;**
- **analiza datelor, evaluarea performanţelor şi analiza neconformităţilor;**
- **îmbunătăţirea proceselor;**
- **evaluarea securităţii şi analiza riscurilor.**

Organizaţiile care implementează un sistem al calităţii trebuie **să identifice corect instrumentele şi tehnicile statistice necesar a fi aplicate**, având în vedere importanţa acestora pentru controlul diferitelor faze ale proceselor organizaţiei.

Cele mai importante evenimente legate de evoluţia controlului statistic al calităţii şi momentele în timp corespunzătoare, sunt sintetic prezentate în tabelul 2.1.

Tab.2.1 Evenimente în dezvoltarea controlului statistic al calităţii

Momentul	Evenimentul
~.1900	**E.C.Molina** de la *Bell Telephone Laboratories* (azi *Western Electric*) ▪ aplicaţii ale teoriei şi statisticii matematice în domeniul *controlului de receptie*
1920	**H.F.Dodge, H.G.Roming *de la* Bell Telephone Laboratories** ▪ primul set de planuri de verificare a loturilor de produse, prin eşantionare
1924	**W.A.Shewhart *de la* Bell Telephone Laboratories** ▪ prima formă a *fişei de control statistic*
1931	**W.A.Shewhart** ▪ bazele controlului de calitate pe fluxul de fabricaţie, "*Controlul economic al calităţii produselor industriale*"
1935	**E.S.Pearson *de la* Universitatea din Londra** ▪ primul standard referitor la aplicarea metodelor statistice în controlul calităţii
1939	*W.A.Shewhart* ▪ defineşte conceptul de *interval natural de toleranţă*, care stă la baza definirii *indicelui de capabilitate a proceselor* ***"Metodă statistică din punctul de vedere al calităţii"***
1940-1945	▪ dezvoltarea controlului statistic al calităţii ca urmare a necesităţii asigurării calităţii producţiei de război
1945	**A.V.Feigenbaum** ▪ introduce conceptul de *control total al calităţii* **"Total Quality Control"**
după 1960	▪ în Japonia îşi face loc tot mai mult ideea "*fabricaţiei fără defecte*", superioară sistemelor de fabricaţie occidentale, care admit un procent admisibil de rebut

2.2. Instrumente și tehnici statistice

Cunoaşterea şi utilizarea instrumentelor şi tehnicilor statistice este absolut necesară în organizaţia care implementează un sistem de asigurare a calităţii.

Câteva dintre cele mai uzuale instrumente şi tehnici bazate pe principii statistice şi grafice, utilizate în colectarea şi analiza datelor şi în controlul proceselor sunt următoarele:

- **prezentarea grafică a datelor;**
- **histograma;**
- **diagrama de dispersie (de corelaţie);**
- **analiza prin stratificare;**
- **diagrama cauză-efect;**
- **diagrama Pareto;**
- **fişa de control.**

Aceste instrumente şi tehnici mai sunt denumite **“cele şapte instrumente clasice ale calităţii”** şi se bazează pe controlul statistic, fiind concepute, în principal, pentru tratarea datelor numerice.

⇨ Pentru toate tipurile de date necesare la construirea diferitelor tipuri de grafice se completează **formulare de colectare a datelor**.

⇨ **Formularul de colectare (prelevare) a datelor** este utilizat pentru culegerea şi înregistrarea datelor în timpul controalelor sau verificării în scopul de a obţine o imagine clară a faptelor, de a facilita analizele produsului, ale procesului de fabricaţie sau ale calităţii serviciului prestat.

⇨ Procedura de întocmire a unui **formular de colectare a datelor** implică următoarele etape:

a) Se stabileşte scopul colectării datelor referitoare la produs, proces sau serviciu: cunoaşterea datelor de măsurare a unei caracteristici, identificarea celor mai frecvente defecte etc.

b) Se identifică datele necesare pentru realizarea scopului.

c) Se determină modul de analiză a datelor şi cine va realiza această analiză.

d) Se stabileşte structura formularului pentru colectarea datelor. Se prevede o rubrică pentru înregistrarea informaţiilor referitoare la: cine colectează datele; unde, când şi cum au fost colectate datele.

e) Se "experimentează" formularul prin colectarea şi înregistrarea datelor.

f) Dacă este necesar, se analizează şi se revizuieşte formularul, pentru definitivarea formei acestuia.

Un exemplu de formular de colectare a datelor cu evidenţierea cauzelor defectelor, tipurilor de defecte şi numărului defectelor de fiecare tip pentru o imprimantă este dat în tabelul 2.2

Tab. 2.2 Formular de colectare a datelor pentru o imprimantă Laser jet -1100 HP

Cauzele defectelor	Tipuri de defecte				
	Pagini lipsă	Pagini murdare	Transparență	Succesiunea paginilor	Total
Blocări ale imprimantei					
Umiditate					
Toner					
Starea fizica a hirtiei					
Alte cauze (a se specifica)					
				TOTAL	
Date culese de: Data: Locul: Modul					

2.2.1 Reprezentarea grafică a datelor

Datele experimentale pot fi reprezentate grafic cu ajutorul punctelor, liniilor, suprafeţelor şi al altor forme geometrice.

Există multe posibilităţi de întocmire a graficelor utilizate obişnuit în controlul calităţii:

a. Graficul sub formă de bare (coloane)

➢ Se recomandă pentru analiza comparativă a mărimii cantităţilor unor elemente (fig. 2.1).

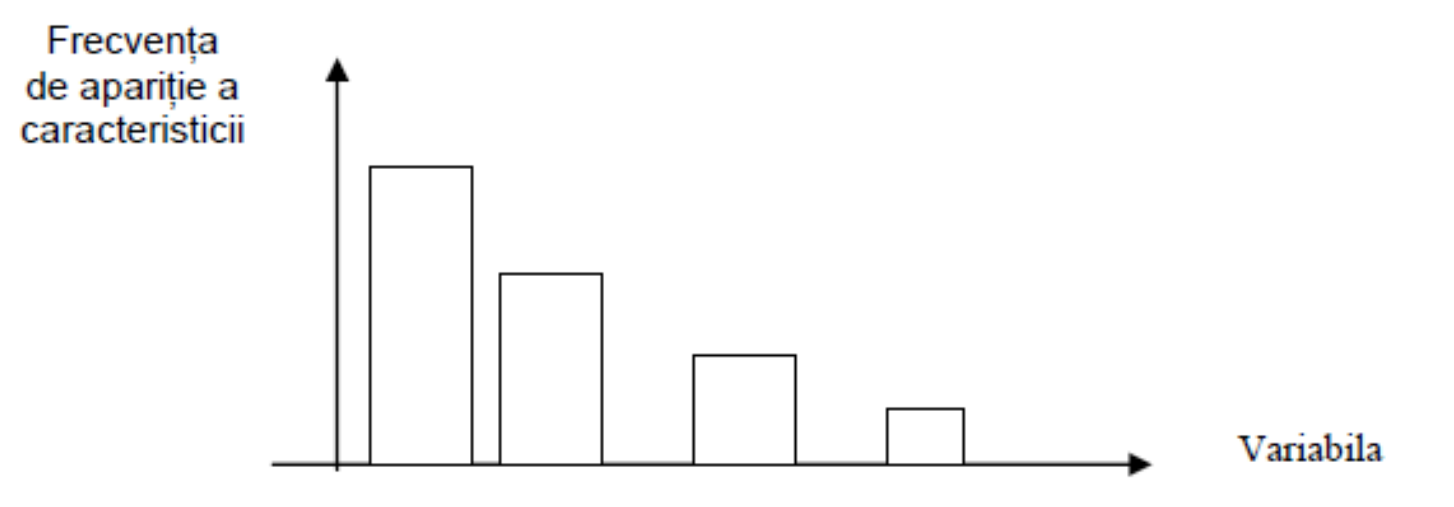


Fig. 2.1. Grafic sub formă de bare

- Pe o axă orizontală pe care sunt reprezentate valorile variabilei la scară liniară, se ridică bare (coloane) de înălţimi proporţionale cu efectivele (sau frecvenţele) valorilor variabilei respective.

- Înălţimea barelor indică, în general, ***nivelul, intensitatea, frecvenţa*** **variabilei, parametrului, caracteristicii de calitate sau aspectului analizat**.

- În acest mod se pot întocmi, de exemplu, grafice privind nivelul livrărilor de produse în timp, grafice privind nivelul intrărilor etc.

b. Graficul liniar

- Este folosit pentru **a urmări variaţia în timp a unei caracteristici de calitate a produsului sau a unui parametru economic**: ***vânzări, încasări, profit*** etc. (fig. 2.2).

- Se recomandă, de exemplu, **pentru a urmări variaţia în timp a *numărului de defecte ale produsului*, *a gradului de utilizare a maşinilor*** etc.

- Timpul se înscrie pe axa orizontală iar valorile caracteristicii (parametrului) a cărui variaţie se analizează, pe axa verticală .

- Prin unirea punctelor de pe grafic rezultă o linie frântă care indică evoluţia în timp a caracteristicii analizate.

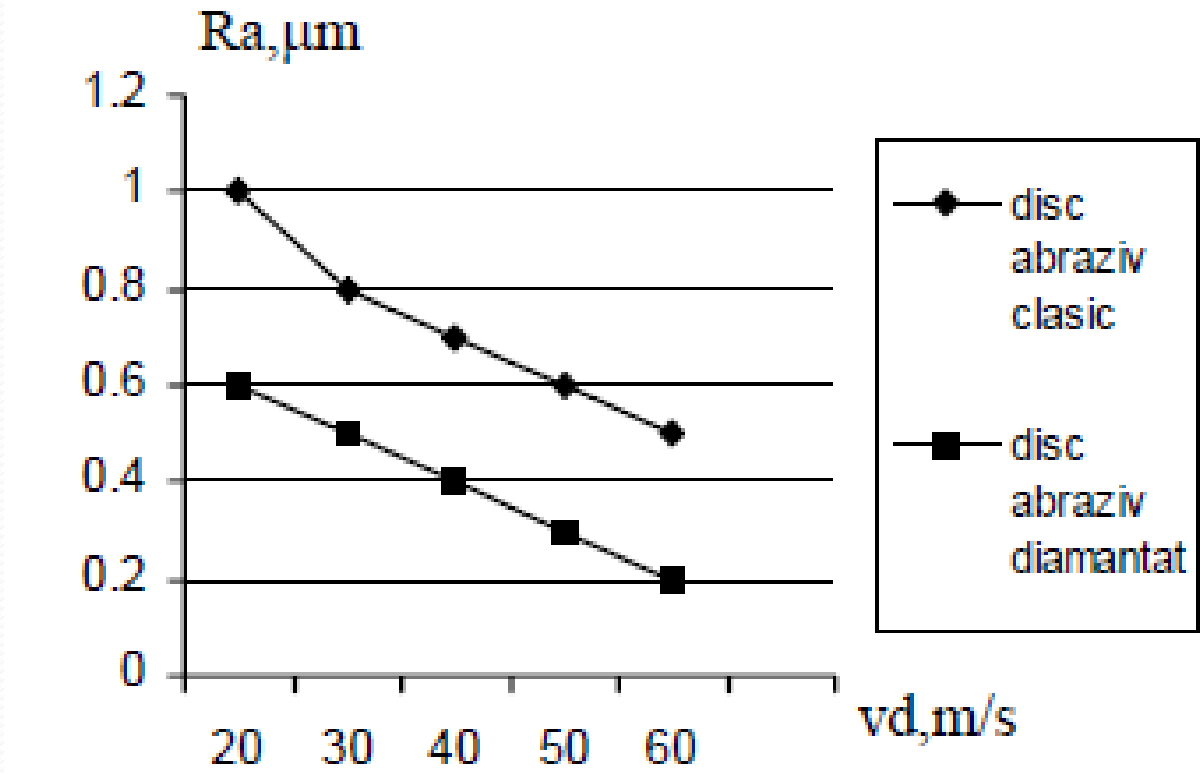


Fig. 2.2 Variaţia rugozităţii de suprafaţă în funcţie de viteza de aşchiere la operaţia de rectificare

c. Graficul circular

- Se întocmeşte atunci ***când se urmăresc proporţiile diferitelor părţi componente ale unui ansamblu de date***.

- Se poate folosi pentru ***a analiza producerea defectelor pe tipuri de defecte, pentru a clasifica vânzările de produse*** etc.

- În fig. 3.2 se prezintă graficul circular pentru a stabili proporţia proceselor tehnologice de diferite categorii în realizarea unui produs.

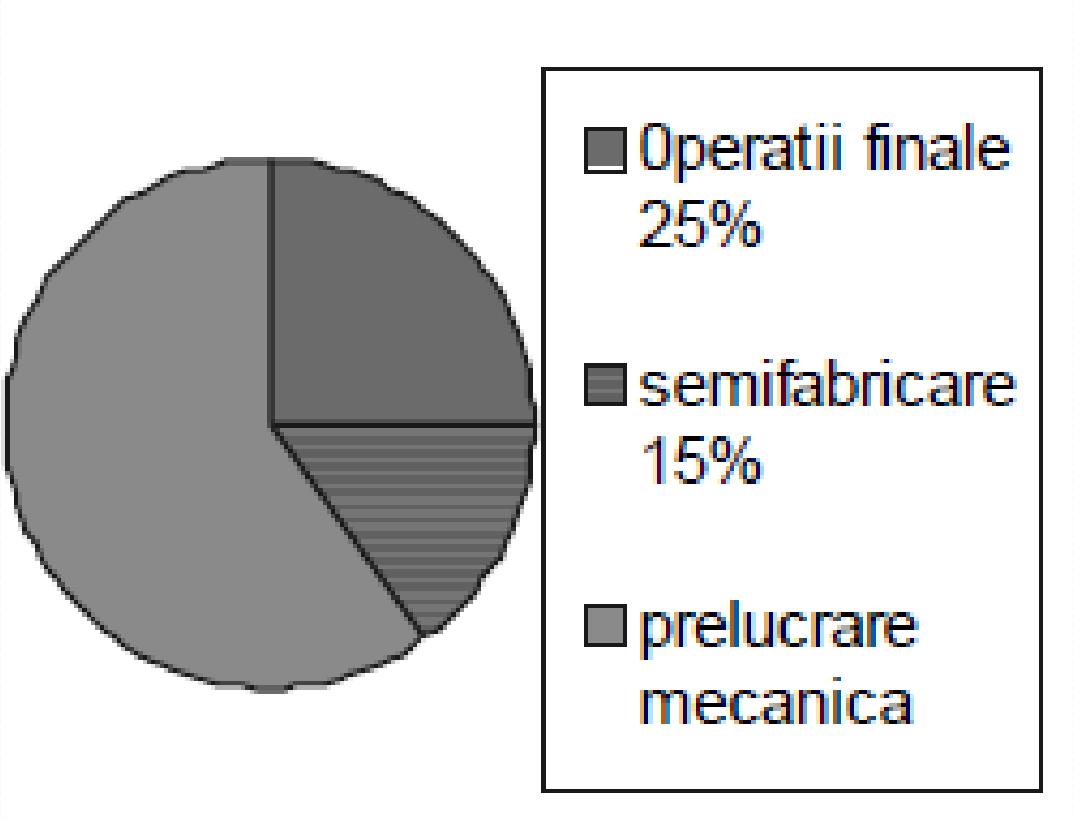


Fig. 2.3. Ponderea proceselor tehnologice pentru realizarea unui produs
- grafic circular -

d. Graficul bandă

- **Are aceleaşi funcţiuni ca şi graficul circular** pentru că **prezintă proporţional sau în valori absolute ponderile diferitelor elemente componente într-un ansamblu de date**.

- Reprezentarea se face pe o **bandă divizată pe lungime de la 0 la 100%.**

- În fig. 2.4 este prezentat un grafic bandă reprezentând procentual categoriile de defecte ale pieselor, în primele trei luni ale anului.

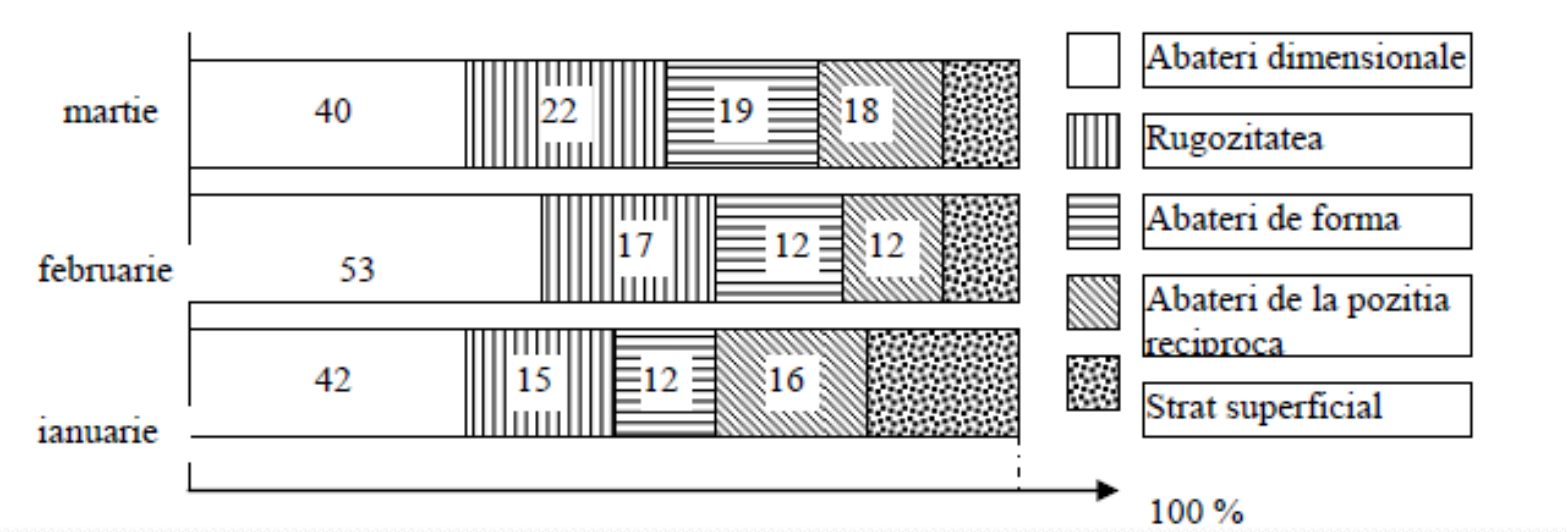


Fig. 2.4. Categorii de defecte - grafic bandă

2.2.2 Histograma

Histograma se utilizează pentru cu ajutorul ei ***se pot evidenţia tendinţa datelor de intrare studiate*** precum şi ***dispersia valorilor acestora***, prin dreptunghiuri, astfel încât înălţimea fiecărui dreptunghi să fie proporţională cu numărul de valori ale datelor dintr-un interval determinat.

Histogramele permit comunicarea vizuală a informaţiilor referitoare la comportarea unui proces şi luarea deciziilor referitoare la îmbunătăţirea calităţii realizate de acel proces.

Histograma se construieşte cu datele dintr-un ***tabel de frecvenţe***, reprezentate grafic sub forma unei serii de dreptunghiuri de lăţime egală şi înălţimi diferite.

Lăţimea reprezintă un interval din cadrul domeniului total de variaţie a datelor. Înălţimea reprezintă numărul de valori ale datelor din fiecare interval – aşa numita ***frecvenţă a caracteristicii***

Procedura de construire a histogramei implică parcurgerea următoarei succesiuni de etape:

a) Se colectează valorile datelor care se înscriu într-un tabel de colectare (prelevare) a datelor.

- Datele primare pot fi prezentate sub formă tabelară, valorile fiind înscrise în ordine aleatoare. Prin ordonarea în şir crescător se obţine ***tabelul valorilor ordonate***, **şirul** numindu-se şi **statistic**.

- Un alt mod de prezentare a **şirului statistic** este tabelând valorile distincte şi corespunzător numărul de apariţii al lor.

- Dacă considerăm gruparea în “k” intervale disjuncte, numărul unităţilor cu aceeaşi valoare aparţinând aceluiaşi interval reprezintă frecvenţa absolută.

Rezultă următoarele relaţii:

Frecvența absolută: $$\sum_{i=1}^{k} a_i = n \qquad (2.1)$$

Frecvența relativă: $$f_i = \frac{a_i}{n} \qquad (2.2)$$

$$\sum_{i=1}^{k} f_i = 1 \qquad (2.3)$$

b) Se identifică valorile maximă X_{max} şi minimă X_{min} din şirul de date, apoi se determină amplitudinea împrăştierii datelor R:

$$R = X_{max} - X_{min} \qquad (2.4)$$

c) Se calculează numărul de intervale K din histogramă

- Numărul de clase poate fi stabilit astfel:

$$k=1+3,322 \log n \qquad (2.5)$$

Sau folosind relaţia lui H.A.Sturges:

$$a = \frac{x_{max} - x_{min}}{1+3,322\log n} \qquad (2.6)$$

unde a – mărimea intervalului de grupare

Pentru n > 100 se poate utiliza relaţia H.Mann şi A. Wald:

$$k = 4\left[\frac{1}{4}(n-1)\right]^{\frac{1}{5}} \qquad (2.7)$$

Un mod simplu de determinare a numărului de clase este:

$$k = \sqrt{n} \qquad (2.8)$$

De obicei se adoptă k = 10 pentru n < 250, iar pentru n < 25 gruparea în clase nu prezintă interes.

Adeseori k este cuprins între 6 și 12

d) Se determină lățimea fiecărui interval h, calculând raportul dintre amplitudinea R şi numărul de intervale

$$h = \frac{X_{max} - X_{min}}{k} \qquad (2.9)$$

e) Se determină valorile limitelor intervalelor

- se determină limita inferioară a primului interval care este X_{min} din şirul de date;

- se adună la aceasta lăţimea intervalului “h” şi se obţine valoarea maximă a primului interval. Pentru al doilea interval, valoarea minimă este egală cu valoarea maximă a primului interval, iar valoarea maximă a celui de-al doilea interval se va calcula prin adunarea unui “h” la valoarea minimă;

- considerând “a”şi “b” limitele unei clase, atunci o valoare “x” aparţinând intervalului [a , b) trebuie să satisfacă inegalitatea $a \leq x < b$.

e) Se completează tabelul de frecvenţe (tab. 2.3) prin înregistrarea în tabel a frecvenţei absolute de apariţie a datelor care reprezintă numărul de valori cuprinse în fiecare interval

Tab. 2.3 Frecvenţele absolute ale caracteristicii

Nr. crt.	Intervalul	Frecvența absolută
1	69,980 … 69,984	2
2	69,984 … 69,988	6
3	69,988 … 69,992	8
4	69,992 … 69,996	12
2	69,996 … 70,000	19
6	70,000 … 70,004	16
7	70,004 … 70,008	12
8	70,008 … 70,012	10
9	70,012 … 70,016	8
10	70,016 … 70,020	4

f) Se reprezintă histograma (fig. 2.6)

- se marchează pe axa absciselor scara de valori ale caracteristicii (datelor culese), iar pe axa ordonatelor se marchează scara de valori ale frecvenţelor.

- se trasează înălţimea fiecărui interval, care este egală cu numărul de valori ale datelor cuprinse în intervalul respectiv (frecvenţa absolută), respectiv procentul de valori cuprinse în intervalul respectiv (frecvenţa relativă)

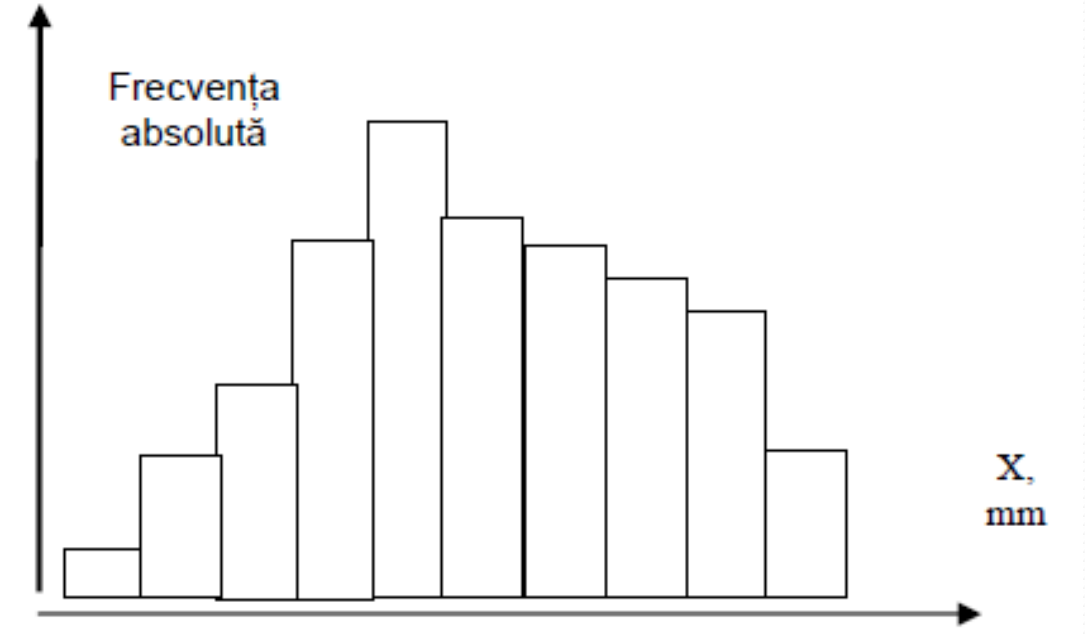


Fig. 2.6 Histograma frecvenţelor absolute

Poligonul frecvenţelor (fig. 2.7), se obţine ridicând în mijlocul fiecărui interval de pe axa absciselor câte o perpendiculară cu înălţimea proporţională cu frecvenţa intervalelor respective şi unind printr-o linie frântă extremităţile acestor perpendiculare.

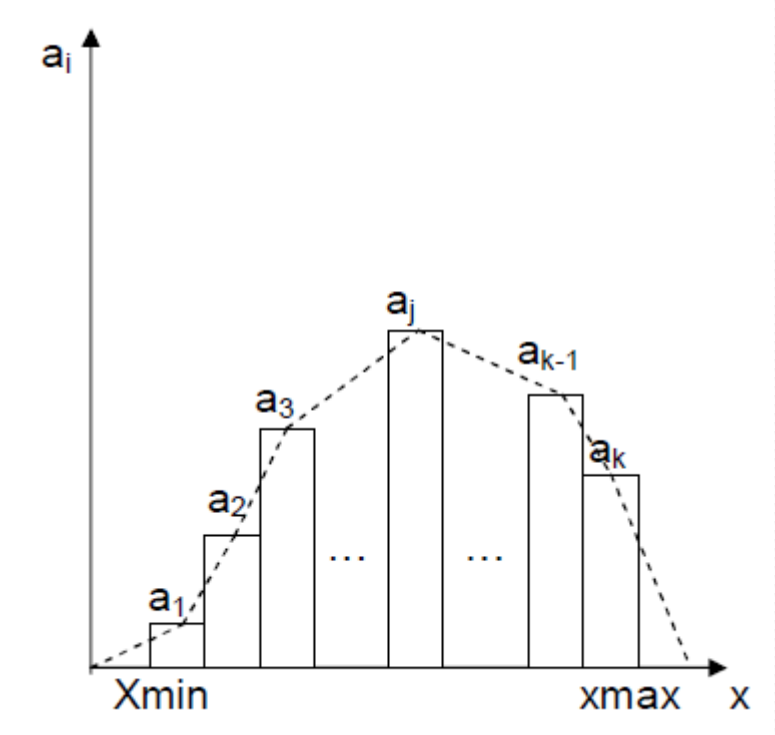


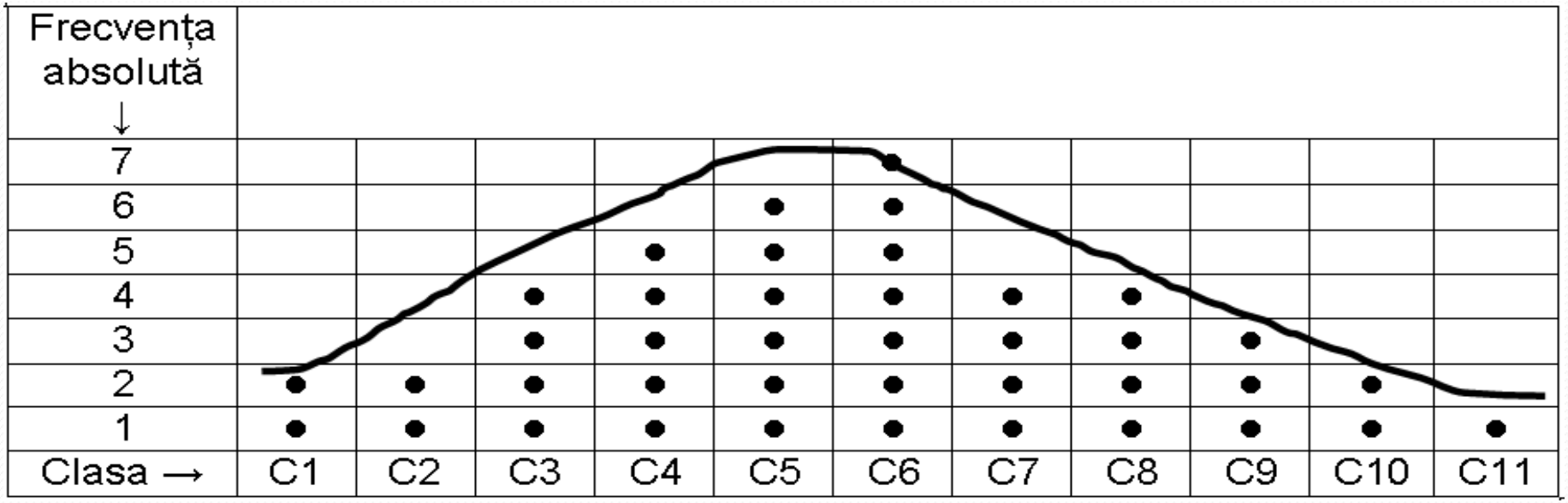
Fig. 2.7 Histograma și poligonul frecvenţelor absolute

Există patru variante de histograme: **fişa de observaţie, histograma simplă, histograma suspendată, diagrama tip "trunchi şi frunză" (stem and leaf)**

➢ Fișa de observație

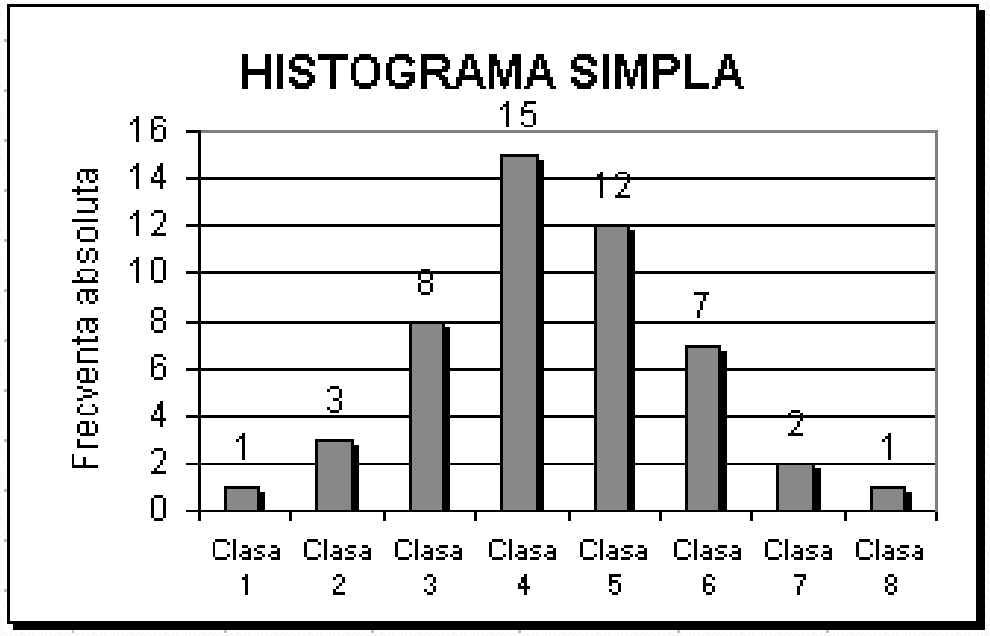
- numărul coloanelor este egal cu cel al claselor, iar rânduri sunt atâtea cât de mare este frecvenţa absolută maximă observată.

- pe măsură ce se culeg datele, acestea sunt marcate pe fişă sub forma câte unui punct, fiecare în dreptul clasei căreia îi aparţine.



Din analiza formei **fişei de observaţie** se pot desprinde ***concluzii cu privire la tendinţa principală şi la distribuţia populaţiei studiate***.

➢ Histograma simplă

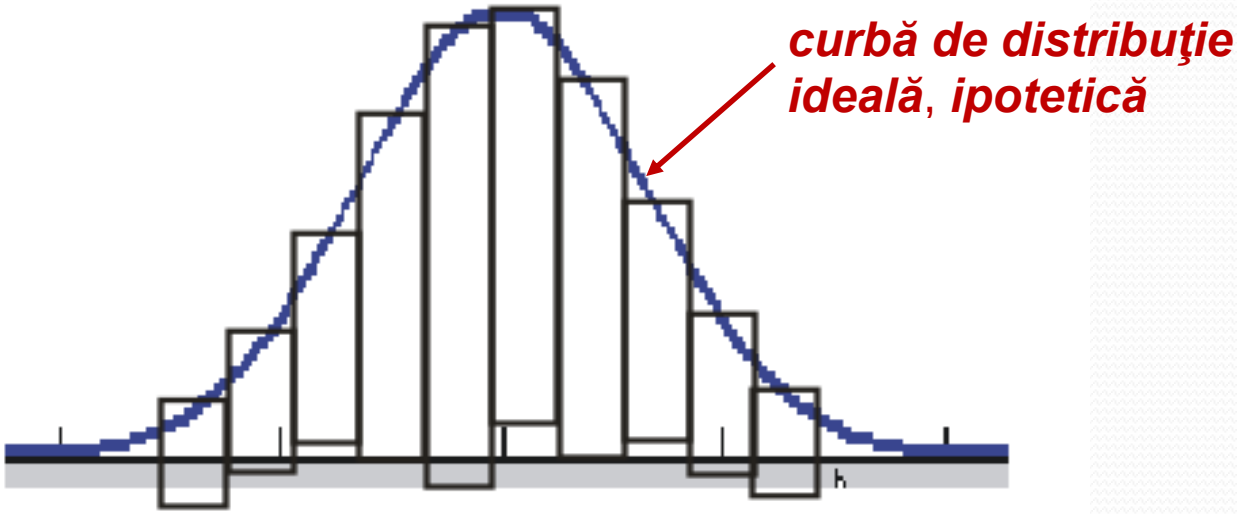


Din analiza unei **histograme simple** se culeg ***informaţii cu privire la valorile cele mai des întâlnite ale caracteristicilor de calitate, gradul de simetrie al repartiţiei, forma distribuţiei datelor, poziţia centrului repartiţiei,*** făcându-se şi ***referiri la depăşirea uneia sau a ambelor limite de control***.

➢ Histograma suspendată

- se construieşte pornind de la o ***curbă de distribuţie ideală, ipotetică***, trasată într-un sistem rectangular de axe care are drept coordonate, în abscisă - limitele claselor, iar în ordonată - frecvenţele absolute de apariţie ale valorilor caracteristicilor de calitate.

- de această curbă de distribuţie ideală ***sunt suspendate dreptunghiuri*** care au lăţimea egală cu mărimea clasei, iar înălţimea egală cu frecvenţa absolută



Histograma suspendată ajută observatorul ***să verifice măsura în care datele din proces corespund distribuţiei ideale*** (optim ar fi ca toate dreptunghiurile să atingă abscisa sistemului de coordonate, fără să o depăşească însă).

➢ Diagrama ”trunchi și frunză”

- a fost utilizată pentru prima oară în anul 1987 şi, spre deosebire de **histogramă**, prezintă ***avantajul vizualizării valorii tuturor caracteristicilor de calitate studiate***.

- există trei variante de asemenea diagrame: ***simplă***, ***extinsă*** sau ***comprimată*** .

✓ **Exemplu**: Prelucrarea prin strunjire a unui lot de 40 de arbori.

Timpii de prelucrare:

68	73	79	82	61	89	93	96	95	88
97	93	74	83	91	78	82	75	101	98
74	78	77	70	69	73	74	62	80	102
85	86	91	84	92	86	85	72	73	102

Varianta simplă:

Trunchi	Frunză	Frecvența absolută
6	8 1 9 2	4
7	3 9 4 8 5 4 8 7 0 3 4 2 3	13
8	2 9 8 3 2 0 5 6 4 6 5	11
9	3 6 5 7 3 1 8 1 2	9
10	1 2 2	3

- Partea de "trunchi" a graficului este dată de prima cifră (digit) sau grup de cifre aferente fiecărei valori a şirului de date şi este plasată pe partea stângă a diagramei, înaintea unei linii verticale.

- Porţiunea de "frunză" este reprezentată de partea dreaptă a graficului, ea fiind alcătuită, pentru fiecare "trunchi" în parte, din şirul format de ultimele cifre ale valorilor datelor culese.

- Fiecare "trunchi" poate avea asociată una sau mai multe "frunze".

Varianta extinsă:

- „Trunchiul" este extins la o lungime dublă prin împărţirea fiecărui rând în alte două diferite.
- Porţiunea de "trunchi" care va avea drept "frunze" valorile cuprinse între 0 şi 4 se va nota cu **a**, iar cea de-a doua jumătate, cu "frunzele" de la 5 la 9, se va nota cu **b**.

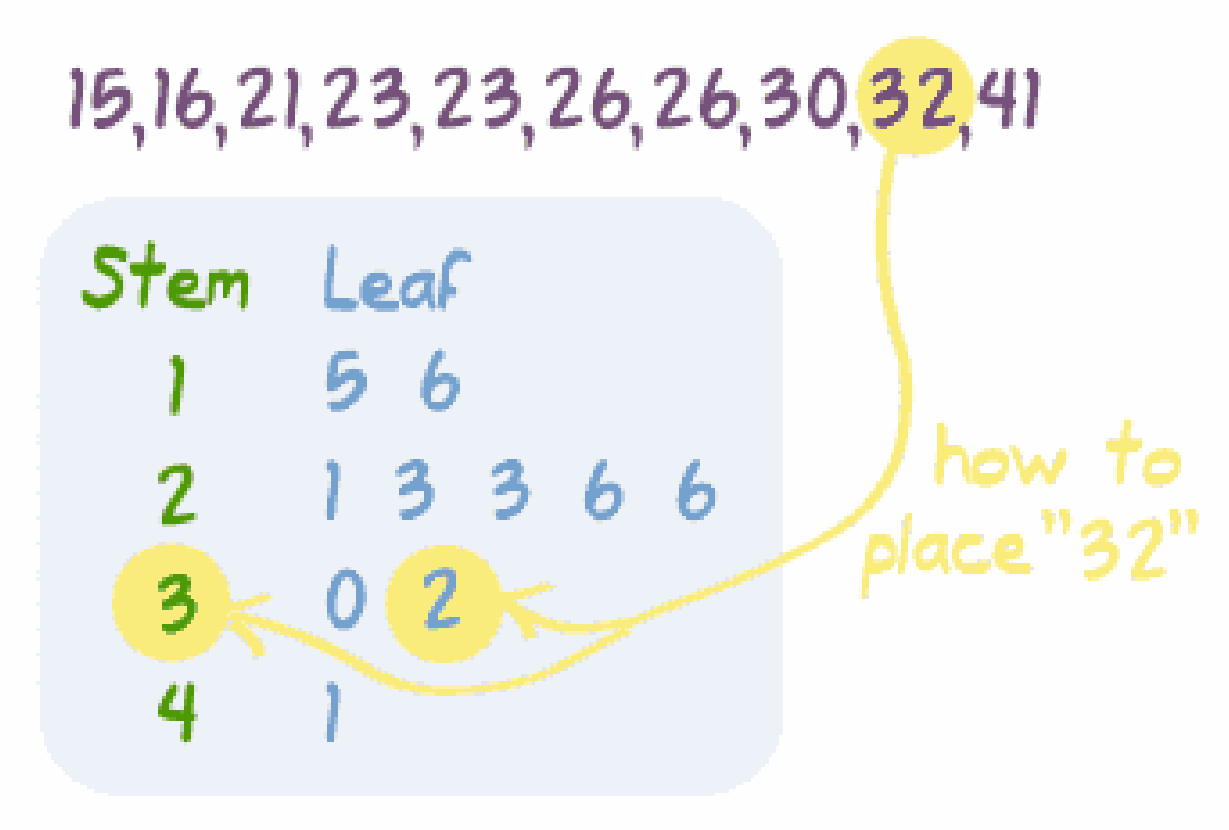
Trunchi	Frunză	Frecvența absolută
6 a	1 2	2
6 b	8 9	2
7 a	3 4 4 0 3 4 2 3	8
7 b	9 8 5 8 7	5
8 a	2 3 2 0 4	5
8 b	9 8 5 6 6 5	6
9 a	3 3 1 1 2	5
9 b	6 5 7 8	4
10 a	1 2 2	3

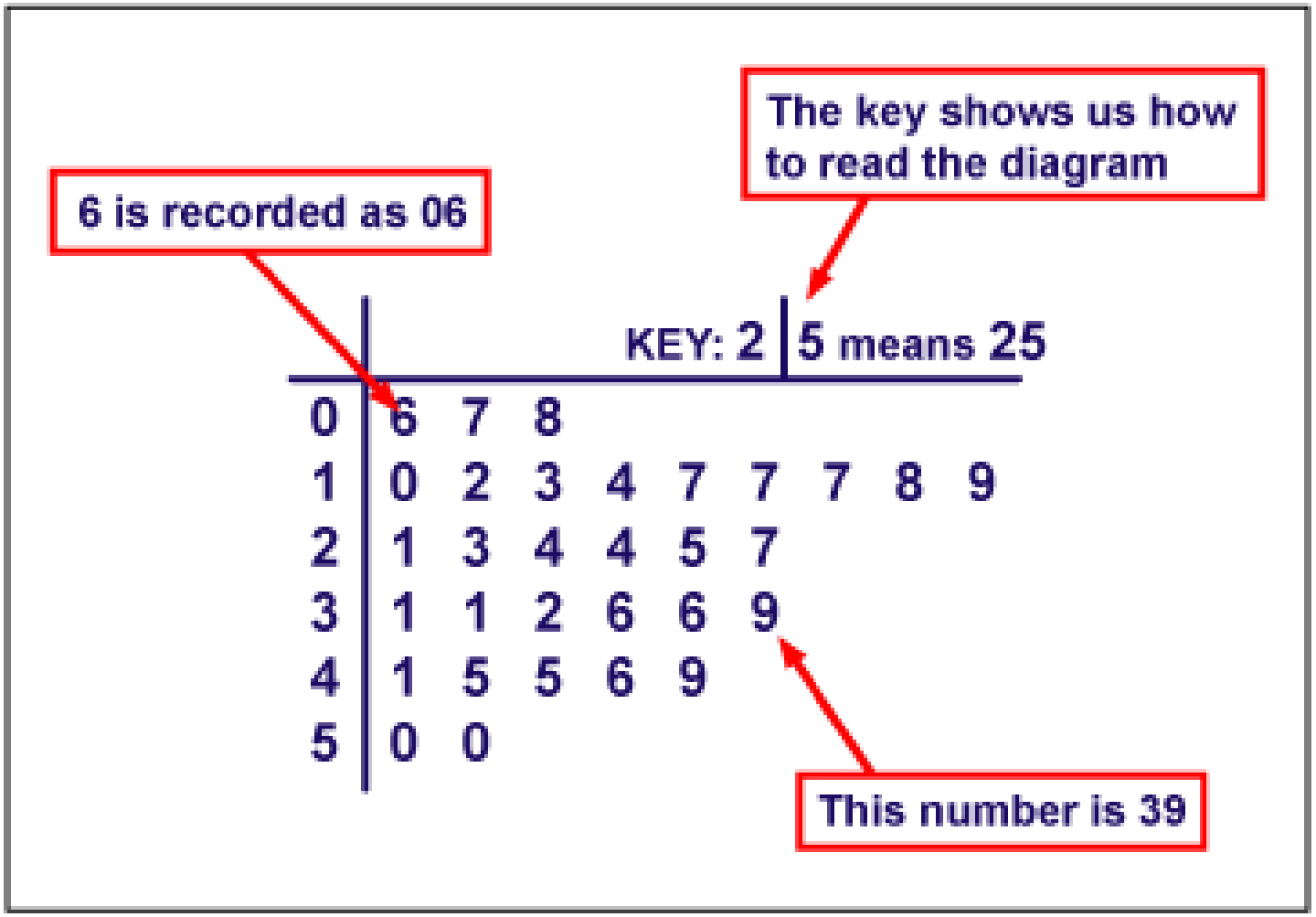
Varianta comprimată:

- Fiecare "trunchi" este împărţit în 5 diviziuni egale.

- "Trunchiul" care are drept "frunze" valorile 0 şi 1 se va nota cu **a**, cel care are "frunzele" 2 şi 3 se notează cu **b** şi aşa mai departe până la ultima diviziune, cu "frunzele" 8 şi 9, care se notează cu **e**.

Trunchi	Frunză	Frecvenţa absolută
6 a	1	1
6 b	2	1
6 e	8 9	2
7 a	0	1
7 b	3 3 2 3	4
7 c	4 5 4 4	4
7 d	7	1
7 e	9 8 8	3
8 a	0	1
8 b	2 3 2	3
8 c	5 4 5	3
8 d	6 6	2
8 e	9 8	2
9 a	1 1	2
9 b	3 3 2	3
9 c	5	1
9 d	6 7	2
9 e	8	1
10 a	1	1
10 b	2 2	2


15,16,21,23,23,26,26,30,32,41
Stem
Leaf
1
5 6
2
1 3 3 6 6
3
0 2
4
1
how to place "32"


The key shows us how to read the diagram
6 is recorded as 06
KEY: 2 | 5 means 25
0 | 6 7 8
1 | 0 2 3 4 7 7 7 8 9
2 | 1 3 4 4 5 7
3 | 1 1 2 6 6 9
4 | 1 5 5 6 9
5 | 0 0
This number is 39

2.2.3 Diagrama de dispersie (corelație)

- **O diagramă de dispersie (de corelaţie)** este o reprezentare grafică care evidenţiază corelaţiile dintre două ansambluri asociate de date care apar perechi într-un fenomen comun (de exemplu, (x,y), o pereche de date din fiecare ansamblu).

- **Diagrama de dispersie** reprezintă grafic perechile de valori *x şi y* sub forma unei mulţimi de puncte.

- Corelaţiile dintre ansamblurile asociate de date se deduc din configuraţia mulţimilor de puncte.

- De obicei, cu x se notează variabila independentă şi cu y – variabila dependentă.

- ***O corelaţie pozitivă*** între x şi y există atunci când ***o creştere a valorilor variabilei x este asociată cu o creştere a valorilor variabilei y***.

- ***O corelaţie negativă*** se constată atunci când ***o creştere a valorilor variabilei x este asociată cu o scădere a valorilor variabilei y***.

În fig. 2.8 a și b sunt reprezentate şase configuraţii uzuale ale acestor mulţimi de puncte

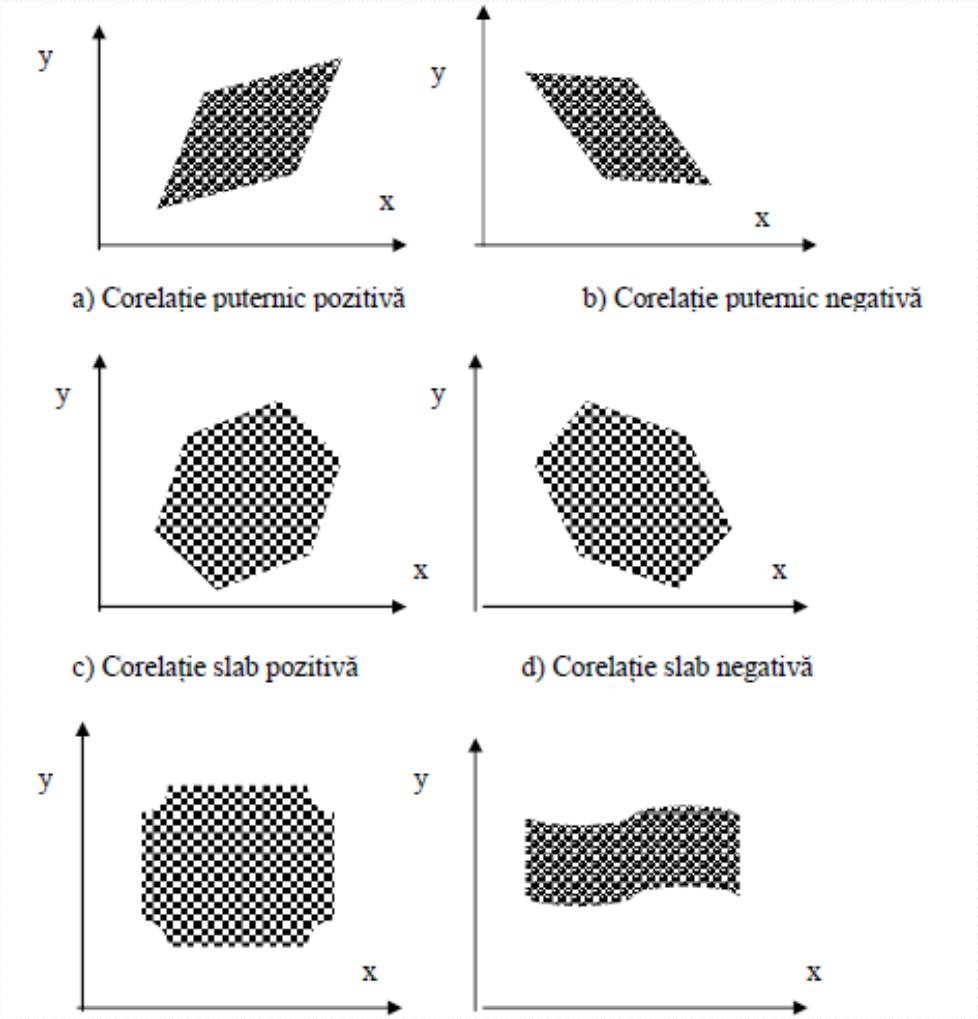


Fig. 2.8 a. Diagrame de dispersie (corelaţie) uzuale

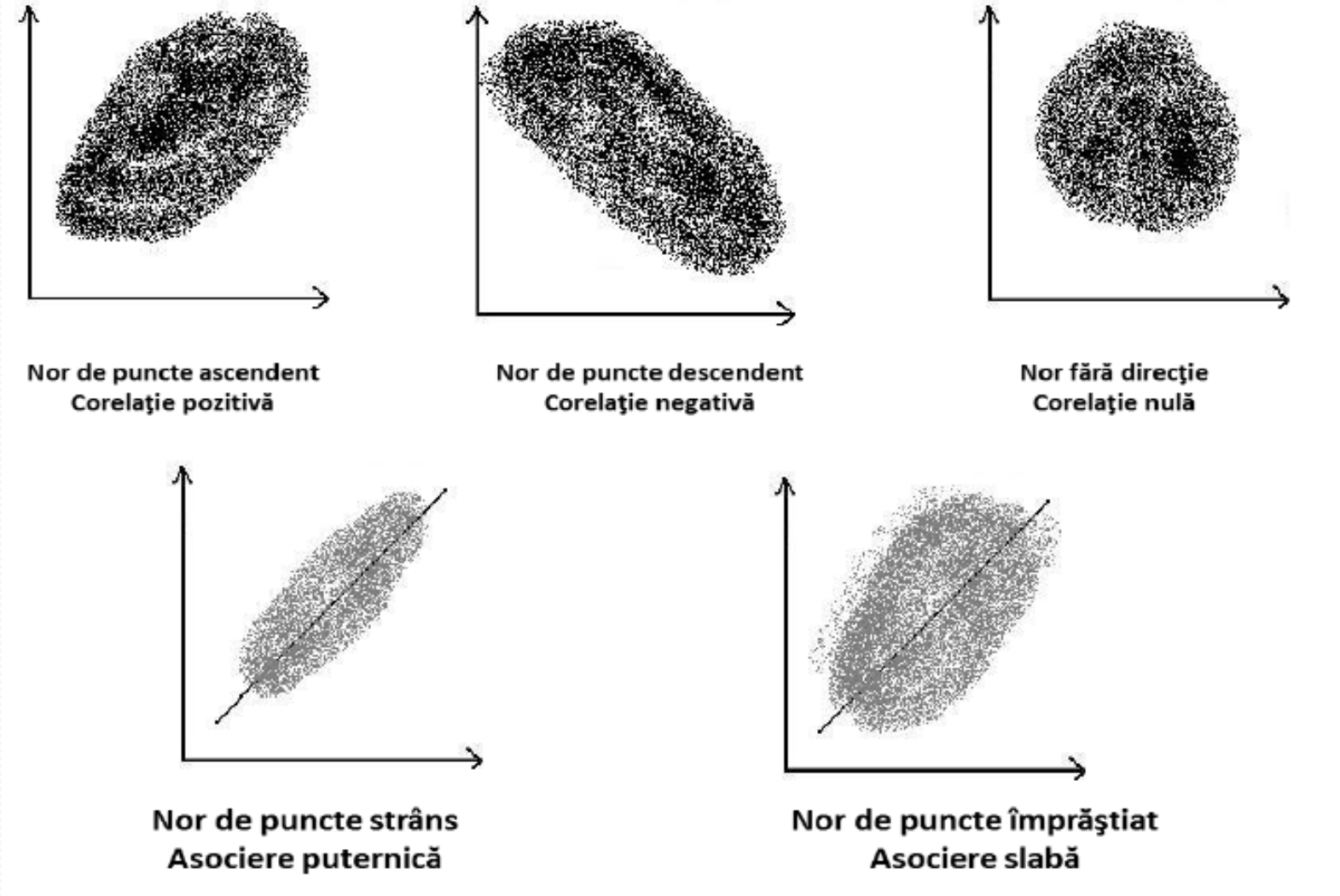


Fig. 2.8 b. Diagrame de dispersie (corelaţie) uzuale

Procedura de construire a diagramelor de dispersie (corelație) constă în următoarele etape:

a) **Se colectează datele pereche** (x,y) provenite din două ansambluri asociate de date ale căror corelaţii eventuale vor fi analizate. Este de dorit să se obţină aproximativ 30 perechi de date.

b) **Se trasează axele x şi y ale diagramei**. De obicei se adoptă axa absciselor x pentru factorul "cauză" şi axa ordonatelor y pentru caracteristica de calitate ("efect").

c) **Se identifică valorile minime şi maxime** atât pentru x cât şi pentru y şi se utilizează aceste valori pentru trasarea scărilor abscisei (x) şi ordonatei (y). Ambele axe ar trebui să aibă aproximativ aceeaşi lungime.

d) **Se reprezintă grafic datele pereche (x,y).** Atunci când două perechi de date au aceleaşi valori, fie se desenează cercuri concentrice în jurul punctului reprezentat, fie se reprezintă cel de-al doilea punct în apropiere.

e) Se examinează configuraţia mulţimii de puncte pentru a descoperi tipul şi puterea corelaţiilor. Pentru determinarea puterii (intensităţii) corelaţiei este utilă calcularea ***coeficientului de corelaţie*** (relația 2.10).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)\left(y_i - \bar{y}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2 \sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \bar{y}\right)^2}} \qquad (2.10)$$

în care:

n este numărul de perechi de date obţinute experimental (din măsurători, experienţe etc.);

x_i, y_i sunt valorile variabilei x, respectiv y, în experienţa numărul i;

$\bar{x}$, $\bar{y}$ - valorile medii aritmetice ale parametrului x, respectiv y.

✓ Valorile coeficientului de corelaţie ”r” sunt cuprinse între –1 şi +1.

✓ Dacă ”r” are semnul +, corelaţia este pozitivă; dacă ”r” are semnul -, corelaţia este negativă.

✓ Cu cât coeficientul de corelaţie are valoarea mai apropiată de +1 sau –1, cu atât corelaţia este mai puternică.

✓ În cazul extrem în care |r| = 1, datele se dispun în lungul unei drepte.

✓ În schimb, dacă |r| este apropiat de zero, se consideră că între variabilele x şi y există o corelaţie slabă.

✓ Dacă r = 0 se consideră că între variabilele x şi y nu poate exista o corelaţie definită printr-o dependenţă funcţională liniară.

- În practică se consideră că dacă:

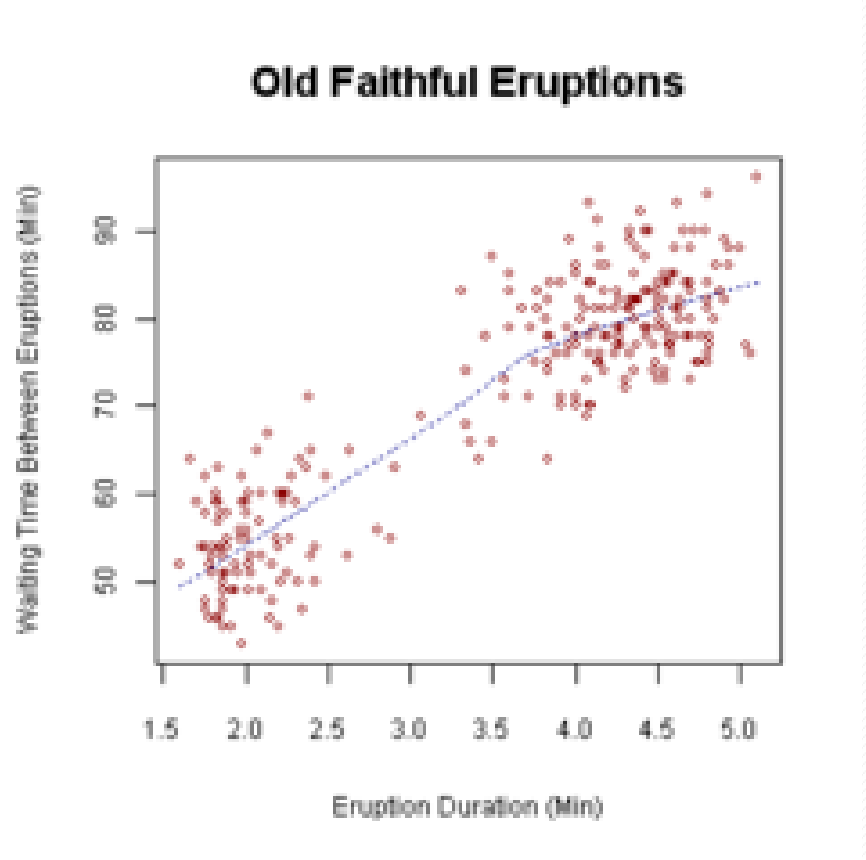
$0 \le |r| < 0,2$ nu există o corelație liniară;

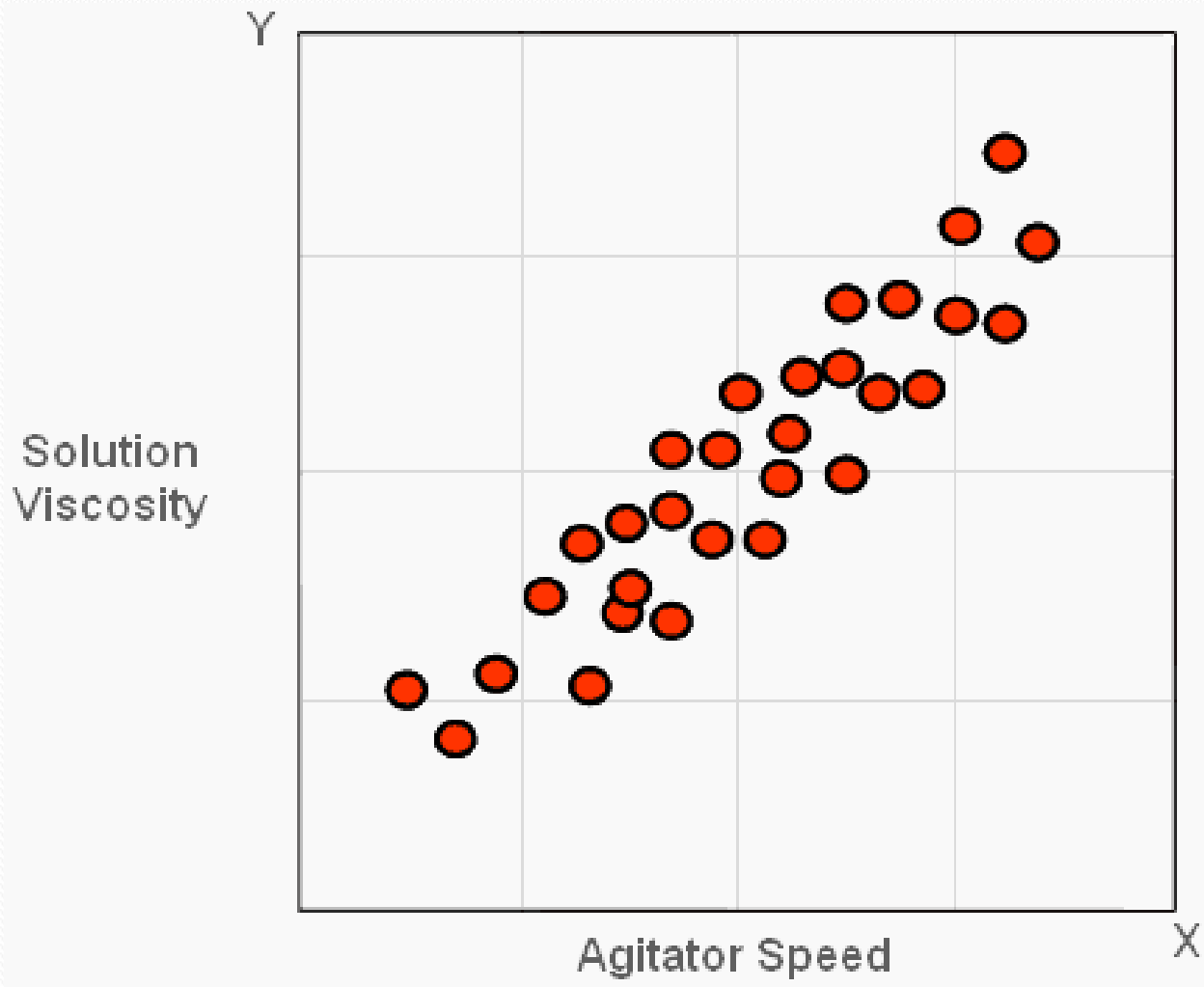
$0,2 \le |r| < 0,5$ există o corelație slabă;

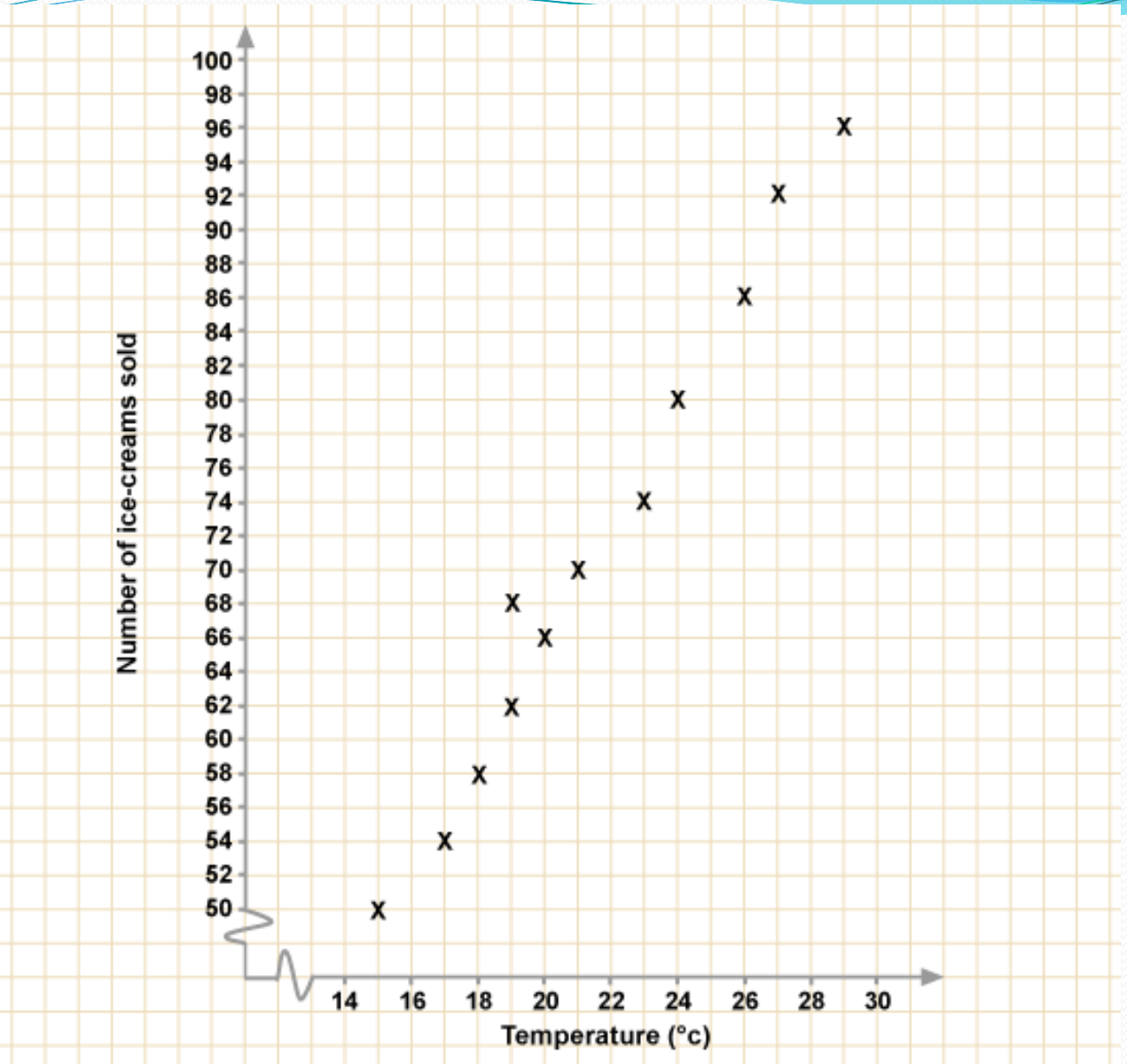
$0,5 \le |r| < 0,75$ există o corelație de intensitate medie;

$0,5 \le |r| < 0,95$ există o corelație puternică;

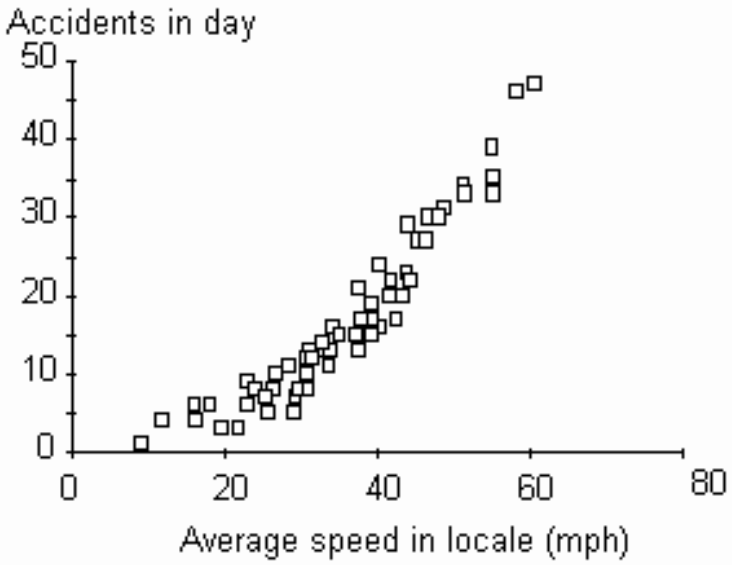
$0,95 \le |r| \le 1,00$ se poate vorbi de o corelație liniară.

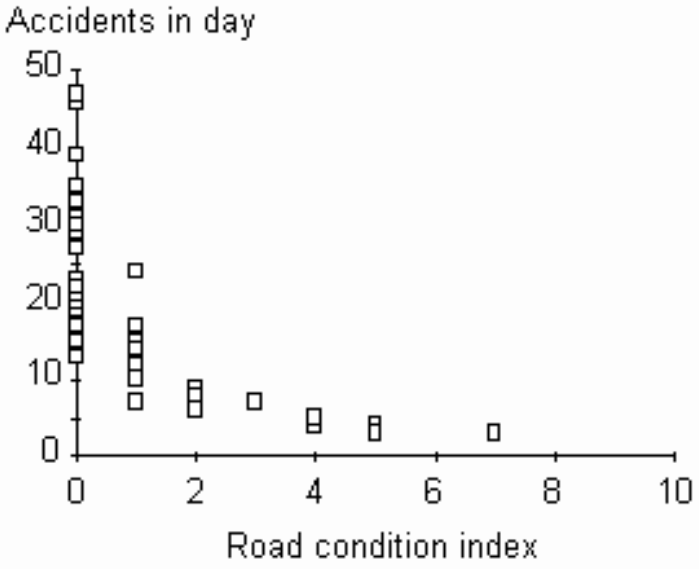

Old Faithful Eruptions
Waiting Time Between Eruptions (Min)
50
60
70
80
90
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
Eruption Duration (Min)

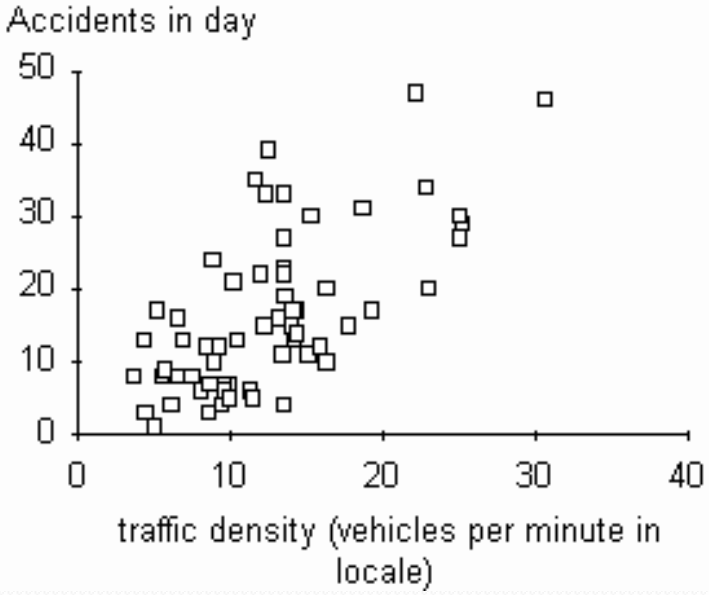

Y
Solution Viscosity
Agitator Speed
X


Number of ice-creams sold
100
98
96
94
92
90
88
86
84
82
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60
58
56
54
52
50
14
16
18
20
22
24
26
28
30
Temperature (°c)

Road condition index	Average speed (mph)	Traffic density (veh/min)	Accidents in day
1	28.4	13.4	11
1	37.6	4.3	13
0	39.4	14.3	17
7	19.6	4.4	3
1	31.0	6.8	13
5	16.2	6.1	4







2.2.4 Analiza prin stratificare

- Atunci când ***procesul analizat prin măsurători este atât de complex încât cauza unui efect sau a unei dispersii (împrăştieri) a valorilor măsurătorilor efectuate nu rezultă clar***, poate fi utilă ***reprezentarea datelor măsurate în două sau mai multe subpopulaţii (histograme) numite straturi, corespunzătoare diferitelor cauze***.

- **Stratificarea** este o ***metodă de identificare a surselor de variaţie a datelor culese, prin gruparea lor în funcţie de diferiţi factori***.

- **Stratificarea** poate fi făcută, de exemplu, prin gruparea datelor pe tipuri de maşini, de materiale, de metode de prelucrare, pe operatori, pe schimburi etc.

- **Stratificarea** se poate aplica asupra graficelor liniare, histogramelor, diagramelor de corelaţie, fişelor de control etc.

- Dacă, de exemplu, se folosesc ***două tipuri de materiale***, diferenţa în caracteristicile acestora poate fi evidenţiată întocmind ***histograme separate pentru fiecare material***.

✓ Figura 2.9 redă o ***histogramă combinată*** reprezentand repartiţia valorilor diametrului unor piese de tip ax prelucrate pe două maşini de rectificat diferite (zona haşurată este rebut, avand diametrul mai mic decat diametrul minim).

✓ Cum obţinerea diametrului exterior se face pe două maşini diferite se va intocmi ***histograma stratificată*** pentru cele două maşini:

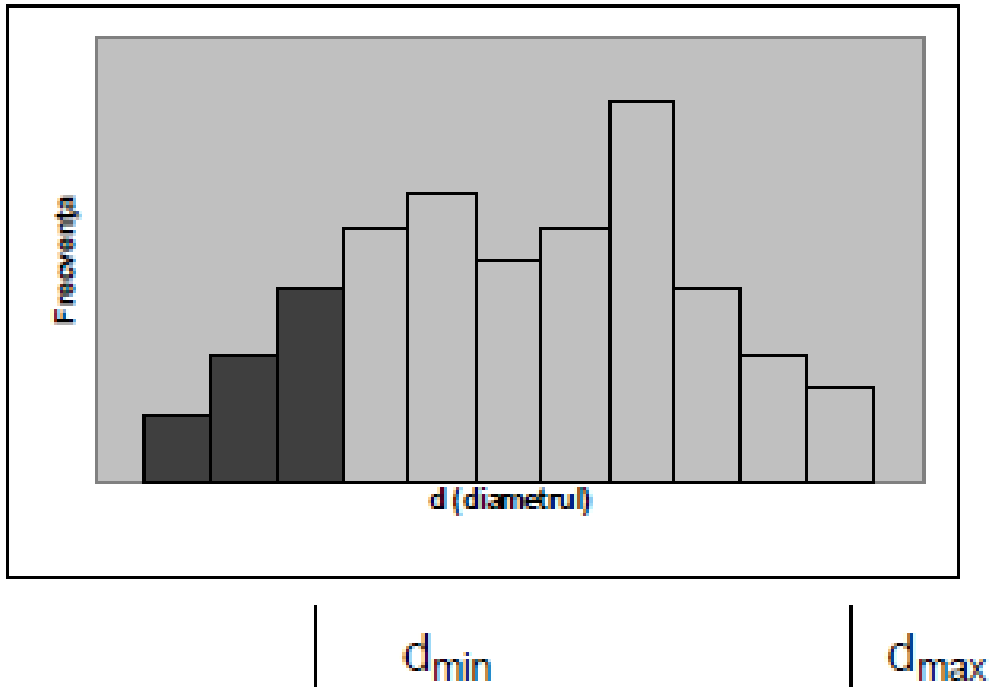


Fig. 2.9 Exemplu de analiză prin stratificare

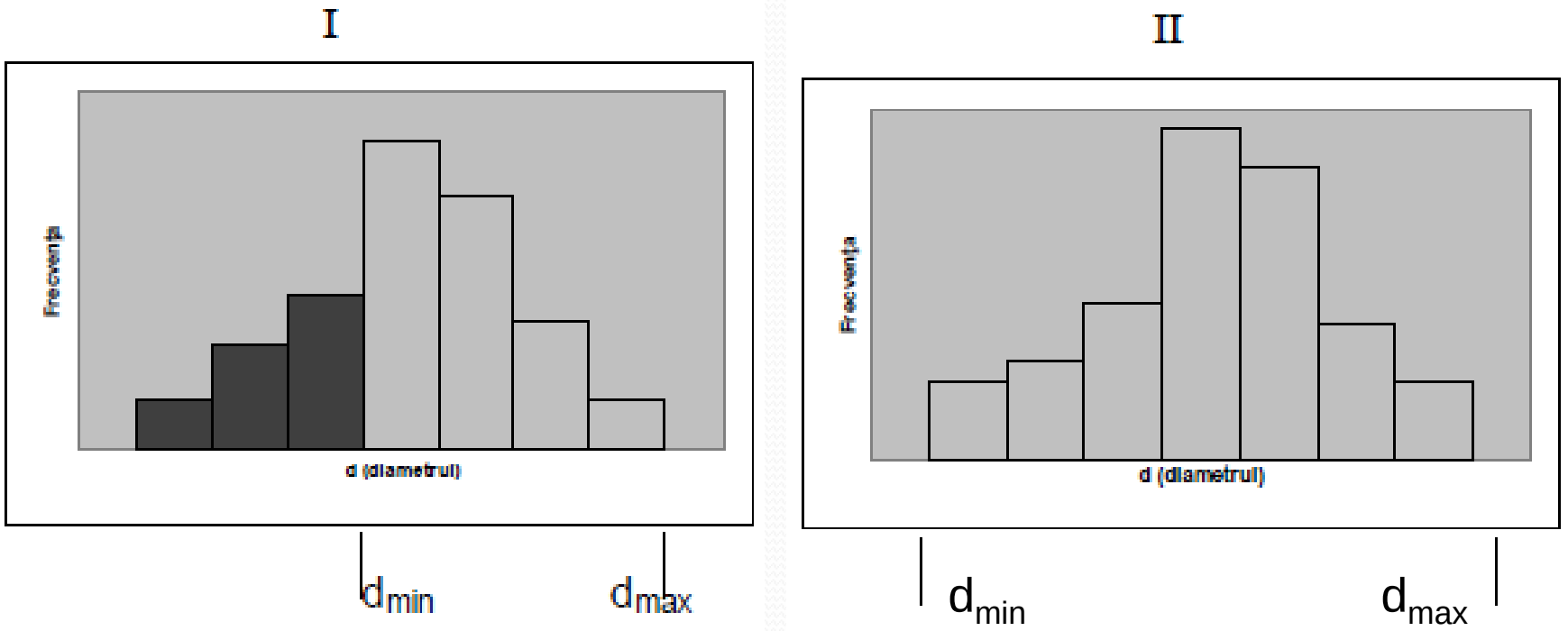


Fig. 2.9 Exemplu de analiză prin stratificare (continuare)

✓ ***Histogramele stratificate*** obţinute evidenţiază că numai maşina I rebutează piesele, astfel incat cercetările ulterioare se vor orienta asupra rectificării diametrului exterior pe această maşină pentru a izola şi indepărta cauza abaterii.

2.2.5 Diagrama ”cauză – efect”

- **Diagrama ”cauză - efect”** sau **diagrama Ishikawa** este un instrument utilizat pentru ***analiza şi reprezentarea grafică a relaţiilor dintre un efect dat*** (de exemplu, variaţiile unei caracteristici de calitate) ***şi cauzele sale posibile***.

- Această diagramă evidenţiază, prin urmare, ***legătura (relaţia) între cauze-factori de influenţă şi un efect – o caracteristică de calitate***.

- Cele mai multe cauze posibile pot fi clasificate, după importanţă, în **cauze principale (majore), cauze secundare, terţiare** etc. pe diferite niveluri de importanţă, astfel încât reprezentarea grafică seamănă cu scheletul unui peşte.

- De aceea, procedeul este cunoscut şi sub denumirea de **diagrama “os de peşte” (“fishbone”).**

- Cauzele variaţiei caracteristicilor de calitate sunt factorii care influenţează valorile acestor caracteristici şi care includ: ***materialele, maşinile (utilajele), metodele de lucru, metodele de măsurare, muncitorii şi mediul (clima, microclimatul);***

- Aceste șase categorii de cauze formează “cei **6M**”.

  - ***M****ateriile prime, resursele materiale;*
  - ***Maşinile****, utilajele, echipamentele de lucru;*
  - ***M****etodele, procedeele de lucru;*
  - ***M****uncitorul, resursele umane;*
  - ***M****ediul;*
  - ***Măsurarea****, metodele şi mijloacele de măsurare.*

- Ramurile diagramei sunt săgeţi care indică relaţiile dintre efect şi factorii cauzali.

Diagramele de acest tip sunt utile pentru:

- ✓ ***identificarea cauzelor ce stau la originea unor efecte negative*** sau, dimpotrivă***, a unor efecte pozitive în desfăşurarea unui proces***;
- ✓ ***analiza condiţiilor necesare pentru ameliorarea calităţii unui produs sau serviciu***, sau ***pentru o mai bună aprovizionare materială sau pentru reducerea costurilor***;
- ✓ ***eliminarea condiţiilor ce cauzează respingerea unui produs*** sau ***reclamaţii din partea clienţilor***;
- ✓ **educarea şi capacitarea personalului în luarea de decizii şi *în acţiunile cu caracter corectiv***.

Pentru ***domeniile extra-productive*** sunt considerate mai potrivite diagramele **4P**:

- ***P**olitici*
- ***P**roceduri*
- ***P**ersonal*
- ***Poziţie*** (amplasare)

Procedura de construire a diagramei cauză-efect include parcurgerea următoarelor etape:

a) Se defineşte efectul sau caracteristica de calitate analizată, în mod clar şi concis.

b) Se definesc cauzele principale posibile sau factorii principali care influenţează caracteristica de calitate.

c) Se începe construirea diagramei, prin înscrierea efectului într-o casetă din partea dreaptă a foii de hârtie la capătul liniei principale şi prin poziţionarea cauzelor principale drept “canale de alimentare” pentru caseta “Efect” (fig. 2.10).

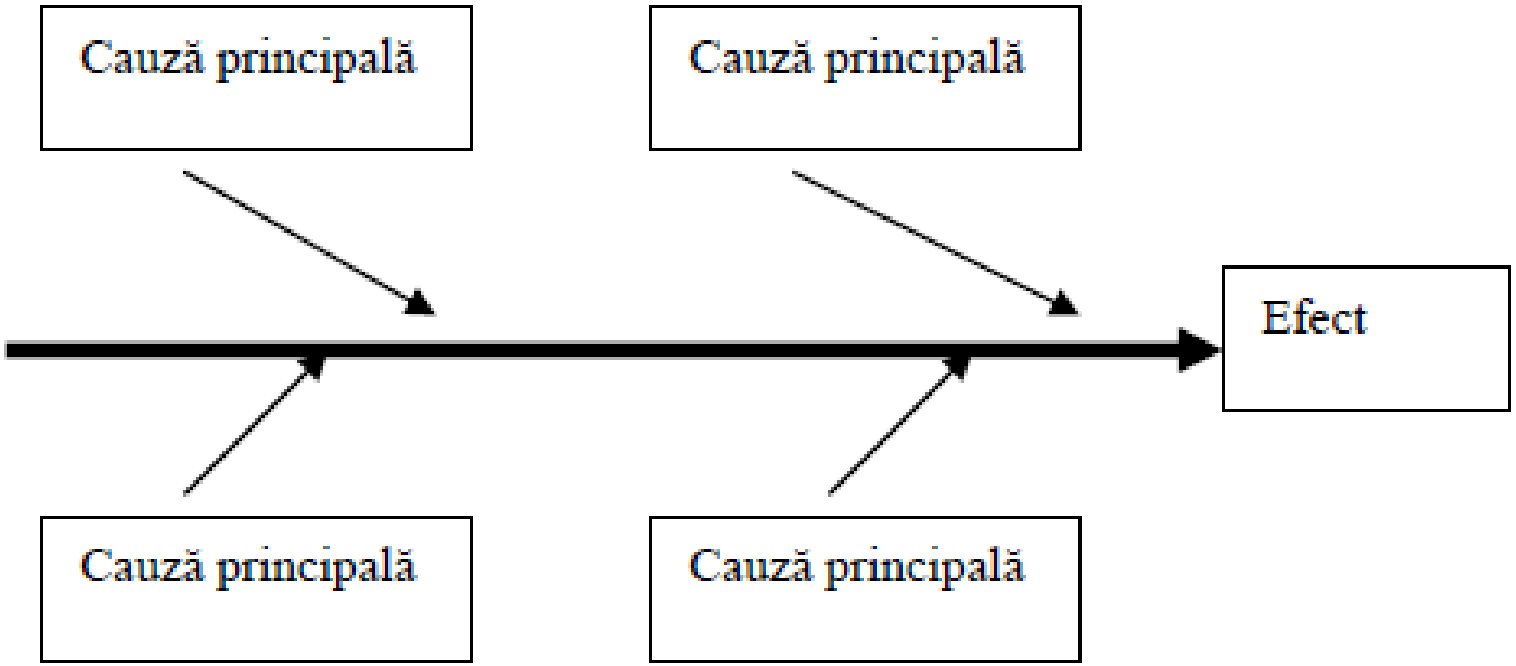


Fig. 2.10 Forma iniţială a diagramei ”cauză-efect”

d) Se dezvoltă diagrama printr-o analiză profundă şi prin completarea tuturor cauzelor secundare, terţiare etc. de la nivelurile următoare şi se continuă această procedură la nivelurile de ordin mai înalt. O diagramă bine întocmită nu va avea ramificaţii (ramuri) cu mai puţin de două niveluri, ci va avea multe ramificaţii pe trei sau mai multe niveluri (fig. 2.11).

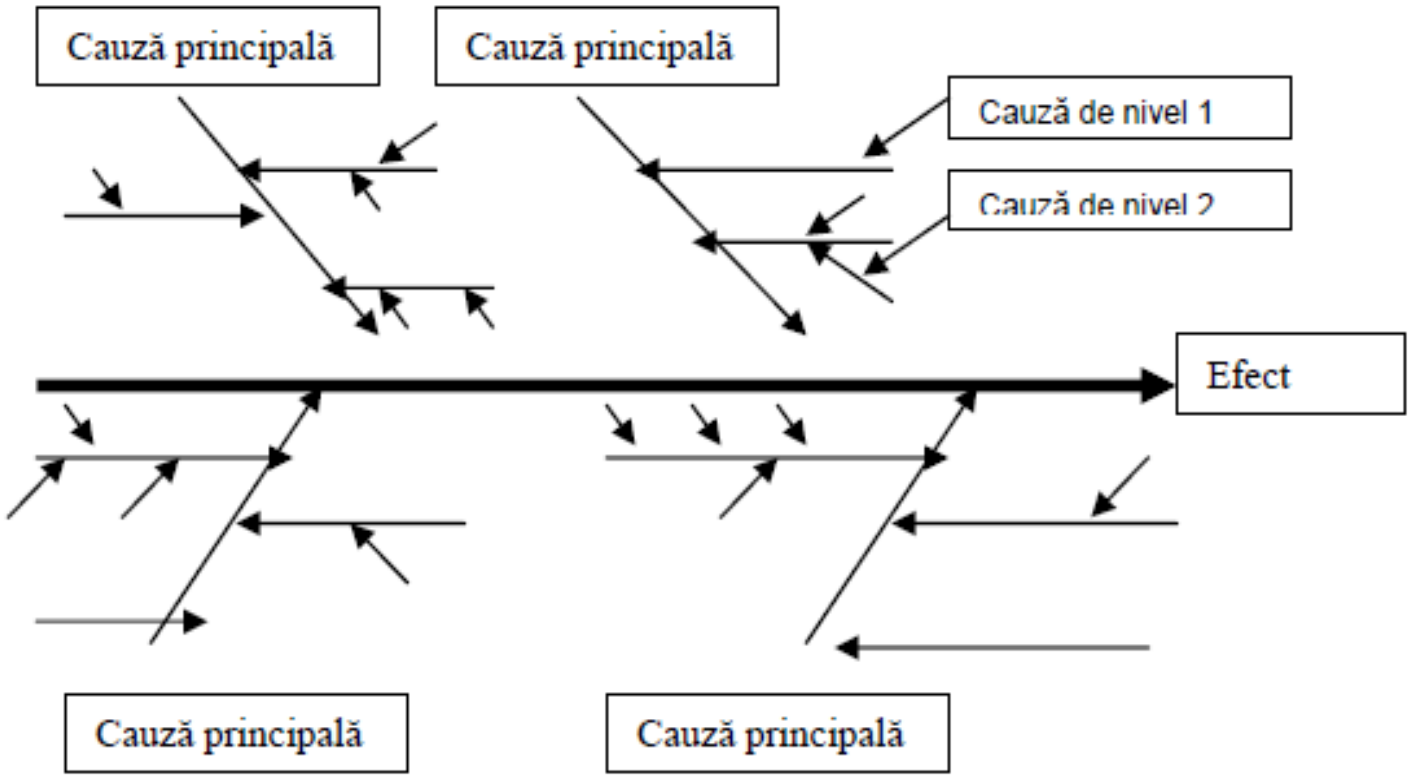


Fig. 2.11 Dezvoltarea diagramei ”cauză-efect”

e) Se selectează şi se identifică un număr mic (2 la 3) de cauze de nivel mai înalt care sunt susceptibile să aibă influenţe semnificative asupra efectului şi care necesită acţiuni ulterioare, cum ar fi colectarea datelor, eforturi pentru control etc.

⇨ Diagrama cauză-efect se poate întocmi în scopuri diferite, ca de exemplu:

- ***care sunt cauzele nerealizării unei caracteristici de calitate impuse;***

- ***care sunt cauzele creşterii numărului de exemplare cu defecte într-un proces de producţie;***

- ***care sunt cauzele scăderi vânzărilor, a productivităţii scăzute, a creşterii reclamaţiilor de la clienţi etc.***

Este posibil să se întocmească diferite tipuri de diagrame ”cauză - efect”:

a) Pentru analiza dispersiei caracteristicilor de calitate

Efectul nedorit este prezentat pe partea dreaptă, la sfârşitul săgeţii liniei orizontale.

Echipa de brainstorming generează idei asupra cauzelor principale care pot genera efectul.

Aceste cauze principale sunt desenate ca ramificaţii îndreptate spre linia trunchi orizontală.

La aceste diagrame cauzele pot fi grupate pe componentele principale ale sistemului tehnologic, în cazul general pe “cei 6M”.

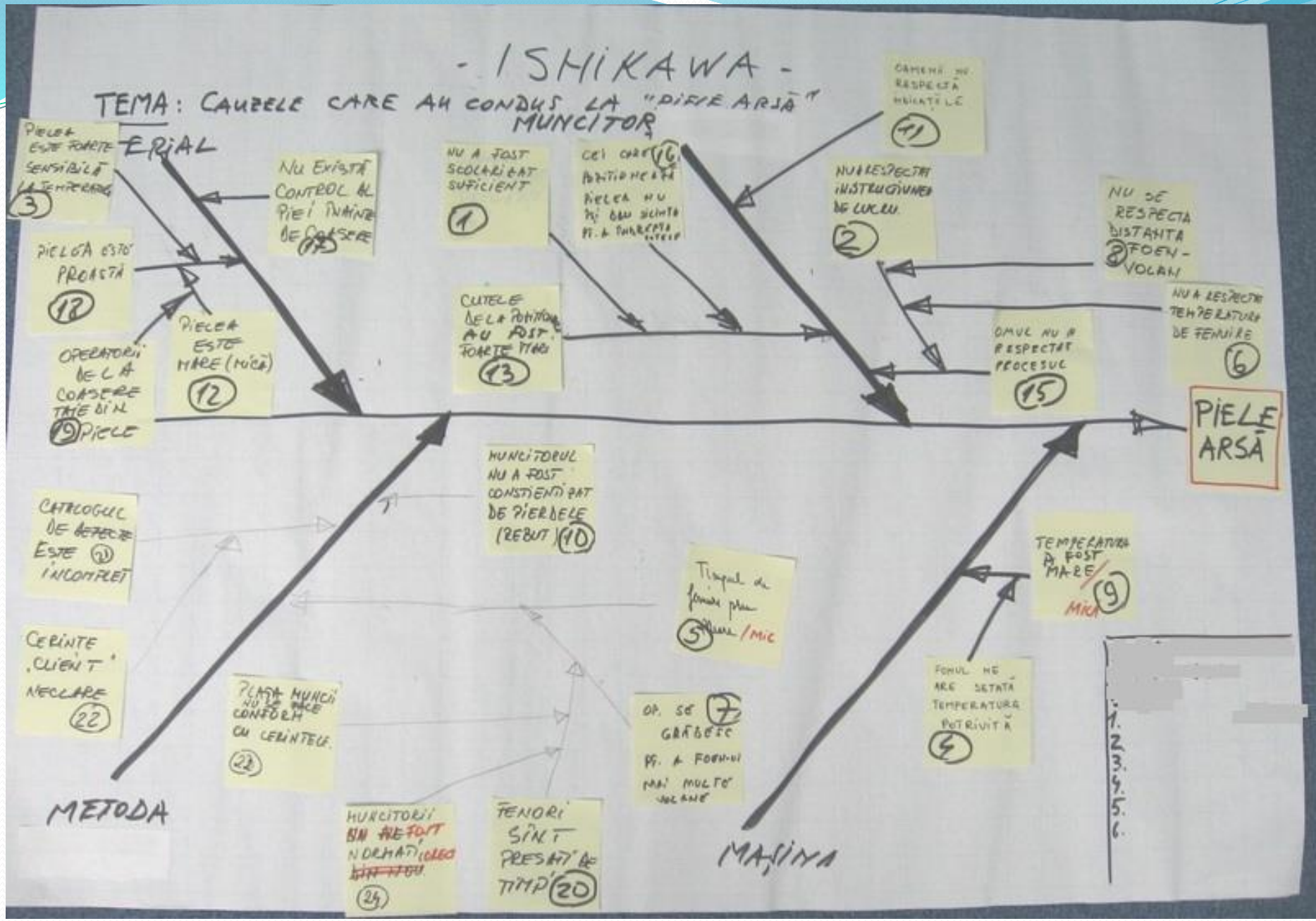
Pentru fiecare cauză principală , cauzele secundare de diferite niveluri se identifică prin brainstorming.

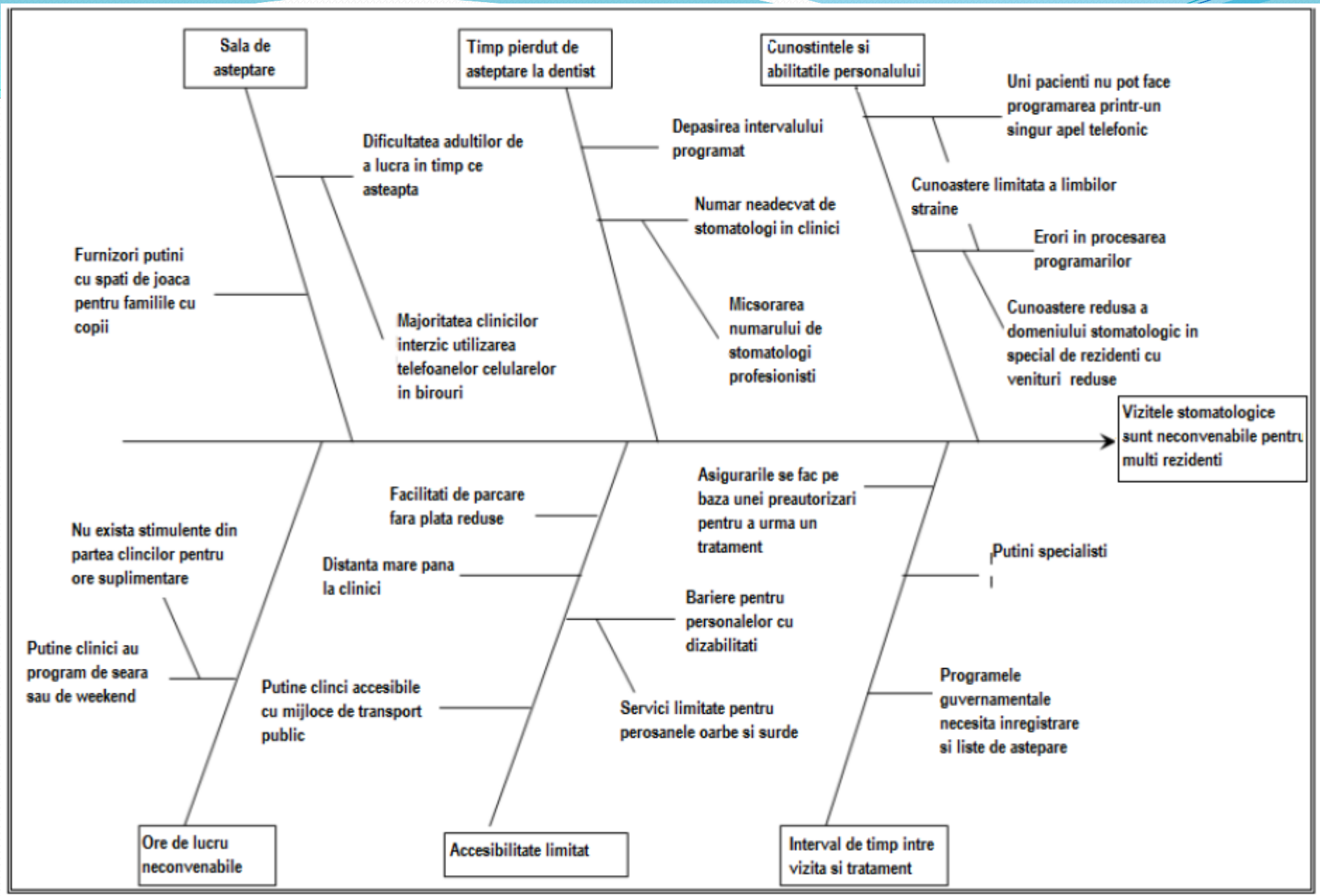
b) Pentru clasificarea procesului de producţie

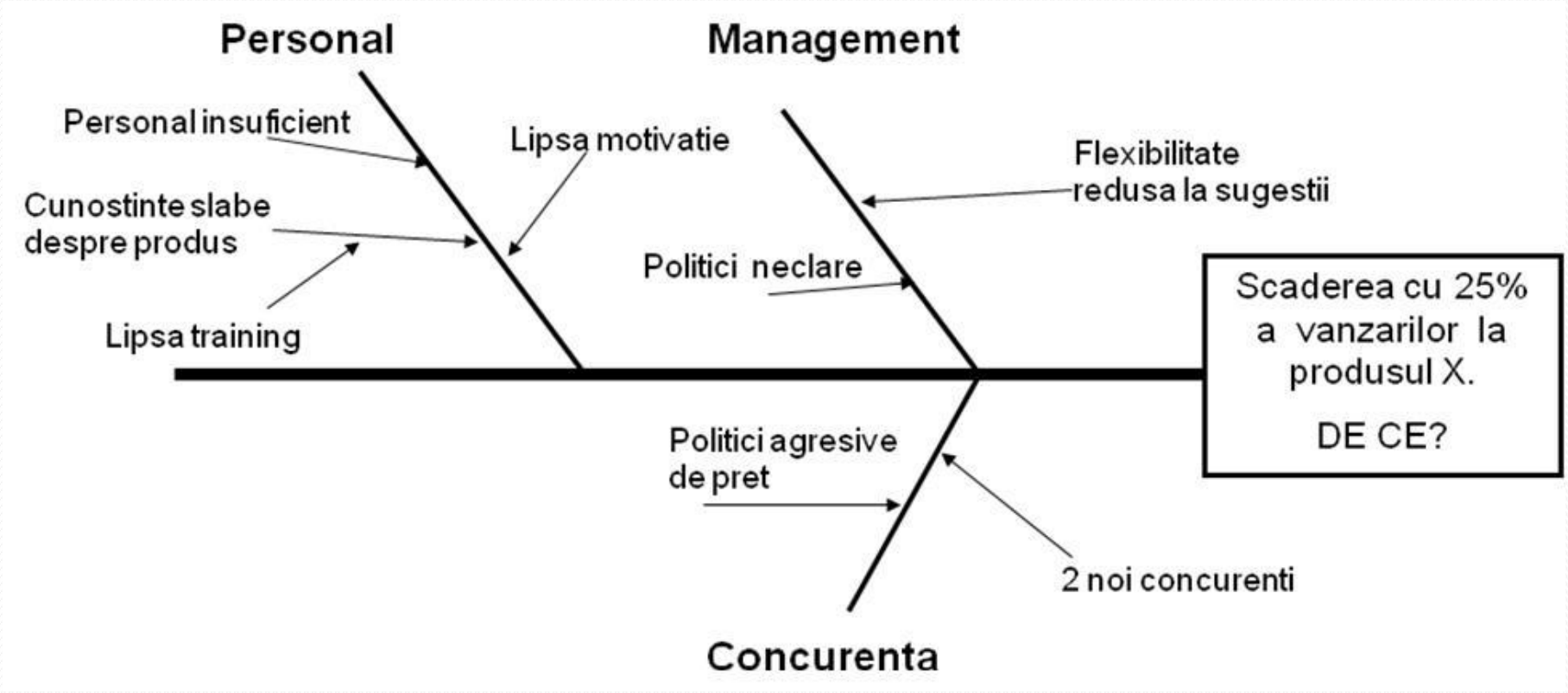
- La acest tip de diagramă linia principală conţine etapele (operaţiile) principale ale procesului.
- Pentru fiecare etapă a procesului se ataşează cauzele care pot influenţa calitatea.
- Întocmirea în prealabil a unei ***diagrame de flux***, în care se reprezintă grafic etapele componente ale unui proces, este deseori utilă pentru construirea diagramei ”cauză-efect” de clasificare a procesului.

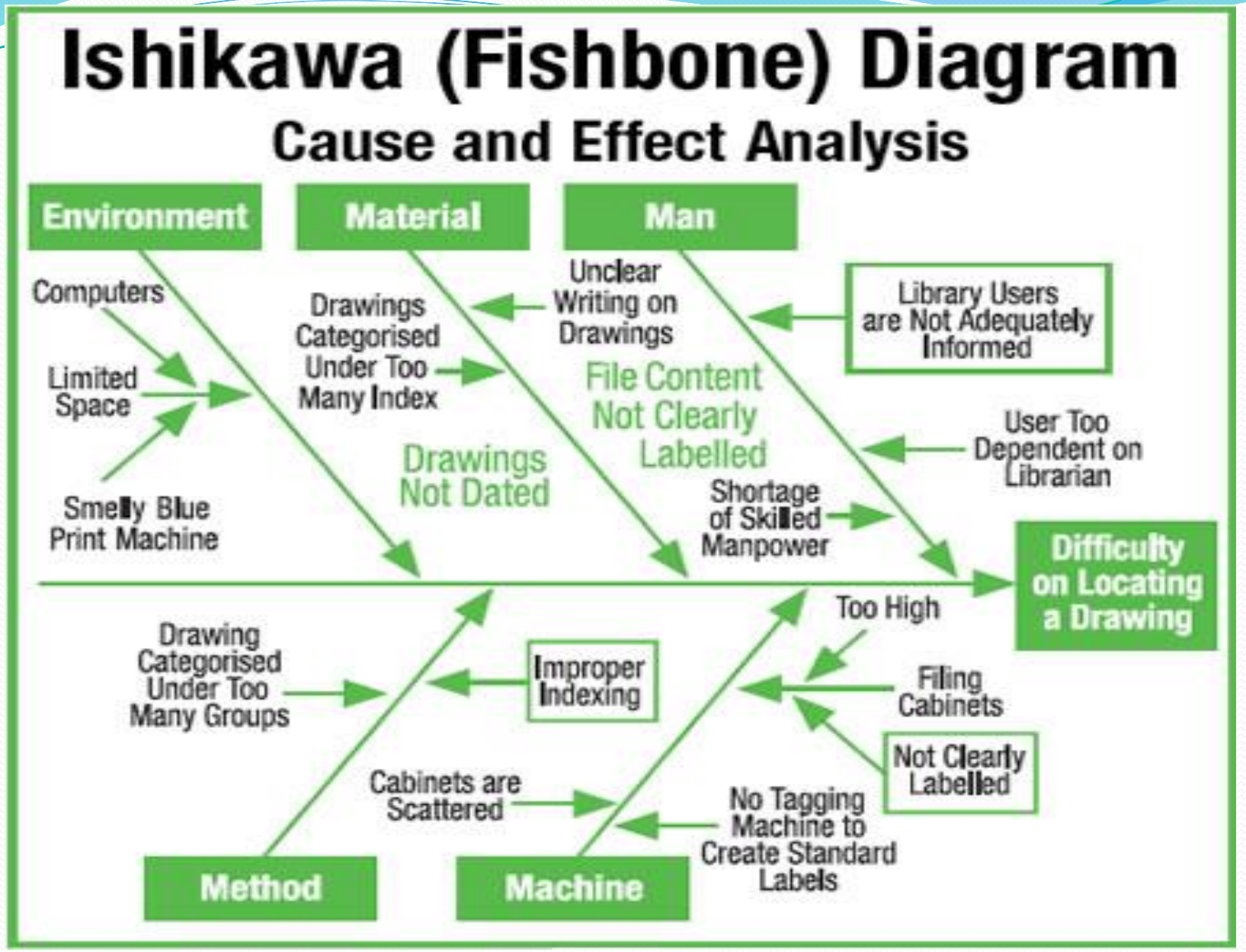
c) Pentru enumerarea cauzelor

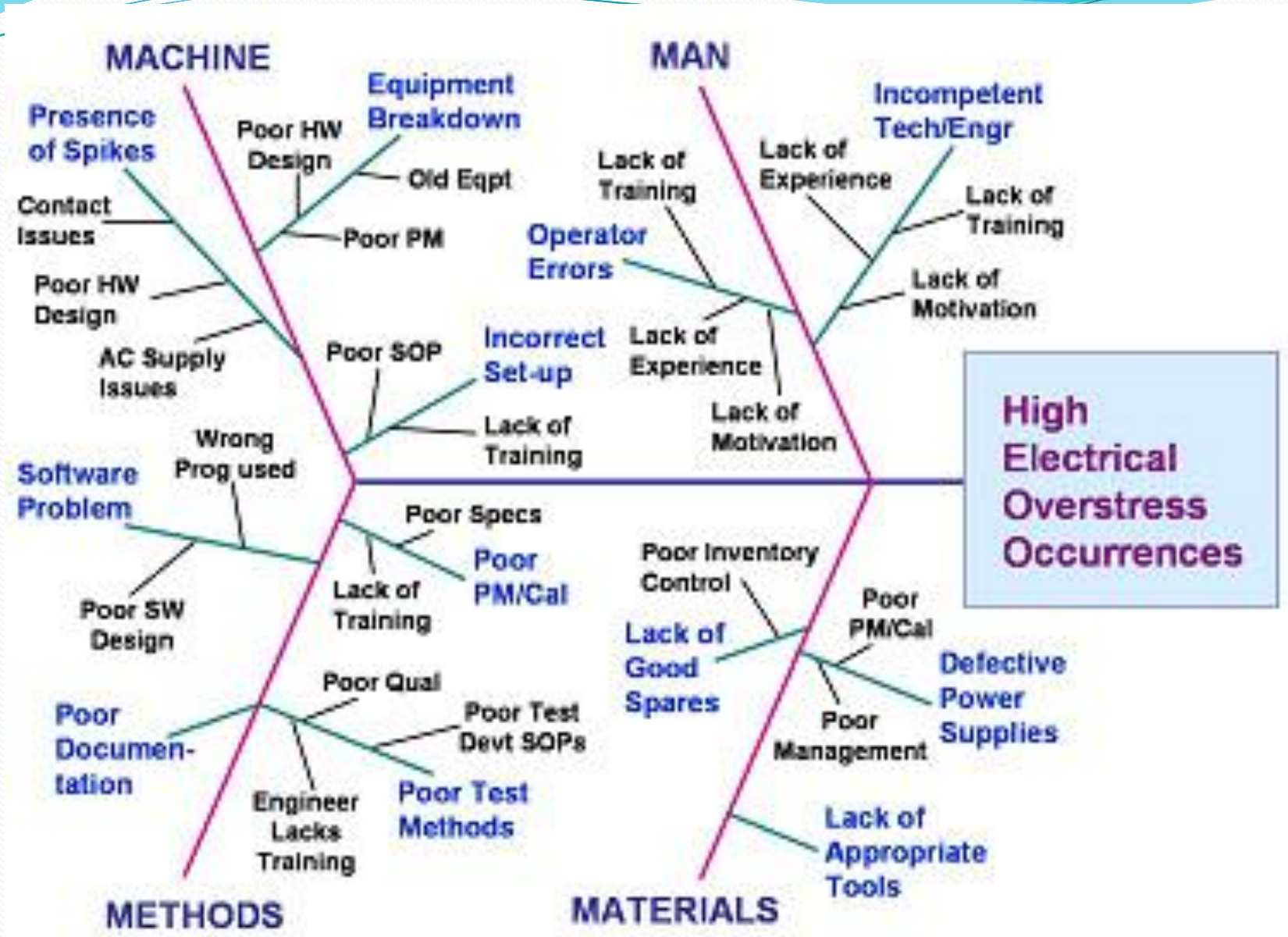
- Acest tip de diagramă se reduce la o listă simplă a “tuturor” cauzelor posibile care afectează un anume efect – o caracteristică de calitate a produsului.
- După ce grupul de brainstorming a expus toate sugestiile, cauzele sunt notate şi desenate ca ramuri secundare îndreptate către linia principală orizontală (linia trunchi).

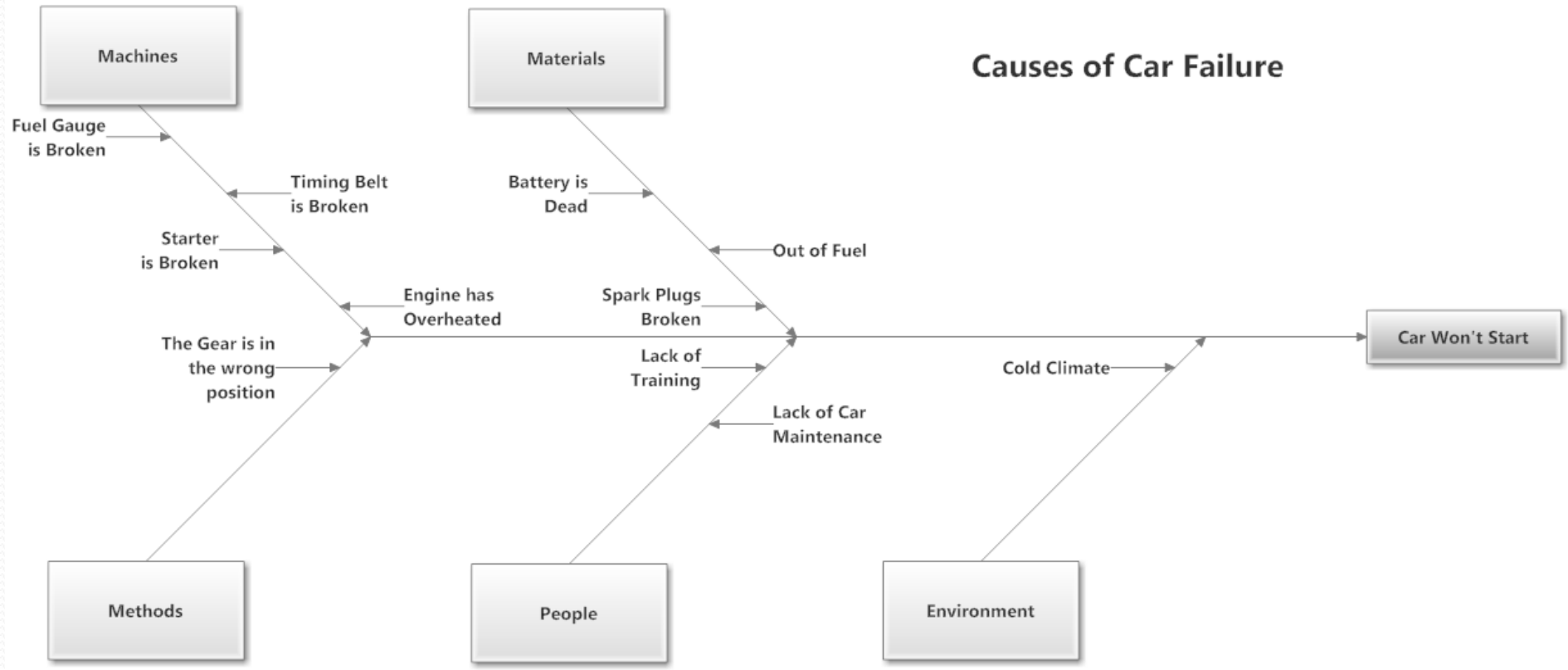

- ISHIKAWA -
TEMA: CAUZELE CARE AU CONDUS LA "PIELE ARSĂ"
MUNCITOR
ERIAL
PIELEA ESTE FOARTE SENSIBILĂ LA TEMPERATURĂ
3
NU EXISTĂ CONTROL AL PIEI ÎNAINTE DE COASERE
17
NU A FOST SCOLARIZAT SUFICIENT
1
CEI CARE POZIȚIONEAZĂ PIELEA NU PȘI DAU SILINȚA PT. A ÎNDREPTA ...
16
OAMENII NU RESPECTĂ INDICAȚIILE
11
NU A RESPECTAT INSTRUCȚIUNEA DE LUCRU
2
NU SE RESPECTA DISTANȚA FOEN-VOLAN
8
PIELEA ESTE PROASTĂ
18
PIELEA ESTE MARE (MICĂ)
12
OPERATORII DE LA COASERE TAIE DIN PIELE
19
CUTELE DE LA POZIȚIONARE AU FOST FOARTE MARI
13
NU A RESPECTAT TEMPERATURA DE FENUIRE
6
OMUL NU A RESPECTAT PROCESUL
15
PIELE ARSĂ
MUNCITORUL NU A FOST CONSTIENTIZAT DE PIERDERE (REBUT)
10
CATALOGUL DE DEFECTE ESTE INCOMPLET
21
TEMPERATURA A FOST MARE / MICĂ
9
5
CERINTE „CLIENT" NECLARE
22
PLAȚA MUNCII NU SE FACE CONFORM CU CERINTELE
23
OP. SE GRĂBESC PT. A FOEN-UI MAI MULTE VOLANE
7
FONUL NE ARE SETATĂ TEMPERATURA POTRIVITĂ
4
METODA
MUNCITORII NORMAȚI
24
FENORI SÎNT PRESAȚI DE TIMP
20
MAȘINA
1.
2.
3.
4.
5.
6.

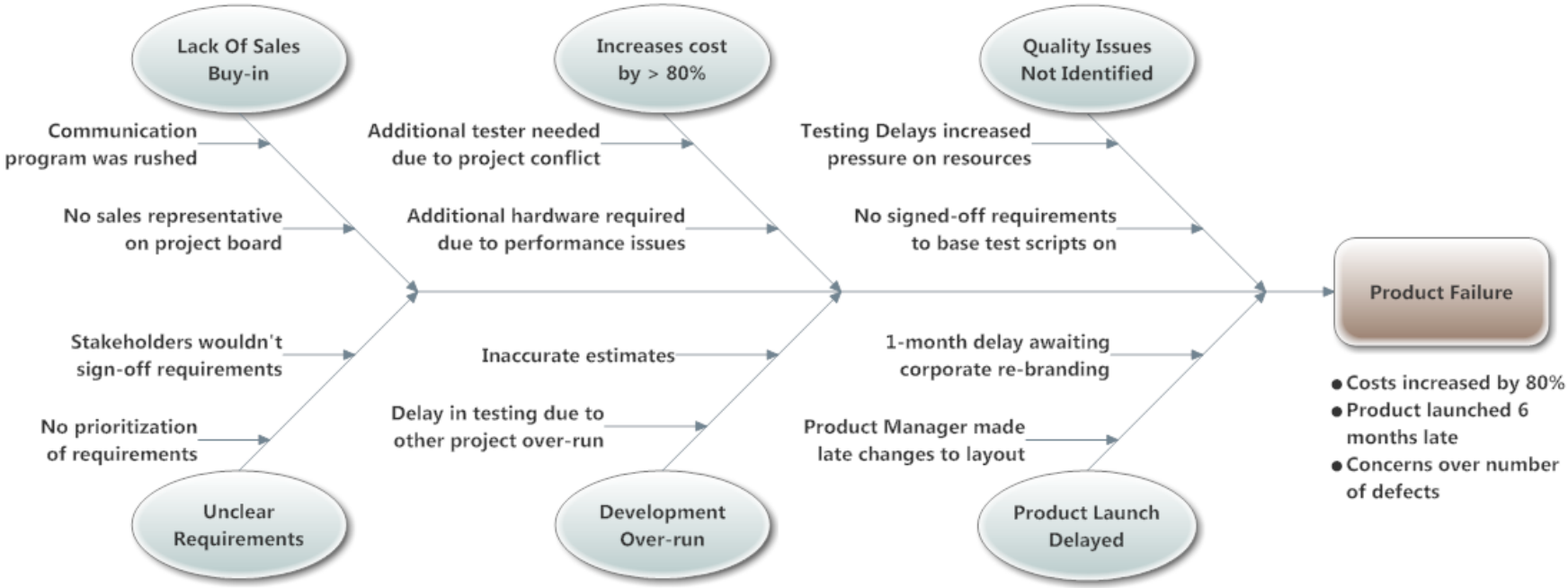

Sala de asteptare
Timp pierdut de asteptare la dentist
Cunostintele si abilitatile personalului
Uni pacienti nu pot face programarea printr-un singur apel telefonic
Dificultatea adultilor de a lucra in timp ce asteapta
Depasirea intervalului programat
Cunoastere limitata a limbilor straine
Numar neadecvat de stomatologi in clinici
Erori in procesarea programarilor
Furnizori putini cu spati de joaca pentru familile cu copii
Majoritatea clinicilor interzic utilizarea telefoanelor celularelor in birouri
Micsorarea numarului de stomatologi profesionisti
Cunoastere redusa a domeniului stomatologic in special de rezidenti cu venituri reduse
Vizitele stomatologice sunt neconvenabile pentru multi rezidenti
Facilitati de parcare fara plata reduse
Asigurarile se fac pe baza unei preautorizari pentru a urma un tratament
Nu exista stimulente din partea clincilor pentru ore suplimentare
Distanta mare pana la clinici
Putini specialisti
Bariere pentru personalelor cu dizabilitati
Putine clinici au program de seara sau de weekend
Putine clinci accesibile cu mijloce de transport public
Servici limitate pentru perosanele oarbe si surde
Programele guvernamentale necesita inregistrare si liste de astepare
Ore de lucru neconvenabile
Accesibilitate limitat
Interval de timp intre vizita si tratament


Personal
Management
Personal insuficient
Lipsa motivatie
Flexibilitate redusa la sugestii
Cunostinte slabe despre produs
Politici neclare
Lipsa training
Scaderea cu 25% a vanzarilor la produsul X.
DE CE?
Politici agresive de pret
2 noi concurenti
Concurenta


Ishikawa (Fishbone) Diagram
Cause and Effect Analysis
Environment
Material
Man
Computers
Limited Space
Smelly Blue Print Machine
Drawings Categorised Under Too Many Index
Drawings Not Dated
Unclear Writing on Drawings
File Content Not Clearly Labelled
Shortage of Skilled Manpower
Library Users are Not Adequately Informed
User Too Dependent on Librarian
Difficulty on Locating a Drawing
Drawing Categorised Under Too Many Groups
Improper Indexing
Too High
Filing Cabinets
Not Clearly Labelled
Cabinets are Scattered
No Tagging Machine to Create Standard Labels
Method
Machine


MACHINE
Presence of Spikes
Contact Issues
Poor HW Design
AC Supply Issues
Equipment Breakdown
Poor HW Design
Old Eqpt
Poor PM
Poor SOP
Incorrect Set-up
Lack of Training
Software Problem
Wrong Prog used
Poor SW Design
Poor Specs
Poor PM/Cal
Lack of Training
Poor Documen-tation
Poor Qual
Poor Test Devt SOPs
Poor Test Methods
Engineer Lacks Training
METHODS
MAN
Operator Errors
Lack of Training
Lack of Experience
Lack of Motivation
Incompetent Tech/Engr
Lack of Experience
Lack of Training
Lack of Motivation
Lack of Experience
Lack of Motivation
MATERIALS
Lack of Good Spares
Poor Inventory Control
Poor PM/Cal
Defective Power Supplies
Poor Management
Lack of Appropriate Tools
High Electrical Overstress Occurrences


Causes of Car Failure
Machines
Materials
Methods
People
Environment
Fuel Gauge is Broken
Timing Belt is Broken
Starter is Broken
Engine has Overheated
The Gear is in the wrong position
Battery is Dead
Out of Fuel
Spark Plugs Broken
Lack of Training
Lack of Car Maintenance
Cold Climate
Car Won't Start



Action Plan:

- Carry out review of testing approach and procedures (QA Manager)
- Source suitable requirements and estimating training for development team (HR)
- Arrange meeting with Sales to revitalize product support (Project Manager)
- Revisit project communications to ensure clear project massage has been given (Project Manager)

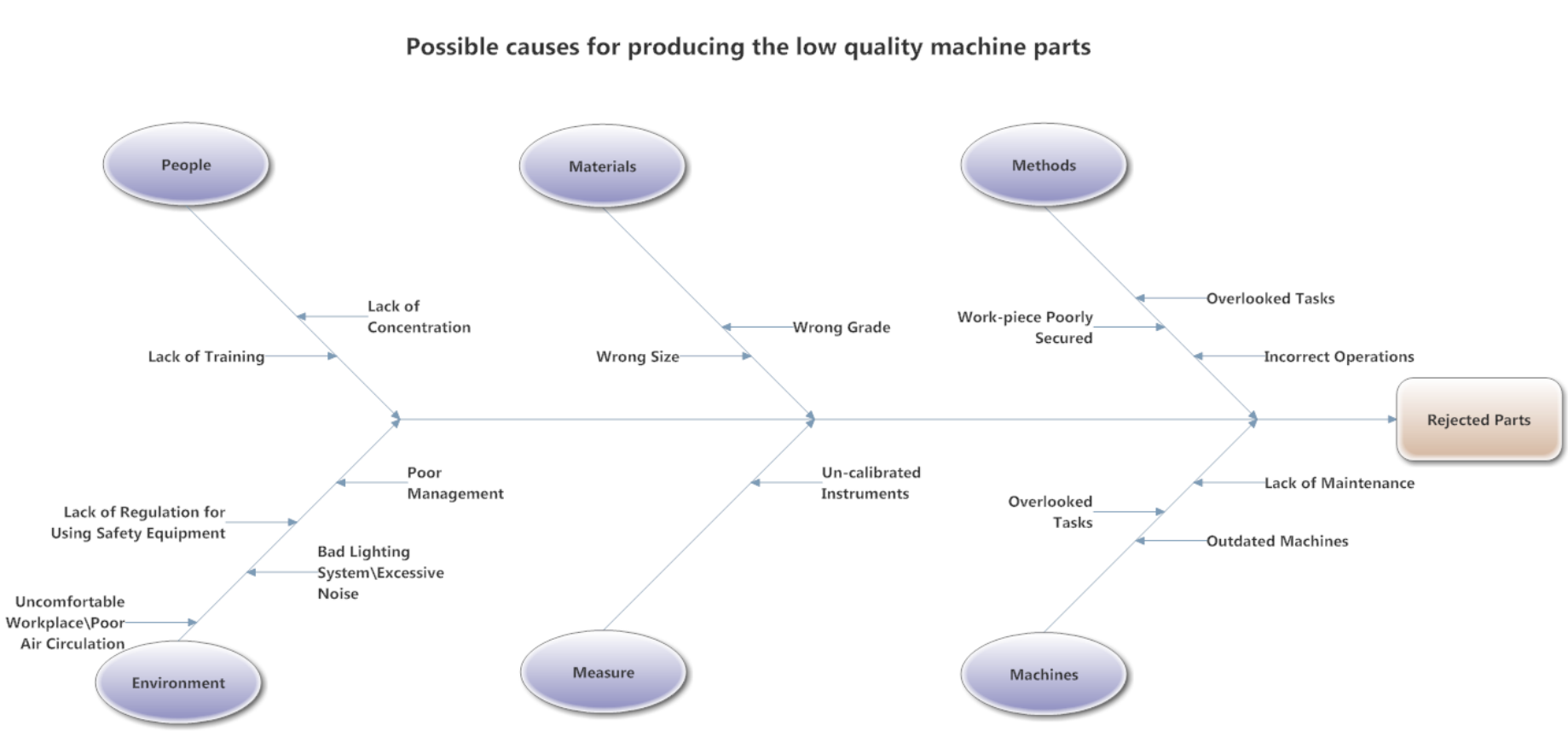

Possible causes for producing the low quality machine parts
People
Materials
Methods
Lack of Concentration
Lack of Training
Wrong Grade
Wrong Size
Work-piece Poorly Secured
Overlooked Tasks
Incorrect Operations
Rejected Parts
Poor Management
Lack of Regulation for Using Safety Equipment
Bad Lighting System\Excessive Noise
Uncomfortable Workplace\Poor Air Circulation
Un-calibrated Instruments
Overlooked Tasks
Lack of Maintenance
Outdated Machines
Environment
Measure
Machines

Diagrama ” 6M”

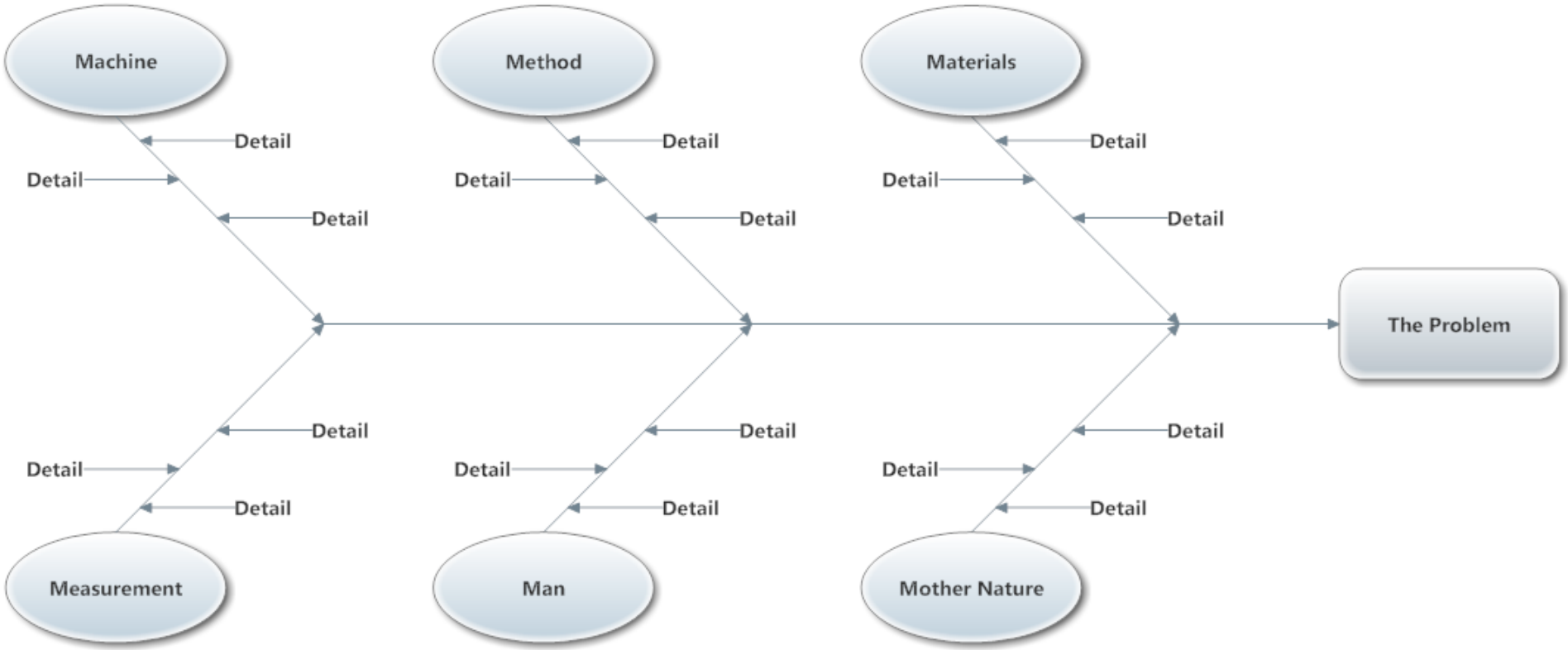

Machine
Method
Materials
Detail
Detail
Detail
Detail
Detail
Detail
Detail
Detail
Detail
Detail
Detail
Detail
Detail
Detail
Detail
Detail
Detail
Detail
The Problem
Measurement
Man
Mother Nature

Diagrama ” 8P” – utilizată în Marketing și Administrație

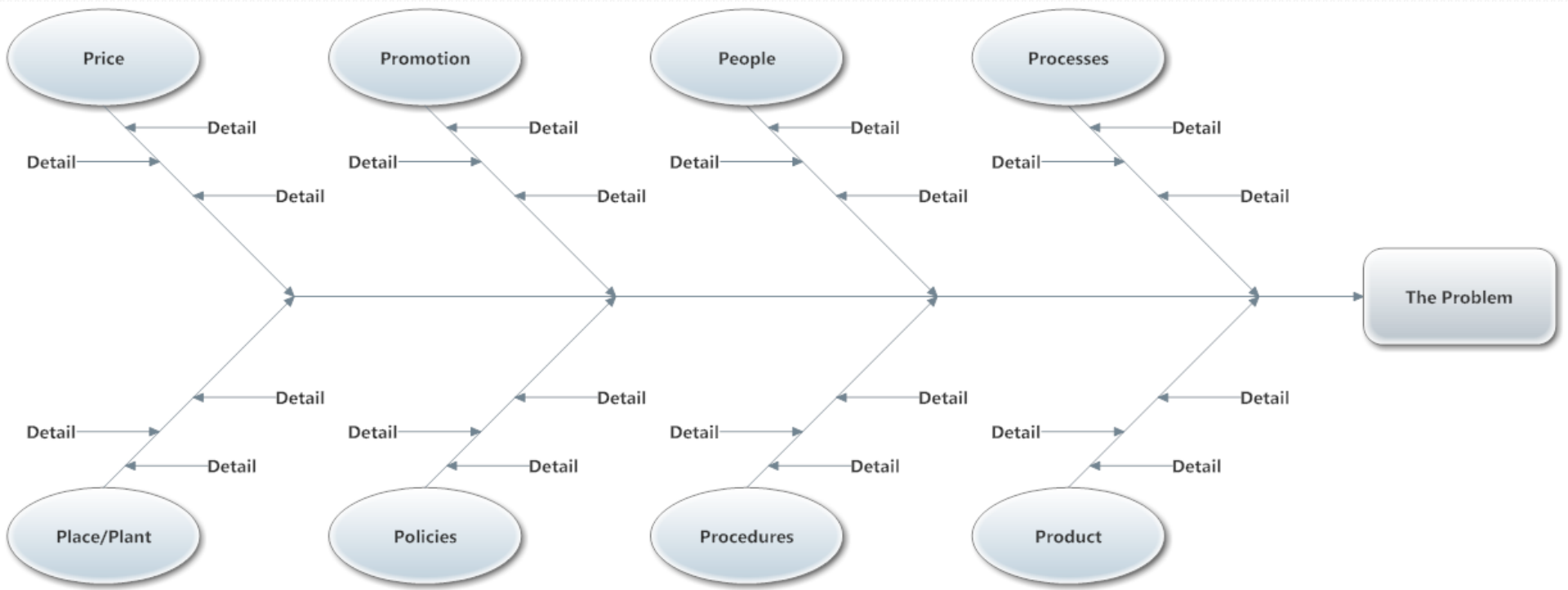
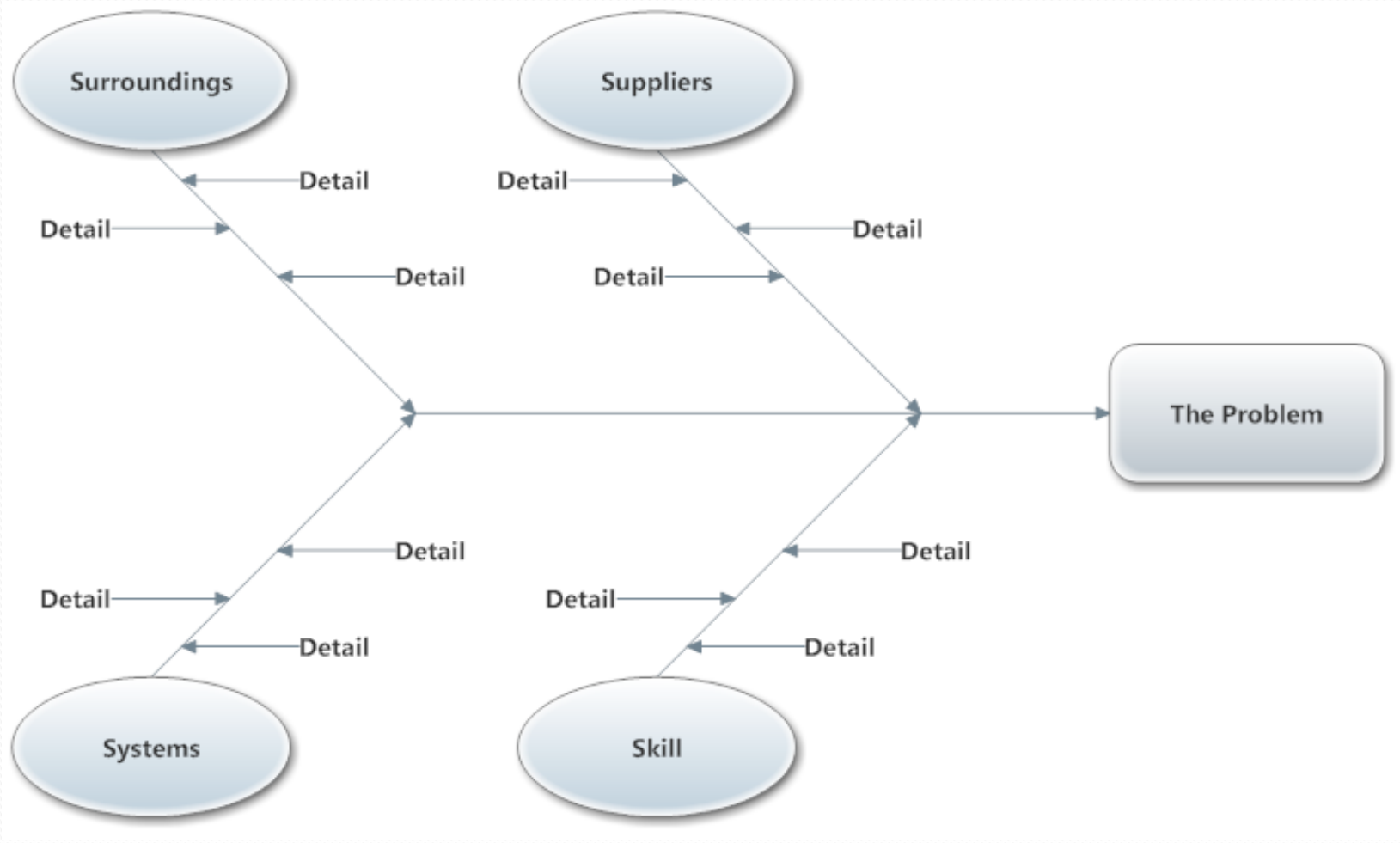


Diagrama ” 4S” – utilizată în Servicii



2.2.6 Diagrama Pareto

Diagrama Pareto reprezintă o metodă grafică simplă de clasificare a entităţilor (faptelor), după frecvenţa lor relativă (în procente), de la cele cu frecvenţa cea mai mare de apariţie până la cele mai puţin frecvente

Procedura pentru trasarea diagramei Pareto este următoarea:

a) **Se decide care sunt entităţile ce urmează a fi analizate**. Aceste entităţi pot fi: tipuri de defecte, cauze, categorii de pierderi economice, număr de remedieri etc.

b) **Se selectează intervalul de timp pentru culegerea datelor care urmează a fi analizate**

.

c) Se plasează pe axa absciselor, de la stânga la dreapta în ordinea descrescătoare a frecvenţelor de apariţie, denumirile diferitelor categorii de defecte, cauze etc.

- În acest scop, axa absciselor trebuie divizată într-un număr de intervale egal cu numărul de categorii sau clase de defecte clasificate.

- Categoriile de defecte, cauze etc. care conţin cele mai puţine entităţi pot fi combinate într-o categorie denumită “altele” care se plasează în partea extremă dreapta a diagramei.

d) Se construiesc două axe ale ordonatelor, câte una la fiecare capăt al axei absciselor.

- Se divizează axa din stânga în unităţile de măsură adoptate, iar înălţimea acestei axe trebuie să fie egală cu suma valorilor tuturor categoriilor de entităţi (defecte).

- Axa ordonatelor din dreapta trebuie să aibă aceeaşi înălţime şi să fie divizată de la 0% la 100%.

e) Deasupra fiecărei entităţi se trasează un dreptunghi a cărui înălţime este corespunzătoare frecvenţei pentru acea entitate. Dreptunghiurile se trasează alăturat unul de altul.

f) Se construieşte linia frecvenţelor cumulate (curba Pareto) prin însumarea valorilor fiecărei entităţi de la stânga la dreapta (fig. 2.11).

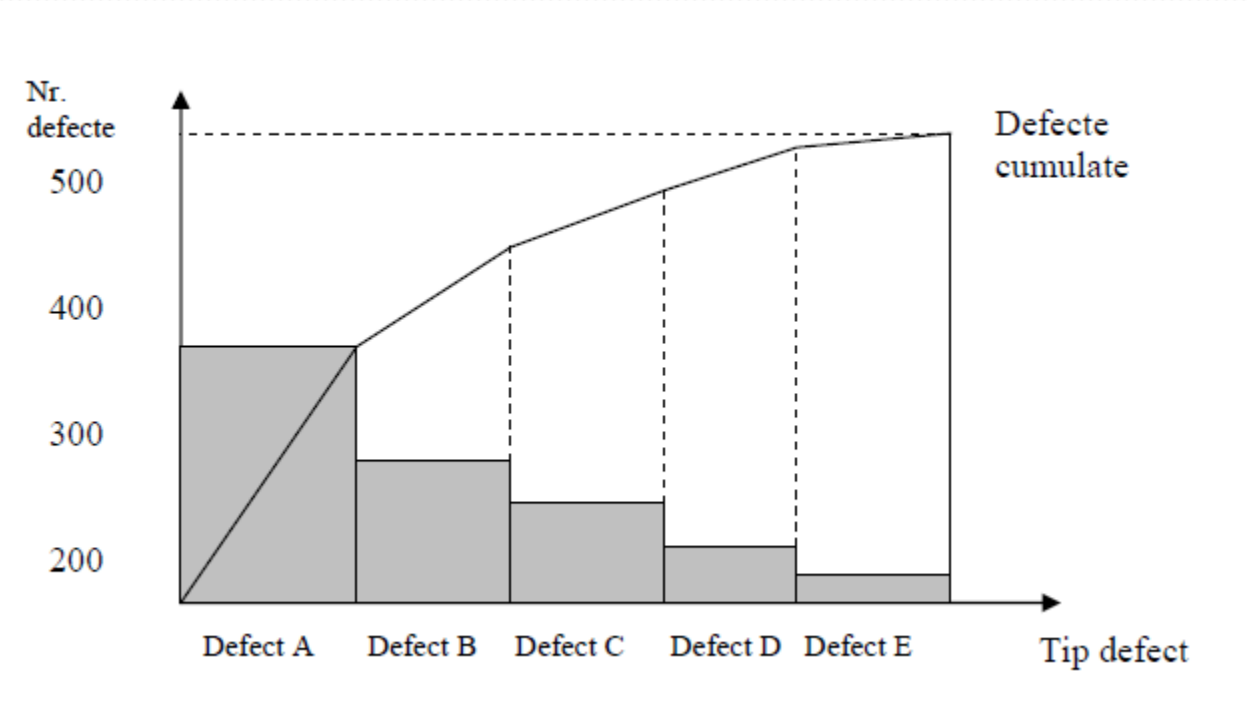


Fig. 2.11 Exemplu de diagramă Pareto

g) Se utilizează diagrama Pareto pentru identificarea celor mai importante entităţi (cauze, defecte), în vederea eliminării deficienţelor care să conducă la îmbunătăţirea calităţii.

În tabelul 2.4 sunt prezentate tipurile de defecte constatate la prelucrarea mecanică prin aşchiere a unui lot de 1000 piese, iar în fig. 2.12 este reprezentată diagrama Pareto pentru datele înscrise în tabel.

Nr. crt.	Defectul constatat	Număr defecte	Număr cumulat defecte
1	Abateri dimensionale (A)	32	32
2	Abateri de formă (B)	14	32+14=46
3	Rugozitate necorespunzătoare (C)	12	46+12=58
4	Arsuri pe suprafață (D)	3	58+3=61
5	Exfolieri de material (E)	2	61+2=63
6	Alte defecte (F)	2	63+2=65

Tab. 2.4 Frecvenţele absolute ale caracteristicii

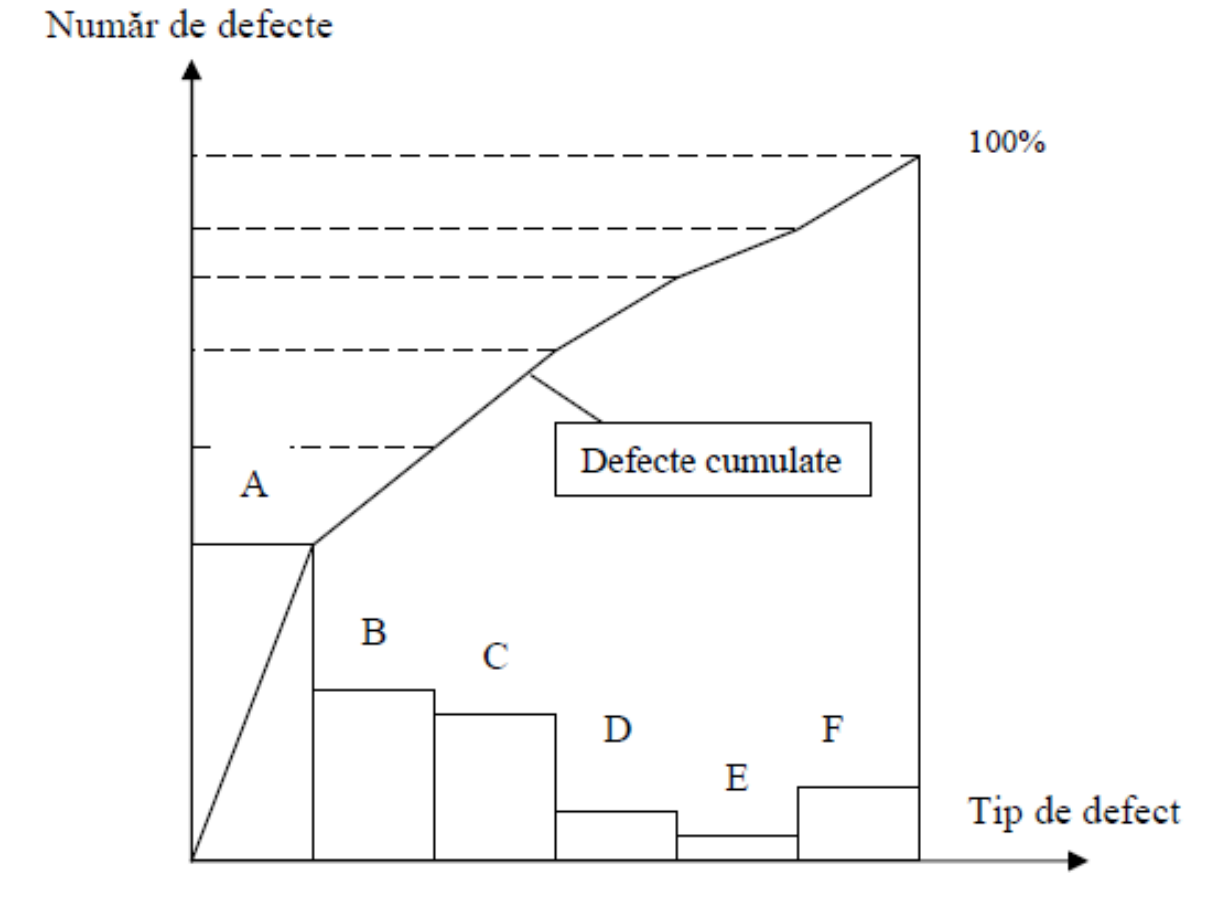
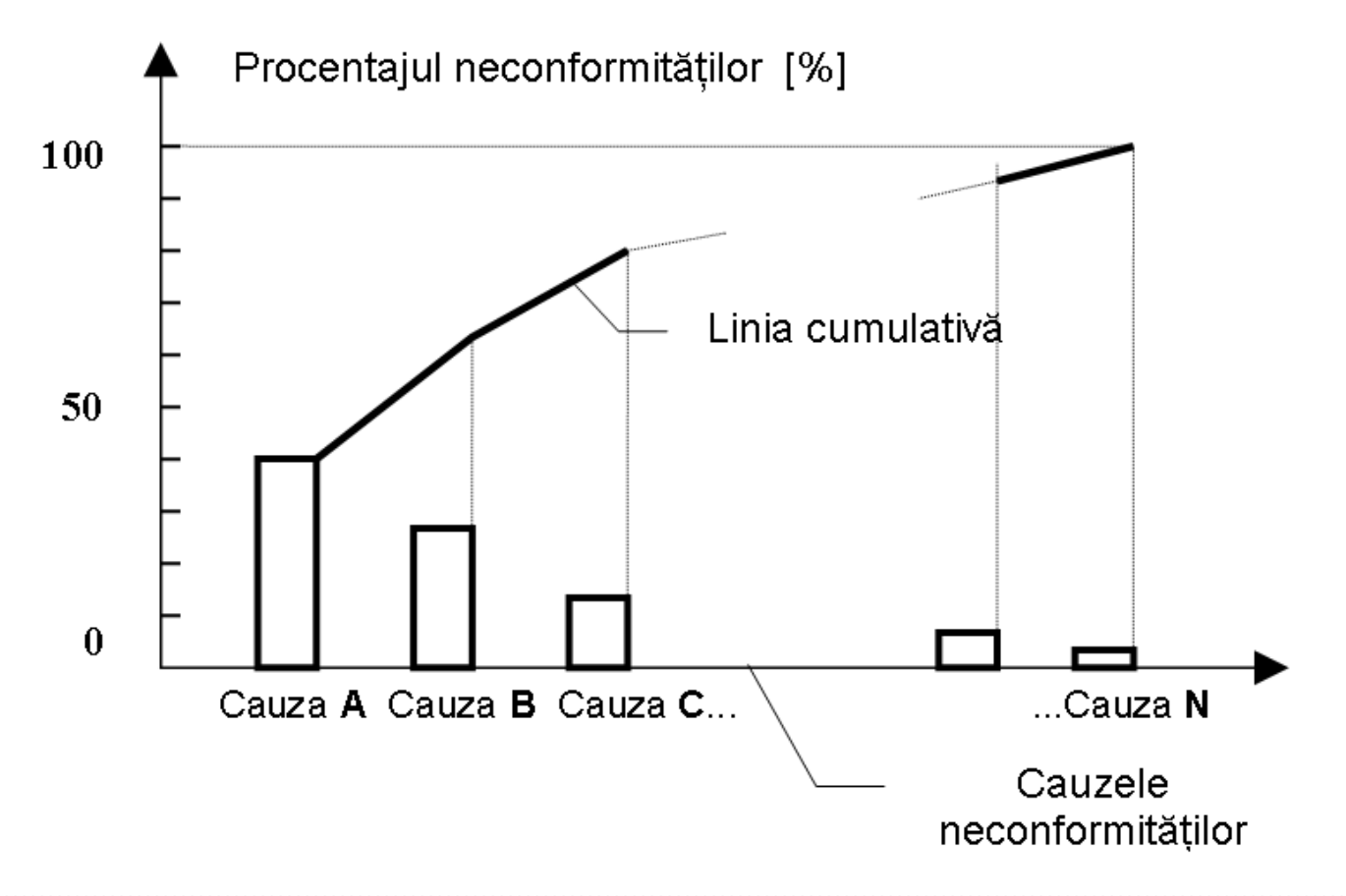


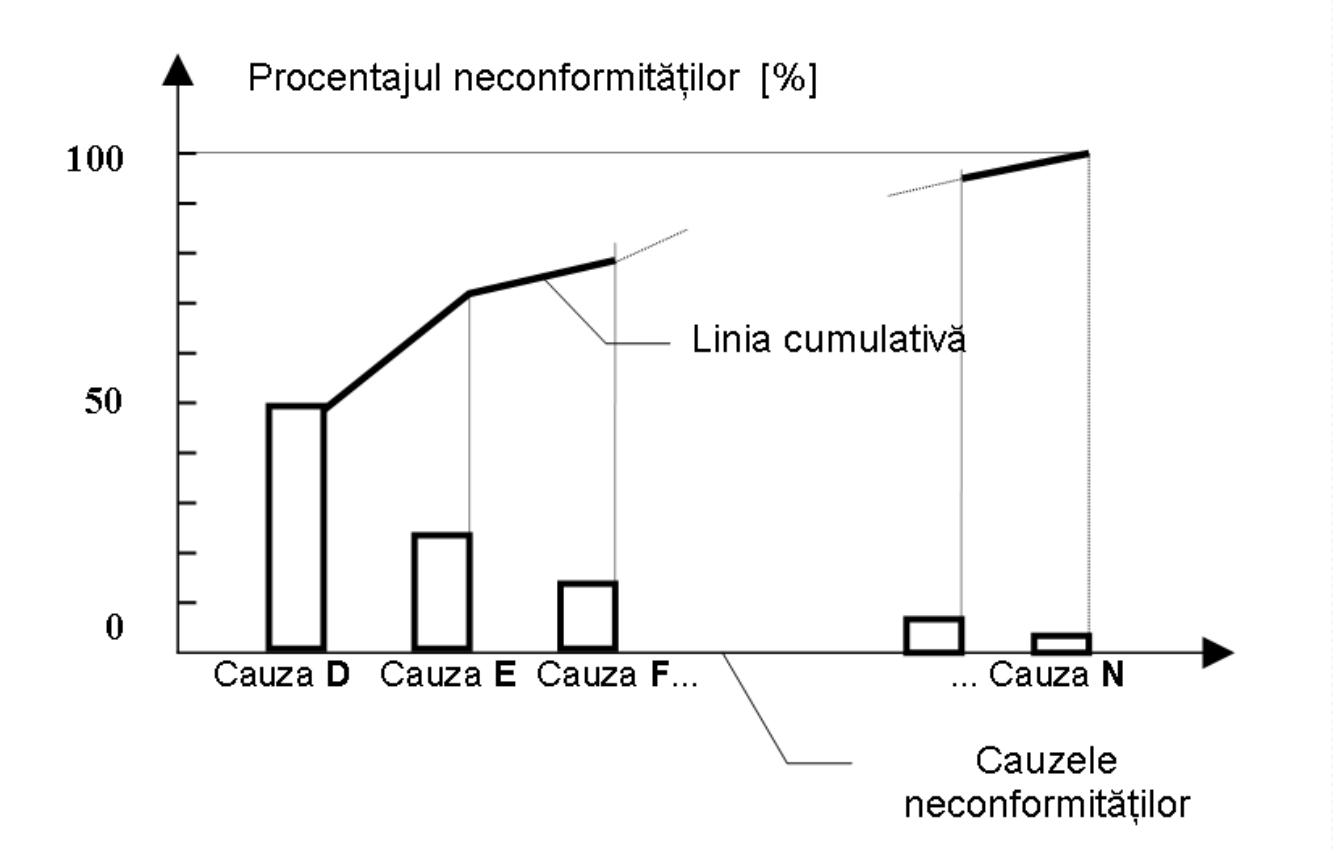
Fig. 2.12 Diagrama Pareto pentru defectele unui lot de 1000 piese

Pentru îmbunătăţirea calităţii produselor se acţionează asupra defectuluui cu ponderea cea mai mare (în cazul prezentat, abaterile dimensionale), elaborându-se măsuri clare de remediere, după identificarea tuturor locurilor de muncă la care au apărut astfel de defecte.

✓ **Observație**

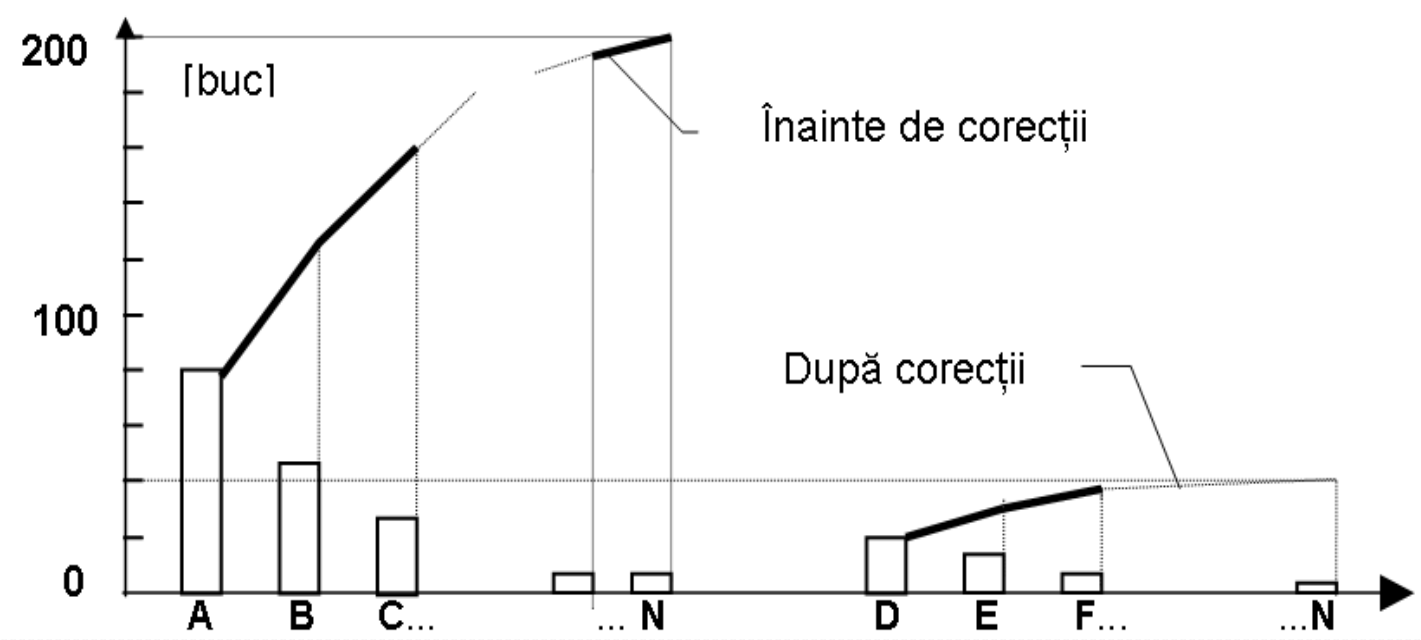

Procentajul neconformităților [%]
100
50
0
Linia cumulativă
Cauza A
Cauza B
Cauza C...
...Cauza N
Cauzele neconformităților

După eliminarea cauzelor A, B şi C:



În urma comparării celor două diagrame Pareto, analistul care le-a întocmit poate să se descurajeze, deoarece observă că deşi s-au eliminat trei cauze majore generatoare de neconformităţi, acestora le-au luat locul alte trei.

Această interpretare nu este însă corectă, deoarece pe diagrama Pareto nu trebuie luată în considerare ordonata în procente ci cea cu valori absolute.



Prin utilizarea diagramei Pareto s-a constatat că:

- ✓ **20% din cauze conduc la 80% din defecte;**
- ✓ **80% din cifra de afaceri este realizată cu 20% din clienţi;**
- ✓ **80% din absenţele de la serviciu sunt produse de 20% din personal;**
- ✓ **80% din costurile noncalităţii se datoresc la 20% din tipurile de defecte;**
- ✓ **80% din producţia de porumb a SUA se produce pe 20% din suprafaţa agricolă.**

Acţiunea de diminuare/eliminare a cauzelor generatoare de neconformităţi ar putea continua, însă, atunci când numărul acestora este mare, s-ar putea să devină neeconomică.

O analiză a costurilor trebuie efectuată în permanenţă pentru a vedea dacă nu cumva corecţiile costă mai mult decât însăşi problema.

Diagrama Grier

O adaptare a conceptului propus de Pareto a fost introdusă de Ted Grier, de la firma Casio, din necesitatea de a compara respingerile pentru diferite modele ale aceluiaşi tip de produs.

În acest sens, a fost realizată o ***codificare a respingerilor produselor***, iar codurile respective au fost reprezentate grafic într-o diagramă de forma celei din figura 2.13.

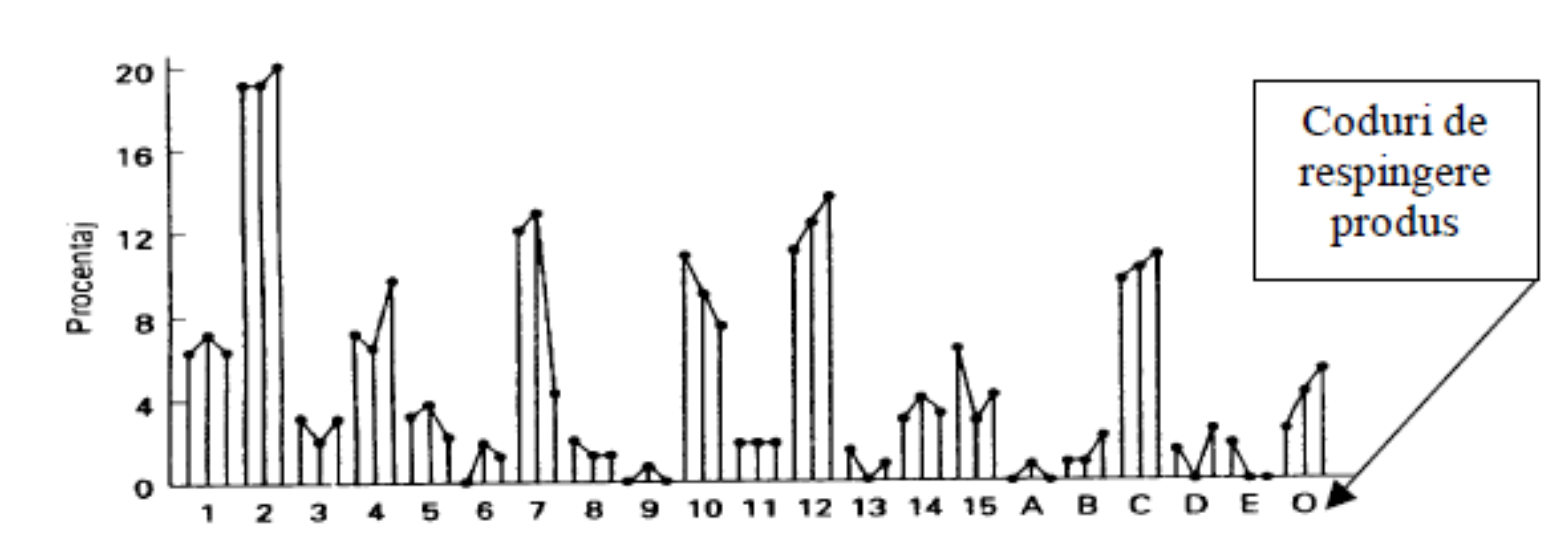


Fig. 2.13 Exemplu de diagramă Grier, cu reprezentarea codurilor de respingere a produsului pentru trei perioade

- Codurile de la 1 la 15 corespund tuturor diferitelor modele ale produsului, iar codurile de la A la E corespund diverselor motive de respingere pentru un singur model, în particular.

- Codurile de respingere se reprezintă pe axa X, iar procentajele de respingere pe axa Y.

- Se realizează un astfel de grafic pentru fiecare model al tipului de produs.

- În fig. 2.13, reprezentarea codurilor de respingere este realizată pentru trei perioade de timp.

- Se poate observa, de exemplu, o scădere a returnărilor produselor, pentru cazul conceptului simbolizat cu codul 10, ceea ce arată o îmbunătăţire a calităţii.

- **Diagrama Grier este de fapt o diagramă Pareto modificată**, utilă pentru detectarea problemelor de calitate în cazul când există mai multe modele asemănătoare ale aceluiaşi produs.

2.2.6 Fișe de control

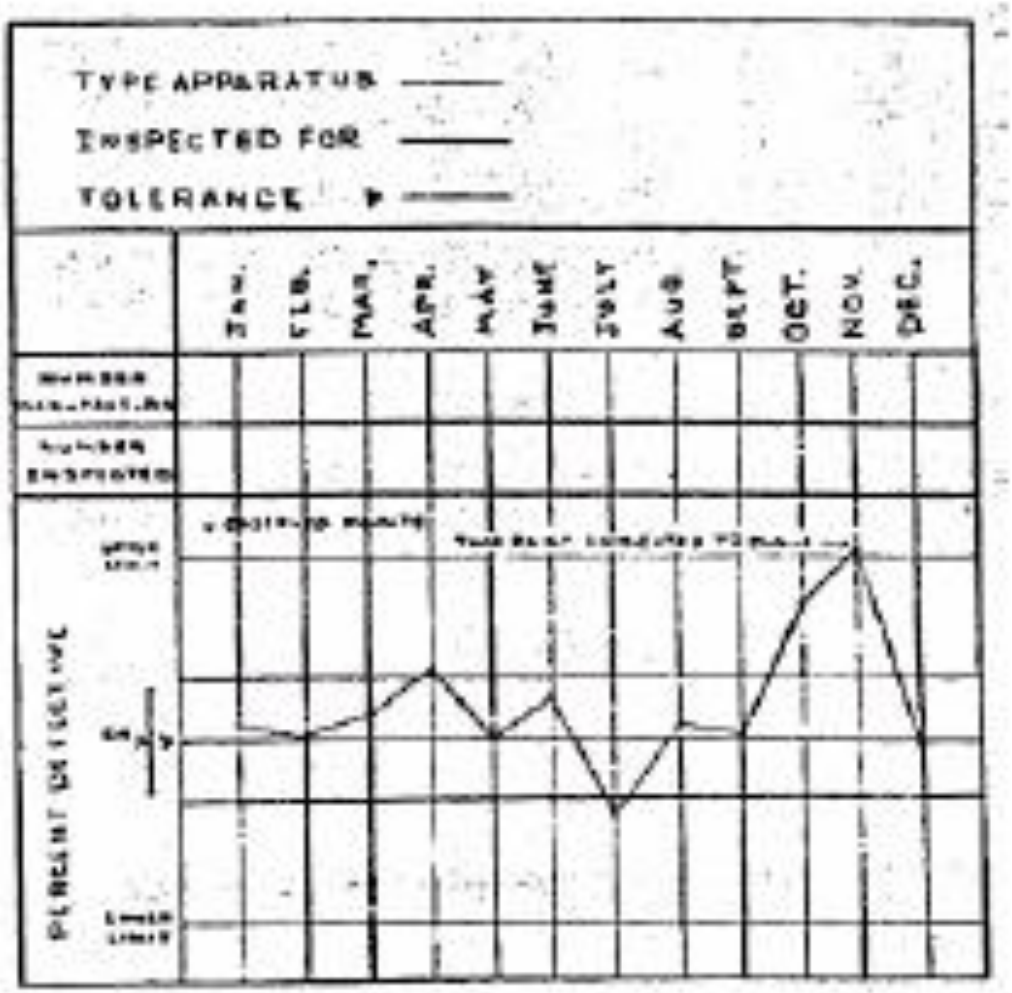
W. A. Shewhart

(1891-1967)

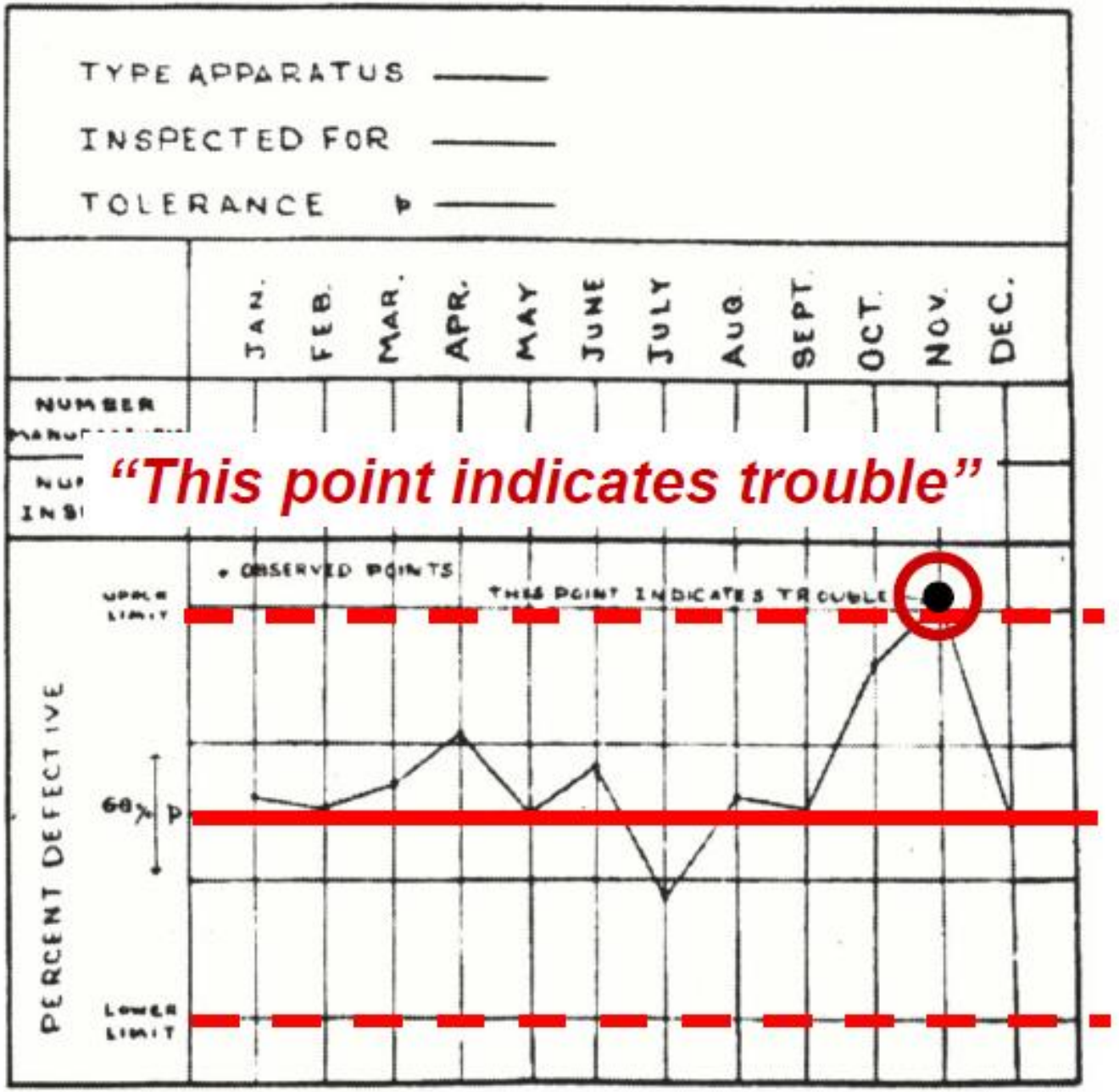
W. A. Shewhart a proiectat **fișele de control** astfel încât utilizatorii să poată distinge între **cauzele comune (aleatoare)** și **speciale (sistematice)** de variație din cadrul procesului, oferind o ***regulă pentru minimizarea riscului*** de a reacționa la o cauză considerată specială cînd de fapt este o cauză comună și să nu se reacționeze la o cauză specială când ea este prezentă.

După investigații și experimente minuțioase, **Shewhart a poziționat limitele de control la 3 abateri standard (σ) de la valoarea medie** și a aplicat această regulă la toate fișele de control. Utilizare **regulii "3 sigma"** nu face nicio presupunere în ce privește natura procesului (distribuției).

Confirmarea regulii a fost făcută de Cebâșev, care a arătat că **dacă procesul este stabil, 89% din valori se vor afla în intervalul ± 3σ** (vezi **4.4 Inegalitatea Cebâșev**)



Prima fișă de control - 1924



Prima fișă de control - 1924

- **O fişă de control este un instrument** utilizat pentru **compararea grafică a datelor performanţelor procesului** cu **"limitele de control"** trasate ca ***linii limită*** pe fişă.

- **O fişă de control este o diagramă** pe care sunt trasate ***limita de control superioară (LCS)*** şi ***limita de control inferioară (LCI)***, precum şi o ***linie centrală (LC)*** corespunzând nivelului mediu dorit al caracteristicii de calitate.

- Pe **fişa de control** sunt reprezentate ***valorile unor parametri statistici*** pentru o serie de eşantioane sau subgrupuri ordonate cronologic sau după numerele eşantioanelor selectate în secvenţa regulată de producţie.

- **Un prim obiectiv** al unei **fişe de control** este de ***a evidenţia variaţiile în proces datorate unor cauze speciale*** .

- Sintagma ***"cauze desemnabile"*** sau ***"cauze speciale"*** are o semnificaţie deosebită şi este important să se înţeleagă această semnificaţie pentru a înţelege conceptul fişei de control (vezi tab. 2.5).

Tab. 2.5 Distincţia dintre cauze de variaţie aleatorii şi desemnabile (speciale)

Cauze aleatorii (comune)	Cauze desemnabile (speciale)
Descriere	
Constă din multe cauze individuale. Orice cauză aleatorie conduce la o valoare foarte mică a variației. Exemple sunt: vibrații uşoare ale maşinilor; variații uşoare ale caracteristicilor materialului brut.	Constă dintr-o singură cauză sau doar puține cauze individuale. Orice cauză desemnabilă poate conduce la o valoare mare a variației. Exemple sunt: greşeli grosolane ale operatorului; un reglaj greşit sau un lot de material brut defect.
Interpretare	
Variația aleatorie nu poate fi eliminată economic dintr-un proces. O observație experimentală cuprinsă între limitele de control ale variației aleatorii înseamnă că procesul nu trebuie ajustat. La o variație exclusiv aleatorie, procesul este suficient de stabil pentru a utiliza proceduri de eşantionare în scopul de a prezice calitatea întregii producții sau de a face studii de optimizare a procesului.	Variația desemnabilă poate fi depistată; acțiunea de a elimina cauzele este de obicei justificată economic. O observație experimentală în afara limitelor de control înseamnă că procesul trebuie investigat şi ajustat. În cazul prezenței unei variații desemnabile, procesul nu este suficient de stabil pentru a utiliza proceduri de eşantionare pentru predicție.

Ce credeți că este ?

Ce este de fapt ?

	Cauză comună	**Cauză specială**
Cauză comună	Ați **identificat corect** variabilitatea și **o veți lăsa așa cum este** sau veți schimba sistemul pentru a o reduce	Ați **identificat greșit** variabilitatea ca fiind ”reală” și veți reacționa la ea rezultând o **supracorecție** a sistemului crescând astfel haosul
Cauză specială	Ați **ratat** din greșeală variabilitatea sau ați ignorat-o **ratând oportunitatea** pentru îmbunătățire	Ați **identificat corect** variabilitatea din sistem ca ”reală” și **ați reacționat corect** pentru a o îndepărta

- Variaţiile în proces pot fi generate de două categorii de cauze:

  a) **aleatorii, adică datorate numai întâmplării;**

  b) **desemnabile, adică datorate unor factori specifici "speciali".**

- În mod ideal, ***numai cauzele aleatorii (sau "comune") trebuie să fie prezente într-un proces***.

- ***Un proces care se desfăşoară fără cauze de variaţie desemnabile, astfel încât în proces nu intervin modificări sistematice,*** se află **"în stare de control statistic",** sau pe scurt **"sub control".**

- **Fişa de control** pentru un astfel de proces ***are toate punctele care reprezintă parametrul statistic între limitele de control statistic***.

- **Fişa de control statistic** face distincţie între cauzele de variaţie aleatorii şi cele desemnabile, prin alegerea limitelor sale de control.

- Aceste **limite de control sunt calculate utilizând legi de probabilitate** astfel încât ***cauzele de variaţie foarte improbabile să fie presupuse că se datoresc nu unor cauze aleatorii ci unor cauze speciale***.

- Când **valorile parametrului statistic reprezentat pe fişa de control sunt în afara limitelor de control**, aceasta reprezintă ***un semnal că anumite cauze speciale de variaţie au intervenit în proces*** şi deci acest proces va trebui să fie investigat pentru a determina aceste cauze de variaţie excesivă.

- ***Variaţia aleatorie între limitele de control înseamnă că numai cauze comune (aleatorii) sunt prezente***; mărimea variaţiei este stabilizată şi ca urmare trebuie să fie evitate corecţiile minore ale procesului.

Fişele de control se clasifică în două categorii: ***pe variabile*** şi ***prin atribute***

Fişele de control pe variabile sunt utilizate în acele situaţii în care caracteristicile de calitate analizate **sunt măsurabile**, ***adică pot fi exprimate cantitativ, prin valori numerice***.

Se utilizează în următoarele situaţii:

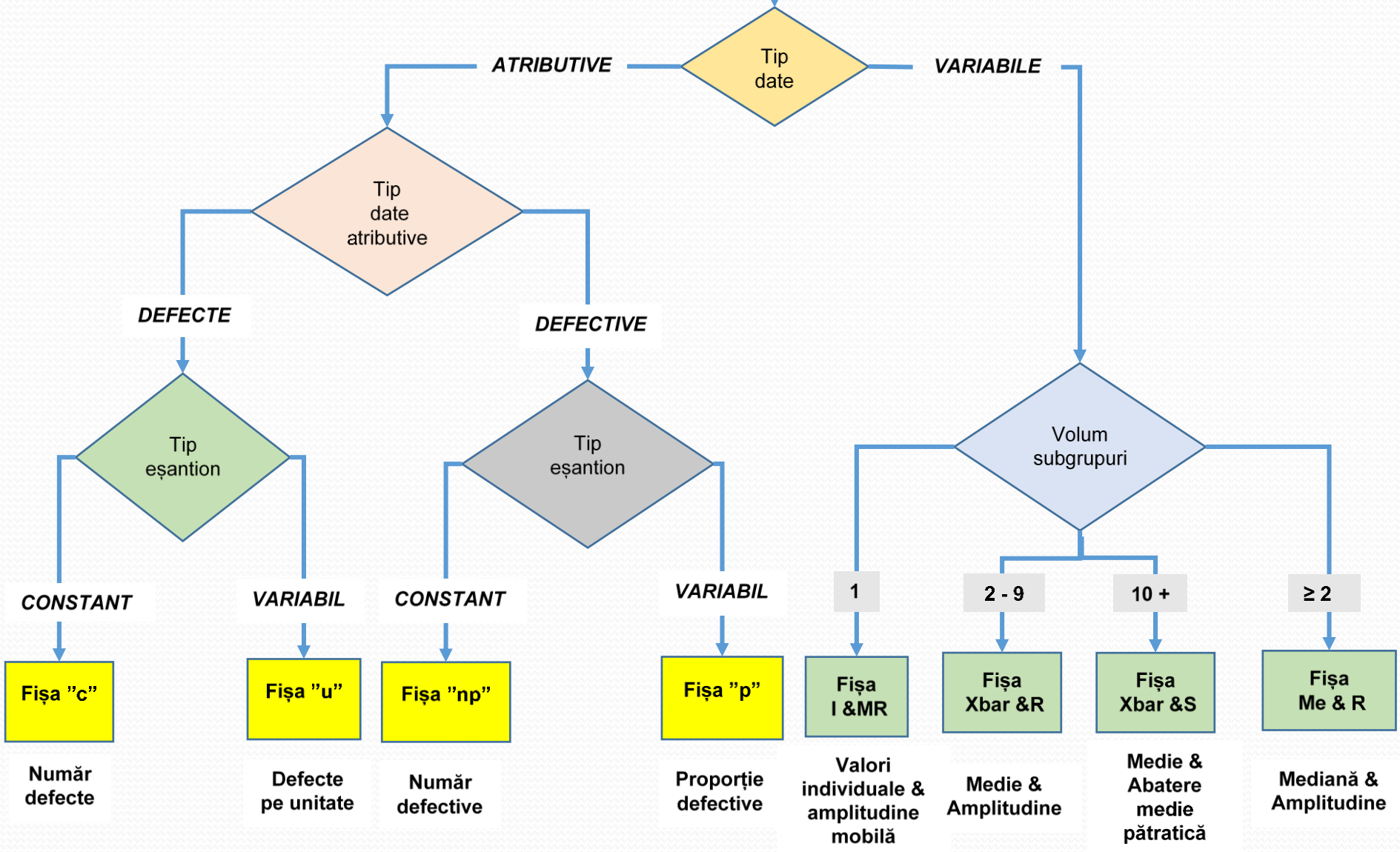
- ✓ când ***se aplică pentru prima oară un procedeu nou de fabricaţie*** sau când ***un produs nou se obţine cu ajutorul unui procedeu existent***;
- ✓ când ***procesul productiv are întreruperi dese datorate unor defecţiuni*** sau când ***este incapabil să respecte specificaţiile***;
- ✓ când ***controalele efectuate au un caracter destructiv***, fiind deci ***costisitoare***;
- ✓ când ***câmpul de toleranţă specificat este îngust şi sunt întâmpinate greutăţi în respectarea limitelor sale***;
- ✓ când ***operatorul trebuie să decidă dacă este cazul să regleze maşina***;
- ✓ când ***stabilitatea şi capabilitatea utilajului trebuie determinate în mod continuu***.

Fişele de control prin atribute se aplică în acele cazuri în care caracteristicile de calitate analizate **nu pot fi măsurate**, ***ele neavând un echivalent cantitativ***.

Utilizarea lor este determinată de următoarele situaţii posibile:

- ✓ ***punerea sub control a procesului este necesară, dar caracteristicile de calitate nu sunt măsurabile;***
- ✓ ***calitatea produselor este dată de nedepăşirea unui anumit număr de defecte;***
- ✓ ***controlul statistic se desfăşoară pe baza unei clasificări a produselor verificate în "corespunzător" sau "necorespunzător"***.

Alegerea fișei de control adecvate



A. Fișe de control pe variabile

- **Fişele de control pe variabile** reprezintă acele ***instrumente create de statistica matematică*** pe care conducerea unei întreprinderi le utilizează ca **mijloace de prevenire activă**.

- Datorită lor, analiştii au la dispoziţie, ***în timp real***, date referitoare la performanţele procesului vizat, acestea permiţându-le ***adoptarea unor acţiuni preventive rapide***.

- ***Costurile implicate de controlul cu ajutorul fişelor este mai mic decât cel aferent verificărilor 100%***, deoarece sunt testate doar eşantioane ale unui lot de produse;

- ***Durata controalelor este redusă deoarece eşantioanele au un volum mic*** (în general 5 unităţi de produs).

Verificarea cu ajutorul ***fişelor de control pe variabile*** se efectuează simultan după doi parametri statistici:

- ✓ un parametru care determină **poziţia câmpului de împrăştiere** (**media aritmetică, mediana**);
- ✓ un parametru care stabileşte **mărimea câmpului de împrăştiere** (**amplitudinea, abaterea medie pătratică**).

Tipuri de ***fişe de control pe variabile*** :

- fişa de control pentru media aritmetică şi amplitudine: **fişa ($\bar{x}$; R)**
- fişa de control pentru media aritmetică şi abaterea medie pătratică: **fişa ($\bar{x}$; s)**
- fişa de control pentru mediană şi amplitudine: **fişa (x_{me} ; R)**

2.2.6.1 Fișa ($\bar{x}$; R)

Este cea mai utilizată fişă de control pe variabile datorită avantajelor pe care le prezintă:

- **media aritmetică reprezintă cel mai bun estimator al poziţiei centrale a distribuţiei valorilor măsurate**;
- **amplitudinea este un indice de împrăştiere care se poate calcula cu uşurinţă, iar estimarea dispersiei valorilor măsurate se realizează cu exactitate.**

Etape de construire a fișei:

1. **Stabilirea mărimii eşantionului şi a intervalului de timp dintre două extrageri consecutive de probe.**
2. **Colectarea şi înregistrarea datelor pe formularul tipizat.**
3. **Calcularea mediei aritmetice şi a amplitudinii pentru fiecare eşantion.**
4. **Calcularea limitelor de control.**
5. **Trasarea diagramelor de control.**
6. **Interpretarea fişei.**

1. Stabilirea mărimii eşantionului

Efectivul optim al unui eşantion este de ***n = 5*** **exemplare**, la această valoare ajungându-se în urma unui compromis: pe de o parte trebuie ***să fie îndeplinită condiţia omogenităţii probei, ceea ce impune un număr redus de exemplare***, iar pe de altă parte, ***numărul pieselor controlate trebuie să fie mare pentru ca rezultatele obţinute să fie cât mai apropiate de realitate***.

2. Colectarea şi înregistrarea datelor

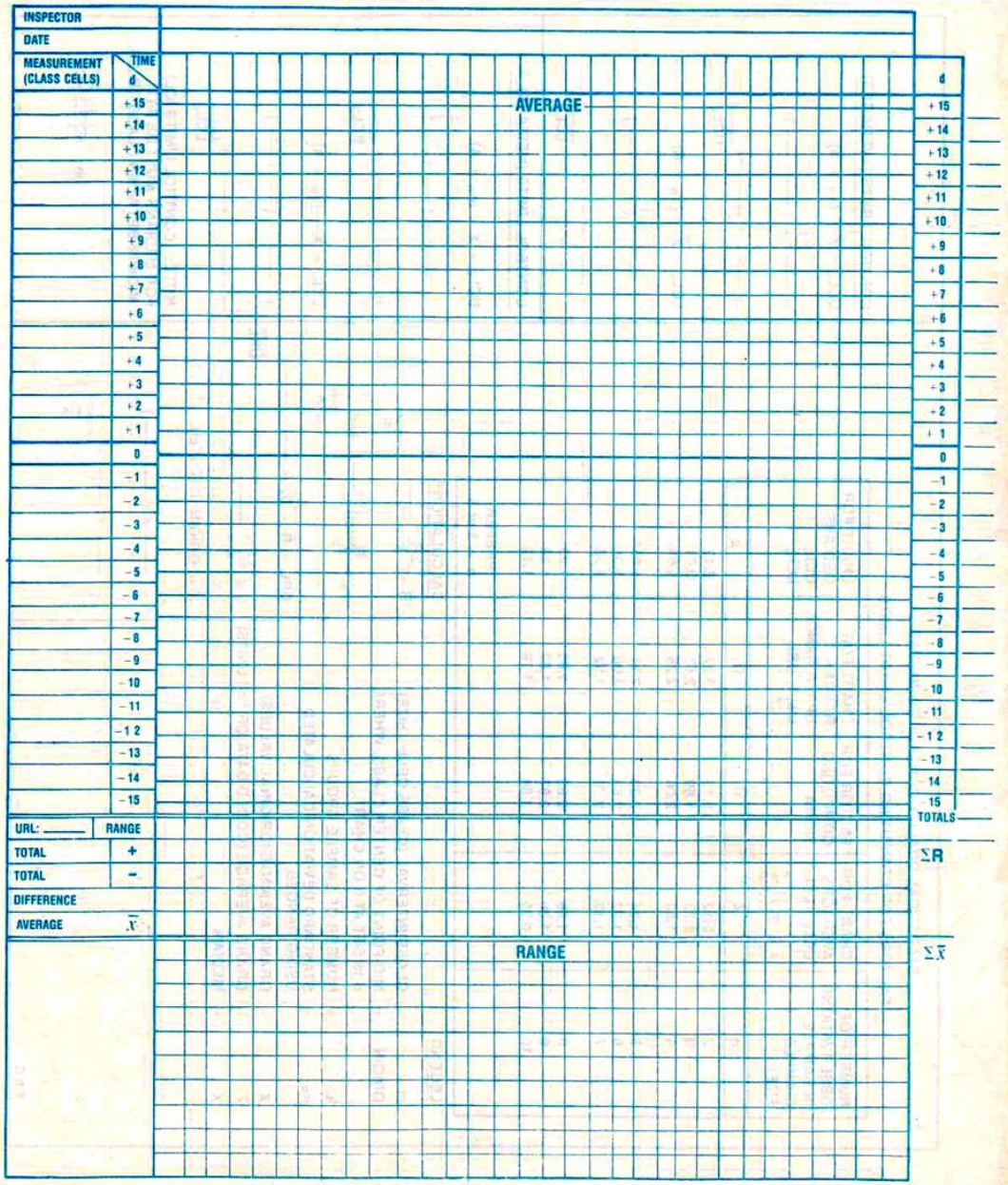
Analiza procesului tehnologic cu ajutorul fişei presupune prelevarea a **minimum 25 de eşantioane**, fiecare dintre ele cuprinzând câte **5 unităţi de produs**. Valorile caracteristicilor de calitate măsurate se înregistrează apoi pe un formular tipizat

FIŞA ($\bar{x}$; R)										
Întreprinderea:		Caracteristica:					Aparatul de măsură:			
Secția:		Toleranța:					Precizia aparatului:			
Maşina:		Operația:					Mărimea probei:			
Produsul:		Producția orară:					Intervalul între probe:			
Data:										
Ora:										
Numărul probei:		1	2	3	...				...	k
LCS_x Diagrama mediei LCI_x										
LCS_R Diagrama amplitudinii LCI_R										
	1									
Valorile	2									
caracteristicii	3									
măsurate	4									
	5									
Suma valorilor:										
Media probei:										
Amplitudinea:										
Concluzia controlorului:										
Cauza abaterii:										
Măsuri luate:										

($\bar{X}$ & R) QUALITY CONTROL CHART

PART NO. _____ CHARACTERISTIC _____ OPERATION _____ MACH. NO. _____ CLASS CELL (SIZE) _____

ITEM _____ SPECIFICATION _____ GAGE _____ DEPT. _____ SAMPLE SIZE _____



Form ST-10

STATCO PRODUCTS, INC.
P.O. Box 65 • Clawson, MI 48017 • (313) 879-7224

STATISTICAL QUALITY CONTROL FORMULAS

FACTORS FOR COMPUTING CONTROL CHART LIMITS

NUMBER OF OBSERVATIONS IN SAMPLE. (SAMPLE SIZE)	CHART FOR AVERAGES $UCL_{\bar{x}}$, $LCL_{\bar{x}}$ $A = 3 \times \frac{\sigma_R}{\sqrt{n}}$	FACTOR FOR COMPUTING SIGMA σ_R	CHART FOR RANGES. UPPER RANGE LIMIT: URL	CHART FOR MEDIANS, $UCL_{\tilde{x}}$ $LCL_{\tilde{x}}$
n	A	d_2	D_4	$\tilde{A}$
2	2.12	1.13	3.27	2.12
3	1.73	1.69	2.57	2.01*
4	1.50	2.06	2.28	1.64
5	1.34	2.33	2.11	1.61*
6	1.22	2.53	2.00	1.39
7	1.13	2.70	1.92	1.38
8	1.06	2.85	1.86	1.23
9	1.00	2.97	1.82	1.22
10	0.95	3.08	1.78	1.12

*PREFER n = 3 or 5

LEGEND

- ci = CLASS INTERVAL (CLASS CELL - SIZE)
- ORIGIN = MID-POINT OF CENTER CLASS, WHERE d IS SET AT 0 ON CHART.
- k = NUMBER OF SAMPLE GROUPS
- σ_R = STANDARD DEVIATION CALCULATED USING RANGES.
- $\bar{\bar{X}}$ = GRAND AVERAGE (ORIGINAL VALUES)
- $\bar{\bar{i}}$ = GRAND AVERAGE (CODED DATA OR "d" UNITS)
- $\tilde{X}$ = MEDIAN

CALCULATIONS

$\bar{R} = \frac{\Sigma R}{k} =$ —— = $\overline{\overline{R}}$

$\sigma_R = \frac{\bar{R}}{d_2}(ci) =$ ——( ) = $\overline{\overline{\sigma_R}}$

$URL = \bar{R} \times D_4 =$ —— × —— = $\overline{\overline{URL}}$

$\bar{\bar{i}} = \frac{\Sigma \bar{i}}{k} =$ —— = $\overline{\overline{\bar{i}}}$

$\bar{\bar{X}} = ORIGIN + (\bar{\bar{i}} \times ci)$

= —— + (—— × ——)

= —— + —— = $\overline{\overline{\bar{X}}}$

CONTROL LIMITS (AVERAGES)

$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + (\sigma_R \times A)$

= —— + (—— × ——)

= —— + —— = $\overline{\overline{UCL_{\bar{x}}}}$

$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - (\sigma_R \times A)$

= —— − (—— × ——)

= —— − —— = $\overline{\overline{LCL_{\bar{x}}}}$

CONTROL LIMITS (MEDIANS), $\tilde{X}$

$UCL_{\tilde{x}} = \bar{\bar{X}} + (\sigma_R \times \tilde{A})$

= —— + (—— × ——)

= —— + —— = $\overline{\overline{UCL_{\tilde{x}}}}$

$LCL_{\tilde{x}} = \bar{\bar{X}} - (\sigma_R \times \tilde{A})$

= —— − (—— × ——)

= —— − —— = $\overline{\overline{LCL_{\tilde{x}}}}$

NOTE: CONTROL LIMITS (CL) FOR MEDIANS MUST BE SET MIDWAY BETWEEN CLASS CELLS.

ie; ≠≠≠–CL

EBG

3. Calculul mediei aritmetice şi a amplitudinii

Pentru fiecare eşantion în parte se calculează valorile **mediei aritmetice** (relația 2.11) şi ale **amplitudinii** (relația 2.12):

$$\overline{x_i} = \frac{\sum_{j=1}^{n} x_{ij}}{n} \qquad (2.11)$$

$$R_i = x_{i,max} - x_{i,min} \qquad (2.12)$$

4. Calculul limitelor de control

Estimarea valorilor **mediei aritmetice**, a **amplitudinii** și a **abaterii medii pătratice** ale întregului lot de produse

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^{k} \bar{x}_i}{k} \qquad (2.13)$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{k} R_i}{k} \qquad (2.14)$$

Numai pentru procese aflate **"în control"**

$$\sigma_x = \frac{\bar{R}}{d_2} \qquad (2.15)$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_2	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,078

➢ Pentru diagrama **mediilor aritmetice**:

$$LCS_{\bar{\bar{x}}} = \bar{\bar{x}} + 3 \cdot s_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + \frac{3 \cdot \bar{R}}{d_2 \cdot \sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \cdot \bar{R} \qquad (2.16)$$

$$LCI_{\bar{\bar{x}}} = \bar{\bar{x}} - 3 \cdot s_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - \frac{3 \cdot \bar{R}}{d_2 \cdot \sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \cdot \bar{R} \qquad (2.17)$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_2	1,880	1,023	0,729	0,577	0,483	0,419	0,373	0,337	0,308

➢ Pentru diagrama **amplitudinilor**:

$$LCS_{\bar{R}} = \bar{R} + 3 \cdot \frac{d_3}{d_2} \cdot \bar{R} \qquad (2.18)$$

$$LCI_{\bar{R}} = \bar{R} - 3 \cdot \frac{d_3}{d_2} \cdot \bar{R} \qquad (2.19)$$

Dacă se fac notaţiile: $D_4 = 1 + 3 \cdot \frac{d_3}{d_2}$ $D_3 = 1 - 3 \cdot \frac{d_3}{d_2}$

$$\begin{cases} LCS_{\bar{R}} = D_4 \cdot \bar{R} & (2.20) \\ LCI_{\bar{R}} = D_3 \cdot \bar{R} & (2.21) \end{cases}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_3	0,893	0,888	0,880	0,864	0,848	0,833	0,820	0,808	0,797
D_3	-	-	-	-	-	0,076	0,136	0,184	0,223
D_4	3,267	2,574	2,282	2,114	2,004	1,924	1,864	1,816	1,777

5. Trasarea diagramelor de control

- Pe formularul tipizat, în zonele aferente diagramelor mediilor şi amplitudinilor, ***se trasează două linii întrerupte corespunzătoare valorilor calculate ale*** **mediei mediilor** şi **amplitudinii medii**.

- ***Cu linii continue sunt reprezentate limitele de control*** ale **mediilor** şi **amplitudinilor**, având grijă ca LCS şi LCI să fie egal depărtate de media mediilor.

- Corespunzător fiecărei probe, ***se marchează apoi prin câte un punct*** **media aritmetică** şi **amplitudinea calculată**, urmând ca în final, ***punctele consecutive să fie unite prin segmente de dreaptă***.

6. Interpretarea fişei de control

Pentru o fişă de control, în funcţie de poziţia punctelor pe fişa de control, se pot trage următoarele concluzii:

- ✓ dacă **valorile mediilor aritmetice se găsesc între limitele de control**, ***procesul de fabricaţie este stabil ca reglaj***;

- ✓ dacă **valorile amplitudinilor se găsesc între limitele de control**, ***procesul de fabricaţie este stabil ca precizie***; dacă valorile amplitudinilor depăşesc limitele de control, se pot ivi două situaţii particulare:

  - dacă **valorile amplitudinilor depăşesc limita de control superioară LCS**, ***procesul de fabricaţie este instabil ca precizie***;

  - dacă **valorile amplitudinilor depăşesc limita de control inferioară LCI**, ***maşina pe care se prelucrează piesele este mai precisă decât necesită caracteristica urmărită, fiind folosită neeconomic***.

- Se poate aprecia că ***instabilitatea preciziei*** poate apărea atunci când ***uzura maşinii-unelte este avansată***, ***calificarea operatorilor este necorespunzătoare***, mai ales când sunt necesare ***prelucrări speciale***, ***semifabricatele sunt neomogen etc.***

- ***Instabilitatea reglajului*** poate avea ca surse: ***neverificarea periodică a maşinii-unelte, uzura sculei, reglarea necorespunzătoare a maşinii la dimensiunea de lucru şi semifabricate neomogene***.

- **Dacă punctele de pe diagrama de control se situează în interiorul limitelor de control, sau în intervalul de încredere**, ***procesul poate fi considerat sub control***.

- **Dacă există puncte în afara limitelor**, ***procesul va fi considerat în afară de control.***

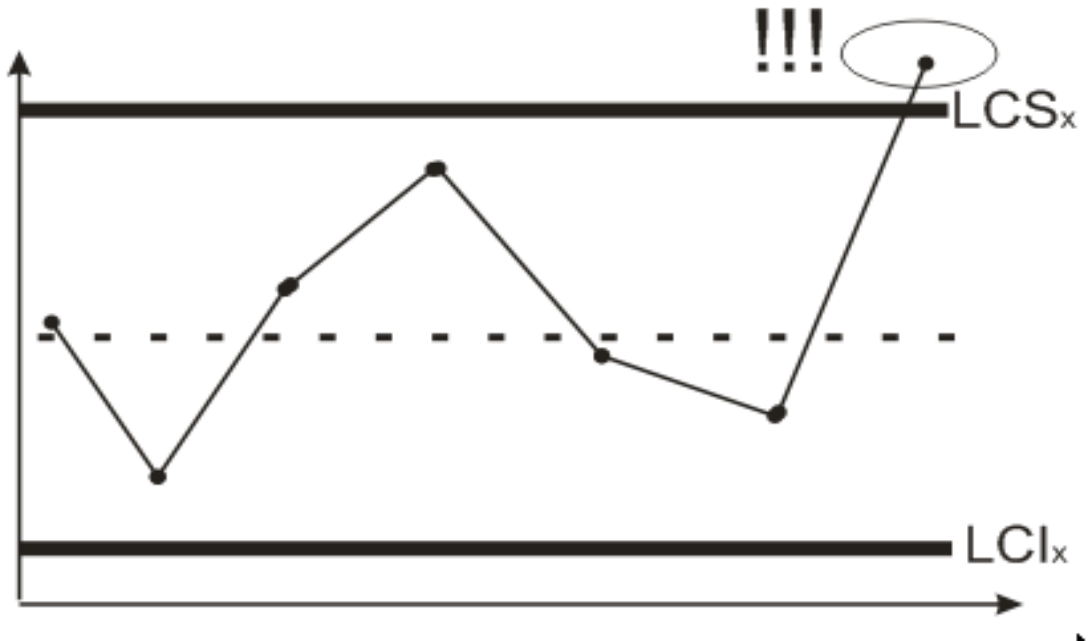
- De asemenea, sunt situaţii când o **dispunere particulară a punctelor, chiar în interiorul limitelor de control,** indică o ***anomalie în desfăşurarea procesului.***

❖ Interpretarea diagramei mediei aritmetice

1. Un punct în afara limitelor de control

Cauze posibile:

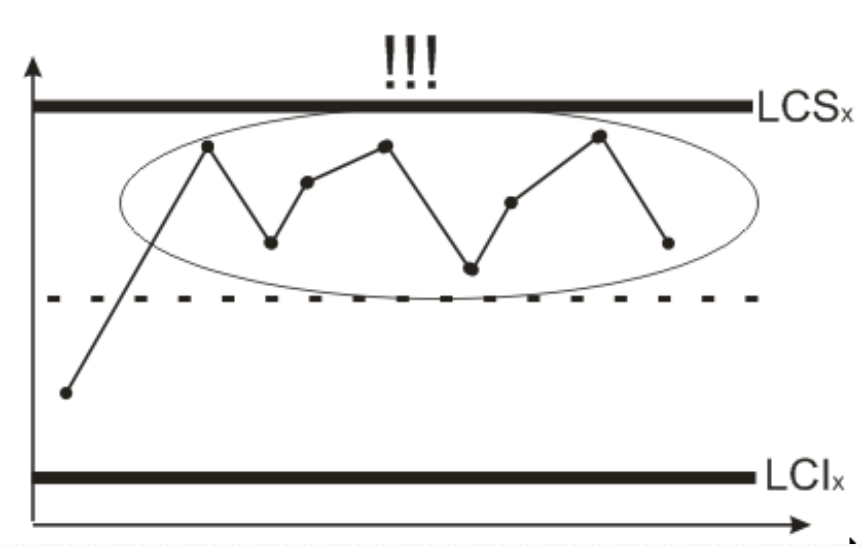
- ✓ **o eroare de calcul sau de poziţionare a punctelor;**
- ✓ **apariţia unor incidente de tipul ruperii sculei, căderii energiei electrice, întreruperii alimentării cu materie primă;**
- ✓ **modificarea sistemului de măsurare.**

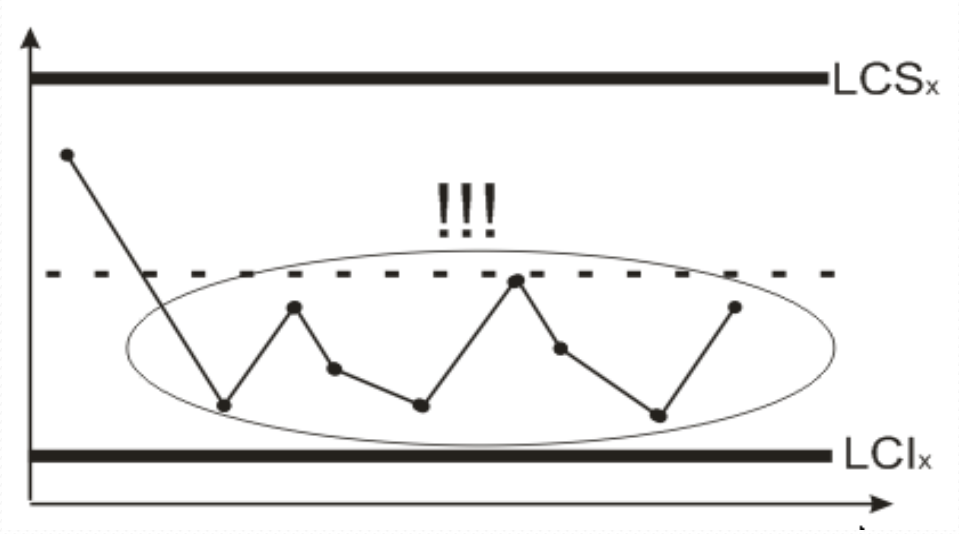


2. O serie de 8 puncte consecutive de o parte a liniei centrale

Cauze posibile:

- ✓ **o înlocuire a muncitorului la maşină;**
- ✓ **o reglare incorectă a utilajului;**
- ✓ **oboseala şi neatenţia operatorului care efectuează măsurătorile.**

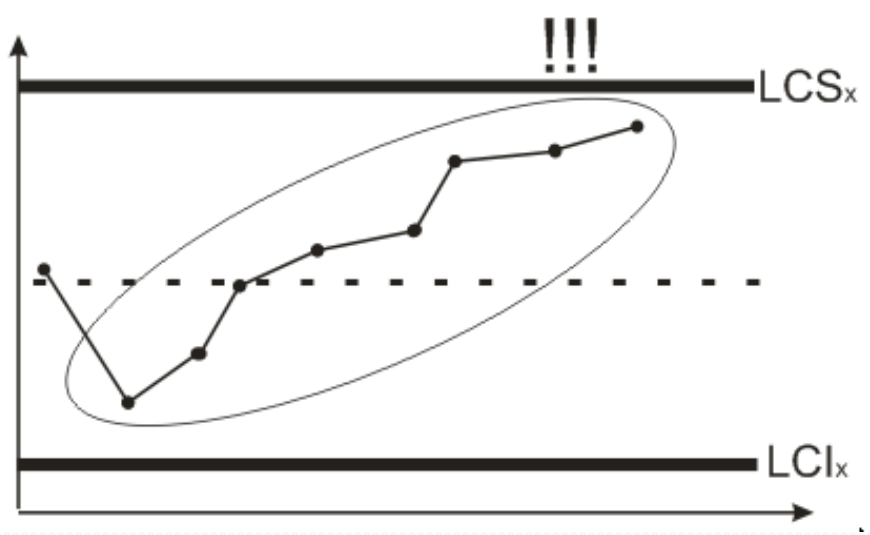


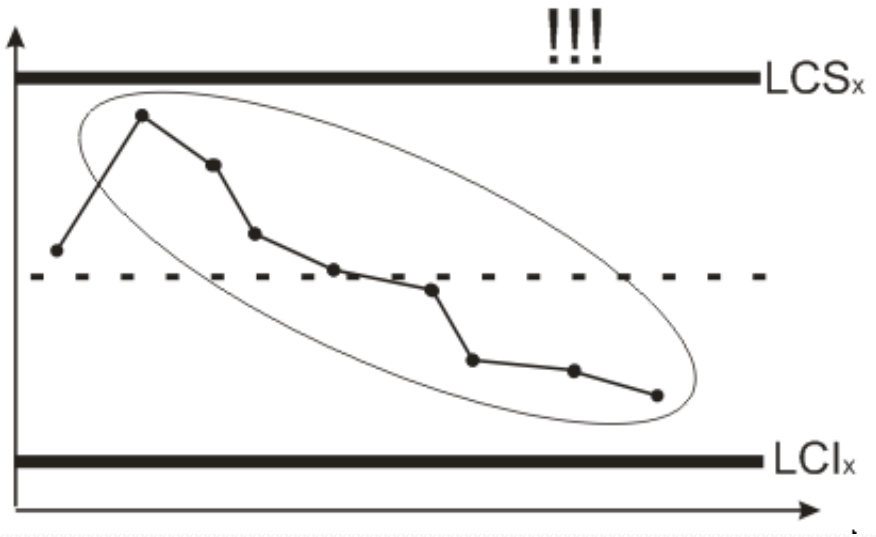


3. O serie de 7 intervale succesive crescătoare sau descrescătoare

Cauze posibile:

- ✓ **uzarea sculei.**





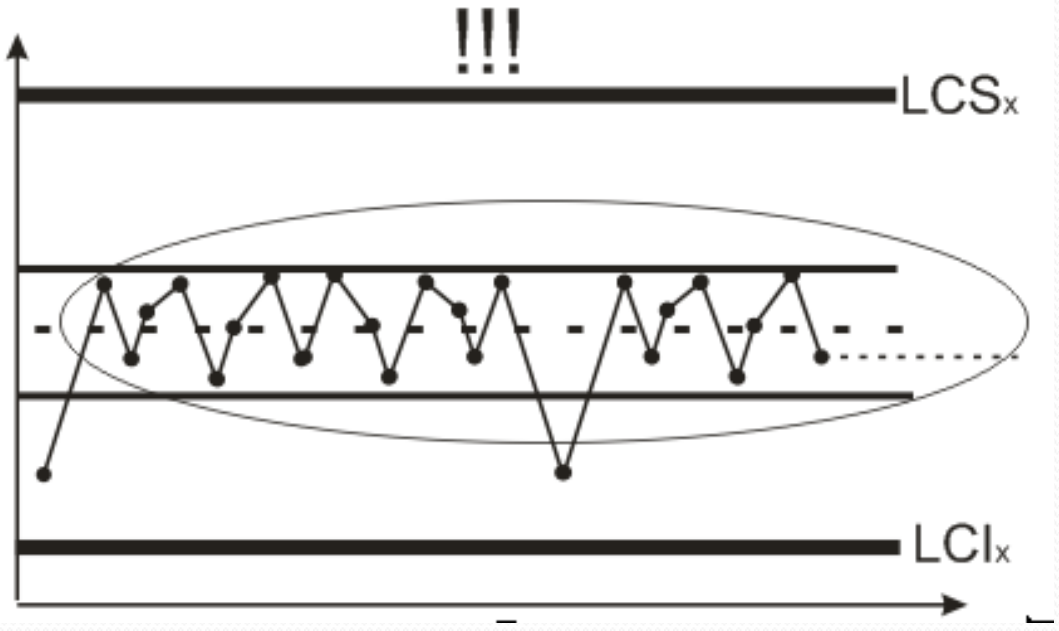
4. Mai mult de 22 de puncte din 25 consecutive sunt situate în treimea centrală

Cauze posibile:

✓**calculul greşit al limitelor de control;**

✓ **înaintea fiecărei eşantionări, maşina este reglată;**

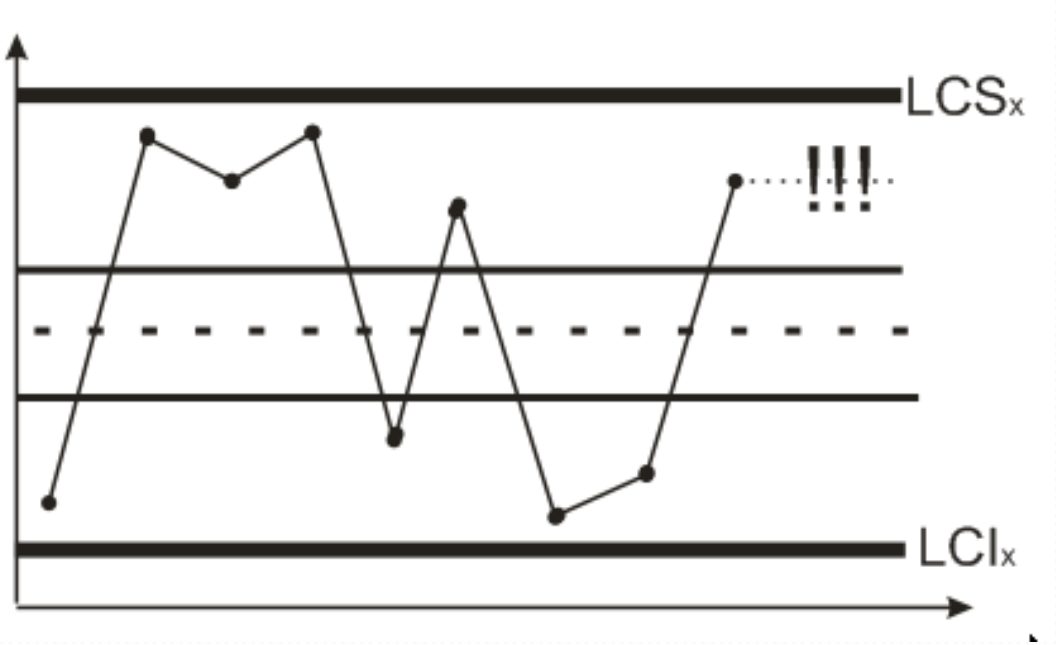
✓ **în urma măsurării, datele presupuse a fi greşite sunt eliminate.**



5. **Mai puţin de 10 puncte din 25 consecutive se găsesc în treimea centrală**

Cauze posibile:

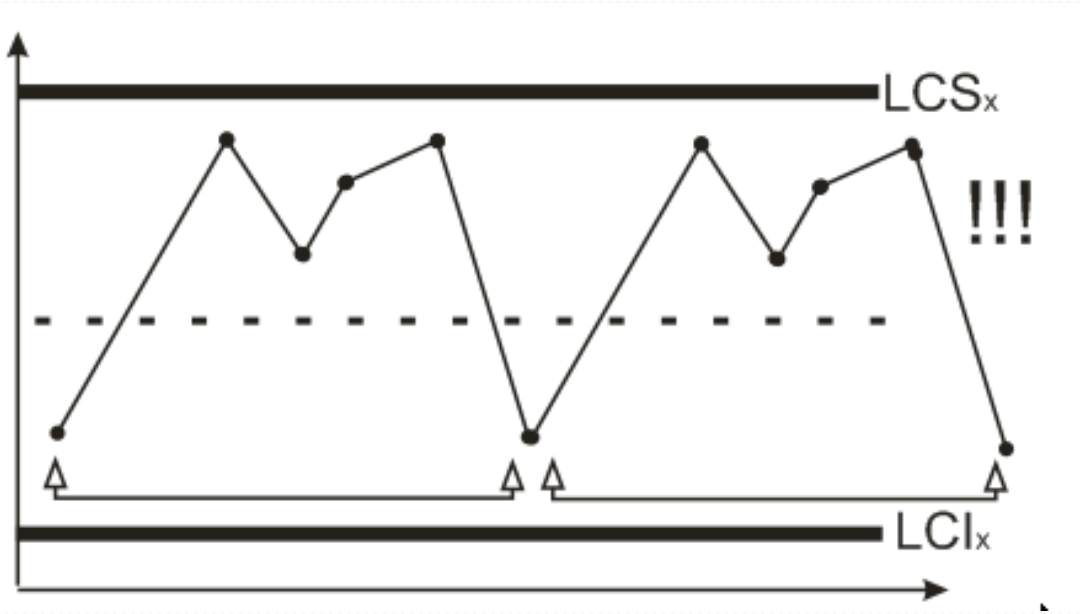
- ✓ **erori de calcul şi de poziţionare a limitelor de control;**
- ✓ **aparatele de măsură nu au precizia necesară;**
- ✓ **măsurările vizează procese diferite.**



6. Evoluţia ciclică a valorilor calculate

Cauze posibile:

- ✓ **modificările ciclice ale temperaturii mediului ambiant;**
- ✓ **oboseala operatorului;**
- ✓ **fluctuaţii cu caracter regulat în alimentarea cu energie electrică;**
- ✓ **schimbări periodice ale operatorilor etc.**

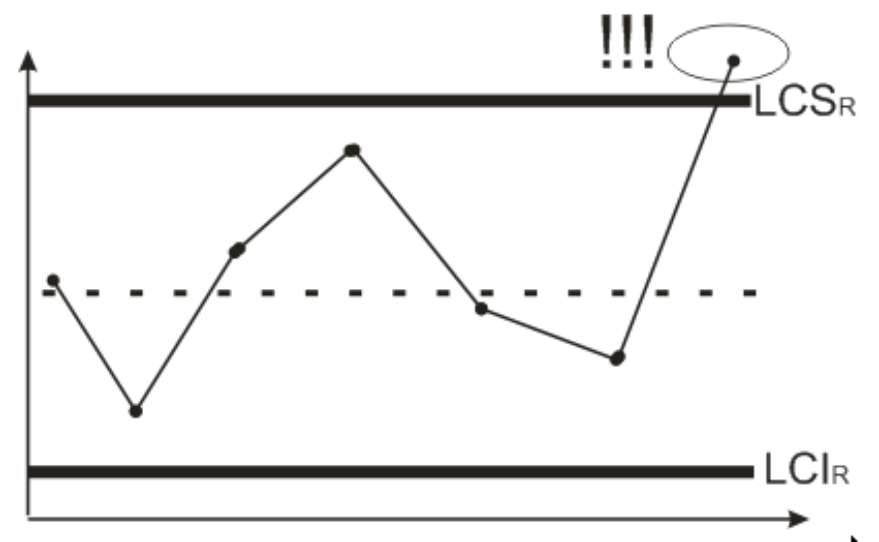


❖ Interpretarea diagramei amplitudinii

1. Un punct în afara limitelor de control

Cauze posibile:

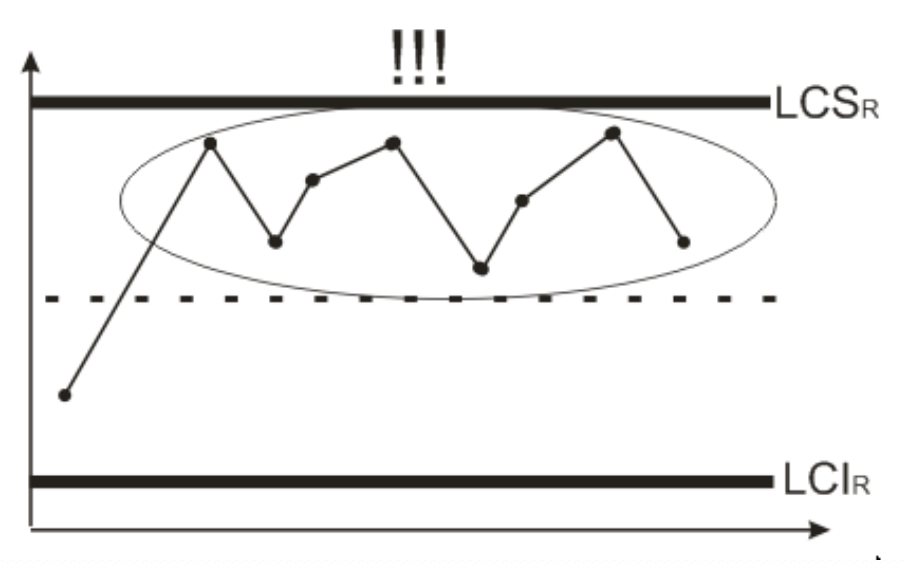
- ✓ **o eroare de calcul sau de poziţionare a indicelui de împrăştiere al eşantionului;**
- ✓ **o eroare de calcul sau de amplasare a limitelor de control;**
- ✓ **apariţia unor incidente pe parcursul prelevării unui eşantion: oprirea maşinii, ruperea sculei, piese confecţionate din materii prime provenite de la furnizori diferiţi etc.;**
- ✓ **utilizarea, la un moment dat, a unor instrumente de măsură cu o precizie superioară, care scot în evidenţă o mai mare dispersie a valorilor.**

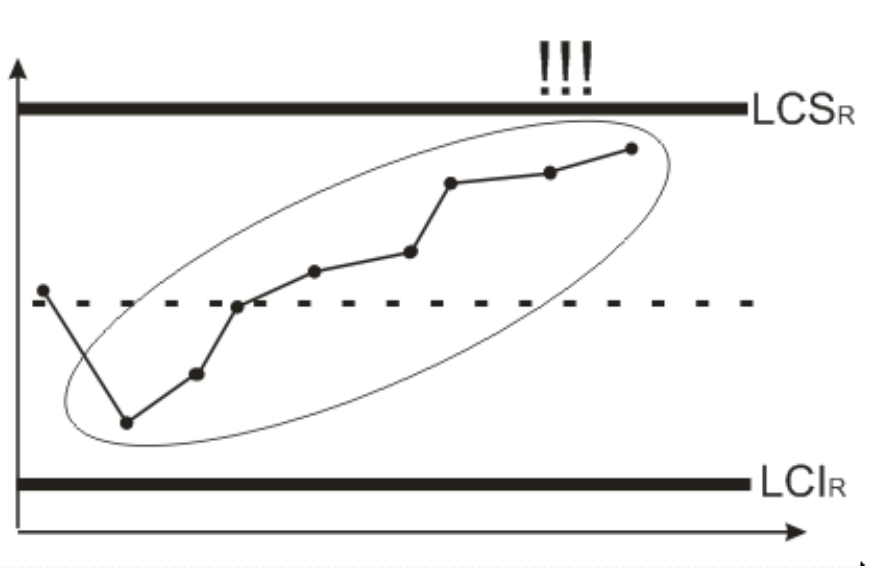


2. **O serie de 8 puncte consecutive se află deasupra valorii centrale sau 7 intervale succesive sunt crescătoare.**

Cauze posibile:

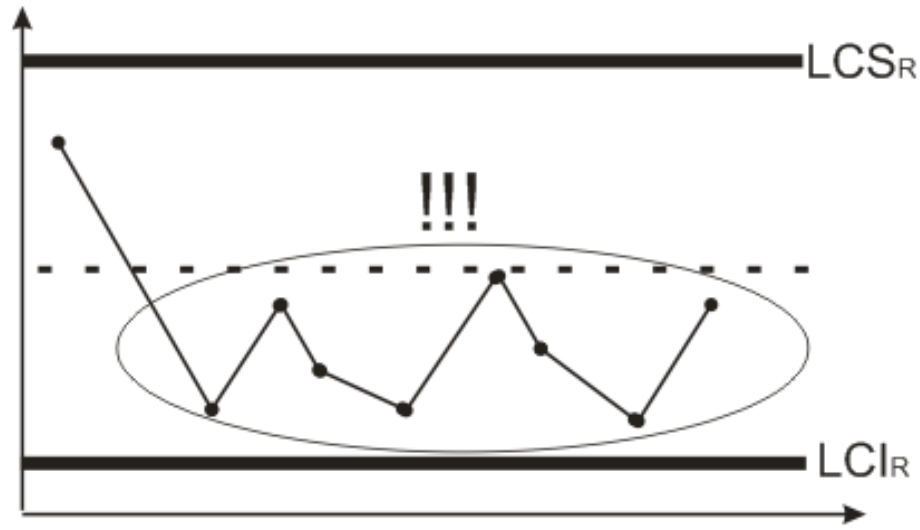
- ✓ **lipsa uniformităţii materiei prime;**
- ✓ **schimbarea analistului sau oboseala acestuia;**
- ✓ **slăbirea progresivă a strângerii în dispozitiv a sculei;**
- ✓ **o supraîncălzire a maşinii ş.a..**

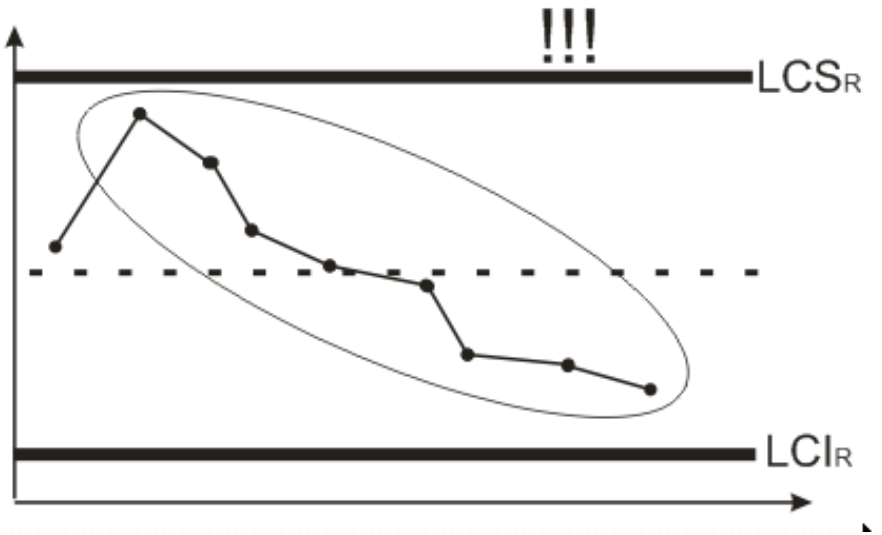




3. **O serie de 8 puncte consecutive se află sub linia centrală sau 7 intervale succesive sunt descrescătoare.**

✓ **În aceste cazuri trebuie făcută distincţia dintre o îmbunătăţire reală a procesului şi o eventuală modificare a metodei de măsurare.**

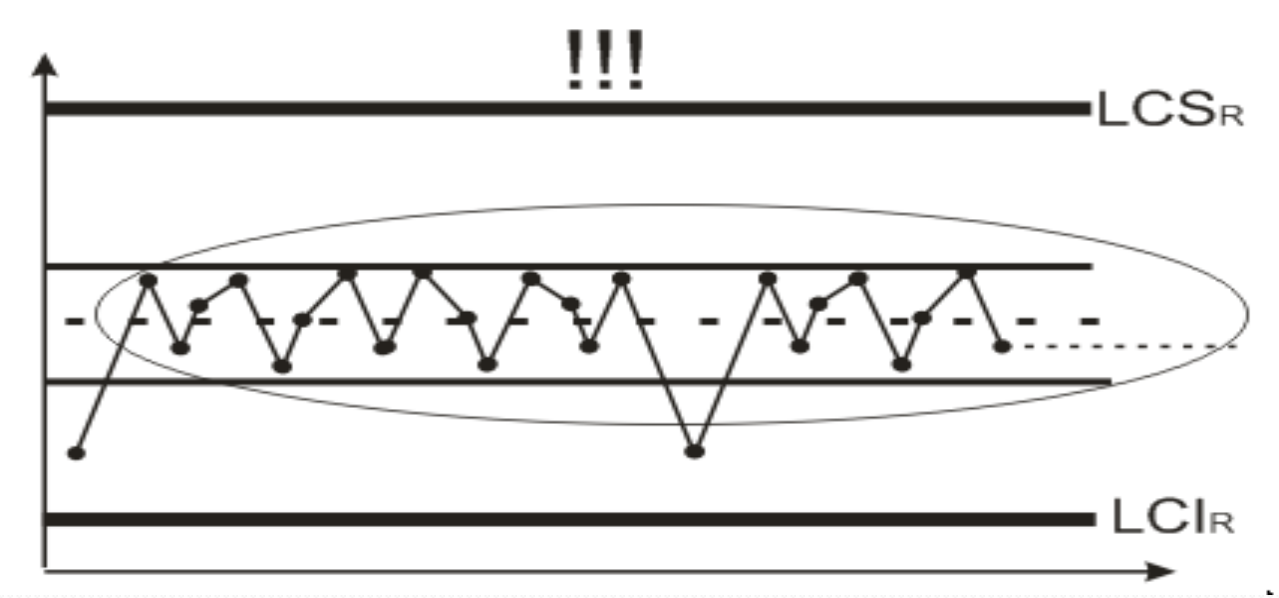




4. **Mai mult de 22 de puncte din 25 consecutive sunt situate în treimea centrală**

Cauze posibile:

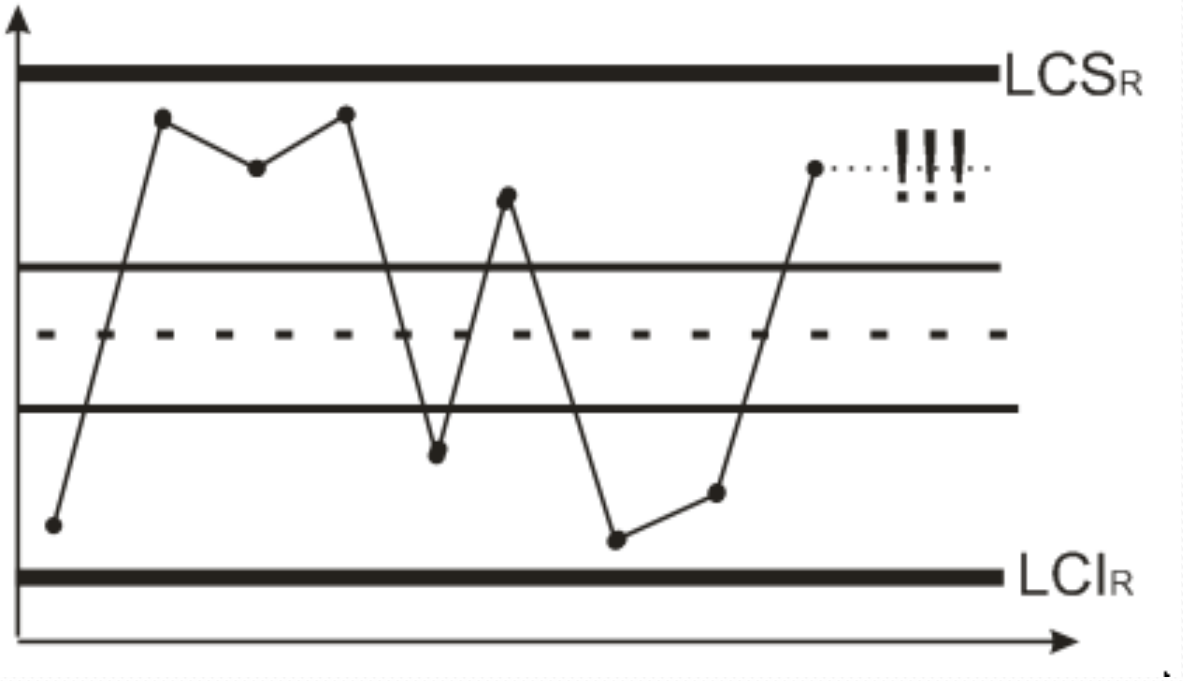
- ✓ **calculul greşit al limitelor de control;**
- ✓ **înaintea fiecărei eşantionări, maşina este reglată;**
- ✓ **în urma măsurării, datele presupuse a fi greşite sunt eliminate;**
- ✓ **slaba instruire a operatorului.**



5. **Mai puţin de 10 puncte din 25 consecutive se găsesc în treimea centrală.**

Cauze posibile:

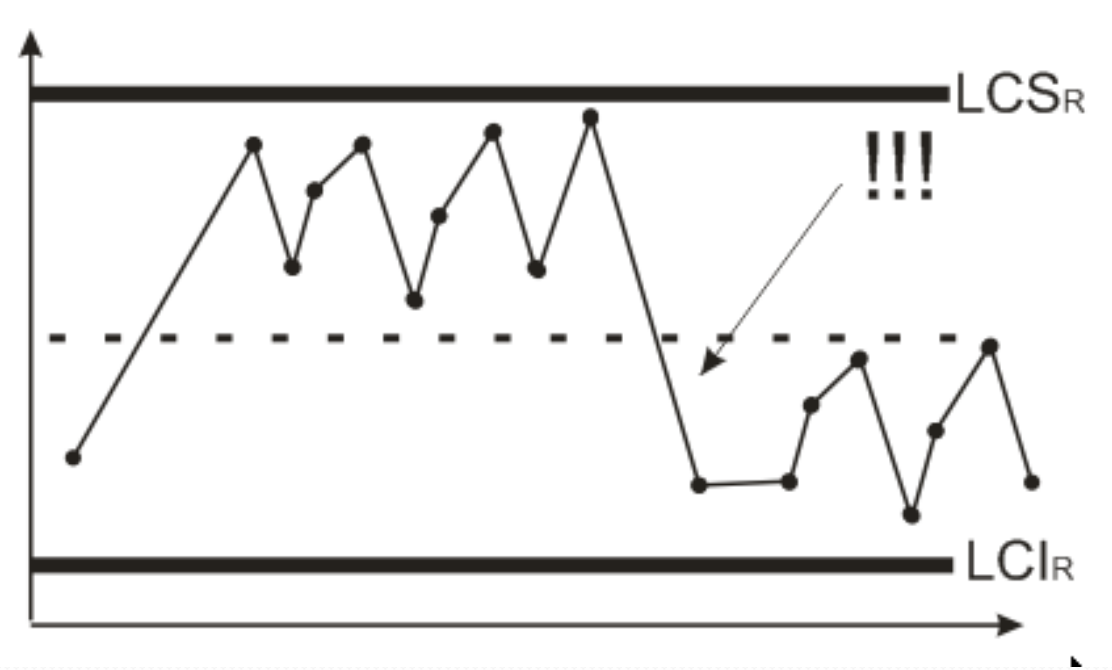
- ✓ **jocurile mari din lanţurile cinematice ale maşinii;**
- ✓ **utilizarea unor instrumente de măsură cu o precizie scăzută ş.a..**



6. Saltul brusc de nivel

✓ **Un salt spre limita de control inferioară sugerează o îmbunătăţire a procesului datorată dispariţiei unor factori influenţatori;**

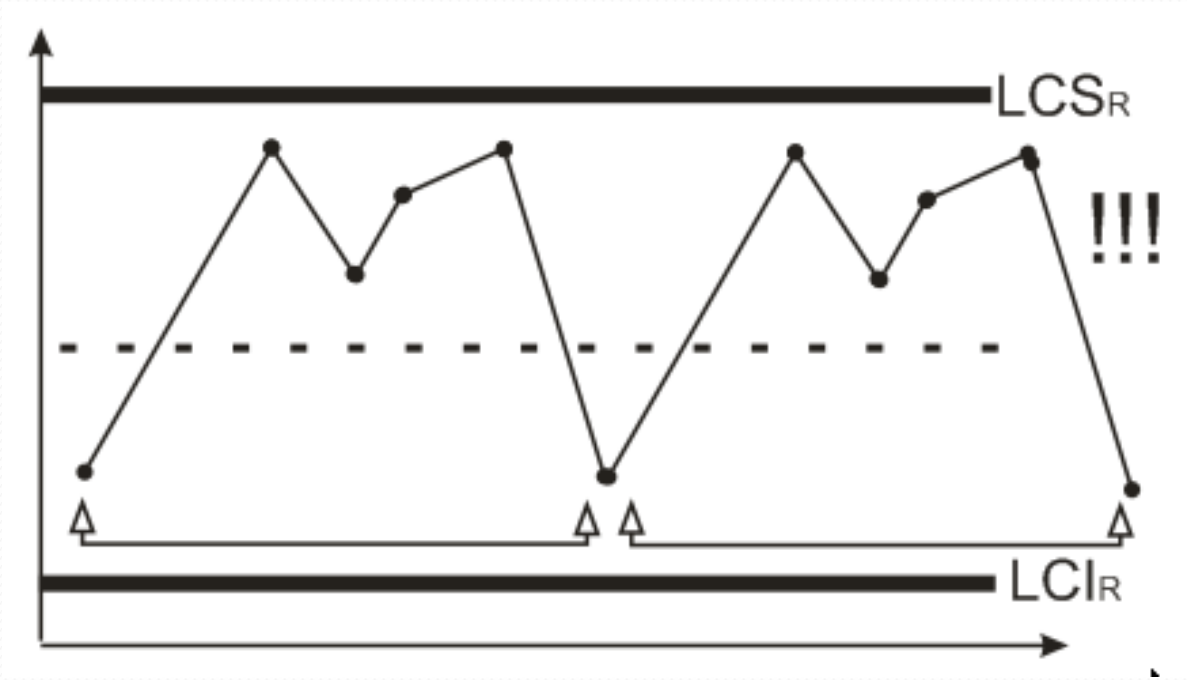
✓ **Un salt spre limita de control superioară indică existenţa a două repartiţii distincte ale caracteristicii de calitate analizate.**



7. Evoluţia ciclică a amplitudinilor

Cauze posibile:

- ✓ **uzarea SDV-urilor;**
- ✓ **neatenţia operatorului;**
- ✓ **utilizarea maşinii de către mai mulţi muncitori.**



Exemplu:

- Datele din tabelul următor reprezintă un eșantion al valorilor forței aplicate într-un proces de lipire.

- Utilizînd **fișa de control ($\bar{x}$; R)**, să se determine dacă procesul este în control.

Eşantion	Obs 1	Obs 2	Obs 3	Obs 4	Obs 5
1	10,682	10,689	10,776	10,798	10,714
2	10,787	10,860	10,601	10,746	10,779
3	10,780	10,667	10,838	10,785	10,723
4	10,591	10,727	10,812	10,775	10,730
5	10,693	10,708	10,790	10,758	10,671
6	10,749	10,714	10,738	10,719	10,606
7	10,791	10,713	10,689	10,877	10,603
8	10,744	10,779	10,110	10,737	10,750
9	10,769	10,773	10,641	10,644	10,725
10	10,718	10,671	10,708	10,850	10,712
11	10,787	10,821	10,764	10,658	10,708
12	10,622	10,802	10,818	10,872	10,727
13	10,657	10,822	10,893	10,544	10,750
14	10,806	10,749	10,859	10,801	10,701
15	10,660	10,681	10,644	10,747	10,728

Pasul 1

- calculul mediei și amplitudinii pentru eșantioane,
- calculul mediei mediilor
- calculul mediei amplitudinilor

Eșantion	Obs 1	Obs 2	Obs 3	Obs 4	Obs 5	Medie	Amplit.
1	10.682	10.689	10.776	10.798	10.714	10.732	0.116
2	10.787	10.86	10.601	10.746	10.779	10.755	0.259
3	10.78	10.667	10.838	10.785	10.723	10.759	0.171
4	10.591	10.727	10.812	10.775	10.73	10.727	0.221
5	10.693	10.708	10.79	10.758	10.671	10.724	0.119
6	10.749	10.714	10.738	10.719	10.606	10.705	0.143
7	10.791	10.713	10.689	10.877	10.603	10.735	0.274
8	10.744	10.779	10.11	10.737	10.75	10.624	0.669
9	10.769	10.773	10.641	10.644	10.725	10.710	0.132
10	10.718	10.671	10.708	10.85	10.712	10.732	0.179
11	10.787	10.821	10.764	10.658	10.708	10.748	0.163
12	10.622	10.802	10.818	10.872	10.727	10.768	0.250
13	10.657	10.822	10.893	10.544	10.75	10.733	0.349
14	10.806	10.749	10.859	10.801	10.701	10.783	0.158
15	10.66	10.681	10.644	10.747	10.728	10.692	0.103
					Medii	**10.728**	**0.220400**

Pasul 2

- **Determinarea limitelor de control**

⇨ Limitele de control pentru $\bar{\bar{x}}$

$$\begin{cases} LCS_{\bar{\bar{x}}} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \\ LCI_{\bar{\bar{x}}} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \end{cases}$$

⇨ Limitele de control pentru $\bar{R}$

$$\begin{cases} LCS_{\bar{R}} = D_4\bar{R} \\ LCI_{\bar{R}} = D_3\bar{R} \end{cases}$$

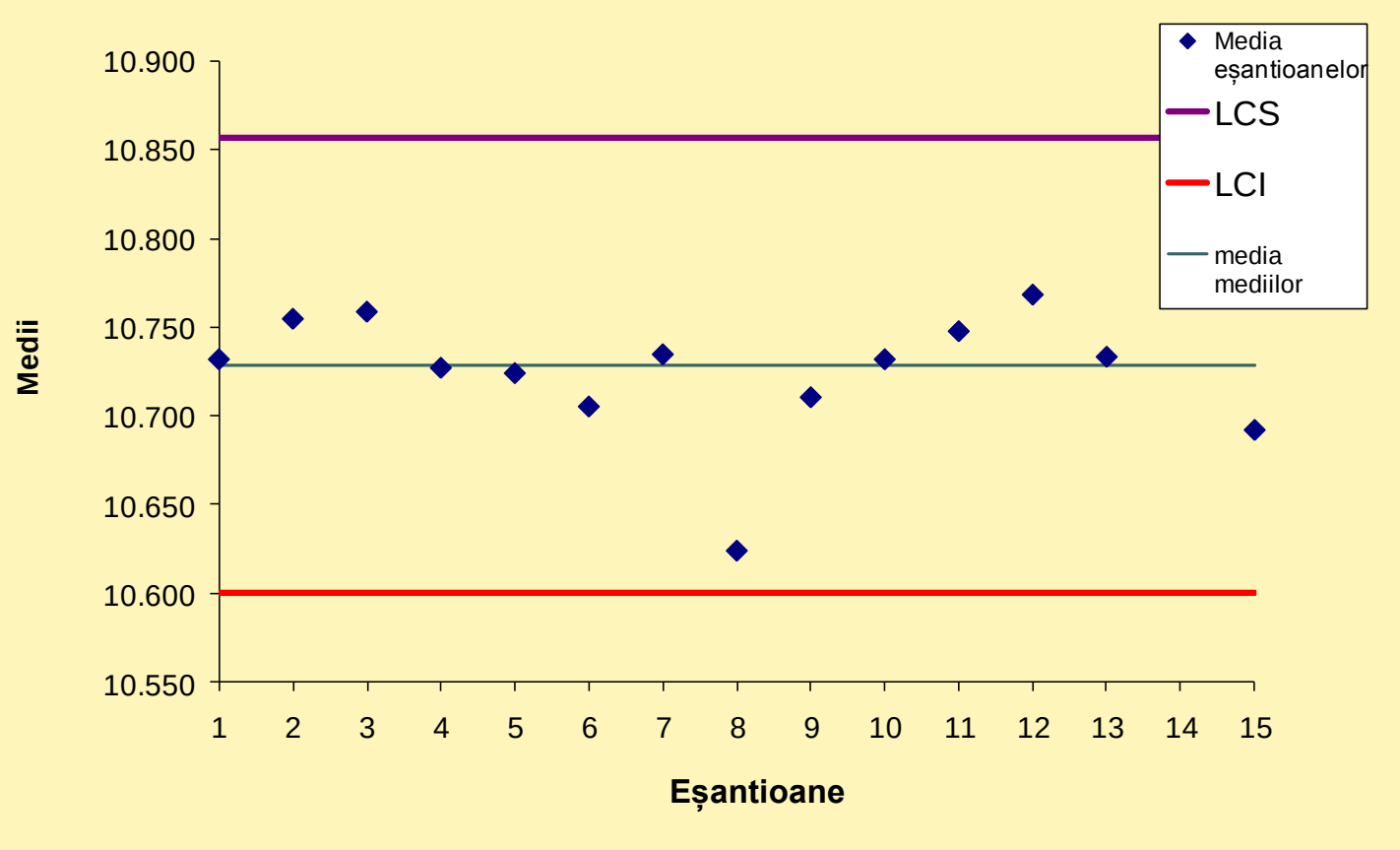
n	A2	D3	D4
2	1,88	0	3,27
3	1,02	0	2,57
4	0,73	0	2,28
5	0,58	0	2,11
6	0,48	0	2.00
7	0,42	0,08	1,92
8	0,37	0,14	1,86
9	0,34	0,18	1,82
10	0,31	0,22	1,78
11	0,29	0,26	1,74

Pasul 3 și 4

- **Calcularea limitelor de control pentru media mediilor și reprezentarea grafică a datelor**

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} = 10,728 + 0,58 \cdot 0,2204 = 10,856$$

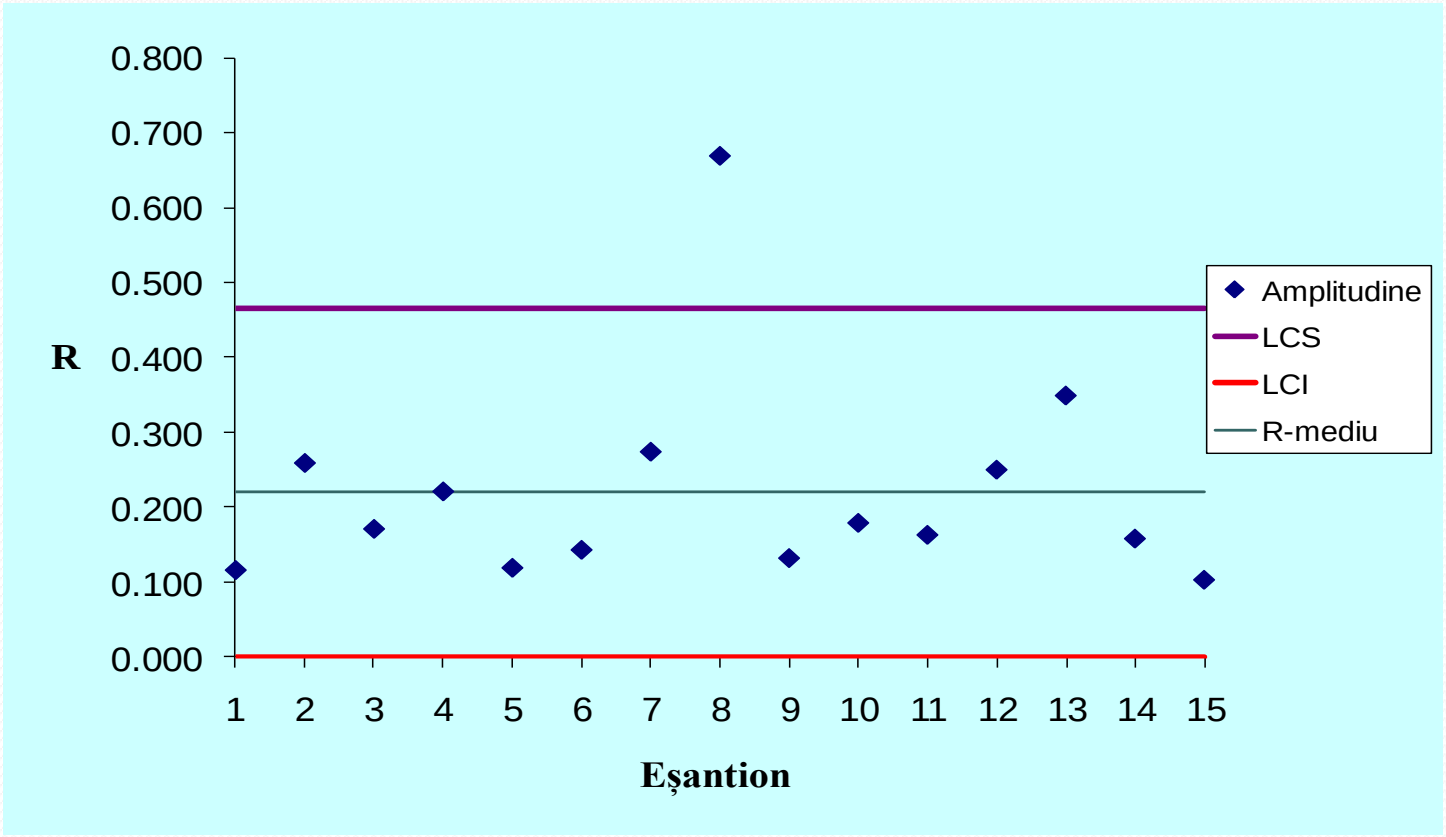
$$LCI_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} = 10,728 - 0,58 \cdot 0,2204 = 10,601$$



Pasul 5 și 6

- **Calcularea limitelor de control pentru amplitudine și reprezentarea grafică a datelor**

$$\begin{cases} LCS_{\bar{R}} = D_4\bar{R} = 2{,}11 \cdot 0{,}2204 = 0{,}46504 \\ LCI_{\bar{R}} = D_3\bar{R} = 0 \cdot 0{,}2204 = 0 \end{cases}$$

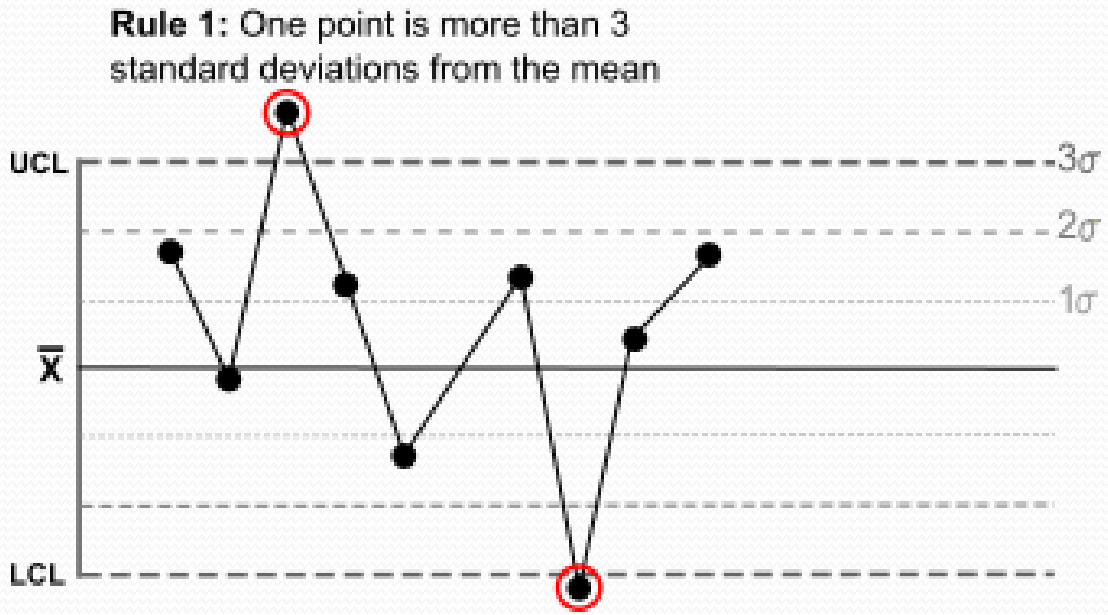


Regulile lui Nelson pentru interpretarea fișelor de control

Regulile lui Lloyd S. Nelson au fost pentru prima oară publicate în Octombrie 1984 într-un articol din Journal of Quality Technology.

Regulile se bazează pe media și abaterea standard a eșantioanelor

Regula 1: Un punct se află la mai mult de 3 abateri standard de medie

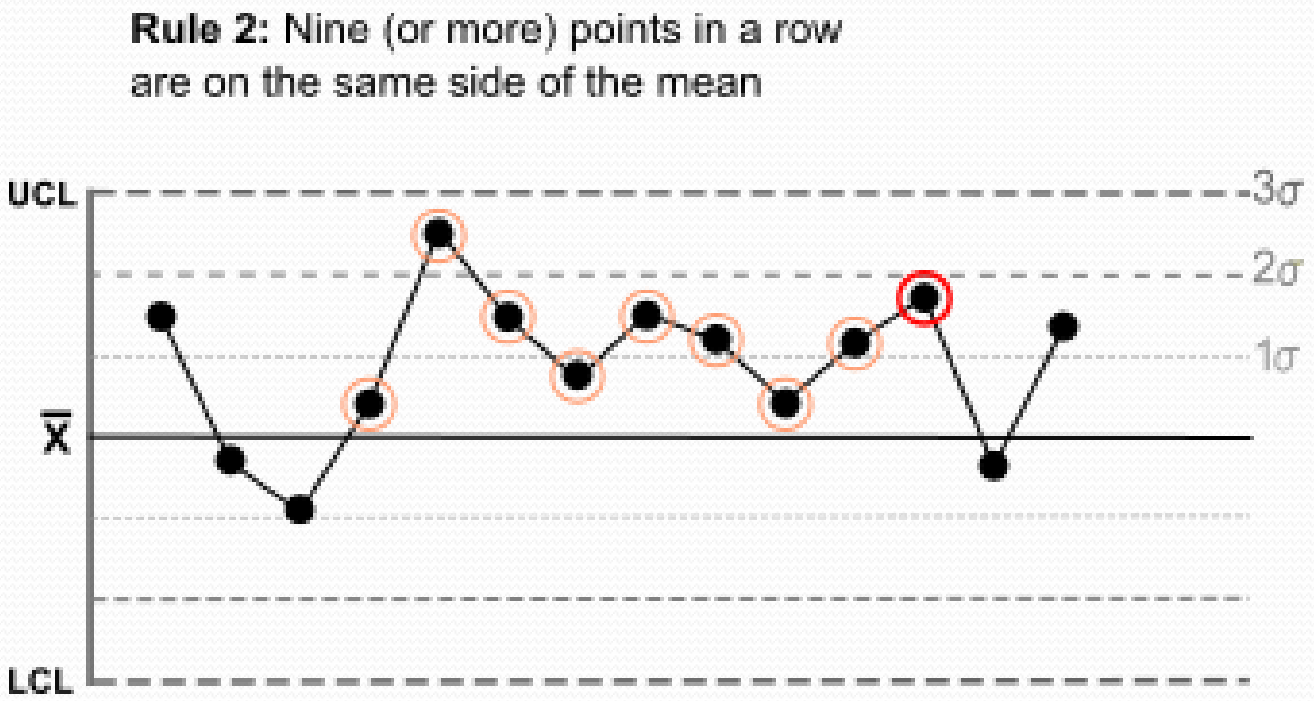


LAI

Problema indicată:

- ✓ Un eșantion (două în acest caz) este ”evident” în afară de control

Regula 2: O serie de 9 (sau mai multe) puncte consecutive sunt de aceeași parte a mediei

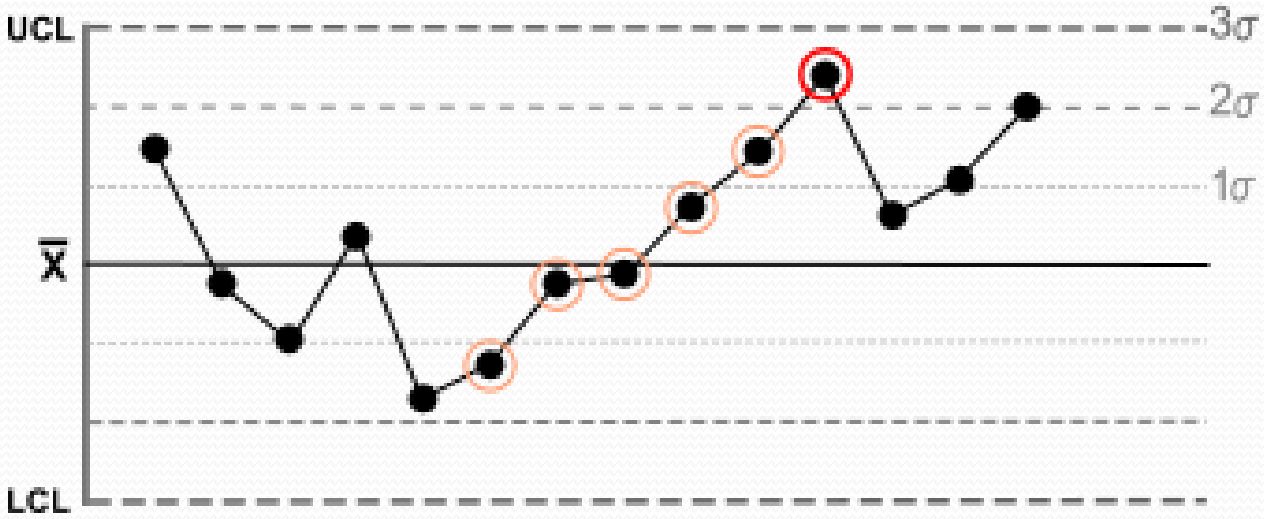


Problema indicată:

- ✓ Există o influență sistemică prelungită

Regula 3: O serie de 6 (sau mai multe) puncte consecutive sunt continuu crescătoare (sau descrescătoare)

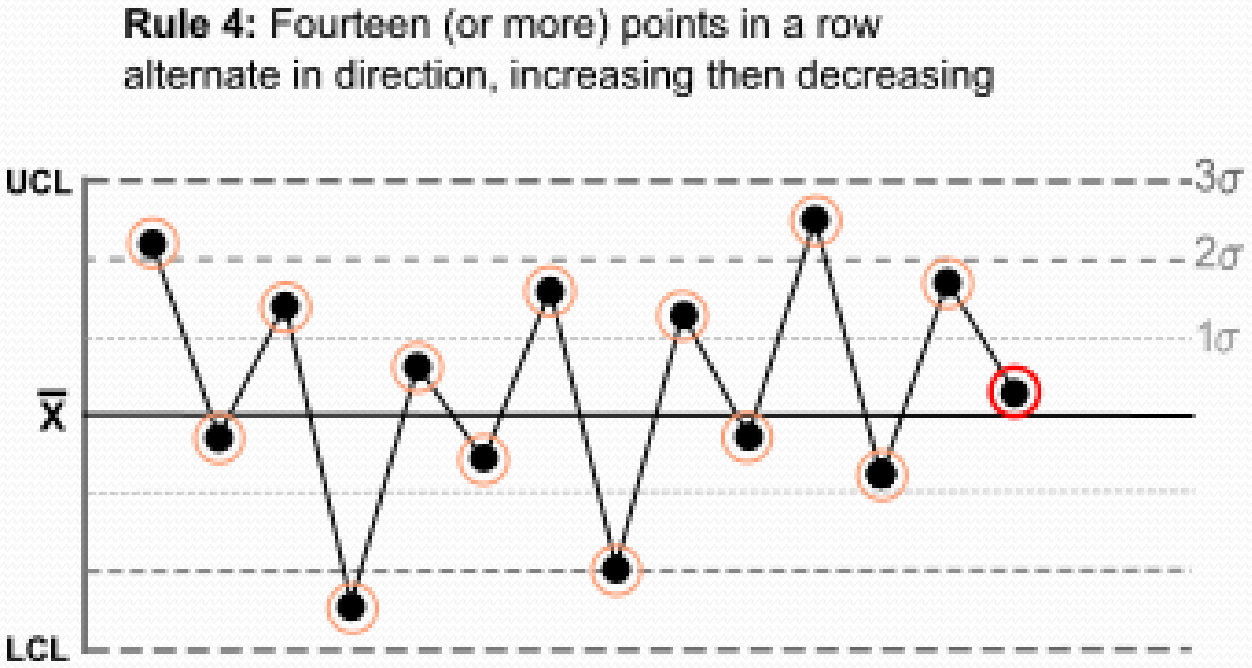
Rule 3: Six (or more) points in a row are continually increasing (or decreasing)



Problema indicată:

- ✓ Există un trend

Regula 4: O serie de 14 (sau mai multe) puncte consecutive alternează în direcție, crescând apoi scăzând

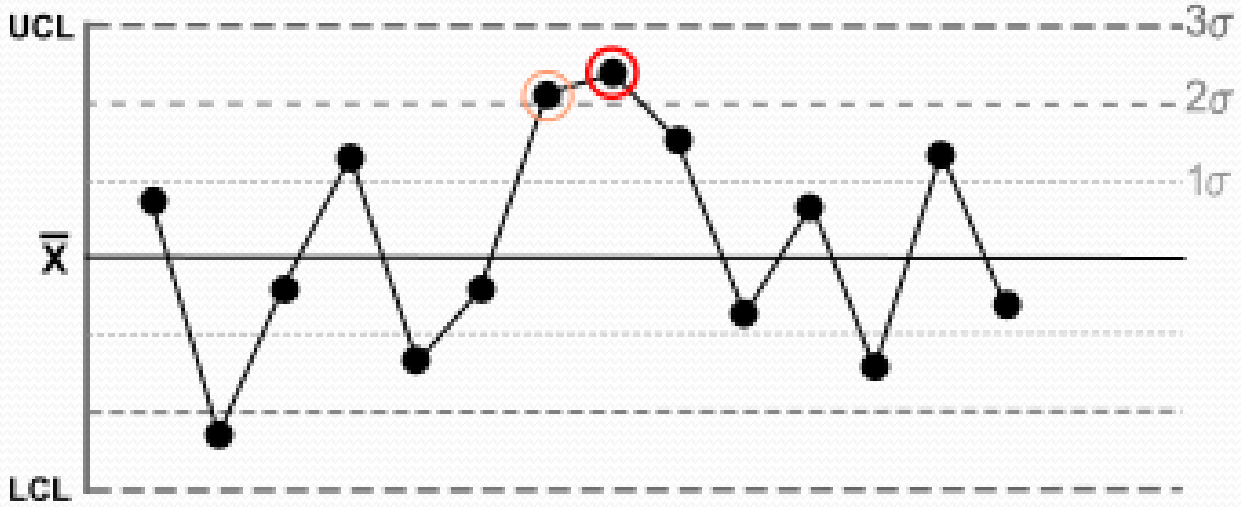


Problema indicată:

- ✓ Această ”oscilație” excede zgomotul. Este direcțională și poziția mediei și mărimea abaterii standard nu afectează regula

Regula 5: 2 (sau 3) din 3 puncte consecutive se află la mai mult de 2 abateri standard de medie în aceeași direcție

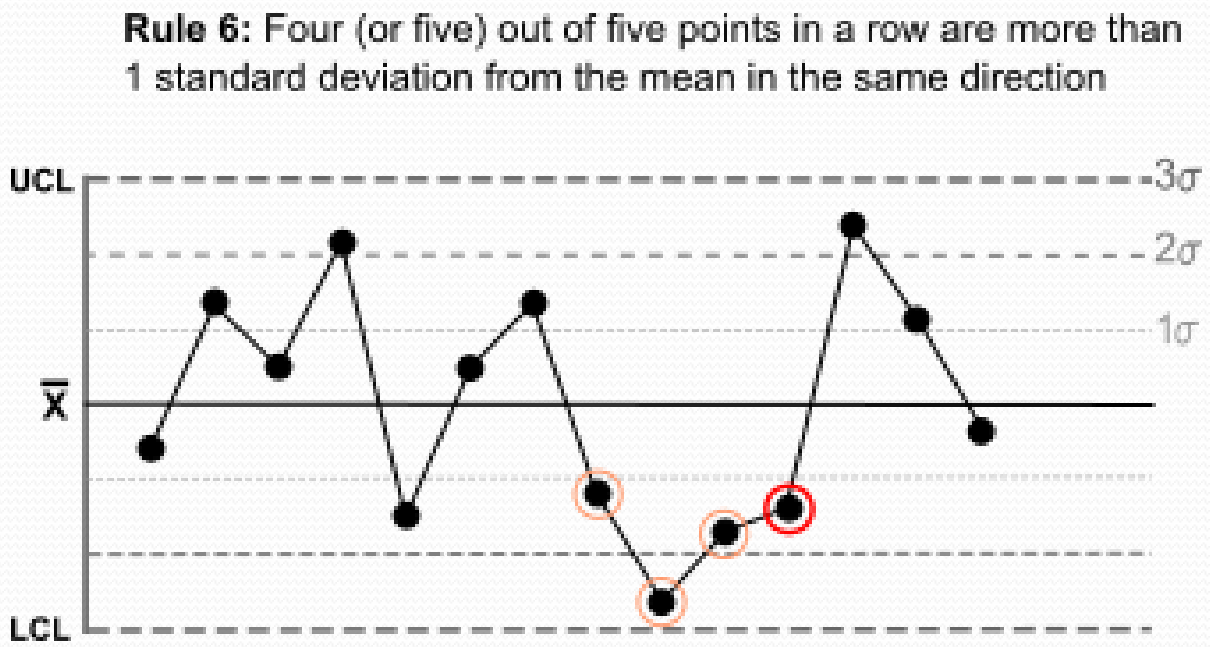
Rule 5: Two (or three) out of three points in a row are more than 2 standard deviations from the mean in the same direction



Problema indicată:

- ✓ Există o tendință ”moderată” a eșantioanelor de a fi ”mediu” în afară de control. Partea mediei pentru al treilea punct este nespecificată

Regula 6: 4 (sau 5) din 5 puncte consecutive se află la mai mult de o abatere standard de la medie în aceeași direcție

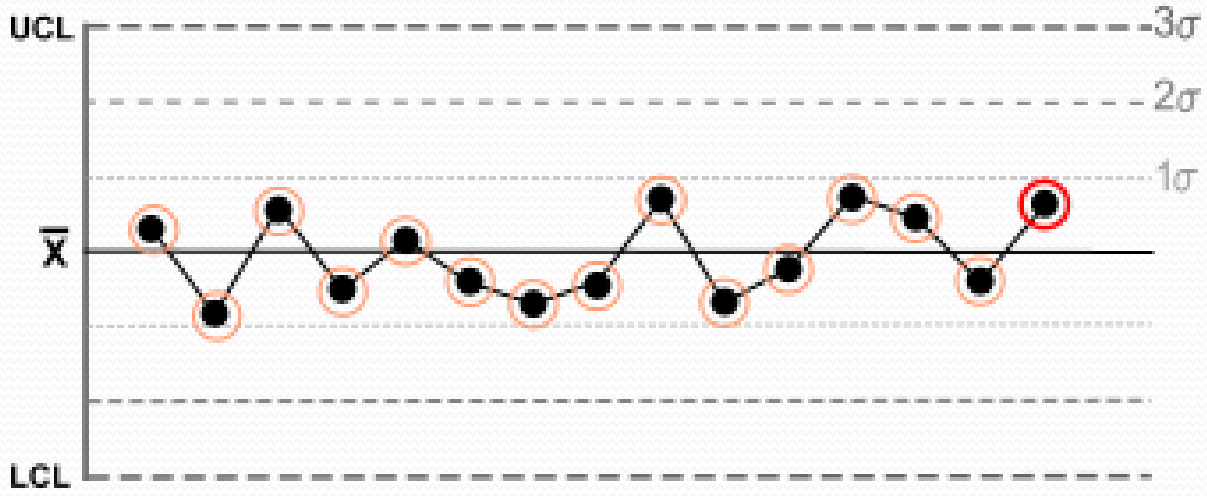


Problema indicată:

- ✓ Există o tendință ”puternică” a eșantioanelor de a fi ”ușor” în afară de control. Partea mediei pentru al cincilea punct nu este nespecificată

Regula 7: 15 puncte consecutive se află în interiorul a o abatere standard de la medie, pe oricare parte a acesteia

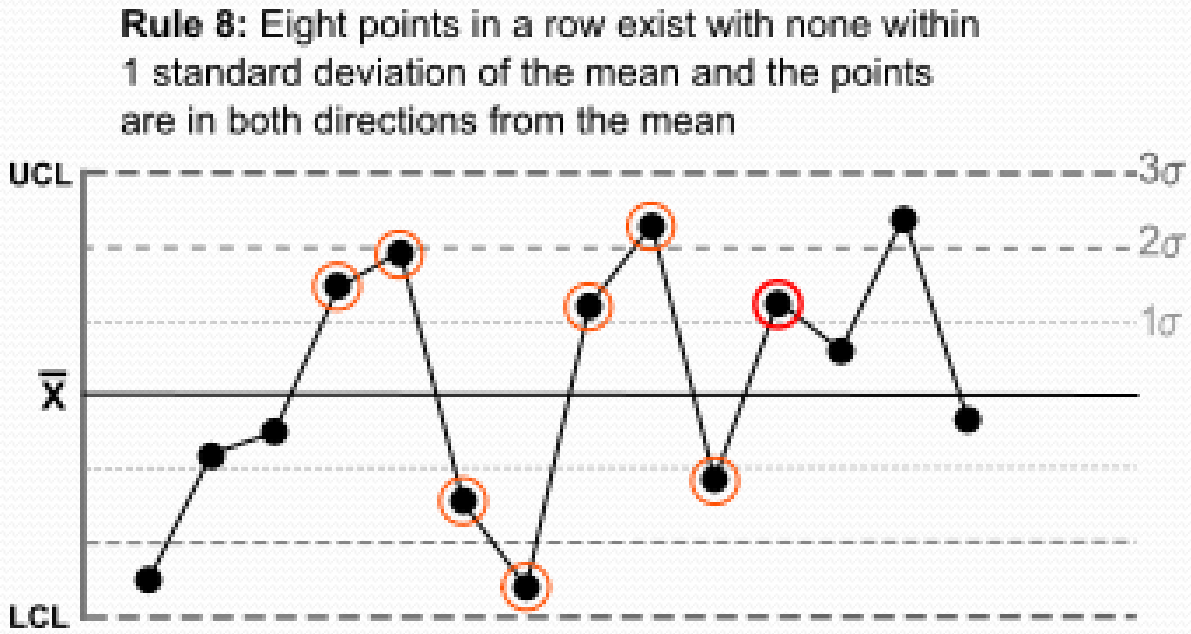
Rule 7: Fifteen points in a row are all within 1 standard deviation of the mean on either side of the mean



Problema indicată:

- ✓ Variație mică relativ la limitele de control

Regula 8: 8 puncte consecutive din care niciunul nu se află în inteiorul interiorul a o abatere standard de la medie și punctele sunt în ambele direcții de la medie



Problema indicată:

- ✓ Salturile de sus în jos (și invers) fără puncte în zona de 1 abatere standard nu sunt de obicei aleatoare

2.2.6.2 Fișa ($\bar{x}$; s)

Această **fișă de control** se utilizează în acele situaţii în care **trebuie asigurată o înaltă eficacitate a controlului,** cum ar fi, de pildă, cazul produselor scumpe sau a acelora a căror defectare ar produce pagube importante.

Datorită calculelor laborioase pe care le impune, **această fişă de control se utilizează atunci când operatorii au la dispoziţie mijloace adecvate de prelucrare a informaţiilor, ceea ce impune şi o înaltă calificare a analiştilor.**

1. Calculul limitelor de control

Estimarea valorilor **mediei aritmetice** și a **abaterii medii pătratice** ale întregului lot de produse

- Se prelevează **25 de eşantioane** cărora li se calculează **mediile aritmetice** şi **abaterile medii pătratice**:

$$\overline{x_i} = \frac{\sum_{j=1}^{n} x_{ij}}{n} \qquad (2.22)$$

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} (x_j - \overline{x_i})^2}{n-1}} \qquad (2.23)$$

Estimatorul **mediei aritmetice** şi **media abaterilor medii pătratice**:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^{k} \bar{x}_i}{k} \qquad (2.24)$$

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^{k} s_i}{k} \qquad (2.25)$$

k = numărul eșantioanelor extrase ($k \geq 25$)

- Pentru diagrama **abaterilor medii pătratice**

$$LCS_{\bar{s}} = \bar{s} + 3 \cdot \frac{\bar{s}}{\sqrt{2 \cdot n - 2,5}} \qquad (2.26)$$

$$LCI_{\bar{s}} = \bar{s} - 3 \cdot \frac{\bar{s}}{\sqrt{2 \cdot n - 2,5}} \qquad (2.27)$$

Dacă se fac notaţiile: $B_4 = 1 + 3 \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot n - 2,5}}$ $B_3 = 1 - 3 \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot n - 2,5}}$

$$\begin{cases} LCS_{\bar{s}} = B_4 \cdot \bar{s} & (2.28) \\ LCI_{\bar{s}} = B_3 \cdot \bar{s} & (2.29) \end{cases}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B_3	-	-	-	-	0,030	0,118	0,185	0,239	0,284
B_4	3,267	2,568	2,266	2,089	1,970	1,882	1,815	1,761	1,716

- Pentru diagrama **mediilor aritmetice**

$$LCS_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + 3 \cdot \frac{\bar{s}}{\sqrt{n - 0,5}} \qquad (2.30)$$

$$LCI_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - 3 \cdot \frac{\bar{s}}{\sqrt{n - 0,5}} \qquad (2.31)$$

Dacă se face notaţia: $A_3 = \dfrac{3}{\sqrt{n - 0,5}}$

$$\begin{cases} LCS_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_3 \cdot \bar{s} & (2.32) \\ LCI_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_3 \cdot \bar{s} & (2.33) \end{cases}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_3	2,659	1,954	1,628	1,427	1,287	1,182	1,099	1,032	0,975

2. Interpretarea fișei de control

Pentru interpretarea acestei fişe se aplică aceleaşi recomandări ca şi în cazul fişei ($\overline{x}$; R).

2.2.6.3 Fișa de control (x_{me} ; R)

- Această **fișă de control** se utilizează atunci ***când se iniţiază controlul statistic într-o întreprindere, personalul acesteia nefiind obişnuit cu metodele statistice de control***.

- Se poate aprecia faptul că **în cazul unei repartiţii normale**, ***mediana şi amplitudinea probei conduc la o estimare mai puţin precisă a reglajului şi a preciziei procesului tehnologic.***

1. Calculul limitelor de control

➢ Calcularea **medianei medii** şi a **amplitudinii medii** ale celor **k = 25 de eşantioane prelevate**

$$\bar{x}_{me} = \frac{\sum_{i=1}^{k} x_{me,i}}{k} \qquad (2.34)$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{k} R_i}{k} \qquad (2.35)$$

- Pentru diagrama **amplitudinilor**

$$\begin{cases} LCS_{\bar{R}} = D_4 \cdot \bar{R} & (2.36) \\ LCI_{\bar{R}} = D_3 \cdot \bar{R} & (2.37) \end{cases}$$

- Pentru diagrama **medianei**

$$\begin{cases} LCS_{me} = \bar{x}_{me} + \tilde{A} \cdot \bar{R} & (2.38) \\ LCS_{me} = \bar{x}_{me} - \tilde{A} \cdot \bar{R} & (2.39) \end{cases}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_3	-	-	-	-	-	0,076	0,136	0,184	0,223
D_4	3,267	2,574	2,282	2,114	2,004	1,924	1,864	1,816	1,777
$\tilde{A}$	1,880	1,187	0,796	0,691	0,548	0,508	0,433	0,412	0,362

2. Interpretarea fișei de control

Pentru interpretarea acestei fişe se aplică aceleaşi recomandări ca şi în cazul **fișelor** prezentate anterior

Concluzii cu privire la utilizarea fișelor de control pe variabile

- ✓ **Se va utiliza întotdeauna acea fişă care este cel mai bine stăpânită de către personalul din întreprindere, chiar dacă, pe moment, ea nu este cea mai potrivită scopului propus.**
- ✓ **În paralel, angajaţii trebuie să fie instruiţi cu privire la modul de aplicare al tuturor instrumentelor de control oferite de statistica matematică, astfel încât, în timp, acest criteriu de selectare să nu mai fie utilizat.**
- ✓ **Se va ţine seama de costul controlului raportat la precizia oferită de o anumită fişă.**
- ✓ **Se va ţine seama de costurile generate de apariţia neconformităţilor. Astfel, în cazul controlării unor produse scumpe, datorită riscurilor ca prin noncalitate să se producă pagube importante, se va utiliza fişa ($\overline{x}$; s).**

B. Fișe de control prin atribute

- **Controlul statistic prin atribute** se aplică în acele situaţii în care **caracteristicile de calitate sunt greu sau chiar imposibil de măsurat**.
- În urma acestui tip de control, **informaţiile obţinute sunt sumare şi mai puţin relevante decât în cazul controlului pe variabile**.
- **Mărirea gradului de siguranţă în adoptarea deciziilor impune în acest caz, ca numărul pieselor dintr-un eşantion să fie mai mare** (**n = 20 - 200 de bucăţi**), numai astfel putându-se sesiza variaţiile apărute în derularea unui proces productiv.
- **Principalul dezavantaj** al **fişelor de control prin atribute** îl constituie ***lipsa de obiectivitate a informaţiilor obţinute***.
- Această concluzie rezultă din faptul că **măsura conformităţii unui produs este dată de către raţionamentul, logica unui operator uman**.
- Se ştie însă că **această judecată variază de la o persoană la alta sau poate să difere, pentru acelaşi individ, de la un moment la altul**.

Tipuri de fișe de control prin atribute

Fişe care contabilizează *numărul pieselor defecte*	fişa **"p"**, pentru proporția de piese neconforme
	fişa **"np"**, pentru numărul pieselor neconforme
Fişe care țin evidența *numărului defectelor pieselor*	fişa **"u"**, pentru numărul defectelor pe unitatea de produs
	fişa **"c"**, pentru numărul defectelor dintr-un eşantion

	Defecte	Defective
Eșantion variabil	Fișă – ”u”	Fișă – ”p”
Eșantion constant	Fișă – ”c”	Fișă – ”np”

2.2.6.4 Fișa ”p”

- Este **cea mai utilizată fişă de control prin atribute**, cu ajutorul ei determinându-se **proporţia pieselor care nu respectă specificaţiile**.

- Se poate defini **proporţia pieselor neconforme** ca fiind raportul dintre numărul pieselor cu defecte identificate într-o probă şi efectivul acesteia.

- **Proporţia pieselor neconforme** reprezintă ***o mărime adimensională*** care are avantajul că poate fi comparată, în timp, pentru un acelaşi loc de muncă sau între locuri de muncă diferite.

1. Stabilirea mărimii eşantionului și a frecvenței de extragere a probelor

- Numărul pieselor care alcătuiesc un **eşantion** trebuie să fie mare (cuprins între **50** şi **200**).

- Datorită faptului că **proporţia neconformităţilor** este ***o mărime adimensională***, concluzia care se impune este aceea că efectivul probelor **nu** trebuie să se menţină constant în timp.

2. Culegerea și înregistrarea datelor

- Pentru fiecare **eşantion** prelevat se determină următoarele mărimi:
  - ✓ **efectivul eşantionului: n_i;**
  - ✓ **numărul pieselor neconforme** descoperite în acel eşantion: **$(np)_i$**;
- Cu ajutorul acestor mărimi se calculează **fracţiunea defectivă a probei**, cu relaţia (2.40):

$$p_i = \frac{(np)_i}{n_i} \qquad (2.40)$$

3. Calculul limitelor de control

- Se prelevează un număr de **k eşantioane (k ≥ 20)** cărora li se determină **fracţiunea defectivă p_i**.
- **se determină estimatorul fracţiunii defective a întregului lot (media = linia centrală - CL)**:

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^{k} p_i}{k} = \frac{\sum_{i=1}^{k} (np)_i}{\sum_{i=1} n_i} = CL \qquad (2.41)$$

Calculul limitelor de control

$$LCS_{\bar{p}} = \bar{p} + 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{n_i}} \qquad (2.42)$$

$$LCI_{\bar{p}} = \bar{p} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{n_i}} \qquad (2.43)$$

- O alternativă de aproximare pentru calculul limitelor de control este să se utilizeze valoarea medie $\bar{n}$ a eșantioanelor n_i.
- Aproximarea se consideră satisfăcătoare în cazul în care n_i nu variază față de $\bar{n}$ cu mai mult de 25% din $\bar{n}$
- Odată trasată fișa de control, orice punct aflat aproape sau în afara limitelor poate fi verificat recalculând limitele folosind n_i.

Calculul limitelor de control (aproximare)

$$LCS_{\bar{p}} = \bar{p} + 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{\bar{n}}} \qquad (2.42a)$$

$$LCI_{\bar{p}} = \bar{p} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{\bar{n}}} \qquad (2.43a)$$

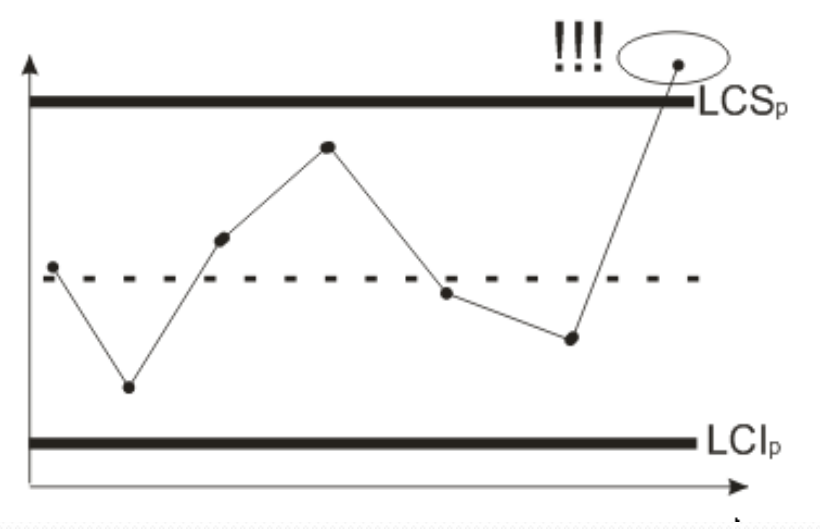
unde $$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i}{k} \qquad (2.44)$$

4. Interpretarea fișei ”p”

1. Un punct în afara limitelor de control

Cauze posibile:

- ✓ **o eroare de calcul a limitelor de control;**
- ✓ **o poziţionare greşită a punctului analizat;**
- ✓ **diferenţe mari între efectivele eşantioanelor, punctul situat în afara limitelor aparţinând, de regulă, unor probe de volum redus;**
- ✓ **o deteriorare a performanţelor procedeului;**
- ✓ **înăsprirea criteriilor de conformitate impuse.**



Observație:

- În situaţiile în care ***limita de control inferioară este nenulă***, **un punct amplasat sub aceasta** poate să apară datorită uneia din următoarele ***cauze***:

✓ **o eroare de calcul;**

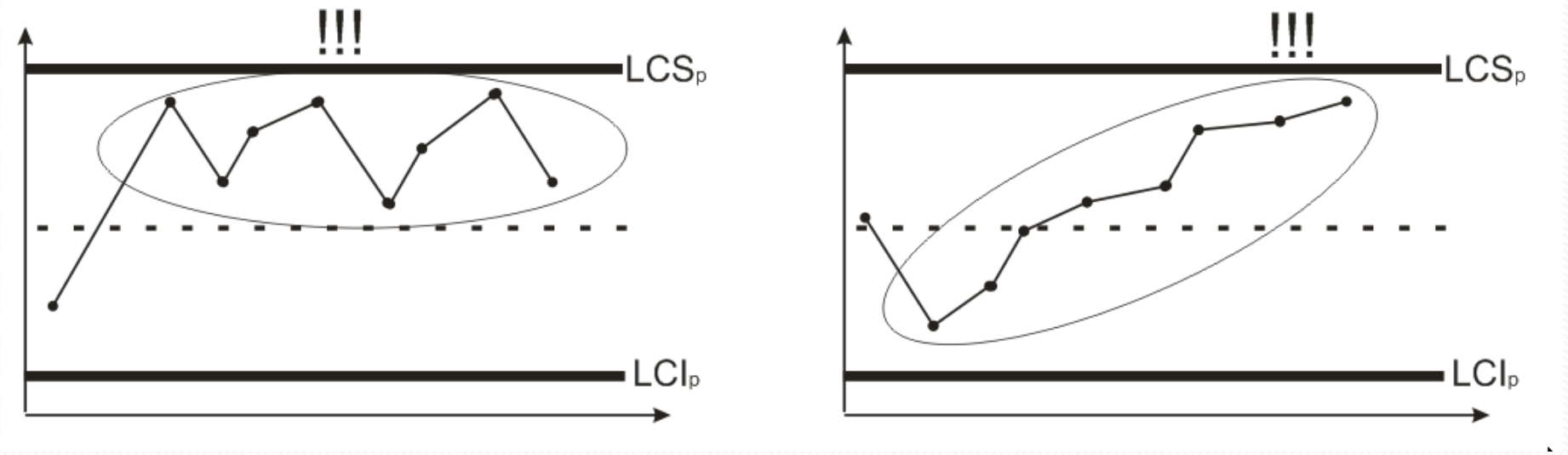
✓ **o îmbunătăţire reală a procesului productiv;**

✓ **o modificare a metodei de apreciere a caracteristicii de calitate.**

2. O serie de 8 puncte consecutive se află deasupra liniei mediane sau 7 intervale succesive sunt crescătoare.

Cauze posibile:

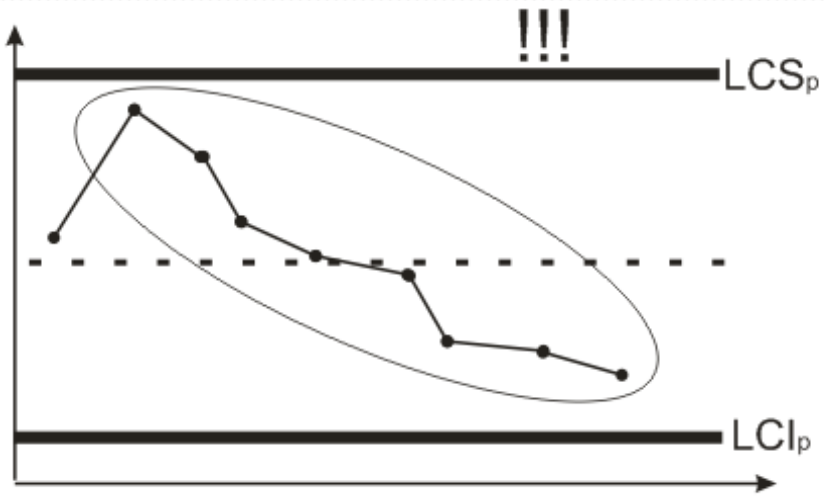
- ✓ **se prefigurează o deteriorare a performanţelor procesului productiv;**
- ✓ **se constată o uzare a sculei;**
- ✓ **materia primă nu mai îndeplineşte condiţiile cerute de specificaţii;**
- ✓ **se înregistrează o schimbare a modalităţii de control.**

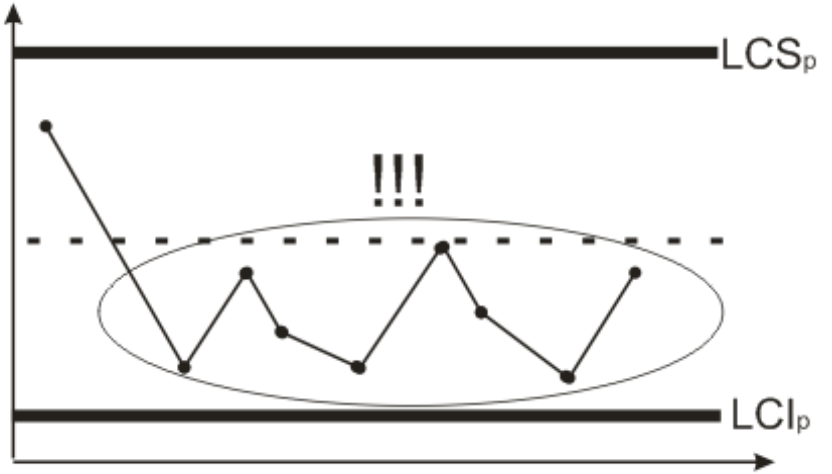


3. O serie de 8 puncte consecutive se află sub linia centrală sau 7 intervale succesive sunt descrescătoare.

Cauze posibile:

- ✓ **îmbunătăţirea procesului productiv;**
- ✓ **lipsa experienţei controlorului;**
- ✓ **o relaxare a cerinţelor privind calitatea produsului.**

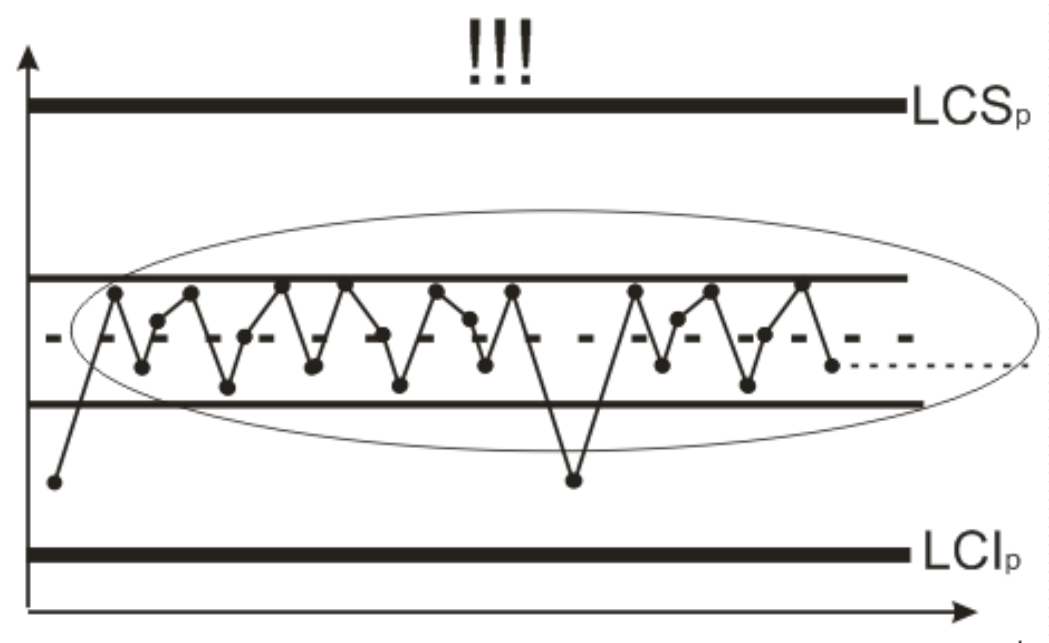




4. **O grupare a mai multor puncte în jurul liniei centrale a diagramei (2/3 din punctele diagramei se găsesc în treimea centrală a acesteia)**

Cauze posibile:

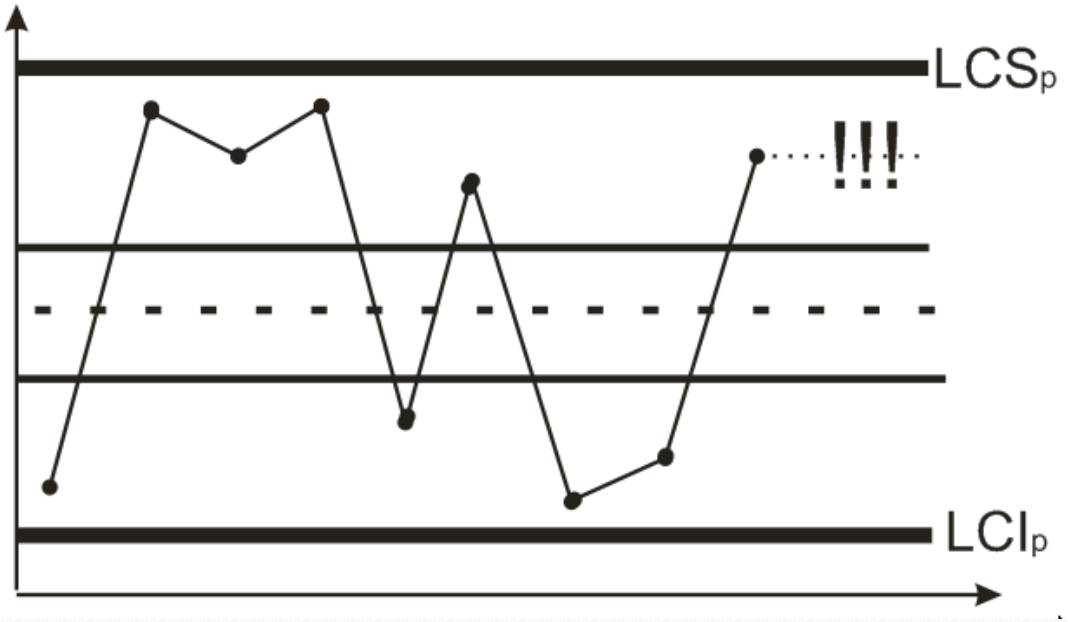
- ✓ **o eroare de calcul a fracţiunii defective;**
- ✓ **o eroare de determinare a limitelor de control;**
- ✓ **efectuarea unor preselectări ale pieselor, înainte ca acestea să fie verificate.**



5. **Gruparea valorilor către limitele de control (mai puţin de 1/3 din punctele diagramei se găsesc în treimea centrală)**

Cauze posibile:

- ✓ **erori de calcul;**
- ✓ **o eşantionare neîntâmplătoare;**
- ✓ **variaţii mari ale efectivelor probelor.**



Exemplu:

- **Fișa ”p”** se folosește atunci când se reprezintă grafic:
  1) **Defective**
  2) **Sunt satisfăcute ipotezele distribuției Binomiale (vezi pg.562)**
  3) **Eșantionul este variabil (se pot reprezenta și eșantioane constante**
- Fiecare observație este independentă.
- Scopul este să se determine limitele de control (LCS și LCI) și să se determine performanța în timp a procesului.
- Această fișă prezintă **proporția de unități defective într-un eșantion variabil sau constant**.

- Fiecare eșantion trebuie să aibă o mărime astfel încât să conțină **cel puțin un defect**.

- **Dacă nivelul defectiv este redus**, (**mărimea eșantionului x procentul mediu de defective < 5**) atunci se aplică limitele exacte ale distribuției binomiale.

- **Nu trebuie folosită fișa atunci când un singur defect scoate procesul din control**.

- Fișa se folosește în mod normal **pentru a detecta deplasări > 1,5 σ**.

- **Pentru a detecta deplasări mai mici sau mai rapide** se folosesc alte fișe de control ce pot fi aplicate la date variabile sau atributive ca de exemplu **Exponentially Weighted Moving Average (EWMA)** sau **Cumulative Sum of Quality Characteristic Measurement (CUSUM)**.

- **Aceasta este cea mai sensibilă fișă de control prin atribute**.

Run	Units Produced (Subgroup Size)	Number of DEFECTIVE units	Proportion Defective	UCL	LCL
1	42	5			
2	87	9			
3	53	6			
4	70	10			
5	101	13			
6	91	13			
7	36	4			
8	83	11			
9	64	7			
10	53	6			
11	83	10			
12	93	13			
13	78	11			
14	41	5			
15	84	11			
16	78	8			
17	91	10			
18	69	7			
19	36	4			
20	48	5			
21	98	11			
22	80	9			
23	74	8			
24	60	8			
25	87	9			
Total	**1780**	**213**			

?

Average proportion defective (p-bar = CL) ? CL = Centerline

P-bar is the average percent of defective units per group/lot/subgroup size

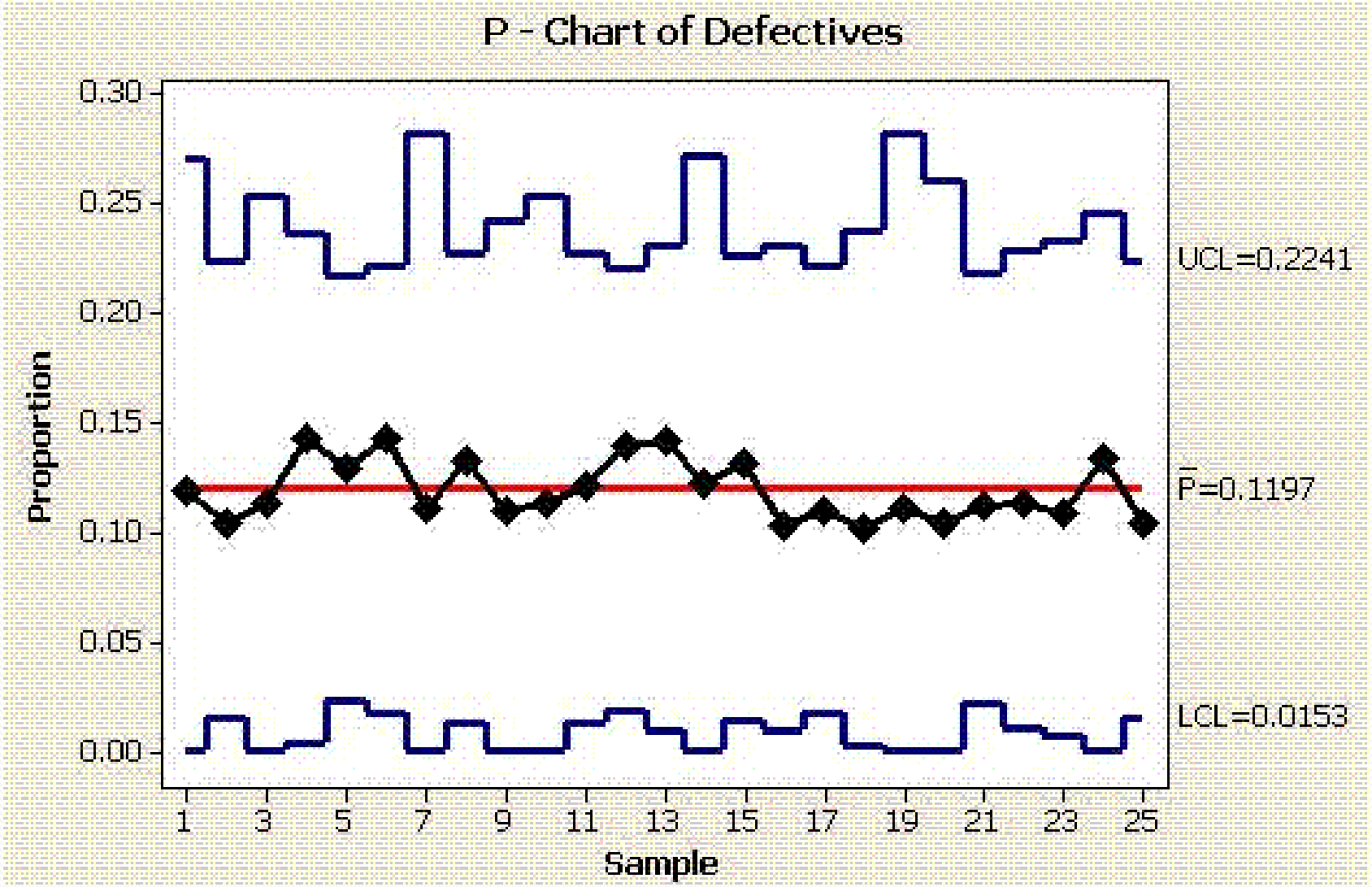
Notes: It is not possible to have more defective units than units produced.

LCL always > 0

UCL always < 1.0

Run	Units Produced (Subgroup Size)	Number of DEFECTIVE units	Proportion Defective	UCL	LCL
1	42	5	0.1190	0.2699	0.0000
2	87	9	0.1034	0.2241	0.0153
3	53	6	0.1132	0.2534	0.0000
4	70	10	0.1429	0.2360	0.0033
5	101	13	0.1287	0.2165	0.0228
6	91	13	0.1429	0.2217	0.0176
7	36	4	0.1111	0.2819	0.0000
8	83	11	0.1325	0.2265	0.0128
9	64	7	0.1094	0.2414	0.0000
10	53	6	0.1132	0.2534	0.0000
11	83	10	0.1205	0.2265	0.0128
12	93	13	0.1398	0.2206	0.0187
13	78	11	0.1410	0.2299	0.0094
14	41	5	0.1220	0.2717	0.0000
15	84	11	0.1310	0.2259	0.0134
16	78	8	0.1026	0.2299	0.0094
17	91	10	0.1099	0.2217	0.0176
18	69	7	0.1014	0.2369	0.0024
19	36	4	0.1111	0.2819	0.0000
20	48	5	0.1042	0.2602	0.0000
21	98	11	0.1122	0.2180	0.0213
22	80	9	0.1125	0.2285	0.0108
23	74	8	0.1081	0.2329	0.0065
24	60	8	0.1333	0.2454	0.0000
25	87	9	0.1034	0.2241	0.0153
Total	**1780**	**213**			

Average proportion defective (p-bar = CL)	**0.1197**	CL = Centerline
P-bar is the average percent of defective units per group/lot/subgroup size		
Notes: It is not possible to have more defective units than units produced.		
LCL always > 0		
UCL always < 1.0		


P - Chart of Defectives
Proportion
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
UCL=0.2241
$\bar{P}$=0.1197
LCL=0.0153
1
3
5
7
9
11
13
15
17
19
21
23
25
Sample

2.2.6.5 Fișa ”np”

- Reprezintă ***o variantă a fişei ”p”*** şi se poate utiliza în cazurile în care **efectivele eşantioanelor prelevate sunt constante.**

- ***Fişa ”np”*** se aplică cu precădere la acele procese productive care, prin însăşi tehnologia aplicată, realizează grupuri de piese cu efective egale.

- De exemplu, la fabricarea hârtiei, în finalul procesului, colile format A4 sunt grupate în topuri de câte 500 de bucăţi.

- La anumite intervale de timp se extrage un pachet care este supus verificării.

1. Calculul limitelor de control

- **determinarea numărului mediu de piese neconforme descoperite în *k* eşantioane succesiv extrase (*k* = 20 - 25)**

$$\overline{np} = \frac{\sum_{i=1}^{k} (np)_i}{k} \qquad (2.45)$$

- **determinarea liniei centrale - CL**

$$CL = \overline{np} = n \cdot \bar{p} = n \cdot \frac{\sum_{i=1}^{k} (np)_i}{\sum_{i=1}^{k} n_i} \qquad (2.46)$$

unde "n" este volumul eșantionului (constant)

Calculul limitelor de control

$$LCS_{\overline{np}} = \overline{np} + 3 \cdot \sqrt{\overline{np} \cdot (1 - \frac{\overline{np}}{n})} \qquad (2.47)$$

$$LCI_{\overline{np}} = \overline{np} - 3 \cdot \sqrt{\overline{np} \cdot (1 - \frac{\overline{np}}{n})} \qquad (2.48)$$

1. Interpretarea fișei ”np”

Regulile de interpretare ale ***fişei ”np”*** sunt în totalitate identice cu cele aferente ***fişei ”p”***, cauzele generatoare ale instabilităţii procesului fiind aceleaşi.

Exemplu:

- **Fișa ”np”** se folosește atunci când se reprezintă grafic:
  - **1) Defective**
  - **2) Sunt satisfăcute ipotezele distribuției Binomiale (vezi pg.562)**
  - **3) Eșantionul este constant (mărime constantă a subgrupurilor)**
- Fiecare observație este independentă.
- Scopul este să se determine limitele de control (LCS și LCI) și să se determine performanța în timp a procesului.
- Această fișă prezintă **numărul de unități (piese) defective**.
- Fiecare unitate (piesă) poate avea **unul sau mai multe defecte care o fac defectivă**.

- Mărimea constantă a subgrupurilor (eșantionului) **permite valori constante pentru limitele de control**, ***nemaifiind necesară recalcularea limitelor de control pentru fiecare subgrup (eșantion).***

- **Dacă nivelul defectiv este redus**, (**mărimea eșantionului X procentul mediu de defective < 5**) atunci se aplică limitele exacte ale distribuției binomiale.

- Fișa se folosește în mod normal **pentru a detecta deplasări > 1,5 σ**.

- **Pentru a detecta deplasări mai mici sau mai rapide** se folosesc alte fișe de control ce pot fi aplicate la date variabile sau atributive ca de exemplu **Exponentially Weighted Moving Average (EWMA)** sau **Cumulative Sum of Quality Characteristic Measurement (CUSUM)**.

Run	Units Produced (Subgroup Size = constant)	Number of DEFECTIVE units	Proportion Defective
1	42	10	
2	42	9	
3	42	10	
4	42	14	
5	42	4	
6	42	11	
7	42	9	
8	42	8	
9	42	12	
10	42	12	
11	42	9	
12	42	14	?
13	42	8	
14	42	9	
15	42	11	
16	42	8	
17	42	13	
18	42	5	
19	42	10	
20	42	9	
21	42	12	
22	42	10	
23	42	8	
24	42	13	
25	42	11	
Total	**1050**	**249**	

P-bar = 249 / 1,050 =	?
Constant Sample Size (n) =	
Centerline (CL) = (n * P-bar) =	
UCL (Upper Control Limit)	
LCL (Lower Control Limit)	

NOTES: It is not possible to have more defective units than units produced.

P-bar is the average percent of defective units per group/lot/sample size

Constant lot (group) size.

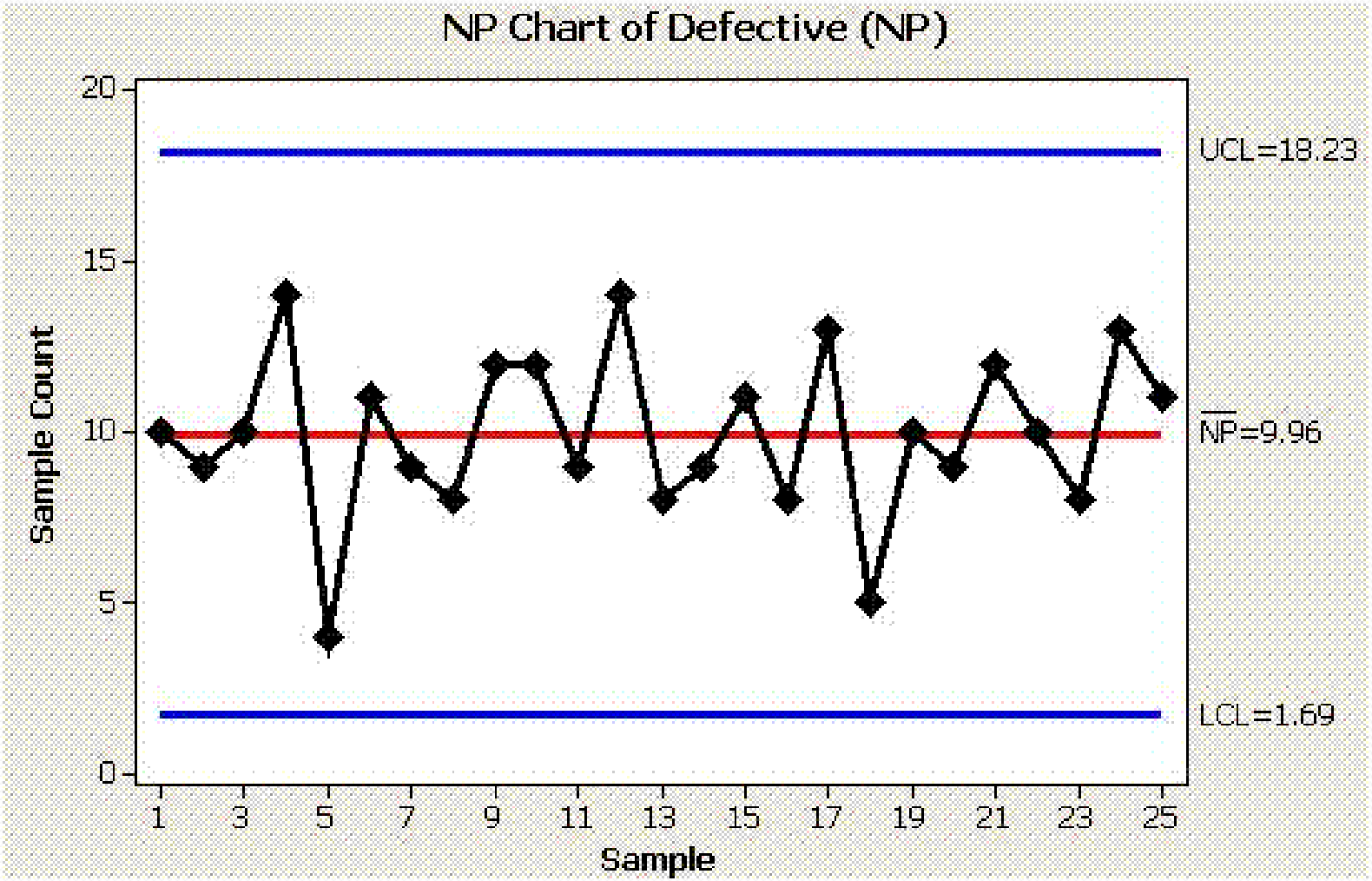
Run	Units Produced (Subgroup Size = constant)	Number of DEFECTIVE units	Proportion Defective
1	42	10	0.238
2	42	9	0.214
3	42	10	0.238
4	42	14	0.333
5	42	4	0.095
6	42	11	0.262
7	42	9	0.214
8	42	8	0.190
9	42	12	0.286
10	42	12	0.286
11	42	9	0.214
12	42	14	0.333
13	42	8	0.190
14	42	9	0.214
15	42	11	0.262
16	42	8	0.190
17	42	13	0.310
18	42	5	0.119
19	42	10	0.238
20	42	9	0.214
21	42	12	0.286
22	42	10	0.238
23	42	8	0.190
24	42	13	0.310
25	42	11	0.262
Total	**1050**	**249**	

P-bar = 249 / 1,050 =	**0.2371**
Constant Sample Size (n) =	**42**
Centerline (CL) = (n * P-bar) =	**9.96**
UCL (Upper Control Limit)	**18.229**
LCL (Lower Control Limit)	**1.691**

NOTES: It is not possible to have more defective units than units produced.

P-bar is the average percent of defective units per group/lot/sample size

Constant lot (group) size.


NP Chart of Defective (NP)
Sample Count
Sample
UCL=18.23
$\overline{NP}$=9.96
LCL=1.69
0
5
10
15
20
1
3
5
7
9
11
13
15
17
19
21
23
25

2.2.6.6 Fișa ”c”

Fişele ”c” şi ***fișele ”u”*** fac parte din categoria acelor instrumente puse la dispoziţie de către statistica matematică cu ajutorul cărora se poate analiza ***numărul defectelor*** care afectează o unitate de produs sau mai multe piese ale unui eşantion.

Defect = nerespectarea de către un produs a specificaţiilor impuse uneia din caracteristicile de calitate care îl definesc, cu alte cuvinte, orice abatere de la calitatea prescrisă (o pată pe o suprafaţă de hârtie, o discontinuitate a unui cordon de sudură, o bulă de aer într-un obiect de sticlă etc).

Defectivul este definit ca reprezentând acel produs care are înglobate în el unul sau mai multe defecte.

Defecte critice = acele neconformităţi care pot conduce la lipsă de securitate sau la riscuri de accidentare a utilizatorilor. Defecte critice sunt şi acelea care împiedică îndeplinirea funcţiei pentru care a fost creat un produs.

Defecte majore, care, fără să fie critice, pot provoca un dereglaj sau reduc în mod substanţial posibilitatea de utilizare a produsului respectiv;

Defecte minore, care, comparativ cu specificaţiile prescrise, constituie abateri ce afectează doar într-o mică măsură funcţionarea sau utilizarea unui produs.

Defect critic la sistemul de frânare

Defect major la sistemul de propulsie

Defect minor la ştergător

- Fiecare din cele trei tipuri de defecte se poate împărţi în subclase (de exemplu: **defecte majore de tipul A** şi **de tipul B**).

- Se recomandă însă ca la analizarea unui produs, numărul total al claselor şi subclaselor să fie de ***maximum patru***.

Defective critice, adică acele produse care înglobează ***unul sau mai multe defecte critice***, fără ca prin aceasta să se excludă prezenţa celorlalte tipuri de defecte (majore şi/sau minore);

Defective majore sau produsele care cuprind ***cel puţin un defect major***, neexcluzându-se prezenţa şi a unora minore;

Defective minore, adică acele unităţi de produs care ***includ unul sau mai multe defecte minore***.

Datorită faptului că cele trei categorii de defecte care pot afecta un produs diferă ca importanţă, la întocmirea ***fişelor "c"*** şi ***fișelor "u"*** trebuie să se ţină cont de acest lucru.

Astfel, atunci când se însumează numărul defectelor aferente unui produs sau unui eşantion, fiecărei clase de defecte i se asociază un **coeficient de pondere**, după cum urmează:

- pentru **defectele critice**, coeficientul **A**;
- pentru **defectele majore**, coeficientul **B**;
- pentru **defectele minore**, coeficientul **C**.

A > B > C

Fişa de control "c" are ca scop **determinarea stabilităţii unui proces tehnologic prin contabilizarea numărului de defecte care afectează produsele unui eşantion**.

Principalele etape care trebuie să fie parcurse pentru întocmirea fişei sunt următoarele:

1. Culegerea datelor;

2. Calculul limitelor de control;

3. Interpretarea fişei.

1. Culegerea datelor

- Se prelevează circa **25 de eşantioane de efectiv constant,** constituite dintr-una sau mai multe unităţi de produs.

- De obicei, mărimea eşantionului se alege astfel încât **numărul mediu al defectelor descoperite să fie de minimum două**.

- Pentru obţinerea unei ***sensibilităţi mai ridicate*** a controlului se recomandă ca **efectivele probelor să fie cât mai mari,** astfel încât **numărul defectelor să fie şi el crescut.**

2. Calculul limitelor de control

- **numărul mediu de defecte care sunt descoperite în toate cele k eşantioane prelevate:**

$$\overline{DPU} = \frac{\sum_{i=1}^{k} c_i}{n \cdot k} = \qquad (2.49)$$

- **determinarea liniei centrale - CL**

$$CL = n \cdot \overline{DPU} = n \cdot \frac{\sum_{i=1}^{k} c_i}{n \cdot k} = \frac{\sum_{i=1}^{k} c_i}{k} = \bar{c} \qquad (2.50)$$

unde ”n” este volumul eșantionului (constant)

Calculul limitelor de control

$$LCS_{\bar{c}} = \bar{c} + 3 \cdot \sqrt{\bar{c}} \qquad (2.51)$$

$$LCI_{\bar{c}} = \bar{c} - 3 \cdot \sqrt{\bar{c}} \qquad (2.52)$$

3. Interpretarea fişei

- ✓ **Dacă un punct se află deasupra limitei superioare de control**, **procesul tehnologic analizat este instabil**, ***produsele fabricate după penultimul control trebuind să fie îndepărtate de la maşină***.
  - ➢ ***Dacă este posibil acestor produse li se face un control bucată cu bucată, în caz contrar ele fiind declarate rebuturi.***
- ✓ **În cazul în care punctul care reprezintă numărul de defecte se află sub limita inferioară de control**, **procesul tehnologic este, de asemenea, instabil**.
  - ➢ ***Întreaga producţie realizată de la penultimul control este considerată, în acest caz, ca fiind corespunzătoare***
- ✓ **Dacă toate punctele de pe fişă se află între limitele de control, procesul tehnologic este, în general, declarat stabil, putând însă să existe *anumite situaţii pentru care se impune acceptarea stării de instabilitate*.**

Exemplu:

- **Fișa ”c”** se folosește atunci când se reprezintă grafic:
  - **1) Defecte**
  - **2) Sunt satisfăcute ipotezele distribuției Poisson (vezi pg. 571)**
  - **3) Eșantionul este constant (mărime constantă a subgrupurilor)**
- Fiecare observație este independentă.
- Scopul este să se determine limitele de control (LCS și LCI) și să se determine performanța în timp a procesului.
- Această fișă prezintă **numărul de defecte din eșantioane**.

- **Dacă nivelul defectelor este scăzut** atunci se aplică limitele exacte ale distribuției Poisson, DPU < 1,5 (Defecte/Unitate).

- Fișa se folosește în mod normal **pentru a detecta deplasări > 1,5 σ**.

- **Pentru a detecta deplasări mai mici sau mai rapide** se folosesc alte fișe de control ce pot fi aplicate la date variabile sau atributive ca de exemplu **Exponentially Weighted Moving Average (EWMA)** sau **Cumulative Sum of Quality Characteristic Measurement (CUSUM)**.

- Se prezintă în continuare datele obținute din **25 de eșantioane de mărime constantă**.

- În toate eșantioanele au fost **inspectate 12 unități**. În primul eșantion au fost găsite **10 defecte**, dar aceasta nu spune că toate cele 10 defecte au fost găsite la o unitate sau în ce cantitate, spune simplu că au fost în total 10 defecte găsite la cele 12 unități din eșantionul 1.

Run	Units Produced (Subgroup Size = constant)	Number of DEFECTS	Defect/Unit (DPU)
1	12	10	
2	12	9	
3	12	10	
4	12	14	
5	12	7	
6	12	11	
7	12	13	
8	12	8	
9	12	16	
10	12	12	
11	12	9	
12	12	14	
13	12	10	?
14	12	15	
15	12	11	
16	12	8	
17	12	13	
18	12	5	
19	12	15	
20	12	9	
21	12	12	
22	12	10	
23	12	8	
24	12	13	
25	12	11	
Total	**300**	**273**	

Average DPU (c-bar) = 273 / 300 =			
Constant Sample Size (n)			
Centerline (CL) = (n * c-bar)		?	also = (Sum of Defects / # Runs)
UCL (Upper Control Limit)			
LCL (Lower Control Limit)			

NOTES: It is possible to have more defects than units (since each unit can have more than one defect)

C-bar is the average number of defects per unit, value can be greater than one.

Constant sample size, sample size can be only one unit

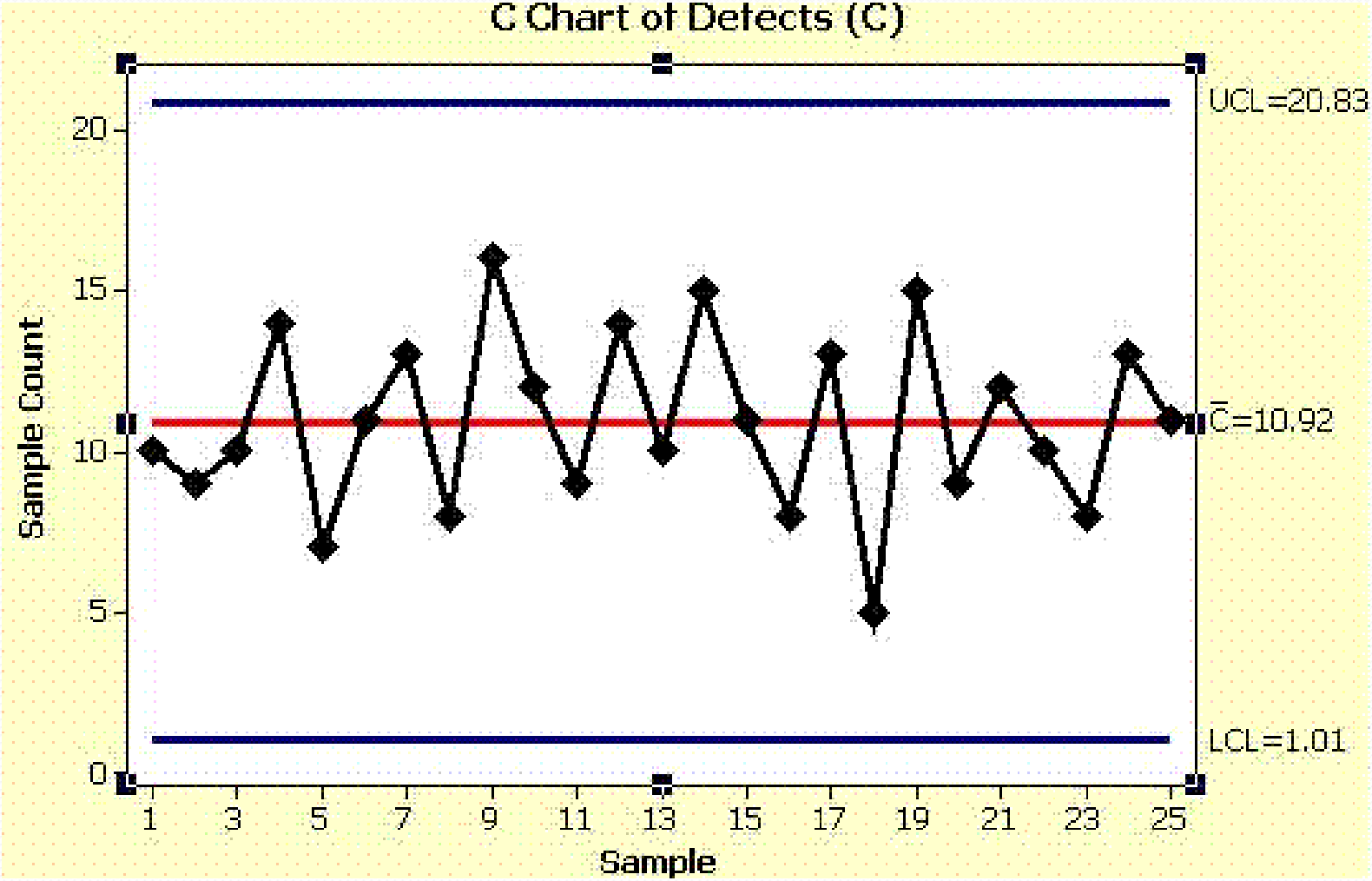
Run	Units Produced (Subgroup Size = constant)	Number of DEFECTS	Defect/Unit (DPU)
1	12	10	0.833
2	12	9	0.750
3	12	10	0.833
4	12	14	1.167
5	12	7	0.583
6	12	11	0.917
7	12	13	1.083
8	12	8	0.667
9	12	16	1.333
10	12	12	1.000
11	12	9	0.750
12	12	14	1.167
13	12	10	0.833
14	12	15	1.250
15	12	11	0.917
16	12	8	0.667
17	12	13	1.083
18	12	5	0.417
19	12	15	1.250
20	12	9	0.750
21	12	12	1.000
22	12	10	0.833
23	12	8	0.667
24	12	13	1.083
25	12	11	0.917
Total	**300**	**273**	

Average DPU (c-bar) = 273 / 300 =	**0.9100**	
Constant Sample Size (n)	**12**	
Centerline (CL) = (n * c-bar)	**10.920**	also = (Sum of Defects / # Runs)
UCL (Upper Control Limit)	**1.006**	
LCL (Lower Control Limit)	**20.834**	

NOTES: It is possible to have more defects than units (since each unit can have more than one defect)

C-bar is the average number of defects per unit, value can be greater than one.

Constant sample size, sample size can be only one unit


C Chart of Defects (C)
UCL=20.83
C̄=10.92
LCL=1.01
Sample Count
Sample
0
5
10
15
20
1
3
5
7
9
11
13
15
17
19
21
23
25

2.2.6.7 Fișa ”u”

Cu ajutorul acestui tip de fişă **se detectează starea stabilă sau instabilă a unui proces de fabricaţie**, mărimea de control utilizată fiind ***numărul de defecte pe unitatea de produs***.

Efectivele eşantioanelor nu mai trebuie să fie egale, totuşi, din raţiuni de simplificare a calculelor referitoare la limitele de control, mărimile probelor vor fi apropiate ca valoare (sunt permise variaţii de ± 25% în raport cu media efectivelor).

1. Calculul limitelor de control

- determinarea valorilor **numerelor medii ale defectelor pe unitatea de produs** aferente tuturor probelor prelevate

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^{k} c_i}{\sum_{i=1}^{k} n_i} \qquad (2.53)$$

- determinarea valorilor **mărimii medii a eşantioanelor extrase**:

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i}{k} \qquad (2.54)$$

- **determinarea liniei centrale - CL**

$$CL = \bar{u} \qquad (2.55)$$

Calculul limitelor de control

$$LCS_{\bar{u}} = \bar{u} + 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \qquad (2.56)$$

$$LCI_{\bar{u}} = \bar{u} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \qquad (2.57)$$

- O alternativă de aproximare pentru calculul limitelor de control este să se utilizeze valoarea medie $\bar{n}$ a eșantioanelor n_i.
- Aproximarea se consideră satisfăcătoare în cazul în care n_i nu variază față de $\bar{n}$ cu mai mult de 25% din $\bar{n}$
- Odată trasată fișa de control, orice punct aflat aproape sau în afara limitelor poate fi verificat recalculând limitele folosind n_i.

Calculul limitelor de control (aproximare)

$$LCS_{\bar{u}} = \bar{u} + 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \qquad (2.56a)$$

$$LCI_{\bar{u}} = \bar{u} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \qquad (2.57a)$$

Interpretarea ***fişei "u"*** se bazează pe aceleaşi reglementări ca şi cele valabile în cazul ***fişei "c"***.

Exemplu:

- **Fișa ”u”** se folosește atunci când se reprezintă grafic:
  1) **Defecte**
  2) **Sunt satisfăcute ipotezele distribuției Poisson (vezi pg. 571)**
  3) **Eșantionul este variabil (mărime variabilă a subgrupurilor)**
- Fiecare observație este independentă.
- Scopul este să se determine limitele de control (LCS și LCI) și să se determine performanța în timp a procesului.
- Această fișă prezintă **numărul de defecte pe unitate din eșantioane variabile**.

- **Dacă nivelul defectelor este scăzut** atunci se aplică limitele exacte ale distribuției Poisson, DPU < 1,5 (Defecte/Unitate).

- Fișa se folosește în mod normal **pentru a detecta deplasări > 1,5 σ**.

- **Pentru a detecta deplasări mai mici sau mai rapide** se folosesc alte fișe de control ce pot fi aplicate la date variabile sau atributive ca de exemplu **Exponentially Weighted Moving Average (EWMA)** sau **Cumulative Sum of Quality Characteristic Measurement (CUSUM)**.

Run	Units Produced (Subgroup Size)	Number of DEFECTS	Defect/Unit (DPU)	UCL	LCL
1	42	10			
2	87	32			
3	53	10			
4	70	14			
5	101	37			
6	91	29			
7	36	11			
8	83	38			
9	64	23			
10	53	12			
11	83	46			
12	93	54			
13	78	21		?	
14	41	15			
15	84	45			
16	78	35			
17	91	51			
18	69	25			
19	36	13			
20	48	9			
21	98	46			
22	80	39			
23	74	44			
24	60	27			
25	87	29			
Total	**1,780**	**715**			

Average number of DPU (u-bar) = 715 / 1,780 = ? = Centerline (CL)

Notes: U-bar is the average number of defects per unit, value can be greater than one.

LCL always > 0

UCL always < 1.0

The sample size can be only one unit

Run	Units Produced (Subgroup Size)	Number of DEFECTS	Defect/Unit (DPU)	UCL	LCL
1	42	10	0.238	0.6951	0.1083
2	87	32	0.368	0.6055	0.1978
3	53	10	0.189	0.6629	0.1405
4	70	14	0.200	0.6289	0.1744
5	101	37	0.366	0.5909	0.2125
6	91	29	0.319	0.6010	0.2024
7	36	11	0.306	0.7186	0.0848
8	83	38	0.458	0.6104	0.1930
9	64	23	0.359	0.6394	0.1640
10	53	12	0.226	0.6629	0.1405
11	83	46	0.554	0.6104	0.1930
12	93	54	0.581	0.5988	0.2045
13	78	21	0.269	0.6170	0.1864
14	41	15	0.366	0.6986	0.1047
15	84	45	0.536	0.6091	0.1942
16	78	35	0.449	0.6170	0.1864
17	91	51	0.560	0.6010	0.2024
18	69	25	0.362	0.6306	0.1728
19	36	13	0.361	0.7186	0.0848
20	48	9	0.188	0.6761	0.1272
21	98	46	0.469	0.5938	0.2096
22	80	39	0.488	0.6143	0.1891
23	74	44	0.595	0.6227	0.1807
24	60	27	0.450	0.6471	0.1562
25	87	29	0.333	0.6055	0.1978

Total	1,780	715

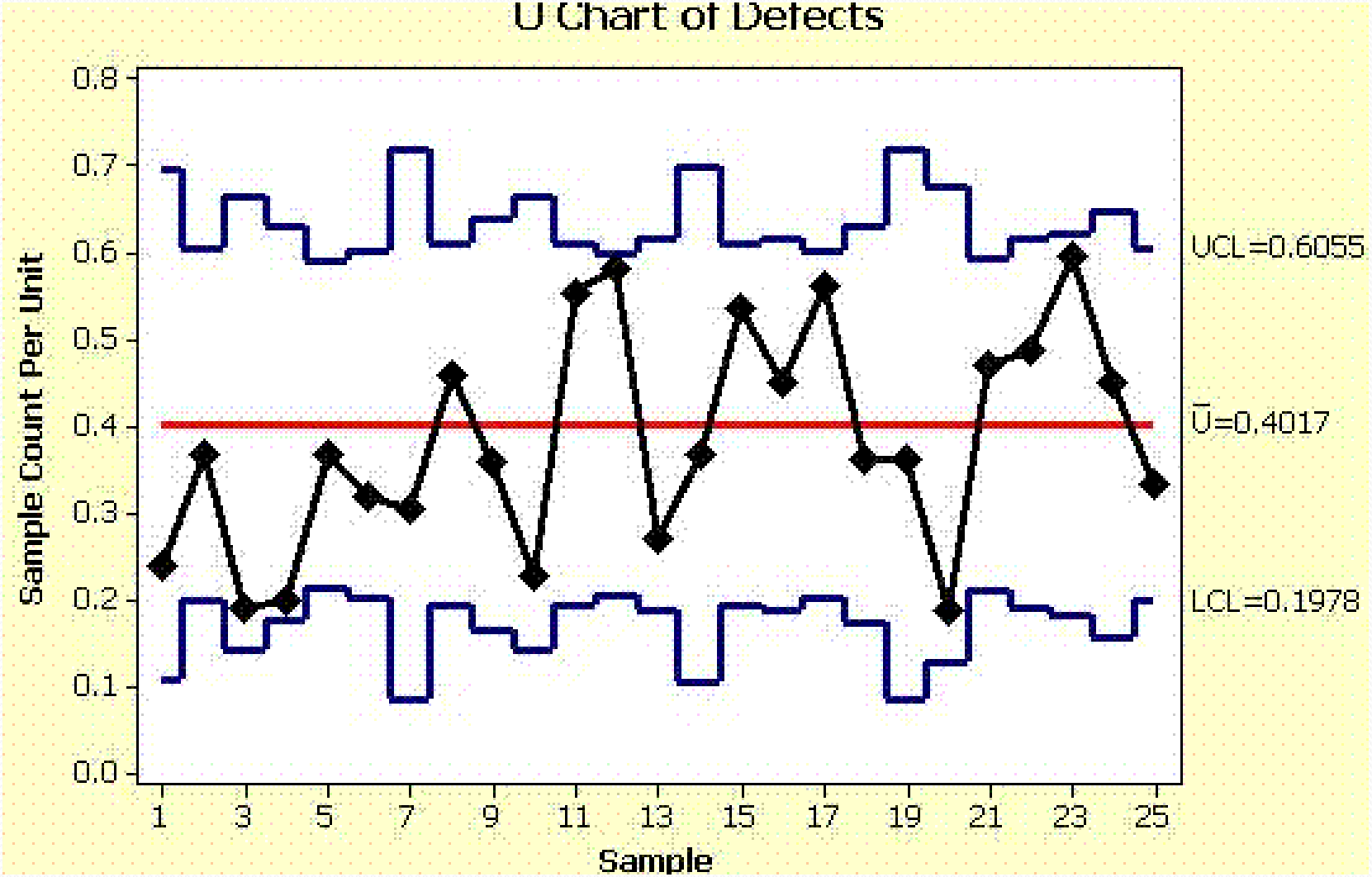
Average number of DPU (u-bar) = 715 / 1,780 = **0.4017** = Centerline (CL)

Notes: U-bar is the average number of defects per unit, value can be greater than one.

LCL always > 0

UCL always < 1.0

The sample size can be only one unit


U Chart of Defects
Sample Count Per Unit
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
1
3
5
7
9
11
13
15
17
19
21
23
25
Sample
UCL=0.6055
Ū=0,4017
LCL=0.1978

CAPITOLUL III
INSTRUMENTE UTILIZATE ÎN MANAGEMENTUL ȘI STRATEGIA CALITĂŢII

3.1 Instrumente pentru identificarea problemelor prin prelucrarea datelor

a. Fișe și formulare de înregistrare

- *Formulare de colectare a datelor*
- *Fișa de verificare – ”Check Sheet”*
- *Foaia de prelevare – propusă de Ishikawa*

b. Grafice

- *Grafice cu coloane și bare*
- *Grafice liniare*
- *Grafice circulare*
- *Histograme*
- *Tabele*
- *Poligonul frecvențelor*
- *Diagrama Pareto*
- *Diagrama de corelație*
- *Grafice radar*
- *Diagrama desfășurată*
- *Diagrama lipsurilor*
- *Fișele de control*

c. Tabloul de bord

- *Grafice radar* – ”Spider Chart” – pentru compararea mai multor caracteristici

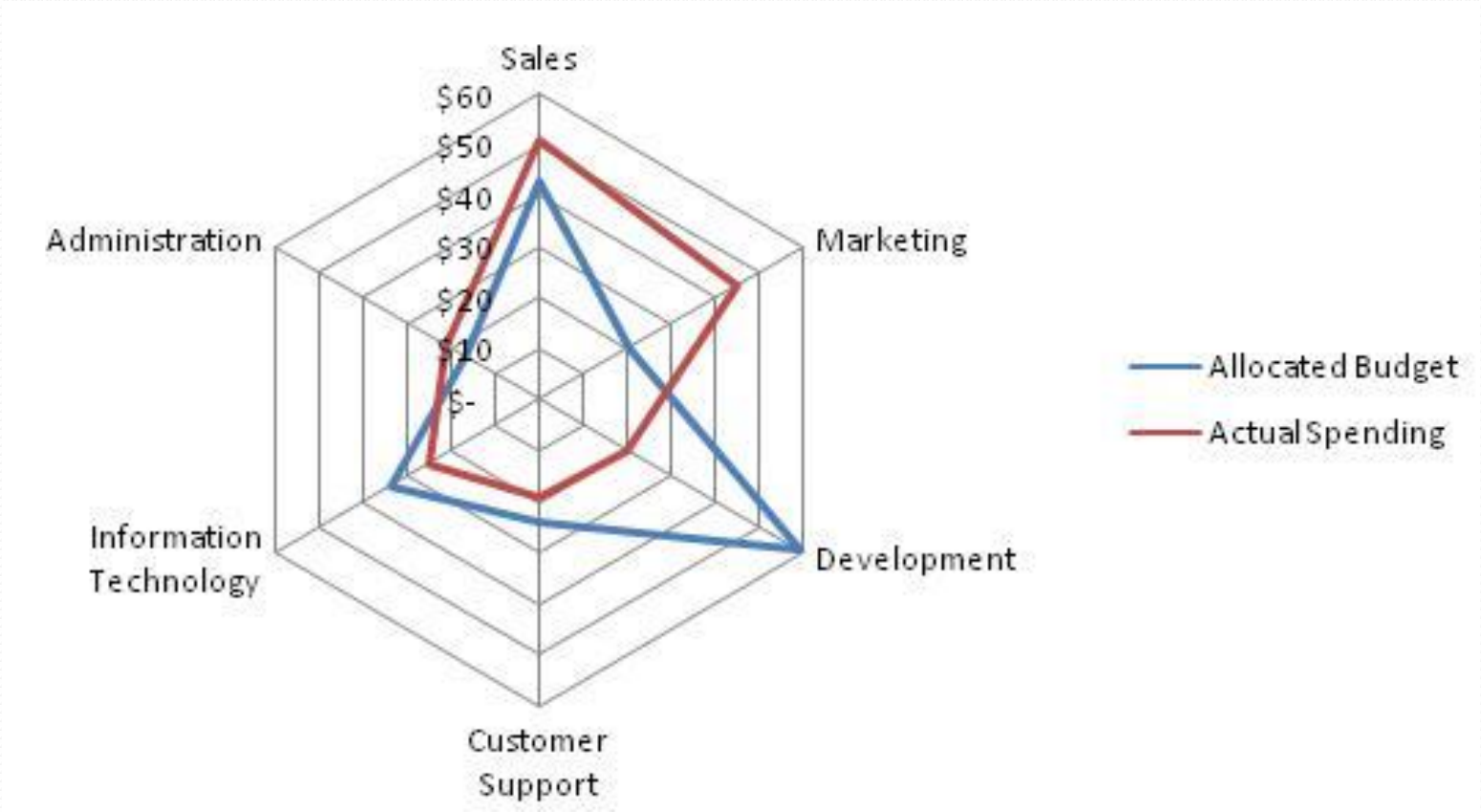


Fig. 3.1 Grafic radar pentru compararea bugetului alocat cu cel cheltuit

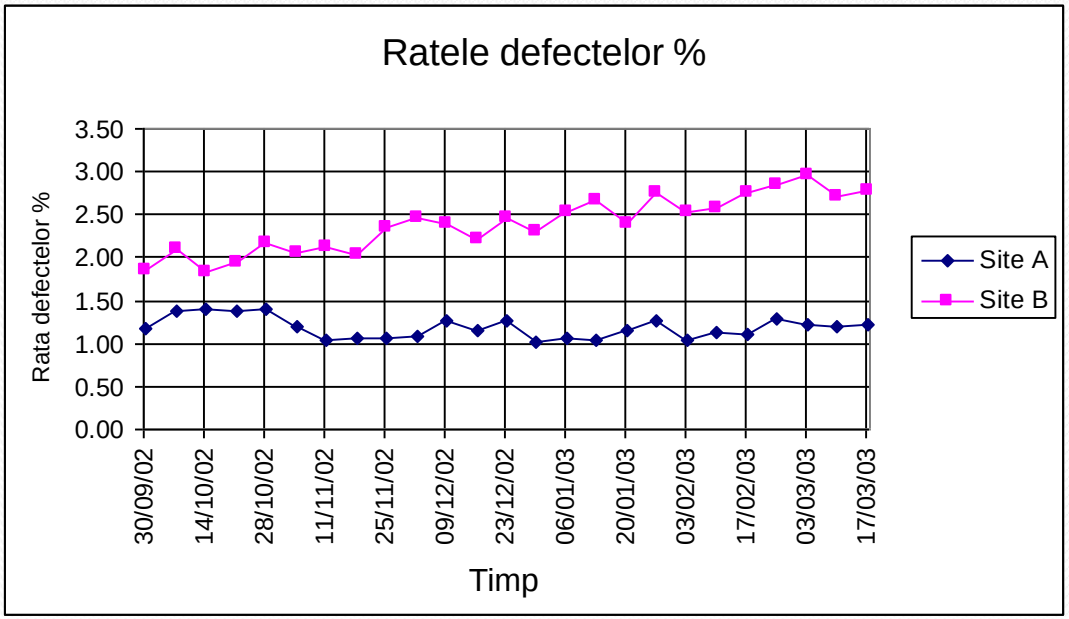
➢ *Diagrama desfășurată* – ”Run Diagram” – pentru evidențierea apariției sau frecvenței unui eveniment în decursul timpului

1. Definirea obiectivului

Pentru înțelegerea variației ratei defectelor între două site-uri

2. Colectarea datelor

Data	Ratele defectărilor % Site A	Site B
30-Sep	1.18	1.85
07-Oct	1.37	2.09
14-Oct	1.40	1.82
21-Oct	1.37	1.93
28-Oct	1.40	2.16
04-Nov	1.19	2.07
11-Nov	1.03	2.11
18-Nov	1.07	2.03
25-Nov	1.06	2.35
02-Dec	1.07	2.47
09-Dec	1.28	2.40
16-Dec	1.14	2.22
23-Dec	1.27	2.47
30-Dec	1.03	2.31
06-Jan	1.06	2.53
13-Jan	1.04	2.67
20-Jan	1.15	2.39
27-Jan	1.27	2.76
03-Feb	1.03	2.52
10-Feb	1.14	2.58
17-Feb	1.10	2.75
24-Feb	1.29	2.85
03-Mar	1.22	2.96
10-Mar	1.20	2.71
17-Mar	1.21	2.79



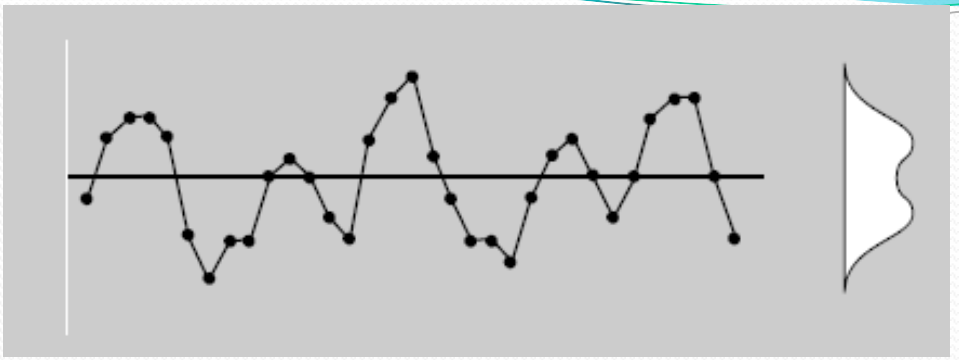
3. Trasare graficului

- Site-ul B are o rată a defectelor mai mare ca site-ul A
- Rata defectelor Site –ului A pare stabilă
- Rata defectelor Site ului B pare să crească

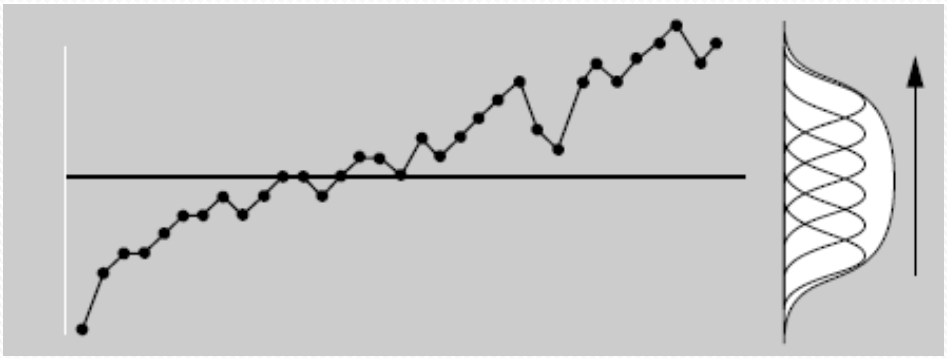
4. Analiza rezultatelor

Fig. 3.2 Diagrama desfășurată și modul de interpretare

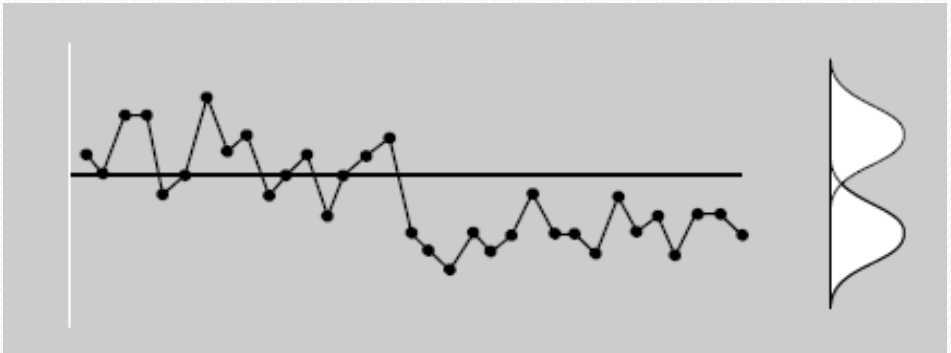
Exemplu 1: *Diagrama desfășurată* pentru un **proces cu evoluție ciclică**



Exemplu 2: *Diagrama desfășurată* pentru un **proces cu trend crescător**

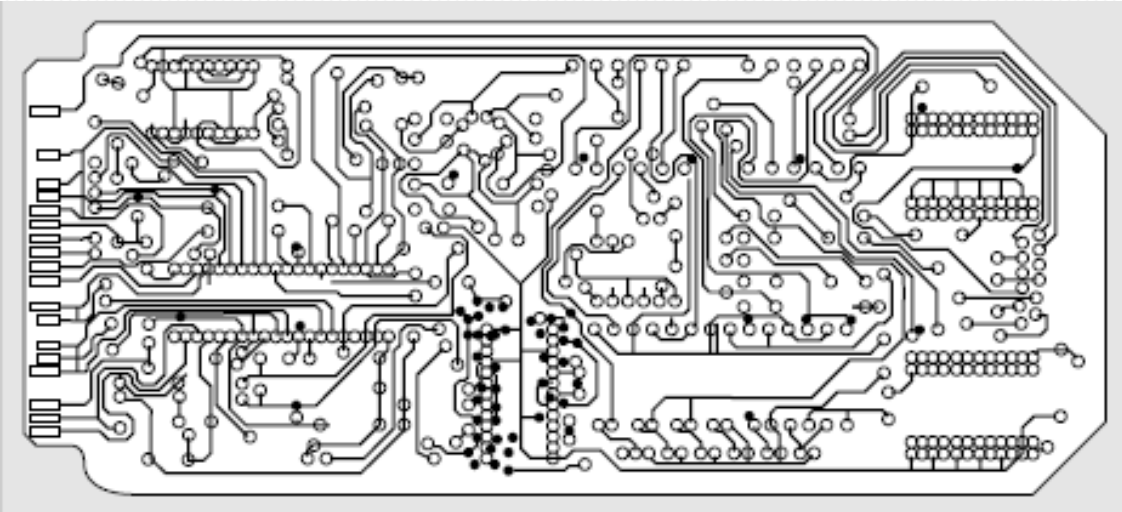


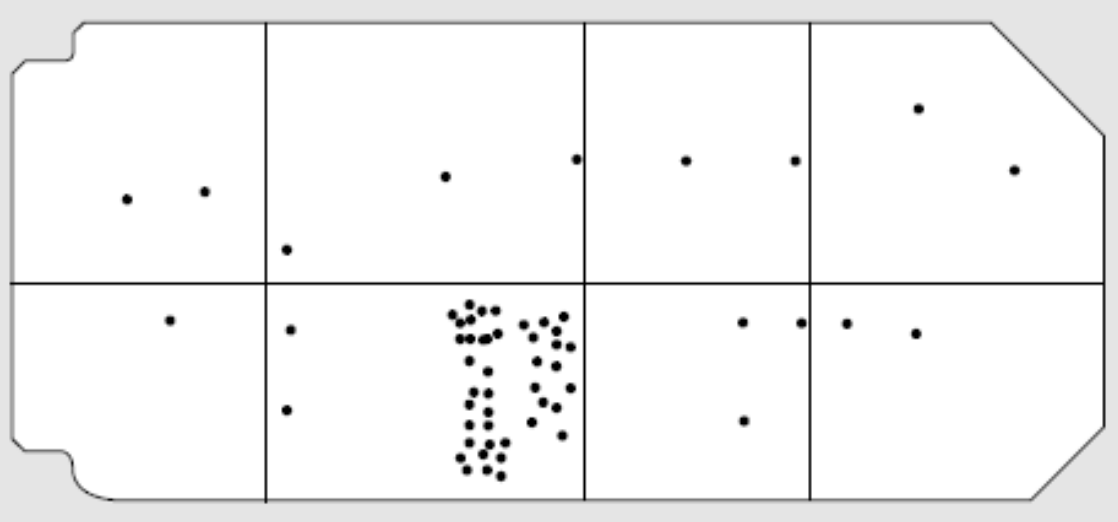
Exemplu 3: *Diagrama desfășurată* pentru un **proces cu ”salt” semnificativ**



- *Diagrama lipsurilor* – ”Defect Concentration Diagram” – se marchează cu ”**x**” sau ”•” fiecare apariție a unui defect, neconformitate etc, pe desenul sau schița produsului, în dreptul zonei sau poziției afectate.

Exemplu:





c. Tabloul de bord

✓ **Tabloul de bord** oferă o **imagine cumulată, sintetică a activității**, prezintă informații cu un grad mare de prelucrare, pentru **o viziune rapidă de ansamblu cu privire la funcționarea organizației**. Astfel, **oferă posibilitatea conducerii să acționeze cât mai prompt în luarea de decizii si măsuri corective.**

Fig. 3.3 Tabloul de bord

3.2 Instrumente pentru analiza și identificarea cauzelor

a. Tehnica de lucru în grup sau în echipă
b. Brainstorming
c. Sinectica
d. Tehnica Delberg
e. Tehnica Delphi
f. Tehnica cercurilor calității
g. Analiza diagnostic
h. Tehnica auditului
i. Tehnica rezolvării problemelor

j. Instrumente utilizate în analiza managerială

- *Diagrama afinităților*
- *Diagrama arbore*
- *Diagrama relațiilor*
- *Diagrama matricească*
- *Diagrama câmpului de forțe*
- *Chestionarul CCUCC*
- *Chestionarul "Cei 5 De ce?"*
- *Analiza SWOT*
- *Diagrama Pareto*
- *Grila priorităților*
- *Grila eficacității / eficienței*

i. Tehnica rezolvării problemelor – ”Problem Solving Technique”

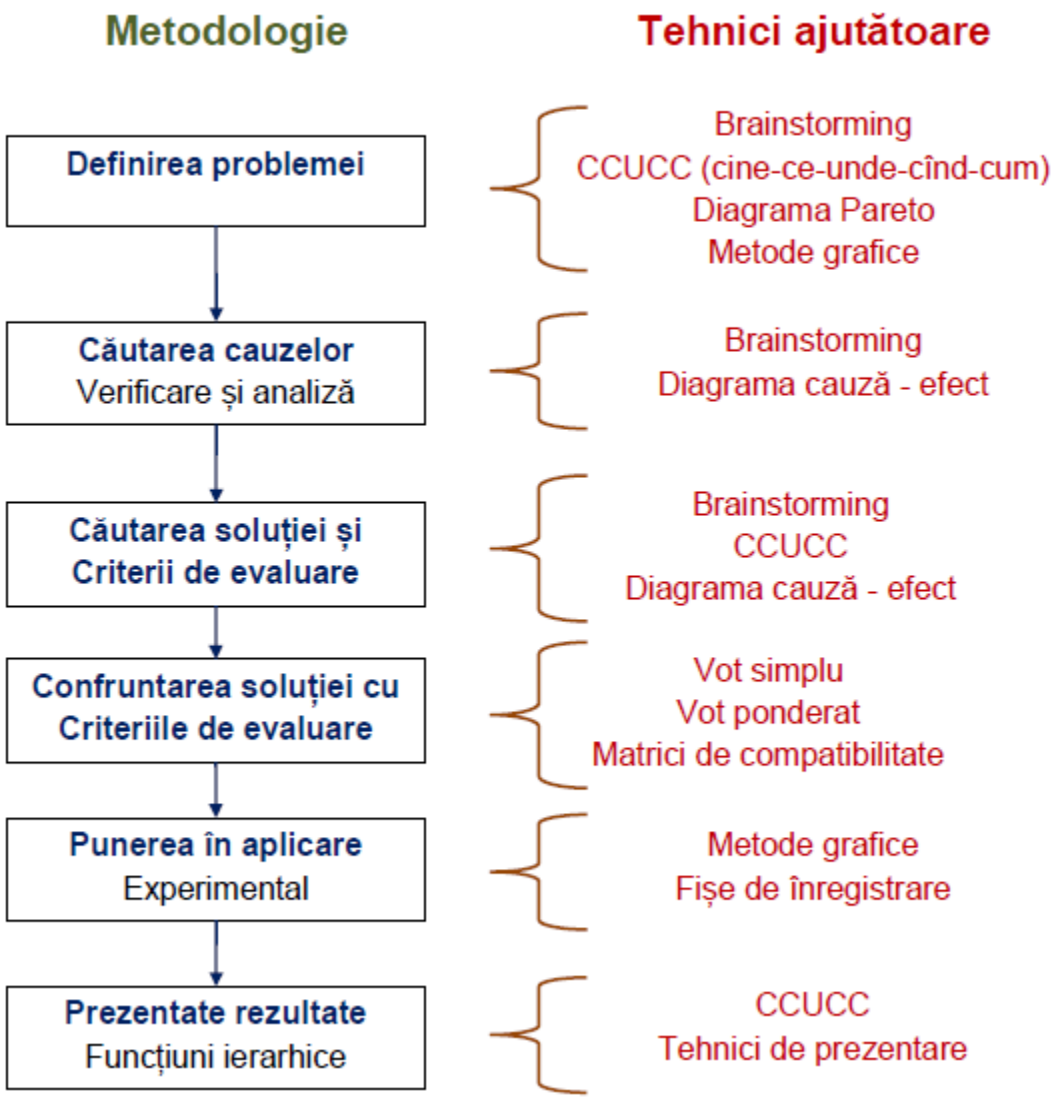


Fig. 3.4 Etapele de desfășurare ale tehnicii rezolvării problemelor

j. Instrumente utilizate în analiza managerială

- *Diagrama afinităților* – ”K-J Method”

Kawakita Jiro

Metoda K-J, cunoscută și sub numele de ”Diagrama Afinităților” a fost dezvoltată de antropologul și etnogeograful japonez **Kawakita Jiro în** anii 1960 și a devenit unul din cele ***Șapte Instrumente de Management și Planificare*** folosite în **Total Quality Control**.

✓ *Diagrama afinităților* **reprezintă structural relațiile (afinitățile) dintre ideile (opiniile, reflecțiile) referitoare la un anumit aspect sau la o anumită problemă**.

✓ Aceste idei sunt **grupate pe familii** și apoi **este stabilită relația (afinitatea) dintre familiile de idei afișate**

✓ După ce au fost colectate un număr suifcient de mare de idei referitoare la o anumită problemă, **se organizează informațiile pe grupe, pe baza relațiilor naturale care există într ele**

✓ **Procesul este conceput să stimuleze creativitatea și participarea totală**, derulându-se pe grupe de maxim 8 membri

✓ Acest instrument **poate fi folosit pentru organizarea ideilor generate de Brainstorming**

Standardul ISO 9000-4 sugerează următoarele etape de desfășurare pentru construirea diagramei afinităților:

a) Se enunță subiectul în termeni generali (detaliile pot dăuna răspunsurilor)

b) Se înregistrează un număr cât mai mare de idei (opinii, considerente) individuale pe fișe (una pe fișă)

c) Se amestecă fișele și se împrăștie aleatoriu pe o masă mare

d) Se grupează fișele astfel;

- **se sortează pe grupe fișele între care par să existe legături;**
- **se limitează la 10 numărul de grupuri (fără a forța formarea de grupuri dintr-o singură fișă);**
- **se alege sau se creează o fișă principală care să reprezinte semnificația fiecărei grupe;**
- **se așează deasupra această fișă principală.**

Exemplu: Robot telefonic

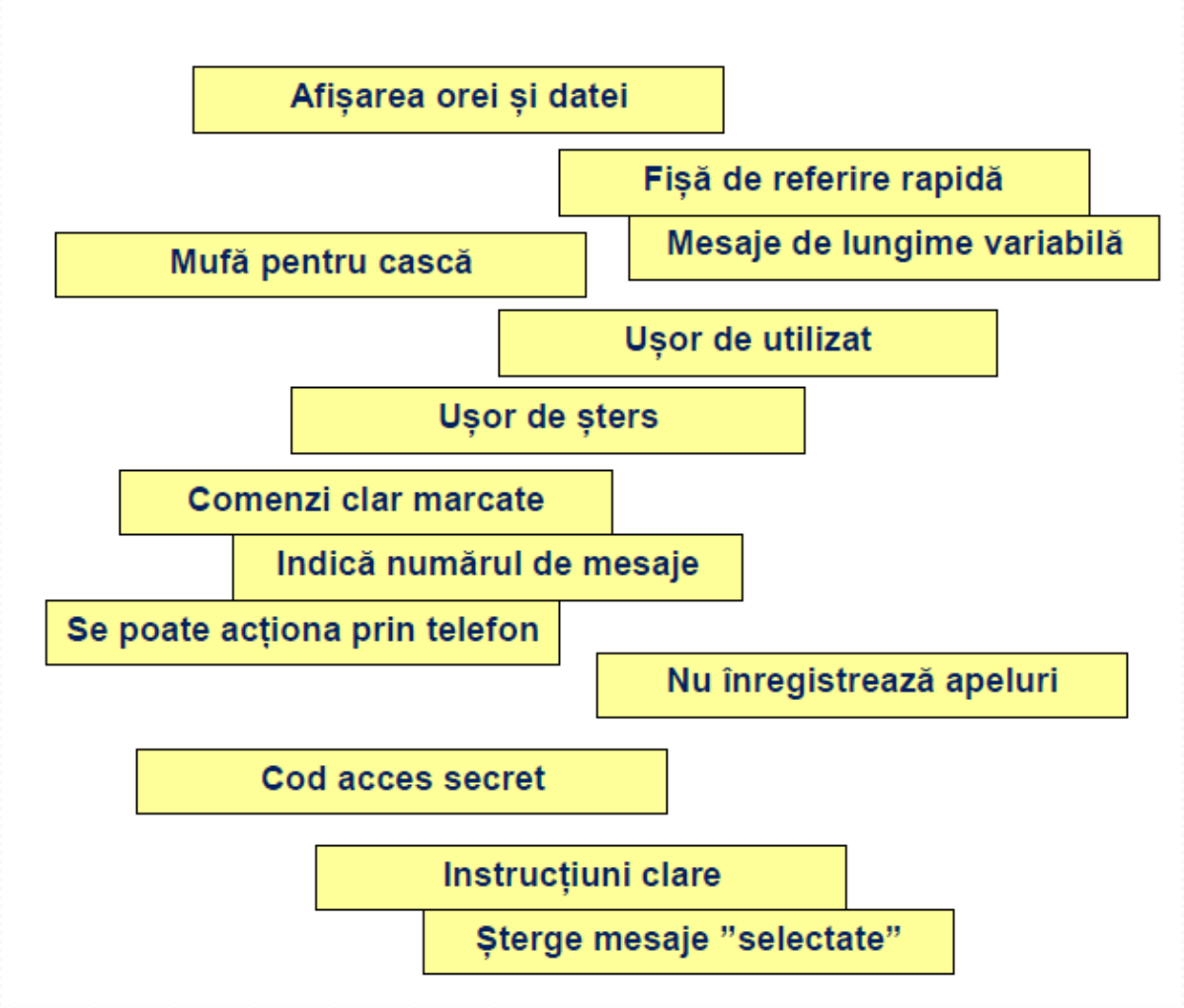


Fig. 3.5 Dispunerea aleatoare a datelor în diagrama afinităților

Tab. 3.1 Organizare datelor pe grupe în diagrama afinităților

Mesaje de lungime variabilă Afișarea orei și datei Nu înregistrează apeluri Indică numărul de mesaje	Mesaje primite
Cod acces secret Mufă pentru cască	Confidențialitate
Instrucțiuni clare Fișă de referire rapidă	Instrucțiuni
Comenzi clar marcate Ușor de utilizat Se poate acționa prin telefon	Comenzi
Ușor de șters Șterge mesaje ”selectate”	Ștergere

CARE SUNT PROBLEMELE CU PRIVIRE LA NEÎNDEPLINIREA SARCINILOR DE SERVICIU ÎN TIMPUL NORMAL DE LUCRU (8 ORE)??

FAPTUL CĂ SARCINILE DE SERVICIU PREVĂZUTE ÎN F.P. NU SUNT NORMATE, INSTRUIREA PERSONALULUI NU ESTE SUFICIENTĂ ȘI ADECVATĂ POSTULUI PRECUM ȘI FAPTUL CĂ NU SE CUNOSC METODELE DE LUCRU DUCE LA NEÎNDEPLINIREA SARCINILOR ÎN TIMPUL NORMAL DE LUCRU!

DIAGRAMA AFINITĂȚILOR

Conducerea nu a normat activitățile țesă

(12) NU EXISTĂ O NORMARE A SARCINILOR DE SERVICIU

TREBUIE SĂ COMPLETEZ 6 FORMULARE DIFERITE ȘI ACELEAȘI DATE.

MULTE MEA NU SUNT NORMATE

FIȘELE POSTURILOR NU SUNT ACTUALIZATE ÎN CONFORMITATE CU TIMPUL NECESAR PENTRU FIECARE SARCINĂ

(2) CONDUCEREA ESTE INDIFERENTĂ LA GRADUL DE ÎNCĂRCARE A PERS.

NU PRIMESC SPRIJIN DIN PARTEA SUPERIORILOR IERARHICI

CONDUCEREA NU ESTE FLEXIBILĂ ÎN REALIZAREA PLANULUI ANUAL ÎN FUNCȚIE DE SOLICITĂRILE ÎN BAZA CĂRORA SE ÎNTOCMESC RAPOARTE

ARE LOC DE TIMP GREU DE GESTIONAT

MĂ AFLU ÎN FAZA URGENȚEI ȘI NEÎNDEPLINIREA TIMP PUTIN PTR. MULȚ IMPORTANTE

MI SE TRASEAZĂ SARCINI CARE ÎMI RETARDEAZĂ PROGRAMUL STABILIT

SUNT NEVOIT SĂ PETRIC LA FEL DE MULTE GENȚI

Nu există personal suficient

(2) PERSONALUL ESTE ÎNCADRAT DE TERMENE

SE LUCREAZĂ CU TERMENE LIMITĂ

CONDUCĂTORUL PROBLEMEI E DEPĂȘIT DE TIMPUL DE FAZARE ȘI REZOLVARE

NU ESTE SUFICIENT ÎNTELEGERE

(2) DISPONIBILITATE INSUFICIENTĂ PTR. REZOLV. T. PROBLEM.

NU PRIMESC INFO. CERUTE ÎN TIMP UTIL

NU PRIMESC INFORMAȚII DE LA I.P. (BRACKET AN)

COLEGII NU SUNT IMPLICAȚI SUFICIENT ÎN REZOLVAREA PROBLEMEI

PERSONALUL DESCUIT NU ESTE SUFICIENT

LIPSĂ UTILAJE PENTRU ÎNCĂRCARE

STAU STRÂNS ÎN HALĂ f. AU POST 2 OAMENI

Instruirea este insuficientă

(5) NU SE CUNOSC METODELE IDEALE DE LUCRU

NU CUNOSC SISTEMUL DE PRELUCRARE

NU ȘTIU CUM LUCREAZĂ

NU MĂ DESCURC CU SISTEMUL INFORMAȚIONAL AS400

(4) TRAININGUL NU ESTE SUFICIENT ADECVAT POSTULUI

NU CUNOSC ȘI NU ȘTIU SĂ INTERPRETEZ EXACT DESENUL DE EXECUȚIE AL PRODUSULUI

DELEGAREA DE SARCINI ȘI RESPONSABILITĂȚI NOI FĂRĂ UN INSTRUCTAJ PREALABIL

AȘTEPTĂRI LIPSĂ DE CONCRETEȚE ÎN REZOLVAREA UNOR PROBLEME

NU AM SUFICIENTE TRAININGURI DE SPECIALITATE

Lipsește un plan de rezervă

NU EXISTĂ SOLUȚII DE REZERVĂ PE SITUAȚII CRITICE NEPREVĂZUTE

DOTARE TEHNICĂ INSUFICIENTĂ

NU DISPUN SUFICIENTE INSTRUMENTE DE MĂSURĂ ȘI CONTROL PTR. VERIF. ANUMITOR CARACT. CERUTE

NU AM DEC LA UNELE UTILAJE DE MĂSURĂ SPECIALIZATE

Responsabilități din F.P. nu sunt clar delimitate

(1) NU EXISTĂ O REPARTIZARE CLARĂ A SARCINILOR

NU ȘTIU EXACT SUNDEA PRA TARGHIAN CA TR. SĂ ÎNCEAPĂ

- BILANȚ
- SUPRAVEGHEAZĂ

NU CUNOSC PAȘII EXACȚI PTR. ÎNCEPEREA ÎNCHEIEREA LUCRĂRII

(3) FIȘA POSTULUI PREVINE INTERPRETĂRI

FIȘA POSTULUI PREVEDE DAR NU CUPRINDE UNELE CORELAȚII CU ALTE POSTURI ȘI ACTIVITĂȚI

SARCINILE DE SERVICIU NU SUNT EXPLICITATE CLAR ÎN FIȘA POSTULUI

Fluxul informațional este neconform

(3) SPECIFICAȚII TEHNICE NECLARE ȘI INCOMPLETE

- NU AU PUTUT FI FINALIZATE ÎN TIMPUL PROCESULUI DE ÎNDEPLINIRE NU SUNT COMPLETE
- SPECIFICAȚIA TEHNICĂ NU ESTE CLARĂ
- NU SUNT CLARE MEMENTO DE EXECUȚIE

ULTIMELE REVIZII ALE DESENELOR NU SUNT DISPONIBILE

(2) COMUNICARE INTERPERSONALĂ - TRANSMITERE ȘI PRELUCRARE INEFICIENTĂ

COMUNICAREA ÎN PARTEA LOGISTICII ÎN SCRIS ESTE

SUNT LIPSA DE PREGĂTIRE ȘI AJUTOR PE SCHIMBUL DE NOAPTE

Lipsește facilitate accesului la "sertar"

(2)

- NU AM PUTUT SĂ ÎNTOCMESC C.F. ȘI FIȘA
- NU AM ACCES LA SOFTURI PE CERERE (FIMA 2 CP)

NU AM PUTUT FACE ANALIZA (utilizând date)

NU A FOST SCRIS NICI UN STOCUL DE SINGLE COMPONENTS.

LEGENDĂ

- 3 pct.
- 2 pct.
- 1 pct.

➢ *Diagrama arbore*

- *Diagrama arbore* este utilizată pentru **indicarea relaţiilor dintre un subiect şi elementele sale componente**.
- Această diagramă recurge la **descompunerea sistematică a unui subiect în elementele sale componente pentru indicarea legăturilor logice şi secvenţiale**.
- Diagrama arbore **poate fi utilizată în planificarea şi în rezolvarea problemelor în care se urmăreşte realizarea unui obiectiv (scop, efect) prin aplicarea unor măsuri sau metode**.
- Diagrama **se aseamănă cu un arbore**, cu un număr crescător de ramuri.

Procedura pentru utilizarea acestui instrument este următoarea:

a) **Se enunţă clar şi simplu subiectul ce urmează să fie studiat sau obiectivul care trebuie atins.**

b) **Se definesc categoriile principale ale subiectului, respectiv măsurile ce se pot aplica pentru realizarea obiectivului fixat.**

c) **Se construieşte diagrama prin aşezarea subiectului (respectiv obiectivului) într-o casetă în partea stângă a colii de hârtie. Se ramifică categoriile principale lateral înspre dreapta în vederea descompunerii lor.**

d) **Pentru fiecare categorie principală se definesc elementele componente şi sub-elementele.**

e) **Se ramifică lateral înspre dreapta elementele componente şi sub-elementele pentru fiecare categorie principală.**

f) **Se analizează diagrama pentru a se asigura că nu există lacune în ordinea secvenţială sau logică.**

Un exemplu de diagramă arbore pentru un proces tehnologic este dat în figura 3.6

Diagrama arbore se poate utiliza pentru evaluarea metodelor şi măsurilor ce trebuie aplicate atunci când există mai multe posibilităţi de rezolvare a problemei, de îndeplinire a obiectivului dorit.

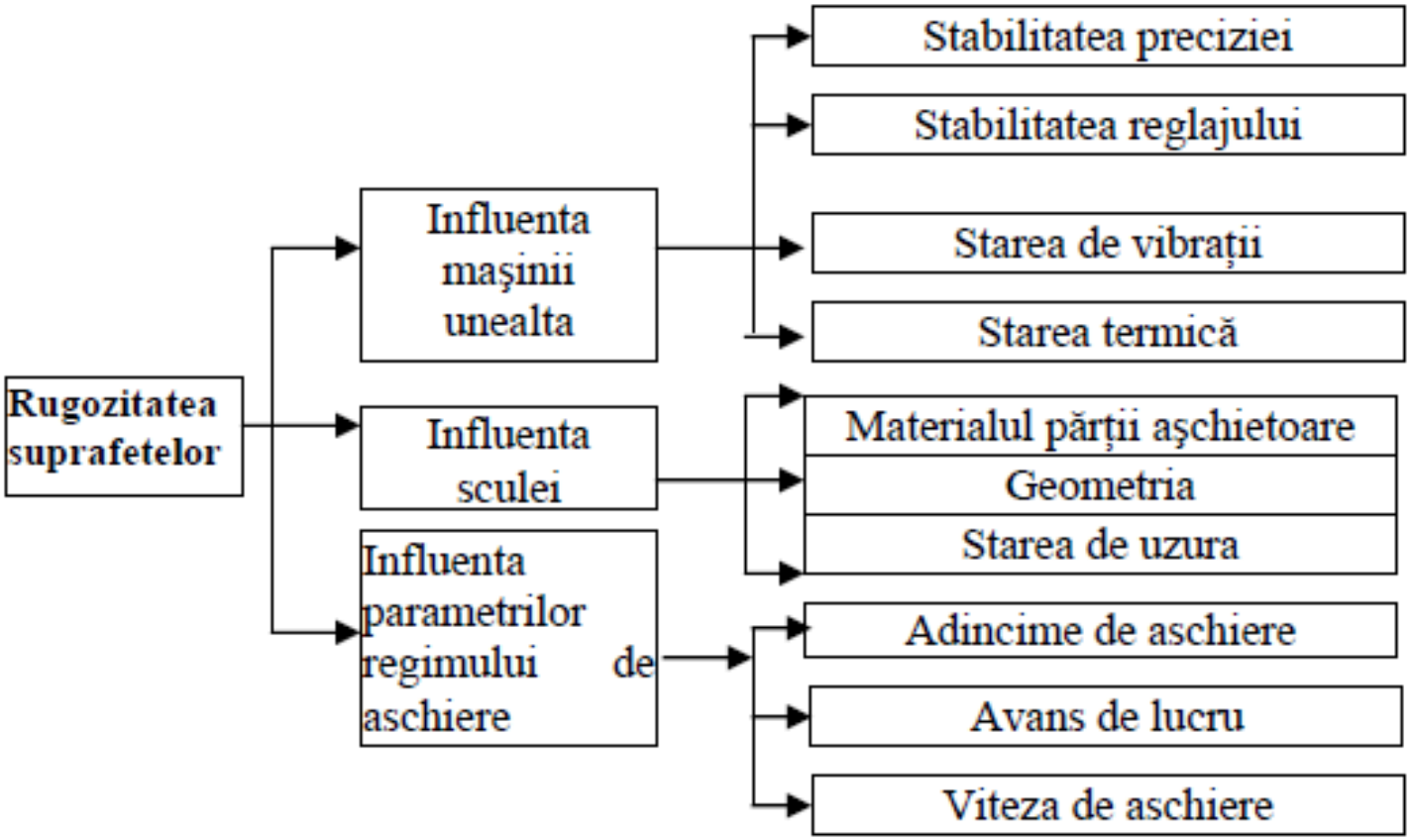


Fig. 3.6 Factorii de influenţă asupra rugozităţii suprafeţelor

➢ *Diagrama relațiilor*

✓ *Diagrama relațiilor* **permite identificarea legăturilor logice dintre diferitele cauze ale unei probleme** precum și **a relației dintre aceste probleme care participă la apariția unei deficiențe sau probleme funcționale** (fiecare problemă în sine poate fi un efect al unei probleme cauză)

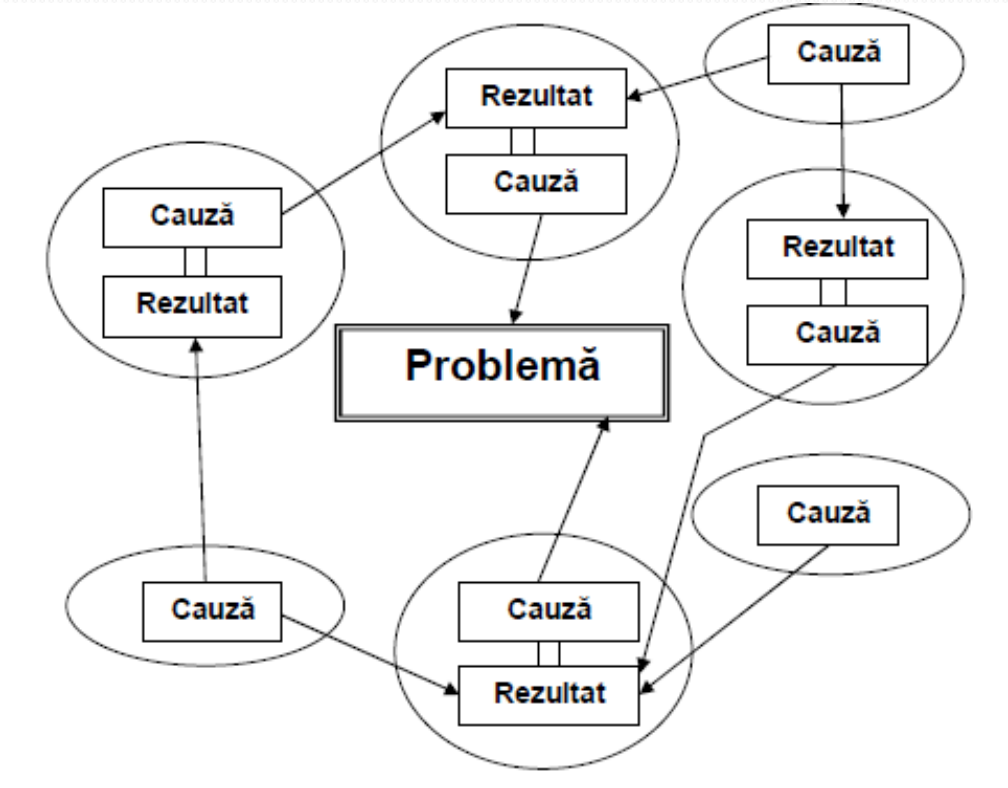
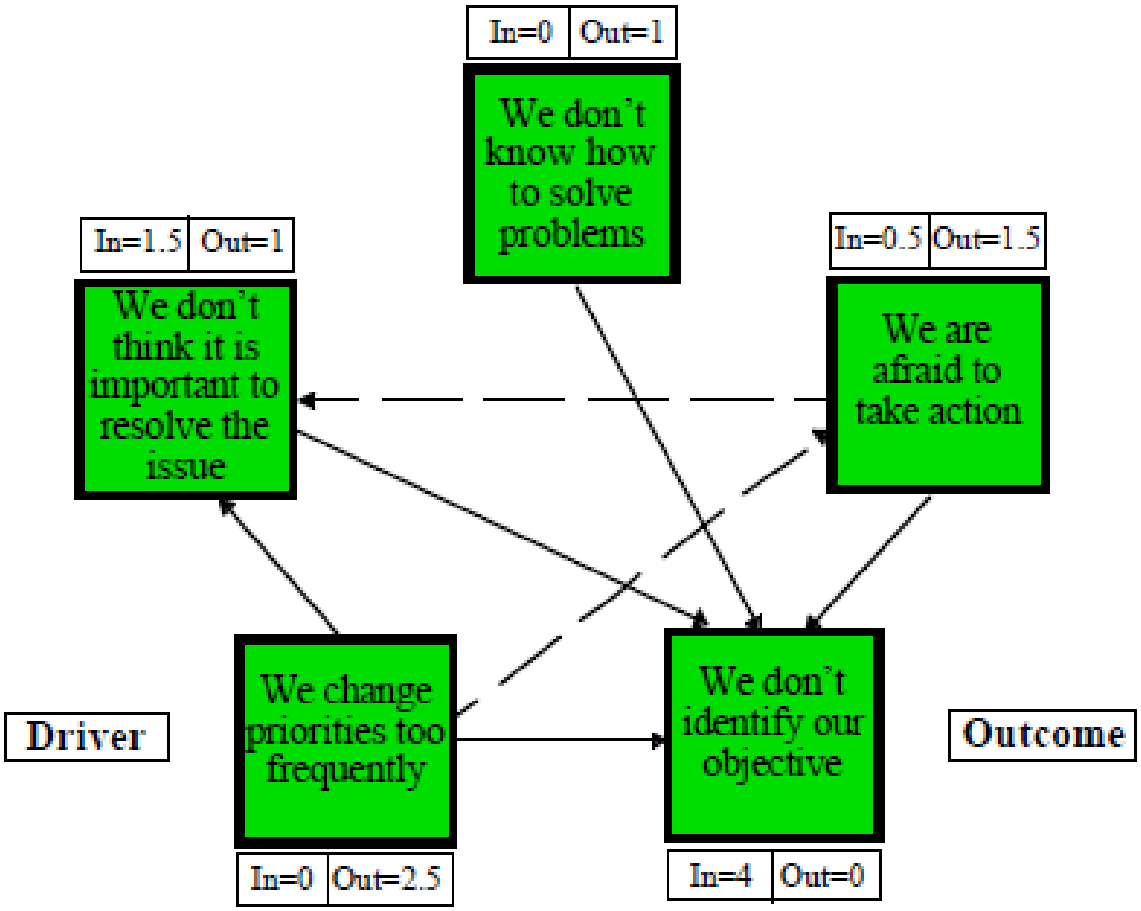


Fig. 3.7 Diagrama relațiilor

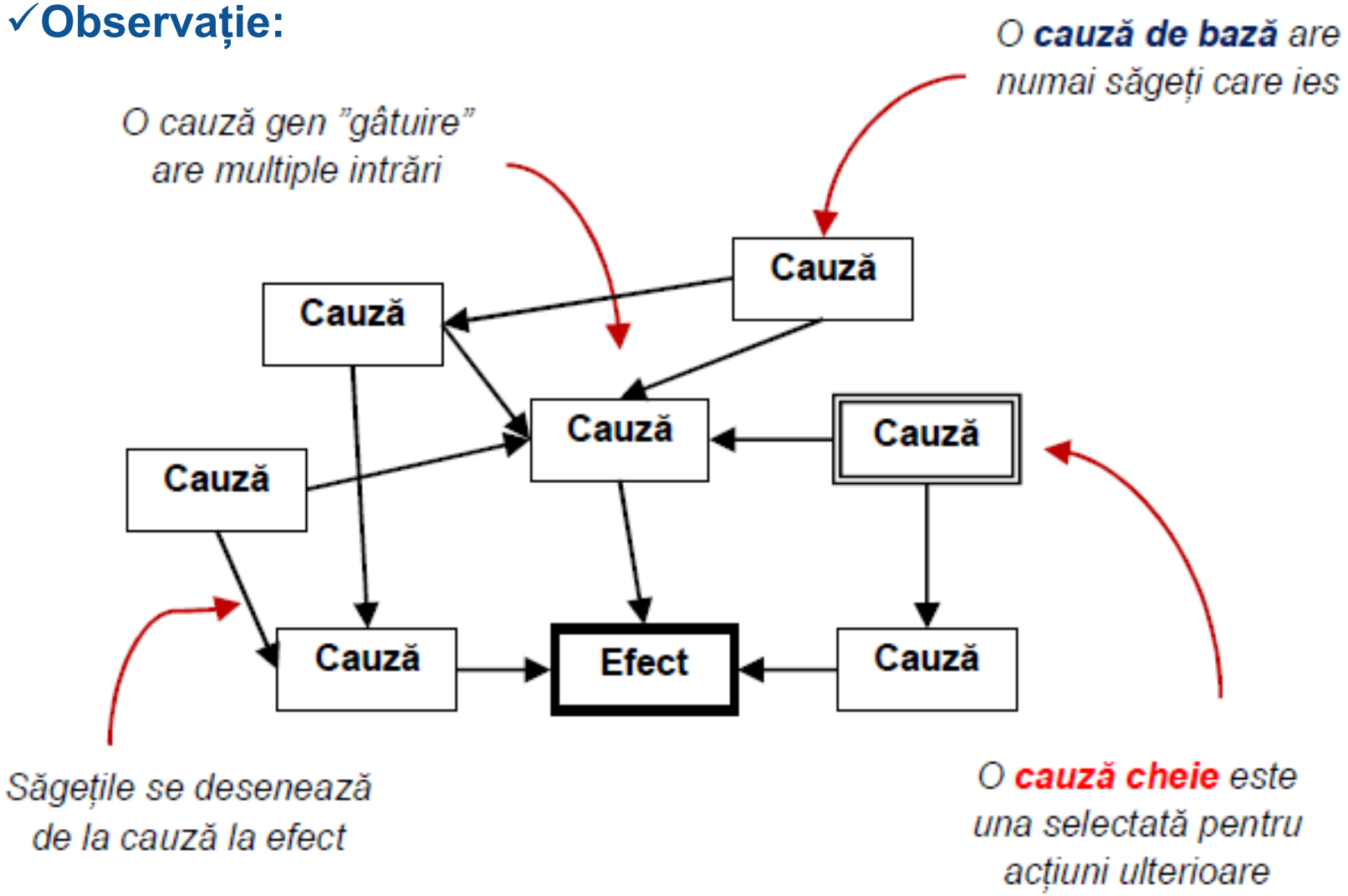
Construirea diagramei relațiilor

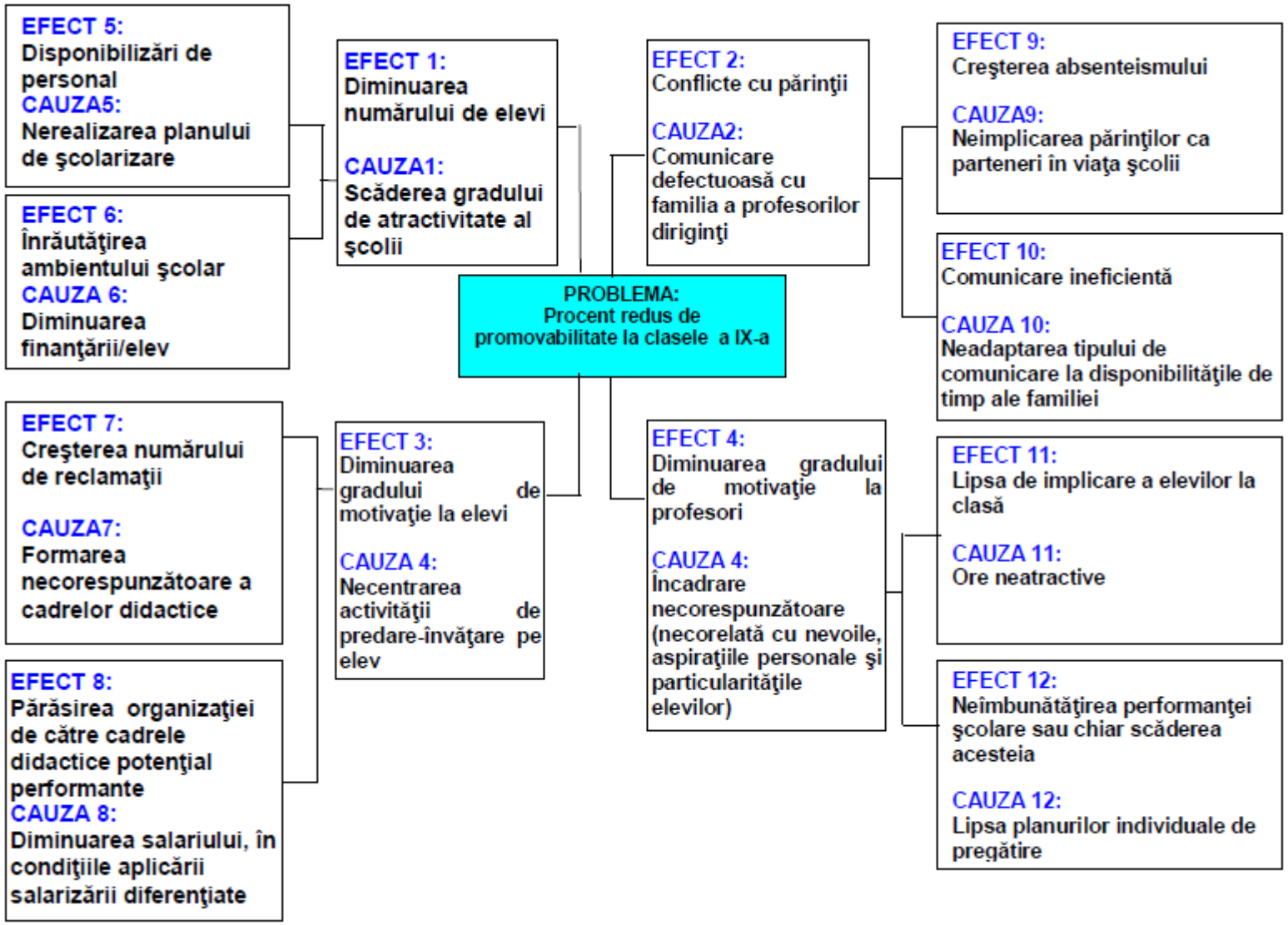
1. Se adaugă un simbol pentru fiecare element implicat în problemă.
2. Se compară fiecare element cu toate celelalte.
3. Se folosesc săgeți ”de influență” pentru conectarea elementelor care sunt în relație (săgeta va fi desenată de la elementul care influențează spre cel influențat). Influențele mai slabe se desenează cu linie punctată iar cele mai puternice cu linie plină.
4. Dacă două elemente se influențează reciproc, săgeata va fi astfel desenată încât să reflecte influența mai puternică. (nu se desenează săgeți cu două vârfuri).
5. Elementele care au cele mai multe săgeți care ”ies” vor fi considerate cauze de bază sau drivere.
6. Cele care au cele mai multe săgeți care ”intră” vor deveni ieșiri sau rezultate.

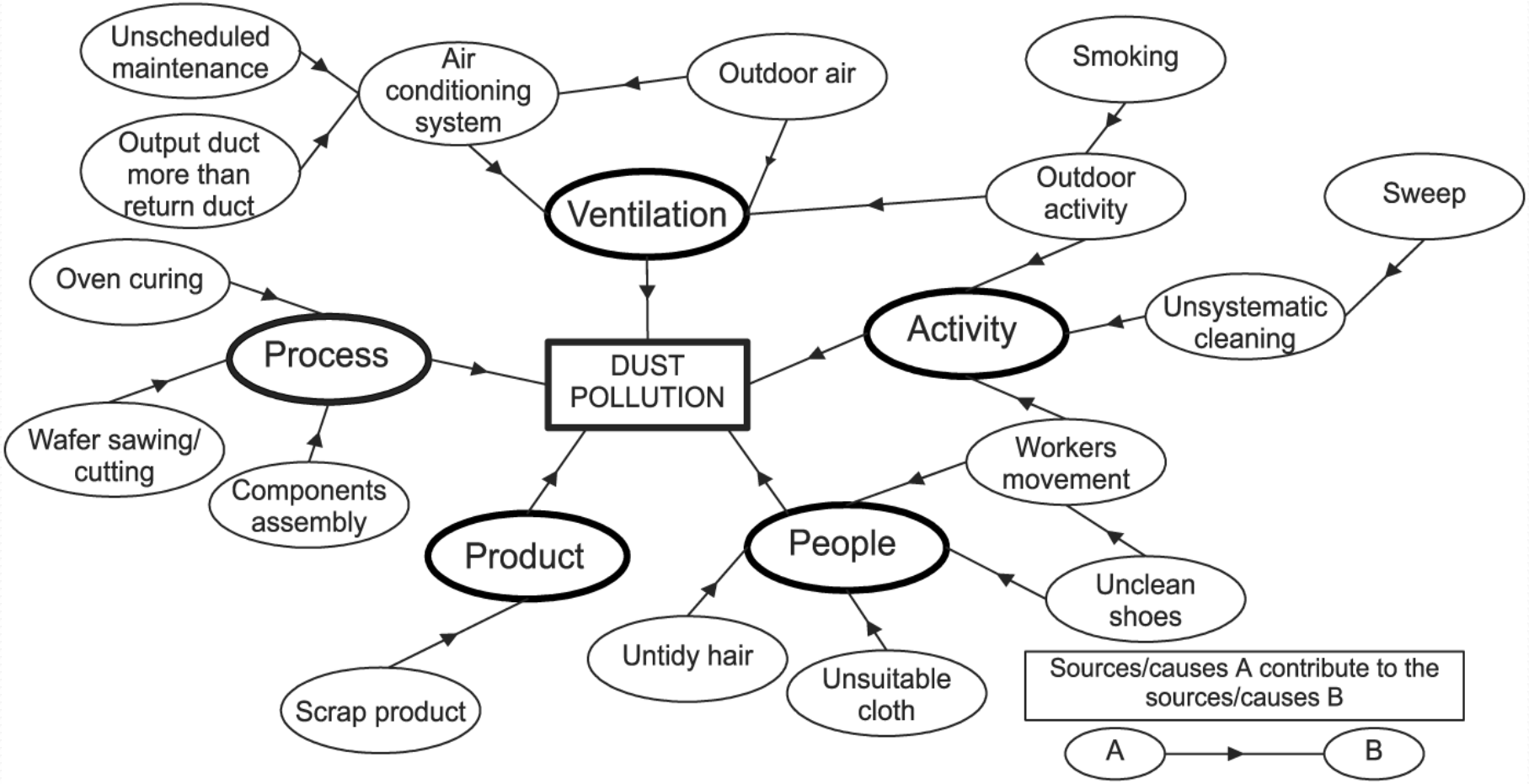
Why don't we use a problem-solving process?

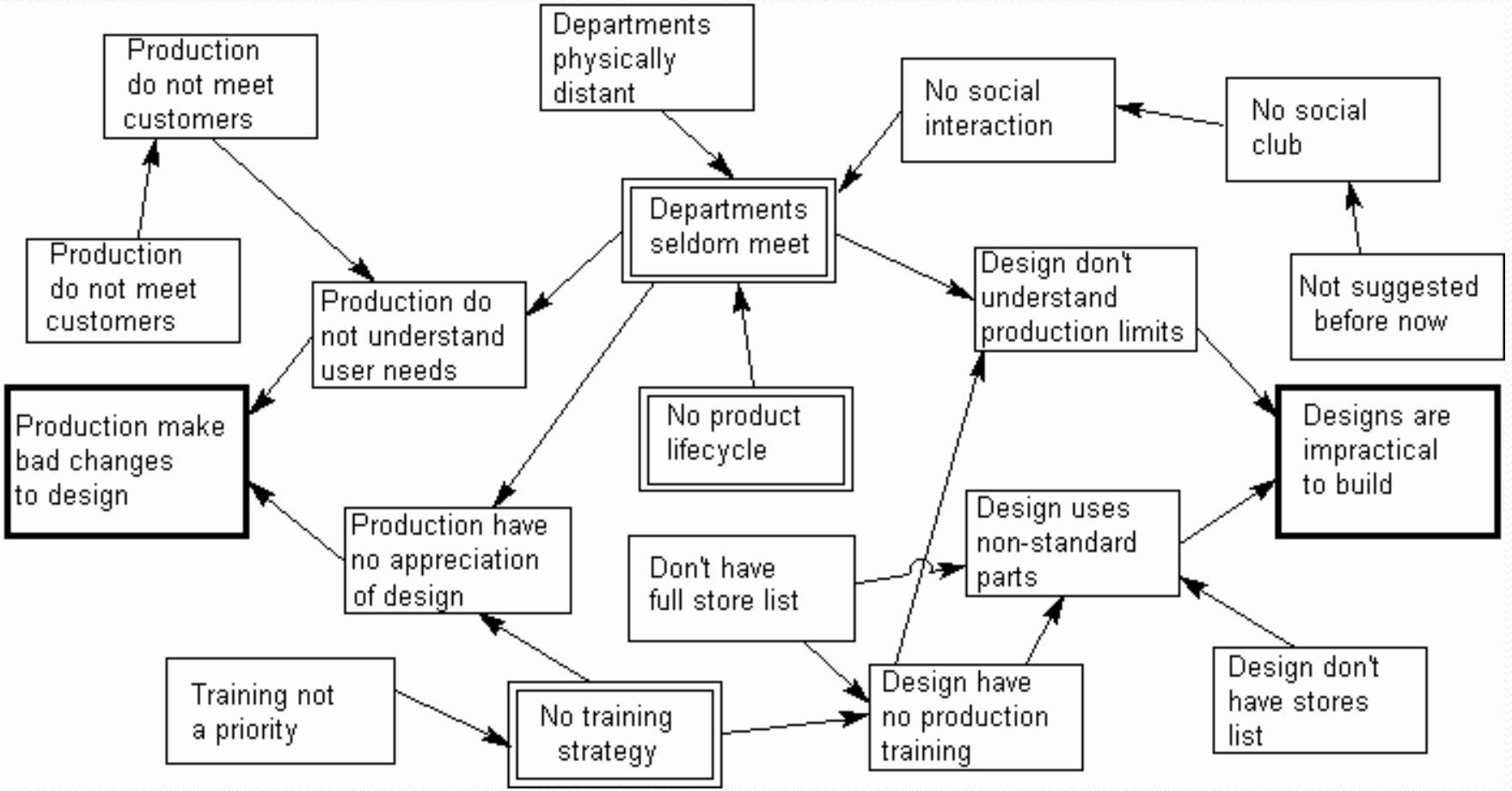


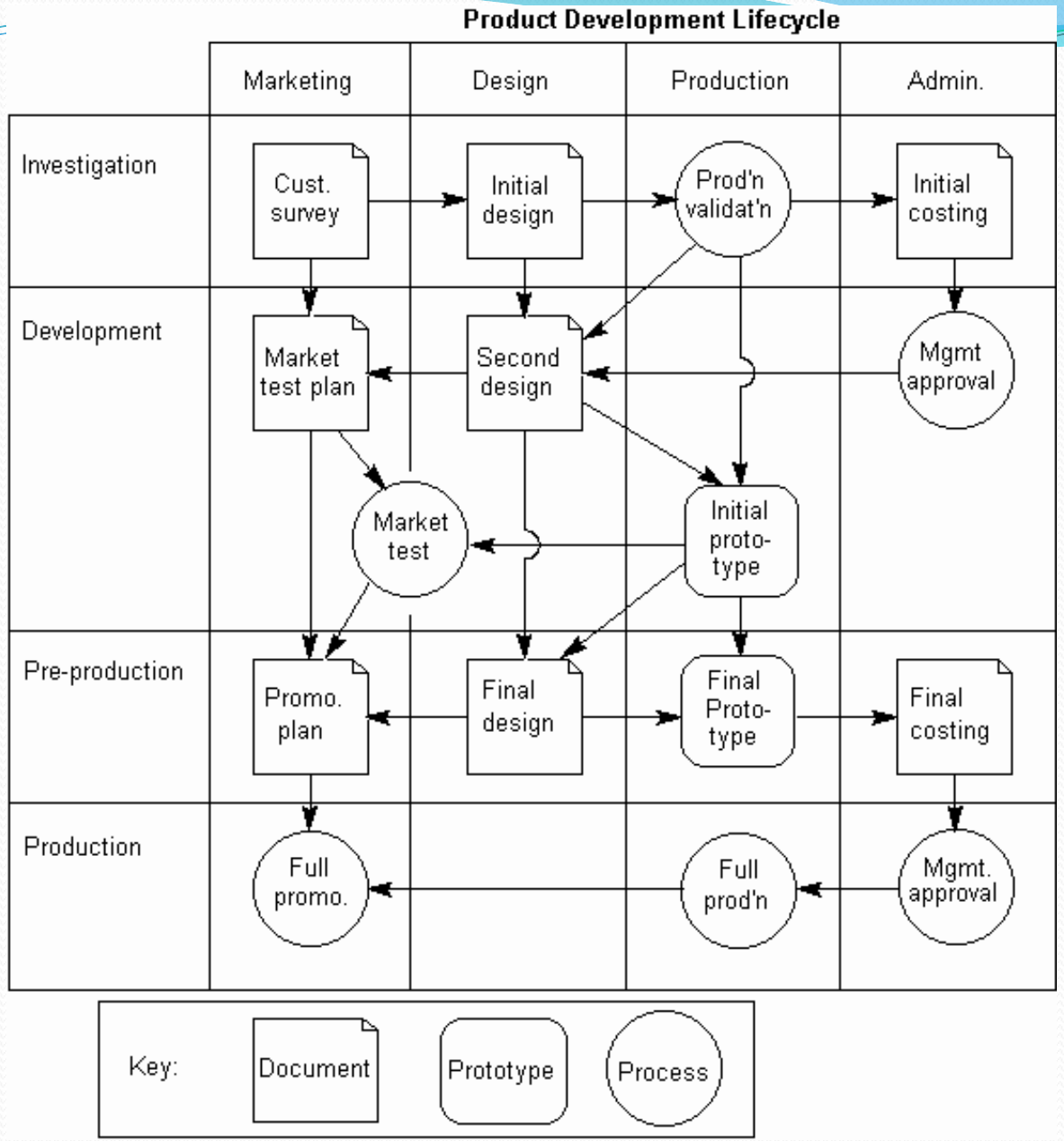
✓Observație:


O cauză de bază are numai săgeți care ies
O cauză gen "gâtuire" are multiple intrări
Cauză
Cauză
Cauză
Cauză
Cauză
Cauză
Efect
Cauză
Săgețile se desenează de la cauză la efect
O cauză cheie este una selectată pentru acțiuni ulterioare


EFECT 5:
Disponibilizări de personal
CAUZA5:
Nerealizarea planului de şcolarizare
EFECT 6:
Înrăutăţirea ambientului şcolar
CAUZA 6:
Diminuarea finanţării/elev
EFECT 1:
Diminuarea numărului de elevi
CAUZA1:
Scăderea gradului de atractivitate al şcolii
EFECT 2:
Conflicte cu părinţii
CAUZA2:
Comunicare defectuoasă cu familia a profesorilor diriginţi
EFECT 9:
Creşterea absenteismului
CAUZA9:
Neimplicarea părinţilor ca parteneri în viaţa şcolii
EFECT 10:
Comunicare ineficientă
CAUZA 10:
Neadaptarea tipului de comunicare la disponibilităţile de timp ale familiei
PROBLEMA:
Procent redus de promovabilitate la clasele a IX-a
EFECT 7:
Creşterea numărului de reclamaţii
CAUZA7:
Formarea necorespunzătoare a cadrelor didactice
EFECT 8:
Părăsirea organizaţiei de către cadrele didactice potenţial performante
CAUZA 8:
Diminuarea salariului, în condiţiile aplicării salarizării diferenţiate
EFECT 3:
Diminuarea gradului de motivaţie la elevi
CAUZA 4:
Necentrarea activităţii de predare-învăţare pe elev
EFECT 4:
Diminuarea gradului de motivaţie la profesori
CAUZA 4:
Încadrare necorespunzătoare (necorelată cu nevoile, aspiraţiile personale şi particularităţile elevilor)
EFECT 11:
Lipsa de implicare a elevilor la clasă
CAUZA 11:
Ore neatractive
EFECT 12:
Neîmbunătăţirea performanţei şcolare sau chiar scăderea acesteia
CAUZA 12:
Lipsa planurilor individuale de pregătire


Unscheduled maintenance
Air conditioning system
Outdoor air
Smoking
Output duct more than return duct
Ventilation
Outdoor activity
Sweep
Oven curing
Activity
Unsystematic cleaning
Process
DUST POLLUTION
Wafer sawing/ cutting
Workers movement
Components assembly
Product
People
Unclean shoes
Untidy hair
Unsuitable cloth
Scrap product
Sources/causes A contribute to the sources/causes B
A
B


Production do not meet customers
Departments physically distant
No social interaction
No social club
Production do not meet customers
Departments seldom meet
Design don't understand production limits
Not suggested before now
Production do not understand user needs
Production make bad changes to design
No product lifecycle
Designs are impractical to build
Production have no appreciation of design
Don't have full store list
Design uses non-standard parts
Training not a priority
No training strategy
Design have no production training
Design don't have stores list


Product Development Lifecycle
Marketing
Design
Production
Admin.
Investigation
Development
Pre-production
Production
Cust. survey
Initial design
Prod'n validat'n
Initial costing
Market test plan
Second design
Mgmt approval
Market test
Initial proto-type
Promo. plan
Final design
Final Proto-type
Final costing
Full promo.
Full prod'n
Mgmt. approval
Key:
Document
Prototype
Process

➢ *Diagrama matriceală*

Diagrama matriceală permite **evidențierea relațiilor între rezultate și cauze** sau **între obiective** și **metode** atunci când intervin mai mulți factori

Etapele creării unei diagrame matriceale:

1. **Se decide ce grup de elemente trebuie comparate.**
2. **Se alege tipul corespunzător de diagramă matriceală (L, T, X, Y, C).**
3. **Se listează elementele fiecărui grup de-alungul axelor diagramei matriceale.**
4. **Se compară fiecare element cu criteriul stabilit, indicând simbolul corespunzător la intersecția celor două elemente.**
5. **Se analizează diagrama matriceală pentru existență relațiilor și a nivelului acestora.**

Considerații la etapa 3:

- **Problemele, variantele, conflictele, deciziile, metodele potențiale** sunt listate pe axa verticală.

- **Criteriile, elementele de evaluare, cerințele, cracteristicile** sunt listate în partea superioară.

  - ✓ **Criteriile** reprezintă ceea ce este important pentru evaluare.
  - ✓ Fiecărui **criteriu** i se poate desemna o ***pondere relativă*** pentru a evalua ***importanța***.
  - ✓ Se pot utiliza **simboluri** pentru a stabili ***intensitatea legăturilor (relațiilor)***.

- **Criteriile** sunt adesea alese astfel încât să indice **impactul major, importanța cea mai mare, cea mai mică dificultate, cea mai mare probabilitate de succes** etc.

✓ Observații

Simbolurile pot oferi ***informații calitative importante*** pentru rezolvarea problemelor și ***indică intensitatea relațiilor sau rolul oamenilor / activităților***.

- O Relație puternică
- ◊ Relație moderată
- ✓ Relație slabă sau potențială; nicio relație

- **+** Pozitiv
- **0** Neutru
- **-** Negativ

Scală de evaluare – grad numeric, măsuri ponderate

1 = mică măsură	2 = oarecare măsură	3 = mare măsură
1 = puțin	**spre**	5 = mult
1 = maxim	2 = mediu	3 = minim

	Item A	Item B	Item C	Item D	Item E
Item 1					
Item 2					
Item 3					
Item 4					
Item 5					

Fig. 3.8 Matrice în **L** – Compară două seturi de date

Item I					
Item II					
Item III					
Item IV					
Item V					
	Item A	Item B	Item C	Item D	Item E
Item 1					
Item 2					
Item 3					
Item 4					
Item 5					

Fig. 3.9 Matrice în **T** – Compară un set de date cu alte două, pe perechi

			Item I			
			Item II			
			Item III			
Item a	Item b	Item c		Item A	Item B	Item C
			Item 1			
			Item 2			
			Item 3			

Fig. 3.10 Matrice în **X** – Compară patru seturi de date, fiecare cu alte două, pe perechi

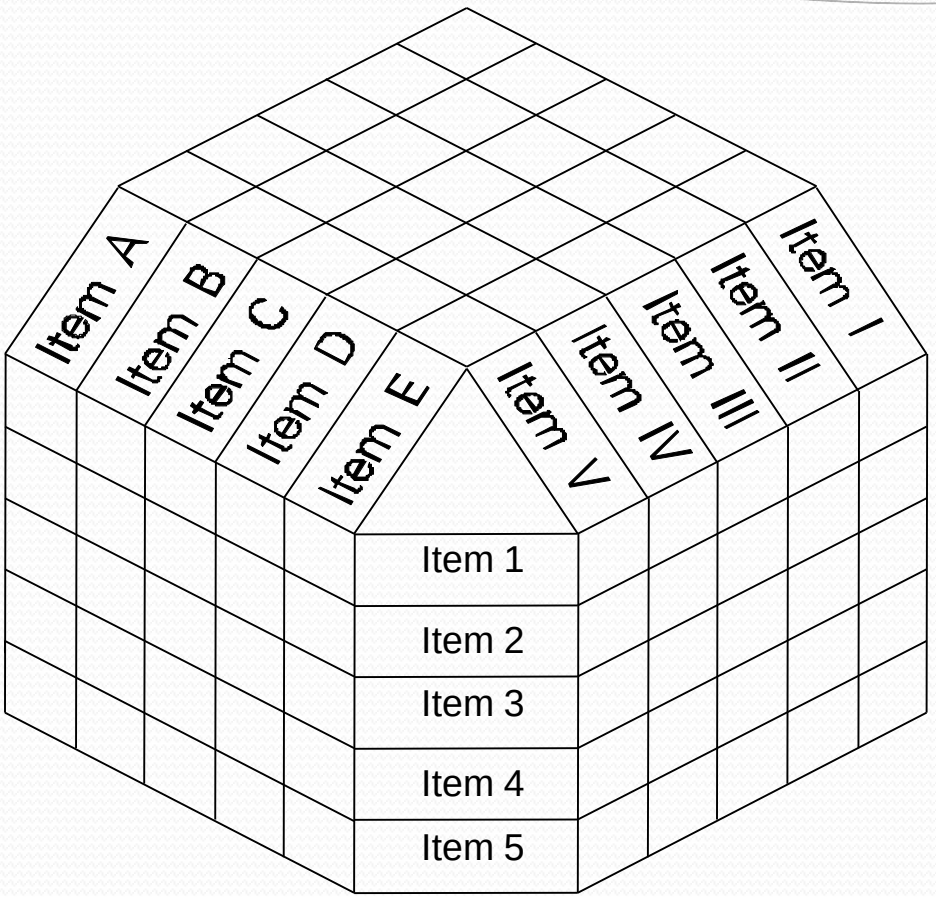


Fig. 3.11 Matrice în **Y** – Compară trei seturi de date, fiecare cu fiecare, pe perechi

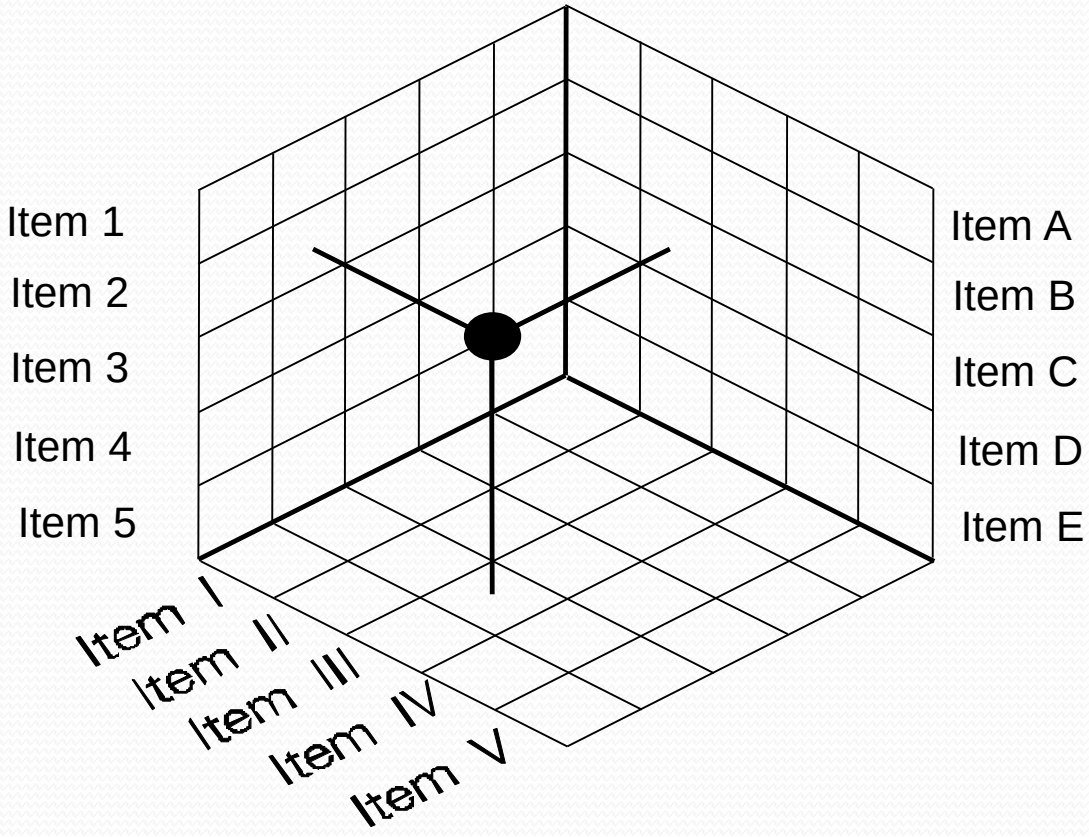


Fig. 3.12 Matrice în **C** – Compară trei seturi de date fiecare cu fiecare, simultan

Exemplu:

- Acest exemplu prezintă legătura (relația) dintre 4 modele de produs cu locația lor de fabricare și cu clienții.

- Se utilizează o matrice în **T**, făcându-se comparația a 3 grupuri, astfel, grupul 1 (Locația) și grupul 2 (Clienții) se compară fiecare cu grupul 3 (Modelul de produs), grupurile 1 și 2 nefiind comparate între ele.

Locația 1	•		o	o
Locația 2		•		•
Locația 3	o			•
Locația 4		o		
• Volum mare o Volum mic	Model A	Model B	Model C	Model D
Client #1		•		
Client # 2	o	o	o	•
Client # 3			o	o
Client # 4	•			•

Exemplu:

- Această matrice în **X**, extinde matricea în **T** precedentă pentru a include relațiile între transportatori cu locațiile de fabricare pe care le deservesc și cu clienții care le folosesc. Fiecare ”axă” este este relaționată cu cele două grupuri adiacente dar nu cu cele de vis-a-vis.

- Matricea în **X** compară patru grupuri. Fiecare grup este în legătură (relație) cu alte două grupuri.

o		•	o	Locația 1			o	o
	o	•	•	Locația 2		•		o
		•	•	Locația 3	o			•
o	o		o	Locația 4		o	•	
Transp. W	Transp. X	Transp. Y	Transp. Z		Model A	Model B	Model C	Model D
		•	o	Client #1		•		
			•	Client #2	o	o	o	•
o	o			Client #3			o	o
	o	•		Client # 4				•

• Volum mare
o Volum mic

Exemplu: Clienții se plâng de serviciile oferite de o companie de taxi

Un șofer de taxi într-un oraș mare se află în competiție pentru clienți pe străzi, la aeroport etc, generând perioade lungi de așteptare, timp în care se pierd sume potențiale de bani importante.

De acea compania de taxiuri s-a specializat în preluare de comenzi pre-planificate de la clienți ca hoteluri, spitale, firme private.

Această strategie a fos un succes însă, în ultima perioadă, au fost primite multe plângeri de la clienți referitoare la preluări și deplasări întârziate, mașini murdare, șoferi nepoliticoși și altele mai puțin importante.

Fiabilitatea, serviciile și încrederea clienților au fost cruciale pentru succes, așa că această problemă trebuie rezolvată.

Administrația, dispeceratul central și șoferii consideră că principala cauză pentru întârzieri este traficul imprevizibil dar că există și alte cauze.

O echipă de îmbunătățire a folosit o diagramă matriceală să vadă dacă și celelalte cauze posibile sunt importante.

Problem characteristic	Possible causes						
	Unpredictable traffic	Late dispatch	Too many rides per car	Poor route planning	No car wash machine	Inaccurate address information	Old cars
Late pick-up	◎	◎	●	◎	△	◎	●
Late delivery	◎	◎	●	◎			●
Dirty car exterior			◎	△	◎		
Dirty car interior			◎		◎		●
Rude driver	△	●	●	△		◎	
"Bumpy" ride							●
Baggage space				●			●
Total impact score	11	13	19	15	11	10	15

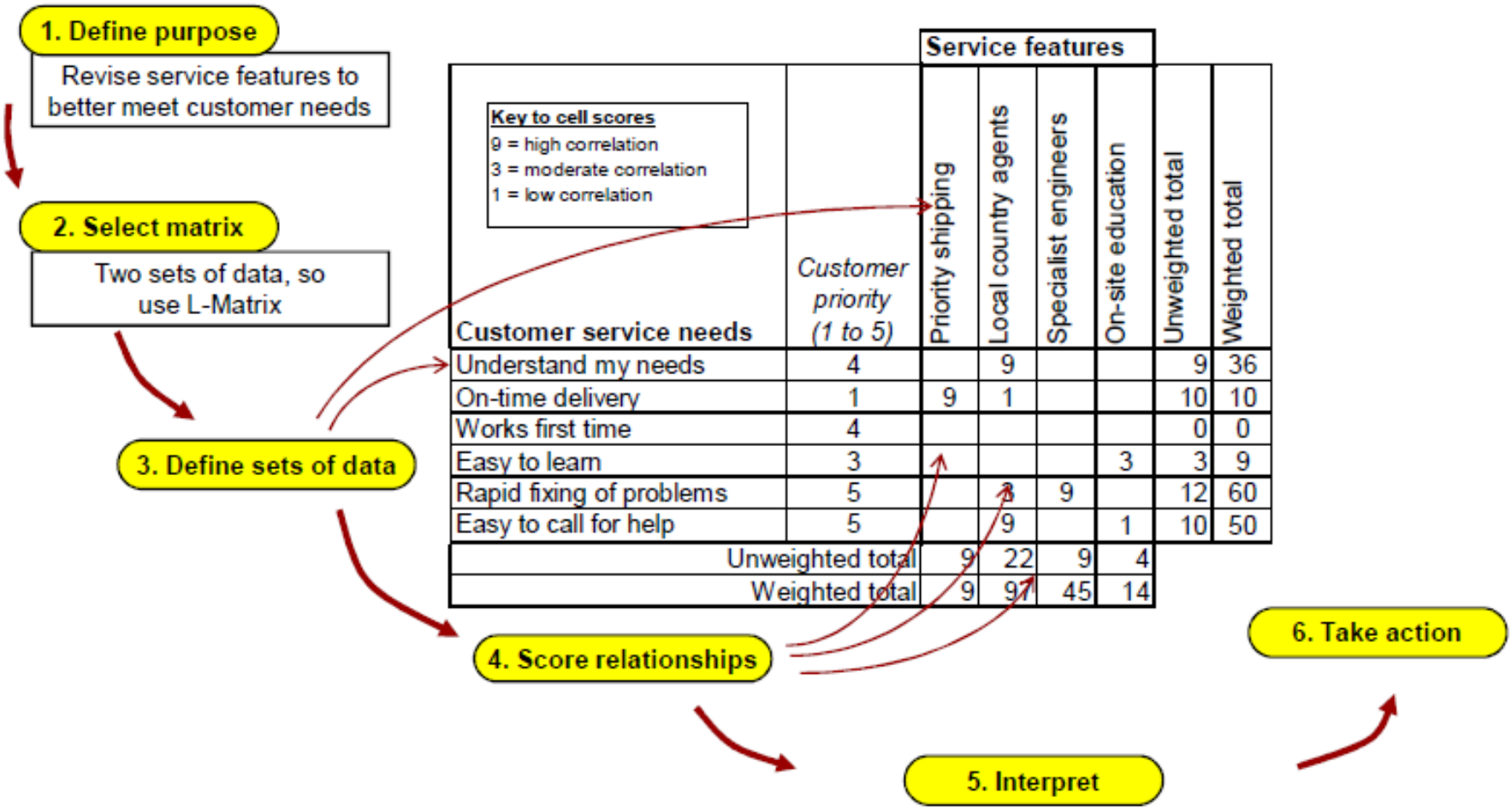
Strong	◎	5	Medium	●	3	Weak	△	1

Matrix Diagram on Medical Treatment Process

		Matrix Diagram									
		Potential causes									
Problem	**Customer's ranking**	Patient scheduled	Attendant assigned	Attendant arrives	Obtains equipment	Transport patient	Provide therapy	Notifies of return	Attendant assigned	Attendant arrives	Patient returned
Arrive on time	5	⊙	⊙	⊙	X	⊙					
Arrive with proper equipment	4	○			⊙						
Dressed properly	4										
Delivered via correct mode	2	○			X						
Table back to room promptly	4							⊙	⊙	⊙	⊙
Importance score		43	25	25	27	25	0	20	20	20	20
rank		1	3	3	2	3	7	6	6	6	6

⊙ = High importance (5 mark) ○ = average importance (3 mark) X = low importar (1 mark) Blank = Null (zero)

Importance Score on "Patience Scheduled" = 5x5 + 4x3 + 2x3 = 43


1. Define purpose
Revise service features to better meet customer needs
2. Select matrix
Two sets of data, so use L-Matrix
3. Define sets of data
4. Score relationships
5. Interpret
6. Take action
Key to cell scores
9 = high correlation
3 = moderate correlation
1 = low correlation
Service features
Customer service needs
Customer priority (1 to 5)
Priority shipping
Local country agents
Specialist engineers
On-site education
Unweighted total
Weighted total
Understand my needs 4 9 9 36
On-time delivery 1 9 1 10 10
Works first time 4 0 0
Easy to learn 3 3 9
Rapid fixing of problems 5 9 12 60
Easy to call for help 5 9 1 10 50
Unweighted total 9 22 9 4
Weighted total 9 97 45 14

➢ *Diagrama câmpului de forțe* – ”Force Field Analysis”

Diagrama câmpului de forțe **evidențiază forțele (cauzele) care sunt pentru și împotriva (status-quo) atingerea unui obiectiv** pe o diagramă, de o parte și de alta a unei linii verticale. Ideea de bază este de **a evidenția și de a concentra efortul înspre reducerea forțelor (cauzelor)** care sunt contra atingerii obiectivului.Diagrama se utilizează în situația **implementării schimbărilor într-o organizație**.

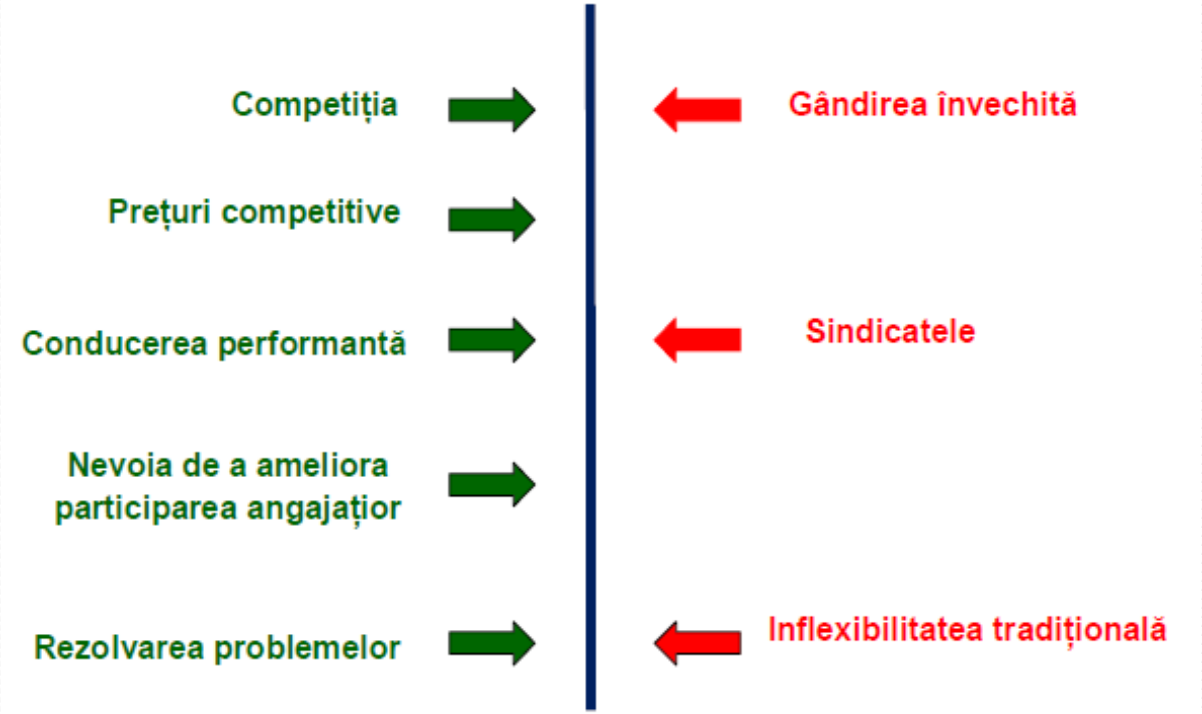


Fig. 3.13 Diagrama câmpului de forțe

➢ *Chestionarul CCUCC - ”Cine? – Ce? – Unde? – Când? – Cum?”*

Acest chestionar **evidențiază toate dimensiunile unei situații (probleme, cauze, fenomene etc.)** prin răspunsurile la întrbările:

- ✓ **Cine** (cine trebuie să facă / să nu facă);
- ✓ **Ce** (ce trebuie făcut / ar trebui să se facă);
- ✓ **Unde** (unde ar trebui să se facă / să nu se facă);
- ✓ **Când** (când trebuie să se facă / moment / frecvență);
- ✓ **Cum** (cum trebuie să se facă, în ce măsură)

Metoda s-a dezvoltat ulterior în:
CCUCCD - *”Cine – Ce – Unde – Când – Cum – De ce”*
și apoi în:
CCUCCDC - *”Cine – Ce – Unde – Când – Cum – De ce – Cât (în ce măsură)”*

➢ *Chestionarul ”Cei 5 De ce?”* – ” 5-Why”

Acest chestionar **evidențiază adevăratele cauze (”rădăcina cauzei”) ale unei neconformități, nefuncționalități, probleme, deficiențe etc**., prin întrebarea ***”De ce?”*** după fiecare cauză identificată succesiv, de cinci ori.

O variantă este chestionarul ***”Cei 5 Cum?”*** **– ” 5-How”**

Taiichi Ohno
(1912 – 1990)

Creatorul tehnicii **”5-Why” Taiichi Ohno** a fost un proeminent om de afaceri japonez. Este considerat părintele **Toyota Production System (TPS)** care a devenit ulterior în SUA**, Lean Manufacturing**.

Principiile lui Ohno au influențat și zone din afara producției, extinzându-se și în zona serviciilor. De exemplu, domeniul **Sales Process Engineering** a arătat cum conceptul **JIT (Just In Time)** poate îmbunătăți vânzările, marketingul și procesele de service ale clienților.

Taiichi Ohno, este citat ca folosind următorul exemplu pentru a demonstra utilizarea metodei **5-Why**, pentru analiza cauzei de bază (rădăcina) – **”Root Cause Analysis”**:

1. **“De ce s-a oprit robotul?”**

   ✓ ***Circuitul s-a supraîncărcat, cauzînd ca o siguranță să se ardă.***

2. **“De ce s-a supraîncărcat circuitul?”**

   ✓ ***Lagărele nu au fost suficient lubrificate așa că s-au blocat.***

3. **“De ce a fost insuficientă lubrefierea lagărelor?”**

   ✓ ***Pompa de ulei a robotului nu circulă suficient ulei.***

4. **“De ce pompa nu circulă suficient ulei?”**

   ✓ ***Admisia pompei este înfundată cu șpan.***

5. **“De ce admisia este înfundată cu șpan?”**

   ✓ ***Pentru că pompa nu are filtru.***

You discover coolant leaking from a machine

WHY?

Coolant is leaking from the machine.

WHY?

A seal was damaged.

WHY?

Metal shavings got into the coolant.

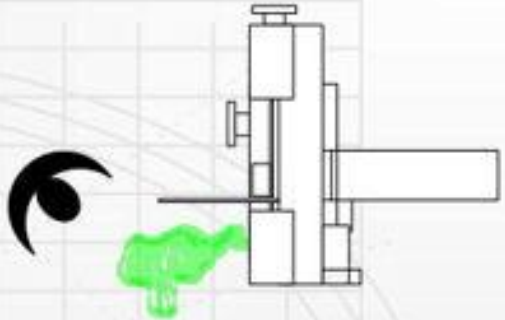
WHY?

A screen on a coolant recycling pump was broken.

WHY?

Root Cause

The screen is located in a place where it was likely to be damaged by dropped parts.



Action: Redesign machine, or add guard to cover the screen and prevent damage. If the seal was merely replaced, it would have soon needed repair again as the damage repeated itself.

Customers wait too long on the phone at the end of the month.

WHY?

The last week of the month is the busiest for sales.

WHY?

The company offers more incentives to customers late in the month.

WHY?

Sales are usually behind the goal late in the month.

WHY?

Customers have learned that if they wait, they will get incentives.

WHY?

Root Cause

Sales targets are done on a monthly basis, letting a big deficit form.

Action: Make weekly sales goals instead of monthly targets to prevent getting so far behind.

Metoda ”5-Why RCFA (Root Cause Failure Analysis)” (”5 De ce” – extinsă)

- **Metoda ”5-Why”** a analizei cauzei de bază (rădăcina) necesită răspunsul la întrebările ***a cum apar cauzele secvențiale a evenimentelor căderilor*** și ***să se identifice traiectul cauză-efect al căderilor***.

- Se pune întrebarea **”De ce?”** pentru a afla fiecare element cauzator anterior până când se presupune că se ajunge la cauza de bază (rădăcină) a incidentului.

- Din păcate **se poate ajunge ușor la o concluzie greșită**.

- La o întrebare **”De ce?”** **răspunsurile pot fi multiple** și dacă nu există certitudinea că un răspuns este cel corect **există posibilitatea să se fi urmat un traiect greșit al căderilor**.

✓ Descrierea metodei **”5-Why RCFA (Root Cause Failure Analysis)”**

- **Metoda ”5-Why RCFA”** utilizează un instrument numit ”**Arbore cauză-efect”** sau **”Arbore - De ce” (Why Tree)** și ***care permite identificarea interacțiunilor dintre cauze.***

- Uneori numai o cauză generează un eveniment, alteori sunt necesar mai multe cauze pentru a produce un efect.

- Chiar pentru probleme simple, arborele poate ”crește” foarte mult cu numeroase ”ramuri” cauză-efect.

- Există opinii că **7 întrebări ” De ce?”** sunt mai eficiente ca 5 întrebări, acestea nefiind suficiente pentru descoperirea ”adevărului latent” care inițiază incidentul.

- Metoda **”5-Why RCFA”** utilizează un **Tabel ”De Ce”** pentru a prezenta secvențial întrebările și răspunsurile la acestea.

- În tabelul următor se prezintă un exemplu pentru întîrzierea în livrare care a făcut ca o organizație să piardă un client important.

a. Construirea tabelului ”5 De ce?”

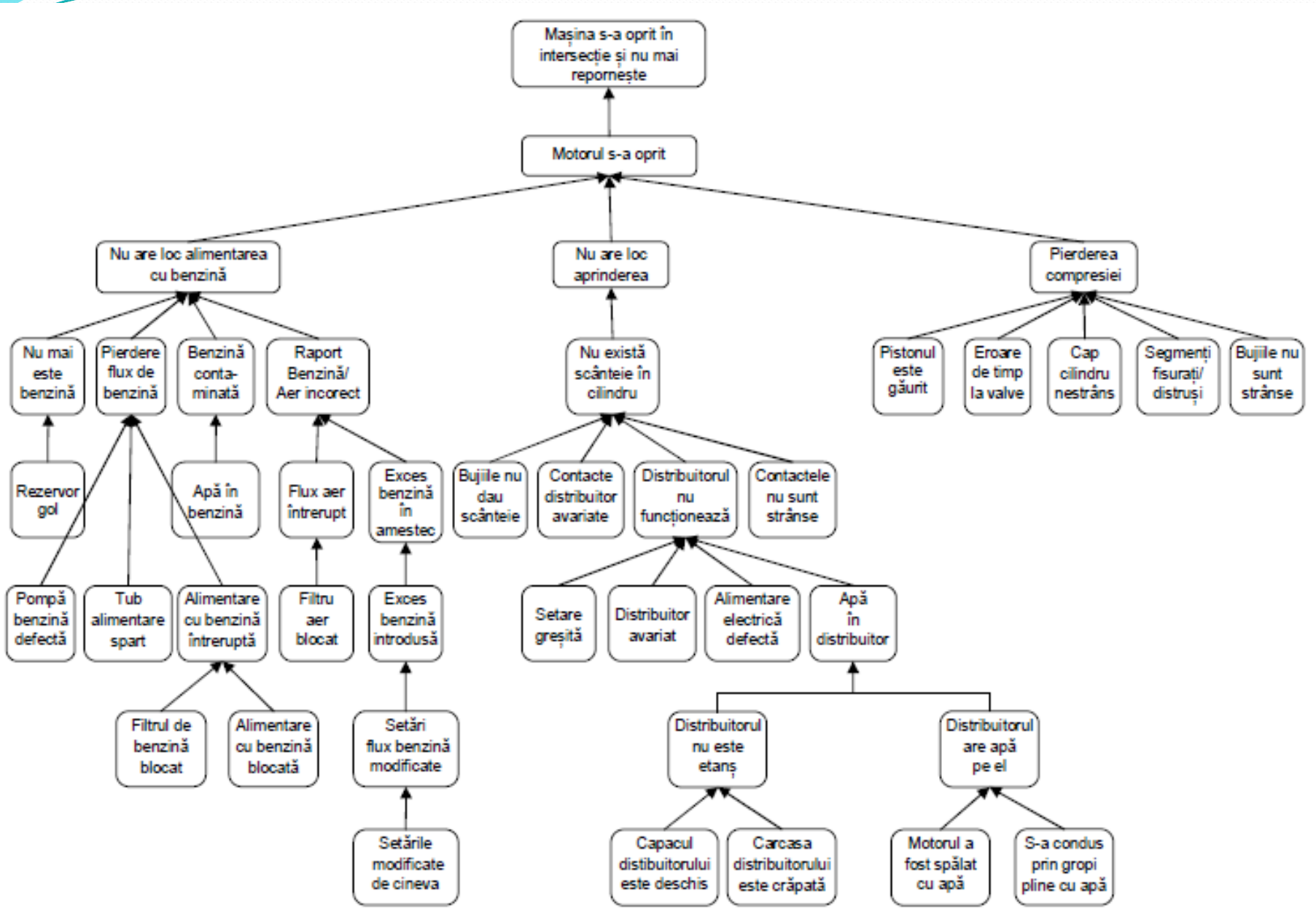
Exemplu: Întîrzierea în livrare care a făcut să se piardă un client important

Tabel întrebări ”5 De Ce”			
Membrii:		**Data:**	
Problema: Pe drumul spre casă de la servici, mașina s-a oprit în mijlocul drumului.			
Estimarea costului total: Deplasare cu taxiul x 2 = 50$, 2 ore pierdute = 100 $, Ordinul a ajuns târziu la client deoarece agentul nu a ajuns la servici în timp util pentru a lansa livrarea și clientul a impus o penalitate la contract de 25,000$. Clientul a pierdut și potențialele viitoare venituri de la acesta (se estimează la 2 millioane de $ în următorii10 ani).			
Soluția recomandată: O carte de credit la purtător pentru accesare banilor atunci cînd este necesar.			
Probleme latente: Cheltuirea tuturor banilor la poker arată lipsă de control personal și responsabilitate asupra banilor.			
Înrebări ” De ce?”	**Răspunsuri** (cu ce, când, unde, cum, cât de mult)	**Evidențe**	**Soluție**
1. De ce s-a oprit mașina?	Deoarece a rămas fără benzină pe un drum lăturalnic în drum spre casă.	Mașina s-a oprit în drum	
2. **De ce** a rămas fără benzină?	Pentru că nu am pus benzină în această dimineață în drumul spre servici.	Indicatorul de benzină a arătat ”gol”	Sună la servici și să vină cineva să te recupereze
3. **De nu** ai cumpărat benzină de dimineață?	Pentru că nu am avut bani la mine să cumpăr benzină.	Nu erau bani în portofel	Păstrează o carte de credit în portofel
4. **De ce** nu ai avut bani?	Pentru că am pierdut banii la poker jucând cu prietenii mei, acasă la unul dintre ei.	Se joacă poker în fiecare marți seara	Nu mai merge la poker
5. **De ce** ai pierdut banii la poker aseară?	Pentru că nu știu să blufez când am cărți proaste și ceilalți ridică miza.	S-au pierdut bani la multe jocuri de poker	Du-te la un curs de poker și învață să blufezi
6. De ce			

b. Construirea arborelui ”5 De ce?” – pe rând câte un nivel cauzal

- Numai utilizarea **tabelului ”5 De ce”** este permisă atunci când ***există o singură cauză pentru fiecere efect listat în tabel.***
- Conectivitatea logică între evenimente și toate cauzele lor poate fi observată construind un **arbore ”5 De ce”.**
- Trebuie construit **arborele ”5 De ce”,** pe rând pe câte un nivel și apoi să se pună întrebările pentru pentru a afla traiectul real la acel nivel cauzal.
- În figura următoare se prezintă **un arbore ”5 De ce” parțial** pentru o mașină oprită (un arbore complet ar fi imens).
- Echipa de analiză folosește experiența și cunoștințele lor colective pentru determinarea cauzelor pentru oprirea mașinii pentru a dezvolta logic **primul nivel al arborelui ”5 De ce”.**
- Odată identificate toate **cauzele de nivel 1 posibile**, se pune întrebarea **”De ce?”** pentru a afla care sunt **cauzele de nivel 1 reale**.

Exemplu: Arbore ”De ce” parțial pentru oprirea motorului unei mașini de pasageri



- Motorul unei mașini de pasageri se pate opri din cauza **căderii sistemului electric SAU căderea sistemului de alimentare SAU pierderea compresiei motorului**.

- Fiecare cauză este presupusă a fi independentă astfel încât conexiunile la evenimentul de cădere (din vârf) sunt cunoscute ca **”porți SAU”.**

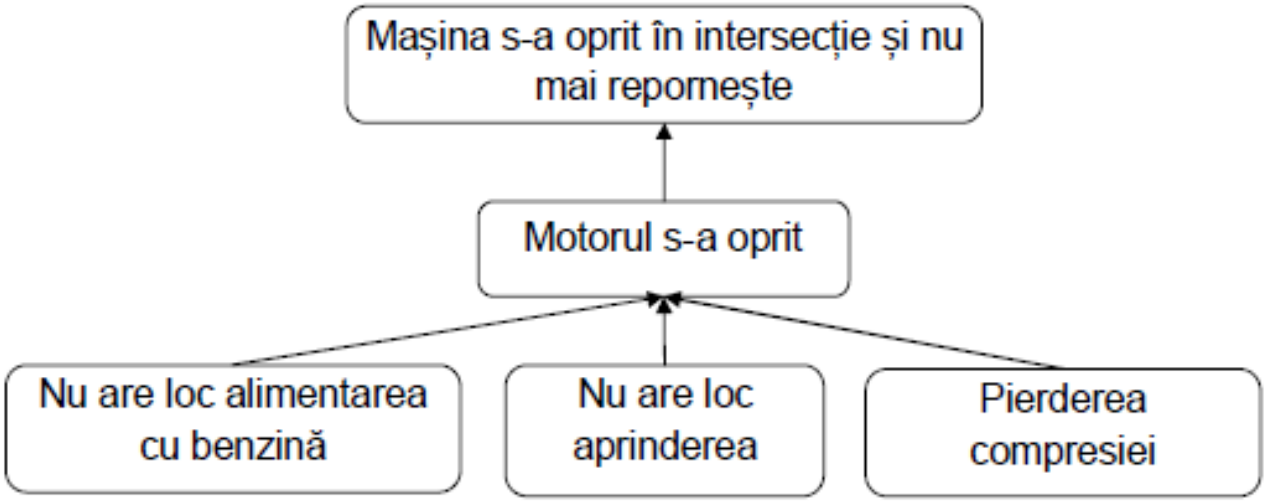
- Se observă din figura precedentă că la partea superioară a **arborelui ”5 De ce”** există trei ramuri mergând spre posibile cauze de bază.

- **Două** se vor dovedi **nereale** și de aceea **dezvoltarea lor nu are sens** (de aceea nu e bine să se dezvolte întreg arborele de la prima întânire a echipei dacă evidențele nu duc spre cauza de bază)

- La fiecare nivel **adevăratul traiect al căderii trebuie identificat de evidențe** și ***eliminate celelalte posibilități***.

- **Are sens dezvoltatea ramurilor care nu cauzează evenimentul de cădere de la vârf** numai **dacă se face o analiză de risc** și **nu o analiză a căderilor.**

- În figura următoare prima întrebare **”De ce?”** este **”De ce s-a oprit mașina?”**.
- Răspunsul este că **motorul a încetat să funcționeze**, **evidența este că mașina nu mai repornește.**
- Întrebarea de nivel 2 este **”De s-a oprit motorul?”.**
- ***O cădere critică*** a oricărei din componentele (electric, alimentare, mecanic) care fac motorul să funcționeze, ***îl va opri din funcționare.***



Evenimentul cădere

Cauze de nivelul 1

Cauze de nivelul 2

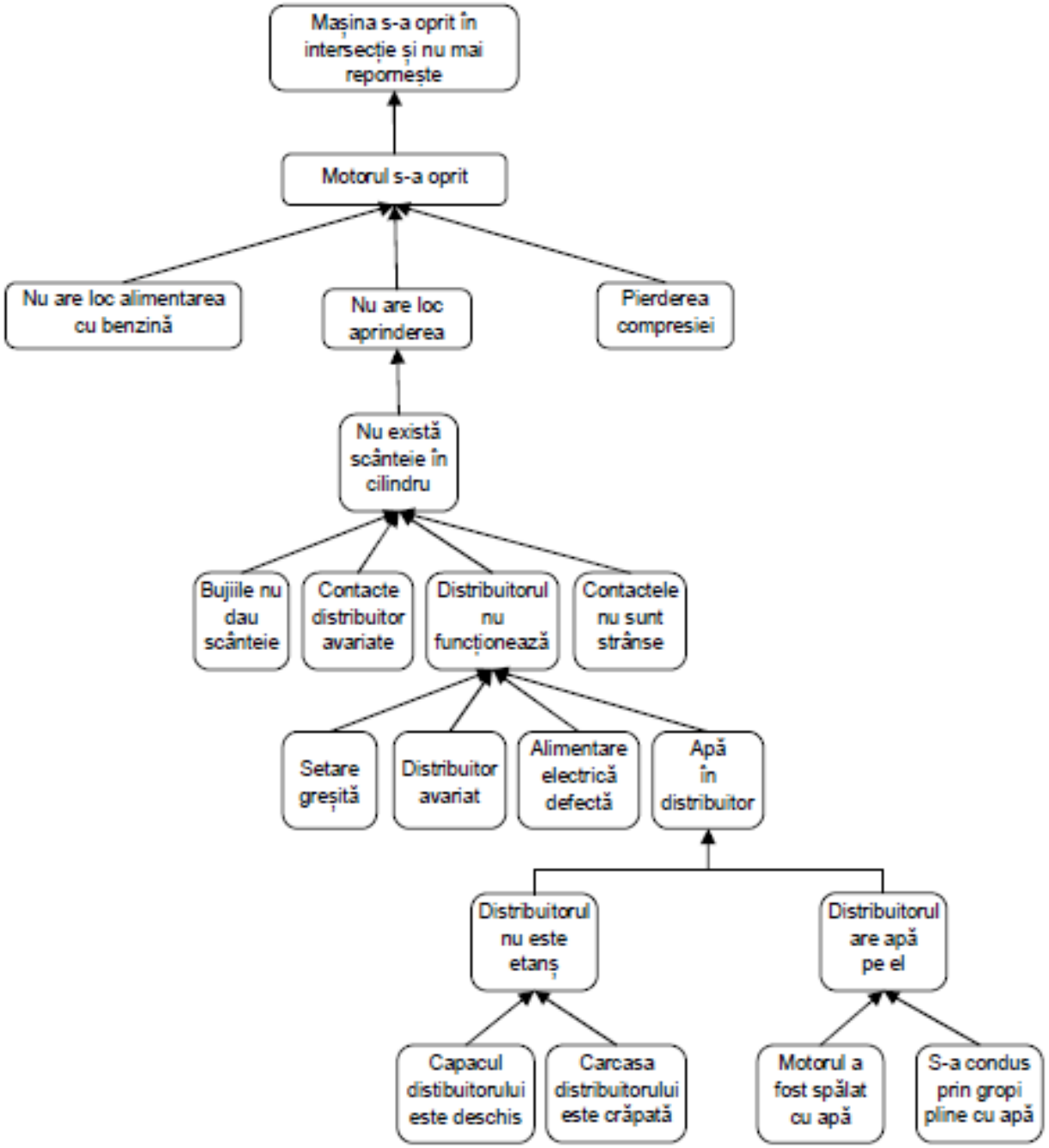
- La nivelul 2 există trei motive posibile pentru care motorul să nu funcționeze.

- **Nu trebuie pusă întrebarea de nivel 3 ”De ce?” până când nu se cunoaște răspunsul adevărat la întrebarea ”De ce” de nivel 2.**

- **Dacă există evidențe sigure/adevărate**, antunci echipa de analiză va ști **răspunsul adevărat la întrebarea ”De ce” de nivel 2**.

- ***Dacă nu există evidențe sigure/adevărate***, membri din echipă vor fi trimiși să investigheze evenimentele astfel încât **să fie identificat traiectul adevărat al căderii.**

- În figura următoare se prezintă **arborele ”5 De ce” pâna la nivelul cauzal 7.**



Evenimentul cădere

Cauze de nivelul 1

Cauze de nivelul 2

Cauze de nivelul 3

Cauze de nivelul 4

Cauze de nivelul 5

Cauze de nivelul 6

Cauze de nivelul 7

c. Selectarea întrebării de început cât mai sus în arborele ”5 De ce”

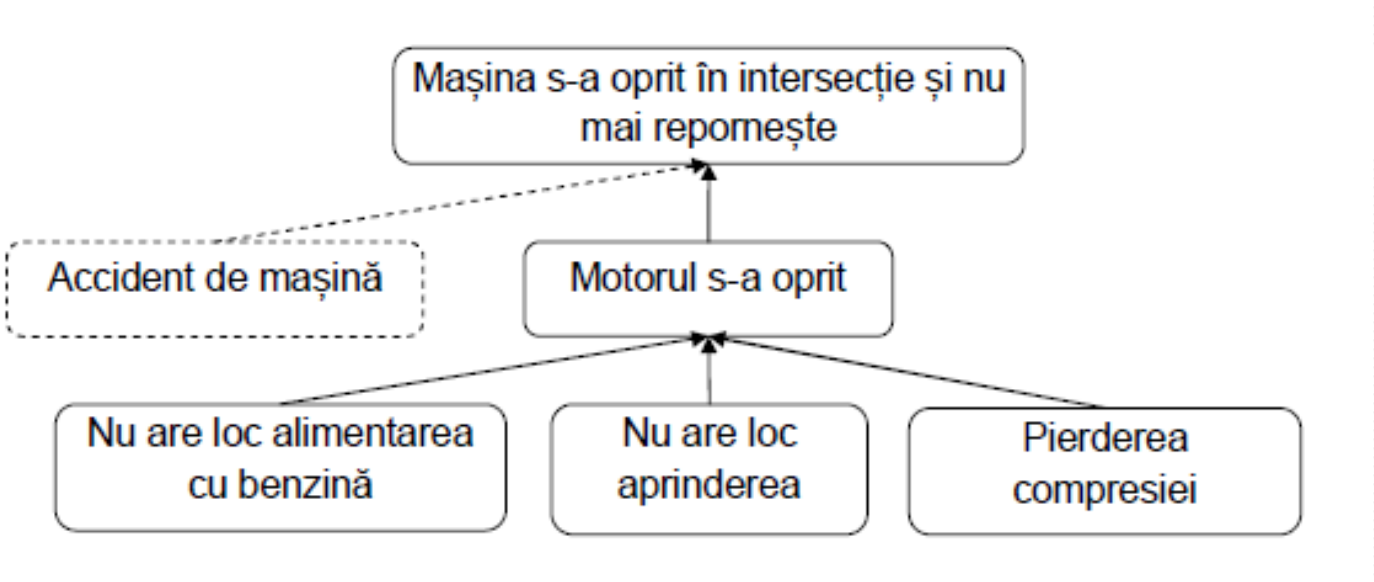
Dacă se selectează evenimentul cădere de vîrf prea jos în **arborele ”5 De ce”, *s-ar putea ca adevărata cauză să nu fie aflată***.

În cazul de față, **dacă evenimentul cădere de vârf ar fi fost faptul că ”motorul nu merge”** și am fi pus prima întrebare **”De ce?”** de forma **”De ce s-a oprit motorul?”,** am fi făcut presupunerea că mașina s-a oprit din cauza unei probleme cu motorul. Dar o mașină se poate opri și din cauza unui accident (de exemplu lovind mașina din față și avariind motorul)

În următoarea figură se arată **importanța întrebării ”De ce?” cât mai sus în arbore.** Astfel, **considerând evenimentul cădere de vârf ca fiind faptul că ”mașina s-a oprit”** și punând **prima întrebare ”De ce s-a oprit mașina”** ***ne asigurăm că toate celelate cauze posibile de oprire a motorului au fost eliminate de evidențe***.

- Nefiind un accident de mașină, în mod logic, **oprirea motorului s-a datorat unei probleme cu motorul însuși.**

- ***Este mai bine să se înceapă cât mai sus în* arborele ”5 De ce” și să se pună câteva întrebări nu neapărat necesare, dar la care să se poată răspunde ușor decât să se pornească prea jos cu întrebările în arborele ”5 De ce” *și să se rateze traiectul cauză și efect real al incidentului (evenimentului).***



Evenimentul cădere

Cauze de nivelul 1

Cauze de nivelul 2

✓ Observație:

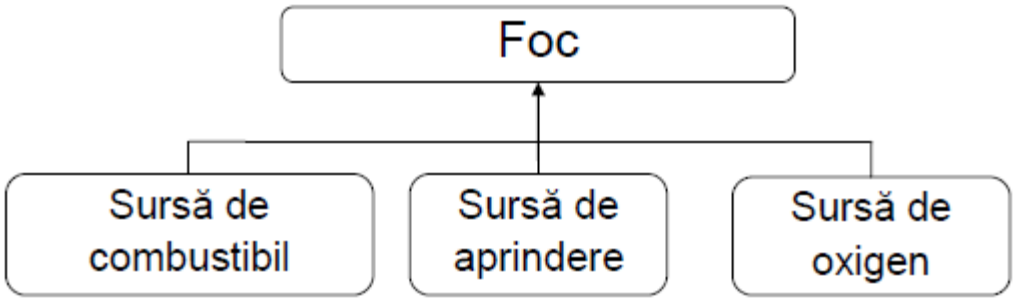
✓ Cum se tratează **”porțile ȘI”** în **metoda ”5-Why RCFA”**

⇨ Multe incidente de cădere necesită ca **multiple cauze să se producă simultan pentru a declanșa un eveniment ulterior** (de nivel următor).

⇨ De exemplu, ***un foc necesită oxigen, combustibil și o sursă de aprindere, toate trei fiind necesare simultan***.

⇨ Într-un **arbore ”5 De ce” pentru ”foc”,** va exista întotdeauna configurația din figura următoare, cu combustibilul **ȘI** oxigenul **ȘI** sursa de aprindere prezente.

⇨ În **arborele ”5 De ce”**, cele trei trec printr-o **poartă ȘI**.



Evenimentul cădere

Cauze de nivelul 1

- În figura următoare există **două cauze necesare simultan** pentru evenimentul **”Apă în distribuitor”** care formează o **”poartă ȘI”**

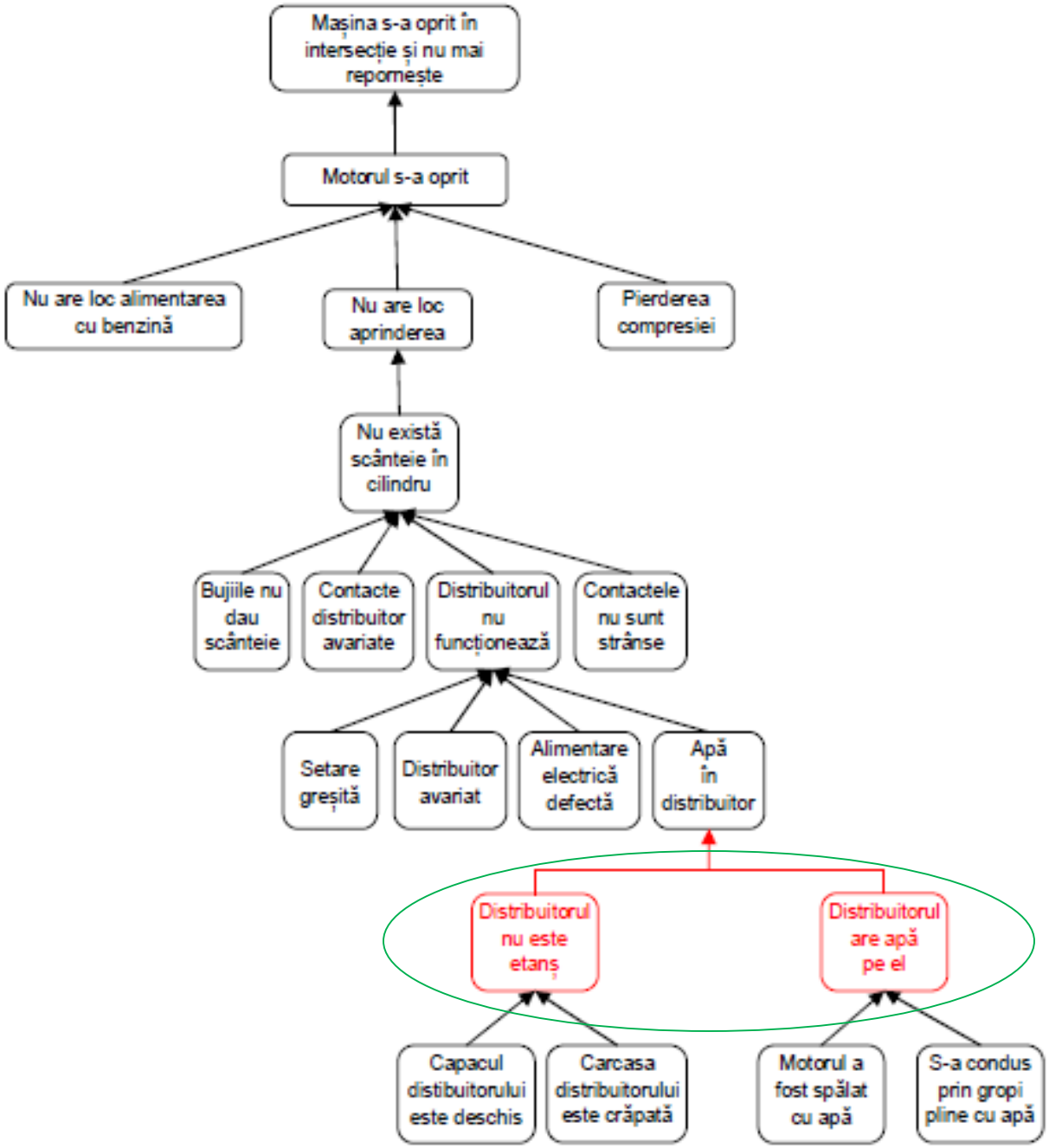
- Pentru ca să fie apă în distribuitor trebuie să existe un fel de ”gaură” în acesta și simultan trebuie să existe apă pe acesta

- Din păcate, un **tabel ”5 De ce”** ***nu acomodează*** **”porți ȘI”.**

- Dacă există o **”poartă ȘI”** în **arborele ”5 De ce”,** ***fiecare cauză trebuie separată în propriul*** **tabel ”5 De ce”.**

- **Tabelul ”5 De ce” poate fi folosit singur numai dacă există o singură cauză pentru fiecare efect**. Însă ***nu se poate ști dacă există o singură cauză*** **până când nu se dezvoltă acel nivel al arborelui ”5 De ce”**

- În figura următoare se arată că **sunt necesare 2 noi tabele ”5 De ce”** – unul pentru **”Distribuitorul nu este etanș”** și unul pentru **”Distribuitorul are apă pe el”**



Evenimentul cădere

Cauze de nivelul 1

Cauze de nivelul 2

Cauze de nivelul 3

Cauze de nivelul 4

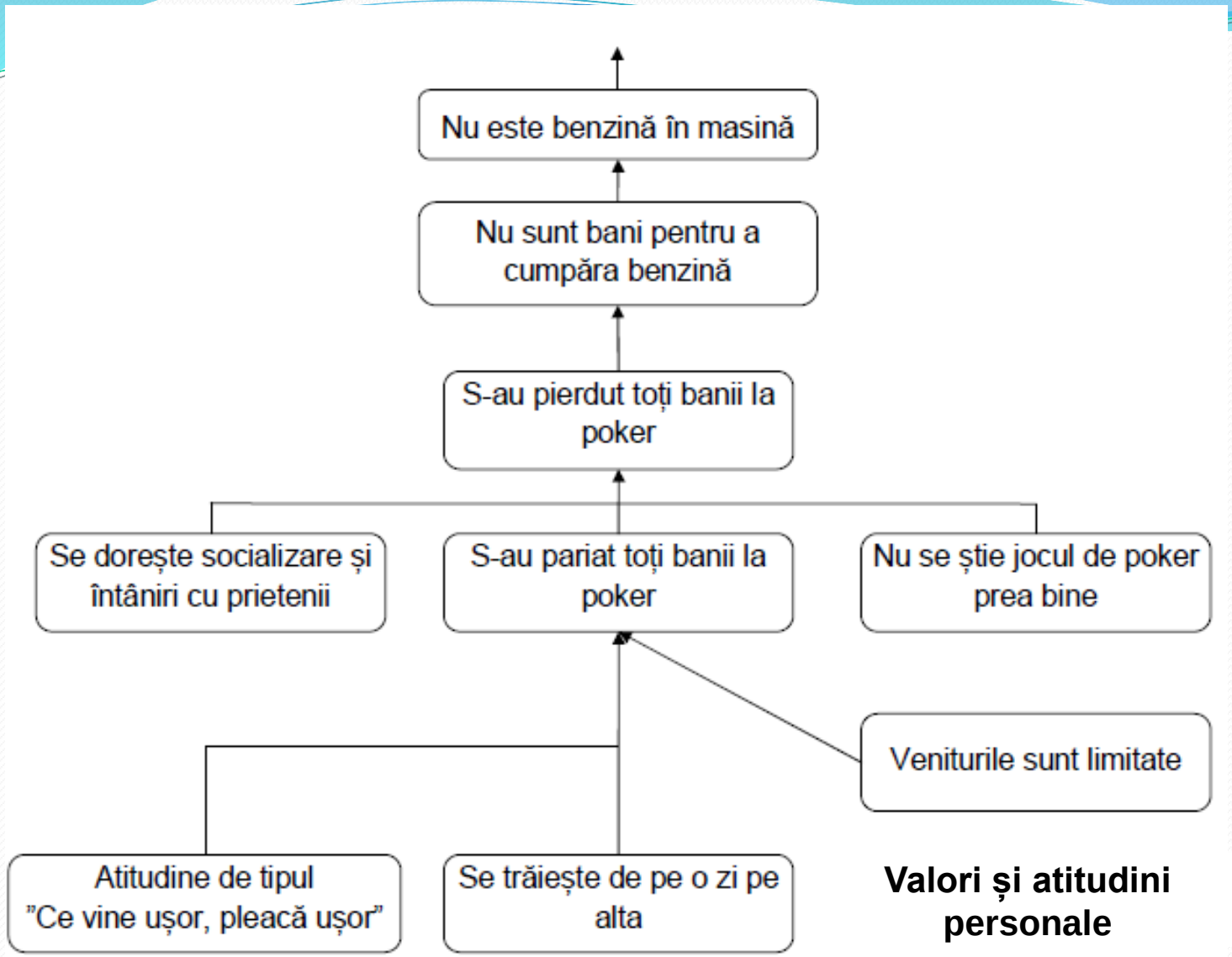
Cauze de nivelul 5

Cauze de nivelul 6

Cauze de nivelul 7

d. Identificarea cauzelor latente

- În **tabelul ”5 De ce”** s-a arătat că ***livrarea nu a fost efectuată de agent pentru că nu a ajuns la timp la servici***.
- S-a dovedit că acesta ***a pierdut toți banii la poker și nu a mai avut bani să cumpere benzină să ajungă la servici***.
- Pentru că livrarea nu a fost efectuată, ***organizația a fost penalizată și a pierdut afacerea pe termen lung***.
- Deși există câteva răspunsuri posibile listate în **tabelul ”5 De ce”** pentru problema de a nu a avea banii, ne-am oprit chiar înainte de a pune **cea mai importantă întrebare ”De ce a pariat toți banii pe care îi avea?”**
- Această persoană are o slujbă nu foarte bine plătită, are familie de întreținut, are datorii de plătit și totuși a pariat toți banii.
- Un **arbore ”5 De ce”** referitor la ***deciza greșită de a paria toți banii*** este prezentat în figura următoare.


Nu este benzină în masină
Nu sunt bani pentru a cumpăra benzină
S-au pierdut toți banii la poker
Se dorește socializare și întâniri cu prietenii
S-au pariat toți banii la poker
Nu se știe jocul de poker prea bine
Veniturile sunt limitate
Atitudine de tipul "Ce vine ușor, pleacă ușor"
Se trăiește de pe o zi pe alta
Valori și atitudini personale
Cauze latente

✓ Observații:

- **Nu a fost rezolvată adevărata cauză de bază (rădăcina) a acestui eveniment cădere** – ***problema cu jocul de poker al agentului***. Această problemă este o **cauză latentă**, care va rămâne, ”așteptând” să cauzeze mai multe necazuri în viitor.

- **Valorile și atitudinea acestui agent** de tipul ”vine ușor, pleacă ușor”, **au cauzat de fapt evenimentul cădere** cu consecințele pecuniare și de viitor ale organizației”, el fiind cel mai mare dușman al său și al celorlalți angajați.

- ***Dacă nu aflam că agentul are o problemă cu jocurile de noroc*** **nu am fi putut afla adevărata cauză de bază (rădăcina) a acestui eveniment cădere**.

- De fapt dacă am fi acționat cum s-a sugerat în **tabelul ”5 De ce”,** adică să îi dăm o carte de credit în caz că rămâne fără bani, l-am fi pus în situația riscantă să intre în datorii și mai mari.

- **Numai după aflarea cauzei latente** putem face o alegere bună de a reduce șansa repetării problemei (să îl luăm de la locul faptei și să îl aducem la servici)

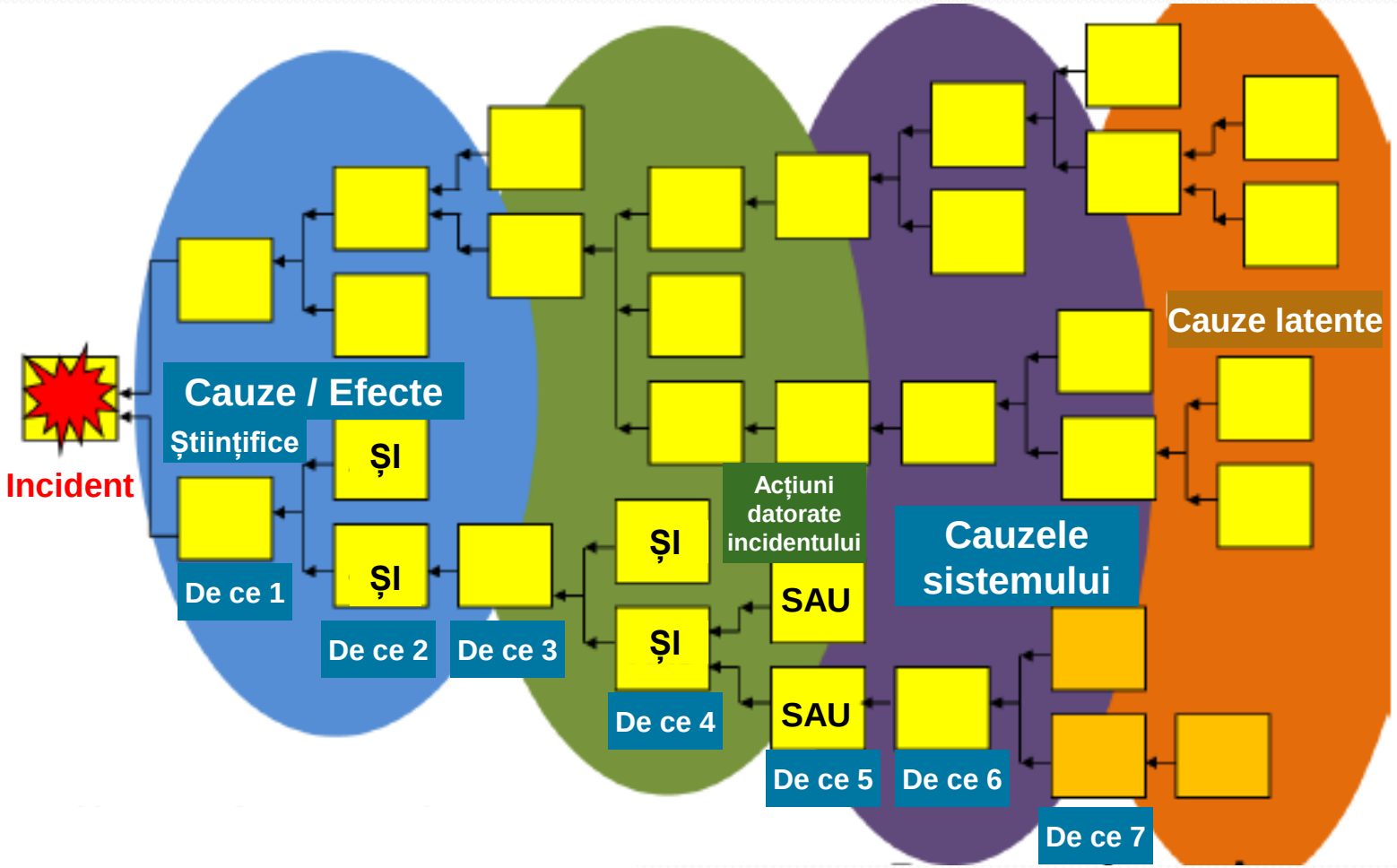
.

- **Managerul acestui agent are o dilemă** (evident agentul reprezintă un risc), **să îl concedieze sau să îl repartizeze într-un post mai puțin important**. Chiar și în alt post atitudinile și valorile agentului sunt un pericol pentru organizație.

- **Cauzele latente sunt cele mai importante (critice)** dar sunt greu de lucrat cu ele fiind adesea stânjenitoare pentru toți cei implicați.

- **Până nu se știu cauzele latente ce au declanșat evenimentul cădere și nu sunt eliminate sau prevenite**, **nu a fost atacată de fapt adevărata cauză (rădăcina)**

- Figura următoare arată că ***un incident poate fi inițial legat de factorii fizici științifici ai căderii***, **mergând în aval** vom observa ***evenimenele situaționale legate de circumstanțele prezente în acel moment***. **Și mai în aval *se pot observa căderile procesului organizației ce permit să apară situații nedorite*** iar **în final se ajunge în zona latenței** unde ***atitudini și valori personale penetrează sistemul de protecție al organizației***.



Progresia incidentelor și a evenimentelor de cădere

✓ Concluzii:

✓**Metoda ”5 De ce”- extinsă (”5-Why RCFA”)** este simplă conceptual dar ***necesită evidențe reale, logică și disciplină în utilizare***.

✓ **Se poate completa tabelul ”5 De ce” spre cauza adevărată** (**rădăcină**) **dacă se construiește inițial arborele ”5 De ce”**.

✓ **Există multe incidente și evenimente care pot cauza căderea din vârf** și **trebuie aflate ramurile cauzelor și efectelor spre spre cauza (cauzele) adevărată (rădăcină).**

✓ ***Dacă se merge în direcția greșită se vor rezolva problemele greșite*** **lăsând pe dinafară cauza adevărată (rădăcină).** Acestea ***vor rămâne în organizație ”așteptând” următoarea oportunitate de a crea mai multe probleme.***

✓ Trebuie păstrate toate evidențale în cazul în care apare o cădere. **Cu fapte și evidențe complete, reale, se pot afla cauzele adevărate care pot fi apoi eliminate și prevenite.**

➢ *Grila priorităților*

Acest instrument **evidențiază nivelul de urgență sau de prioritate** al activităților prin situarea lor în unul din cele **4 cadrane de prioritate**

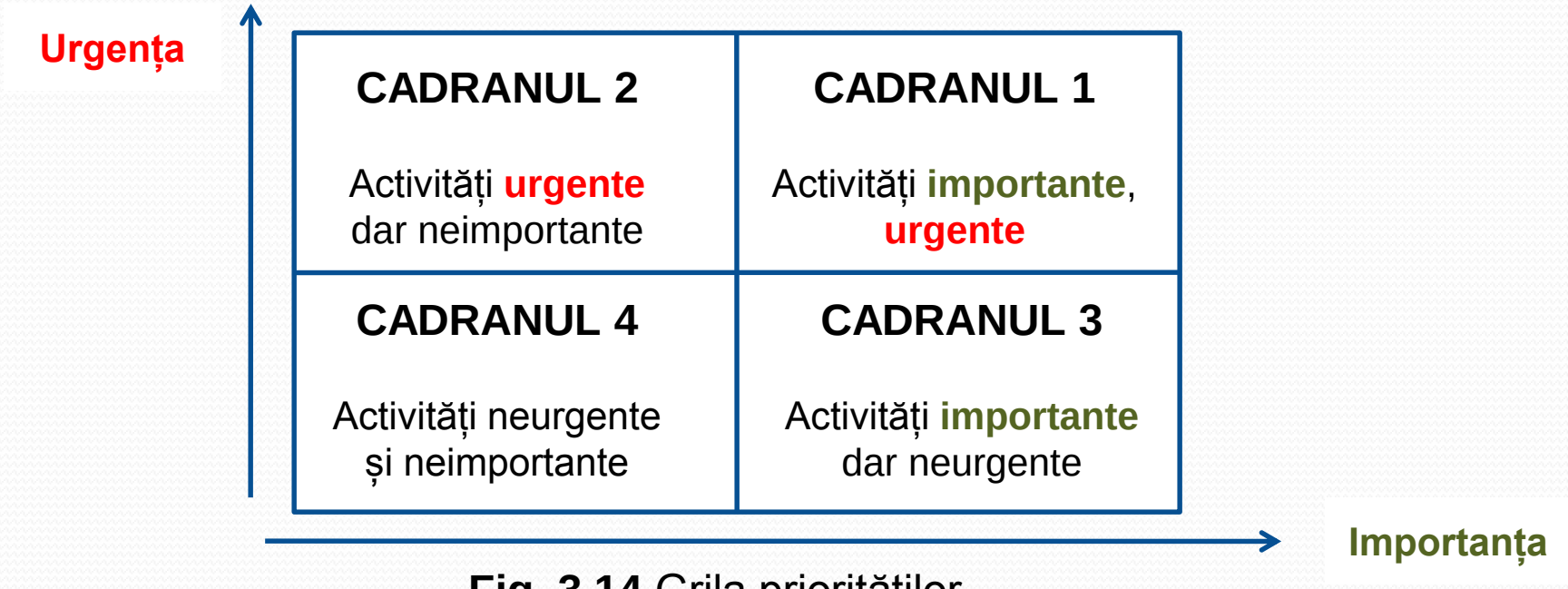


Fig. 3.14 Grila priorităților

Evaluarea urgenței și a importanței se face prin notarea acestora de la **0** la **10**. Se poate creea astfel ***o bază riguroasă pentru alocările de resurse*** și **concentrarea acestora spre activitățile ierarhizate în ordinea importanței și urgenței**

➢ *Grila eficacității / eficienței*

Standardul ISO 9000/2000 definește:

Eficacitatea: ”**măsura în care *activitățile planificate sunt realizate* și *rezultatele planificate sunt atinse***”

Eficiența: ”**relația între *rezultatul obținut și resursele utilizate***

Eficiența		
	CADRANUL 3 Activități **eficiente** dar cu **eficacitate** scăzută	**CADRANUL 1** Activități **eficace și eficiente** (muncă poductivă)
	CADRANUL 4 Activități cu **eficacitate** și **eficiență** scăzută	**CADRANUL 2** Activități **eficace** dar cu **eficiență** scazută
		Eficacitatea

Fig. 3.15 Grila eficacității / eficienței

Acest instrument **evidențiază gradul de eficacitate** și **de eficiență** al desfășurării activităților prin situarea lor în unul din cele 4 cadrane.

Performanța se obține doar dacă activitățile se situează în cadranul 1

3.3 Instrumente ale calității utilizate în procesul decizional

a. Arborele decizional

b. Tabelul decizional

c. Tehnica bilanțului

d. Tehnica ”ELECTRE”

3.4 Instrumente ale calității utilizate în strategia managerială

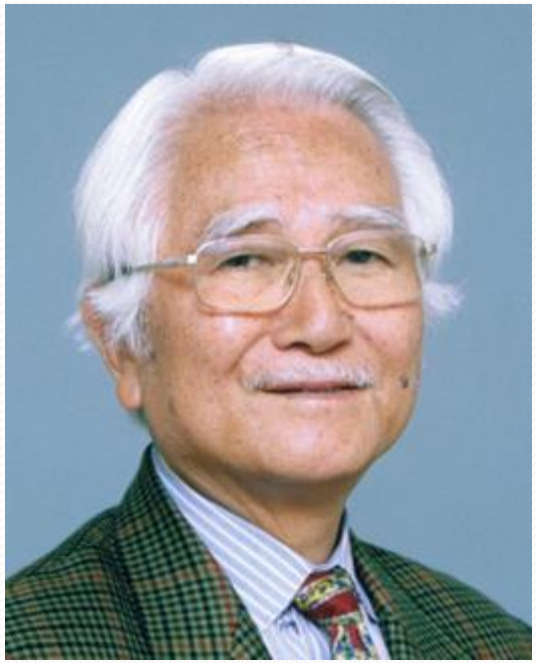
a. Planul calității

b. Benchmarking

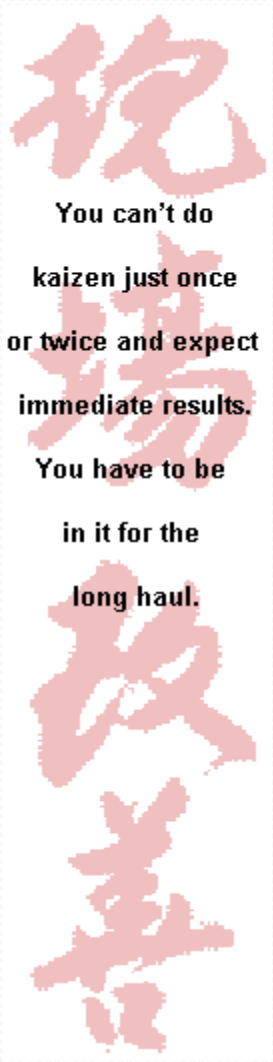
c. KAIZEN

d. Reingineria procesului de afaceri

c. Ameliorarea calității cu pași mici – KAIZEN



Masaaki Imai



Cunoscut ca **"Lean Guru"** și "părintele" **îmbunătățirii continue – Continuous Improvement**, **Masaaki Imai** a fost pionierul și leaderul răspândirii filozofiei Kaizen în întreaga lume.

În 1985 a înființat "*Kaizen Institute"* pentru sprijinirea companiilor în introducerea conceptelor, sistemelor și instrumentelor Kaizen.

În 1986 a publicat cartea "*Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success"* tradusă în 14 limbi.

A fost prima carte care a introdus filozofia "**LEAN**", prezentând succesele Toyota și al altor companii japoneze.

Această metodă are la bază **filozofia îmbunătățirii continue cu pași mici** în toate activitățile organizației **pentru satisfacerea așteptărilor clienților** dar și **implicarea totală în acest demers a tuturor managerilor și a întregului personal al organizației**, fiecare îndeplinind un rol corespunzător cu poziția deținută.

Pe această filozofie ***se construiesc și se implementează instrumente efective de lucru*** care permit conștientizarea participării fiecărui angajat și **crearea unor standarde de referință care cer ameliorări continue, evidențierea eficacității și a rezultatelor obținute** și în general **crearea unui climat al deschiderii, colaborării, participării, motivării și a unei continue inovări și creativități**

Principalele instrumente ale KAIZEN

- ✓ **ameliorarea continuă** folosind **ciclul Shewhart (Deming) PDCA**
- ✓ **încurajarea și implementarea** unui **sistem eficient de sugestii** (încurajarea pesonalului în a face sugestii, în a analiza și participa la aplicarea soluțiilor alese)

- ✓ **introducerea unor metode eficiente de analiză și identficare a cauzelor** bazate pe instrumenele: **”diagrama Ishikawa”, ”Cei 5 De Ce”**

- ✓ **introducerea și aplicarea** planificării **JIT (Just In Time)**

- ✓ **introducerea și aplicarea** metodei **TPM (Total Productive Maintenance** (participarea efectivă a operatorilor la întreținerea preventivă a utilajelor pe care le folosesc și asigurarea unei funcționări mai bune a acestora cu consecința reducerii cheltuielilor de întreținere și reparații)

- ✓ aplicarea metodei **”5 S”**

  - **SEISO** – condiții de lucru curate tot timpul
  - **SEITON** – ordonarea fiecărui lucru
  - **SEIRI** – îndepărtarea lucrurilor inutile de la postul de lucru
  - **SHITSUKE** – disciplină prin confomare la standardele de lucru și metode
  - **SEIKESU** – menținerea igienei și ambianței plăcute

3.5 Instrumente ale calității utilizate în cadrul proceselor

a. Instrumente utilizate pentru identificarea, definirea, analiza cerințelor și așteptărilor

- *Ascultarea vocii clientului*
- *Modelul Kano*
- *Analiza funcțională a serviciilor produsului*
- *Dezvoltarea funcției calității*
- *Caietul de sarcini funcțional*

b. Instrumente utilizate în proiectarea constructivă și tehnologică a produsului

b1. Instrumente utilizate în controlul planificării proiectului

- *Analiza drumului critic*
- *Diagrama PERT*

b2. Instrumente utilizate la examinarea proiectelor

- *Analiza funcțiunilor tehnice*
- *Analiza robusteții proiectului – Poiectarea Robustă Taguchi*
- *Analiza Modurilor de Defectare, a Efectelor și Criticității lor (AMDEC)*
- *Analiza Valorii*
- *Analiza experimentală a produsului*
- *Analiza de omologare a produsului*

c. Instrumente utilizate la fabricația, inspecția, stocarea și livrarea podusului

c1. Instrumente utilizate în controlul planificării fabricației

- *Diagrama sau sinoptica procesului de fabricație*
- *Analiza și urmărirea planului de fabricație*

c3. Analiza siguranței în funcționare a procesului

c4. Analiza stocurilor

c5. Just In Time (JIT)

- *Ascultarea vocii clientului* – Voice Of Customer (VOC)

VOC este sintagma care denumește **tehnica calității** prin care **funcția de marketing a organizației sau un colectiv de lucru multidisciplinar** recurge la următoarea ***succesiune de activități***:

- **Definirea segmentului de piață** și a **clienților** ale căror ”voci” (cerințe, așteptări) urmează a fi ascultate
- **Stabilirea eșantionului reprezentativ** al clienților
- **Stabilirea produsului/produselor** care va face/vor face obiectul studiului

- **Stabilirea aspectelor ce vor fi urmărite relativ la podus** (modul de achiziție, caracteristici/perfomanțe, cost, termene, standarde, întreținere, service etc.)

- **Stabilirea modului de ascultare a clientului** (interviu individual/grup, audio/video, chestionar, grilă etc.)

- **Desfășurarea acțiunii propriu-zise**

- **Analiza ideilor exprimate** (frecvență, regrupare, ponderare)

- **Definirea indicatorilor rezultați** din analiza ideilor exprimate

- **Stabilirea acțiunilor de corectare necesare, aplicarea lor și urmărirea indicatorilor** definiți anterior

Pasul 1: Dezvoltarea strategiei “Vocea Clientului” (VOC)

Organizațiile cheltuie mulți bani pentru cercetarea pieței și intervievarea clienților, dar ***practicile curente nu rețin cerințele clienților în mod corect***.

Organizațiile încep să-și dea seama că nu își înțeleg clienții așa de bine precum credeau!!!

➢ **Elemente esențiale privind sistemul ”Vocea Clientului” (VOC):**

- ✓ ***Considerați-l ca un efort continuu...***
- ✓ ***Definiți clar “Clienții”...***
- ✓ ***Folosiți o gamă largă de metode...***
- ✓ ***Căutați date specifice...***
- ✓ ***Urmăriți tendințele...***
- ✓ ***Folosiți corect informațiile...***
- ✓ ***Porniți cu obiective realiste.***

Pasul 2: Dezvoltarea standardelor de performanță și a declarației de cerințe

Folosiți Pasul 1 ***pentru a obține informații despre nevoile și comportamentul clienților*** pentru ***a stabili linii directoare clare pentru performanță și satisfacția clienților.***

Odată definite cerințele concrete, ***performanța actuală poate fi măsurată*** iar ***strategia și focalizarea pe piață pot fi evaluate în raport cu așteptările și cerințele clienților***.

➢ **Tipuri de cerințe: Ieșiri** și **Service**

- **Cerințe de ieșire -** elemente și/sau caracteristici ale produsului final sau serviciului care sunt livrate clientului la sfârșitul procesului.

- **Cerințe de service -** linii directoare despre cum trebuie tratați/serviți clienții în timpul desfășurării procesului însăși.

➢ **De ce ne referim atât la Cerințe de ieșire cât și la Cerințe de Service?**

Toți clienții au aceste cerințe

Clienții sunt atenți adesea în mod egal la ele, **dacă nu chiar mai mult** la **Cerințele de Service**.

➢ **Linii directoare privind Declarația de Cerințe...**

1. ***Legarea de o ieșire specifică sau "Momentul Adevărului."***
2. ***Descrierea unui criteriu (sau factor), unic de performanță.***
3. ***Flosirea factorilor observabili și/sau măsurabili.***
4. ***Stabilirea unui nivel de performanță "acceptabil" sau "inacceptabil".***
5. ***Detaliere dar conciziune.***
6. ***Potrivire sau validare de "Vocea Clientului" (VOC).***

➢ Etape spre definirea cerințelor...

1. *Identificare situației de leșire sau **Service.***
2. *Identificarea clientului sau segmentului clientului.*
3. *Evaluarea datelor disponibile despre nevoile, așteptările, comentariile, plângerile clienților etc.*
4. *Elaborarea unei Declarații de Cerințe inițiale.*
5. *Validarea cerințelor.*
6. *Rafinarea și finalizarea Declarației de Cerințe.*

Pasul 3: Analiza și prioritizarea Cerințelor Clienților

➡ *Cerințele clienților nu sunt egale* iar **clienții vor recționa diferit în ceea ce privește un "defect" pentru cerințe diferite.**

➡ **Analiza Kano**

- ✓ **Cerințe de bază**
- ✓ **Cerințe variabile**
- ✓ **Cerințe latente**

➢ *Modelul Kano*

Noriaki Kano

Noriaki Kano este cel care a dezvoltat ***”Modelul Satisfacției Clientului”*** (cunoscut ca și **Modelul Kano**) care printr-o schemă simplă de ierarhizare ***distinge între atributele esențiale și diferențiatoare legate de conceptele calității clientului***.

Astfel **Modelul Kano** se focalizează pe ***diferențierea atributelor produsului*** și ***nu cum se făcea inițial pe nevoile clienților***.

De asemenea a propus o ***metodologie*** pentru conectarea răspunsurilor clienților la un ***chestionar special***.

- Este foarte important pentru organizaţii, în special pentru cele care lucrează la dezvoltarea de noi produse şi servicii inovative, ***să cunoască nevoile şi cerinţele clienţilor lor cât mai rapid***.

- Abordarea „**Crearea Calităţii Atractive**”, cunoscută şi sub numele de „**Modelul Kano**” a apărut ca urmare a ***punerii sub semnul întrebării a ideii tradiţionale că acţionând mai intens asupra unui produs sau serviciu atunci clientul va fi cu atât mai mulţumit***.

- **Noriaki Kano** a susţinut că ***performanţa unui produs sau serviciu nu este egală în ochii clienţilor***, în sensul ***că performanţa unor anumite categorii de atribute ale produselor sau serviciilor, produce niveluri mai mari de satisfacţie decât a altora***.

- **Noriaki Kano** ***a îmbunătăţit definiţia calităţii adăugând o nouă dimensiune acesteia***, definiţiile precedente ale calităţii până în acel moment au fost ***liniare şi unidimensionale***.

Calitatea Unidimensională

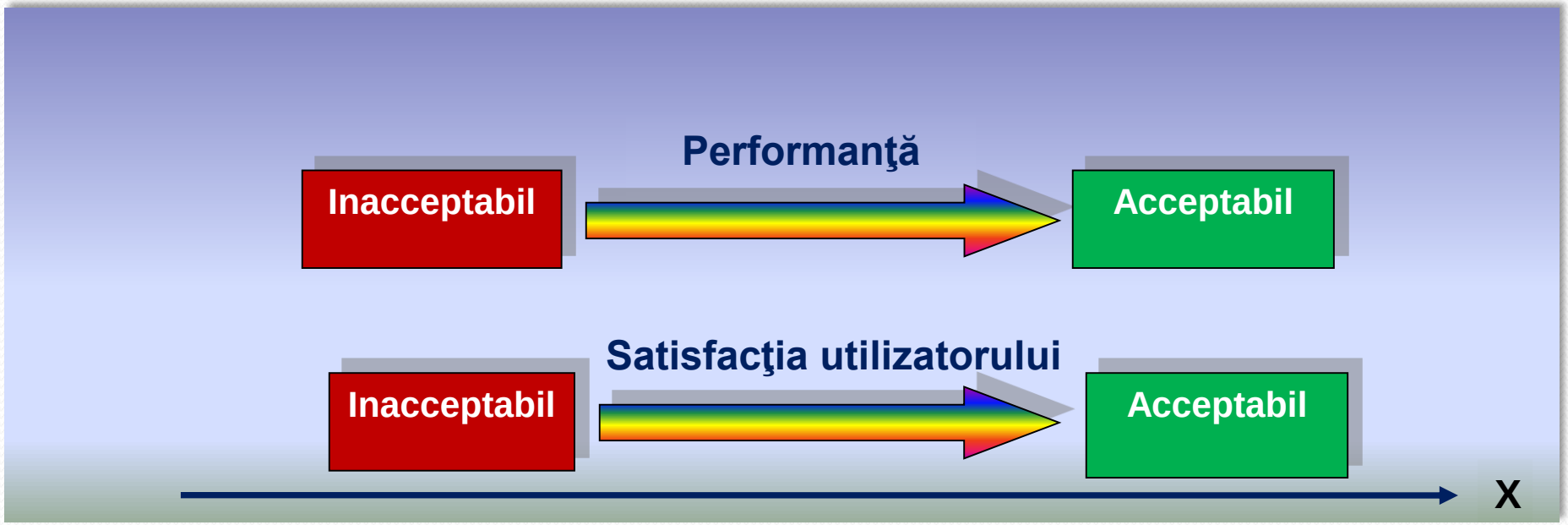


Fig. 3.16 Calitatea unidimensională

Noriaki Kano a integrat calitatea unui ***model bidimensional***, considerând două dimensiuni: modul în care se comportă un produs sau serviciu din punct de vedere al performanţei (axa X), şi gradul de satisfacţie al utilizatorului / clientului (axa Y).

Calitatea Bidimensională

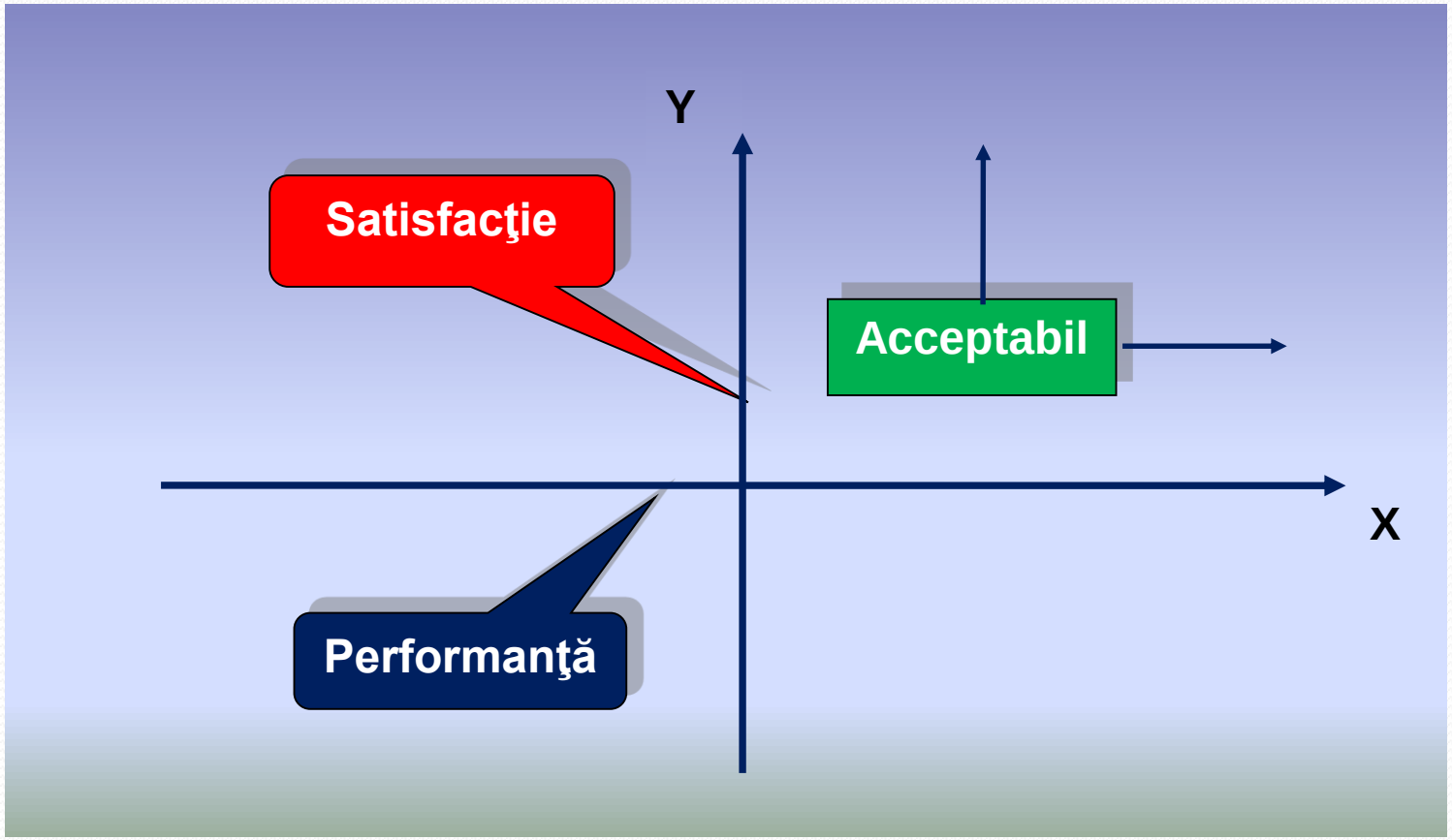


Fig. 3.17 Calitatea bidimensională

FOARTE IMPORTANT!!!

...analiza **”problemelor clienților”** în loc de a **”dorințelor clienților”**

- Dacă clienții sunt întrebați în faza de explorare **numai despre dorințele lor și despre motivele cumpărării**, rezultatele sunt de obicei dezamăgitoare și răspunsurile deja cunoscute.
- Așteptările privind produsul, menționate de clienți, sunt numai vârful icebergului, fiind necesar să se evidențieze **nevoile ”ascunse” și problemele**.
- O analiză detaliată a problemelor ce trebuie rezolvate, a condițiilor și mediului în care evoluează produsul pot conduce la informații privind dezvoltări ulterioare ale produsului.

...următoarele întrebări pot fi de mare folos atunci când se investighează **problemele clienților....**

1. ***Ce asociații face clientul atunci când utilizează produsul X ?***
2. ***Care probleme/defecte/plângeri le asociază clientul cu utilizarea produsului X ?***
3. ***Care criterii ia în considerare clientul atunci când cumpără produsul X ?***
4. ***Care elemente sau servicii noi ar putea împlini mai bine așteptările clientului ?***
5. ***Ce ar schimba clientul la produsul X ?***

Elaborarea **modelului Kano** începe printr-o ***sondare a clienţilor pe bază de chestionare,*** aceştia **fiind întrebaţi despre atributele produselor şi ce percepţie au atât asupra faptului că le au în mod suficient sau în mod insuficient.**

Un **sondaj de tip Kano pune 2 întrebări pentru fiecare atribut al produsului** rezultând categoriile din tabelul 3.2.

Tab. 3.2 Categoriile atributelor conform Modelului Kano

Stare fizică (gradul de îndeplinire)	**Suficient**			
Insuficient	**Percepţia utilizatorului**	**Nesatisfăcut**	**Neutru**	**Satisfăcut**
	Nesatisfăcut	*Sceptic*	*Trebuie să existe*	*Unidimensional*
	Neutru	*Invers*	*Indiferent*	*Atractiv*
	Satisfăcut	*Invers*	*Invers*	*Sceptic*

Exemplu:

Prima întrebare:

„Dacă automobilul ***are o vizibilitate bună*** [**suficient**], cum vă simţiţi? [**neutru**].

Deci “starea fizică” este [**suficient**] iar “percepţia utilizatorului” este [**neutru**].

A doua întrebare:

“Dacă automobilul ***nu are o vizibilitate bună*** [**insuficient**], cum vă simţiţi ? [**nesatisfăcut**].

Deci “starea fizică” este [**insuficient**] iar “percepţia utilizatorului” este [**nesatisfăcut**].

Astfel la intersecţia celor două, se obţine din tabel, varianta ***“Trebuie să existe”,*** adică vizibilitatea bună este aşteptată pentru un astfel de automobil de către client (sau segment de clienţi).

Există șase categorii de cerinţe...

1. Atractiv → ... numită şi **„Încântător”** se referă la ***cerinţe în general necunoscute clienţilor***, care nu le menţionează atunci cînd sunt intervievaţi dar le plac atunci când le observă.

2. Indiferent → **...** se referă la faptul că clienţilor pur şi simplu ***nu le pasă despre aceste cerinţe (le sunt indiferente)***.

3. Unidimensional → ...numită şi **„Dorit”** se referă la faptul că ***relaţia între gradul de îndeplinire (starea fizică) şi gradul de satisfacţie este una liniară***. Mai multă performanţă aduce în mod proporţional mai multă satisfacţie. Cerinţele **„Dorite”** rezultă de obicei atunci când clienţii sunt întrebaţi despre ceea ce doresc. Clienţii sunt de obicei dispuşi să facă compromisuri în ceea ce priveşte mai multă performanţă pentru unul din elemente în contul altui element.

4. Trebuie să existe → ... numită şi **„Aşteptat”** ***sunt asumate de clienţi şi nu sunt menţionate*** (numai dacă nu au fost recent dezamăgiţi).

5. Invers → ... se referă la cerinţele pe care ***clienţii ar prefera să nu le aibă***, fiind chiar dispuşi să plătească să nu le aibă. Prezenţa lor produce insatisfacţie iar absenţa lor satisfacţie.

6. Sceptic → ... se referă la faptul că există o anumită ***incertitudine*** în ceea ce priveşte răspunsul clientului.

Referitor la categoria **6. Sceptic**

Alţi evaluatori consideră că în această categorie se pot încadra răspunsurile obţinute atunci când se evaluează nivelele de performanţă despre care…

...clientului fie că nu îi pasă :

„Cum te-ai simţi dacă salariul îţi creşte cu 10 lei [**suficient**], sau cu 5 lei [**insuficient**]?

...fie că le acceptă pe oricare dintre ele :

„Cum te-ai simţi dacă ai avea un salariu de 9000 lei [**suficient**], sau de 6000 lei [**insuficient**]?

De notat că clientul va evalua întotdeauna întrebarea având în minte un anumit nivel de performanţă.

Kano urmează aceste categorii cu sintagma „**elemente de calitate**”, însemnând un nivel înalt funcţional al cerinţelor.

- Exemple de răspunsuri la **categoriile Kano** referitoare la **elementele de calitate ale unui automobil**

Elementul de calitate	Aşteptat	Dorit	Încântat	Indiferent	Invers
Vizibilitate bună	●				
Interior spaţios		●			
Sistem de tracţiune îmbunătăţit			●		
Imagine aventuroasă şi simpatică				●	
Transmisie manuală în 6 trepte					●

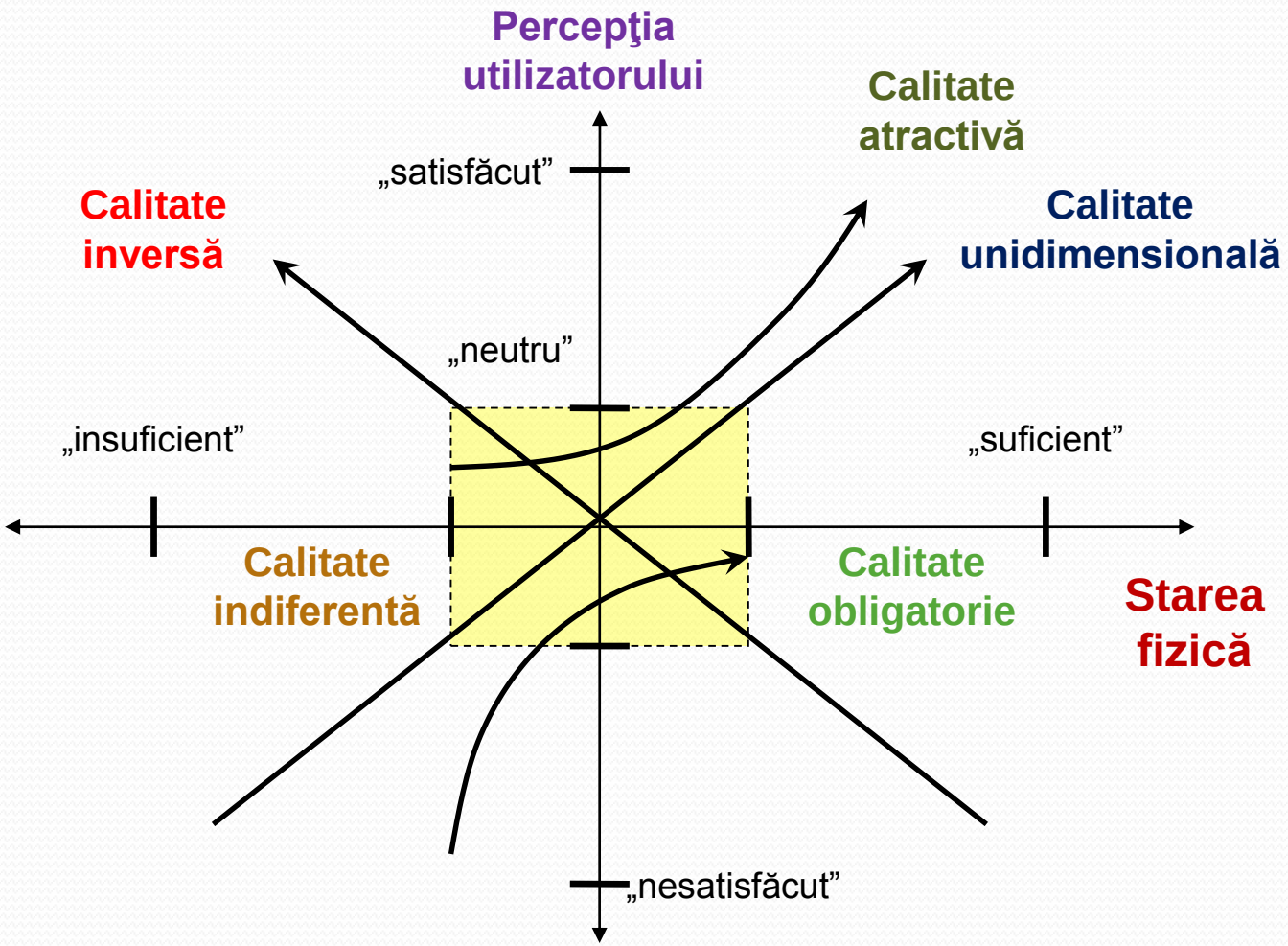


Fig. 3.18 Tipuri de calitate conform categoriilor de cerințe de tip Kano

Zona neutră este cea în care începe **Calitatea Atractivă** şi se sfârşeşte **Calitatea Obligatorie**

Schimbarea poziției categoriilor de cerințe de tip Kano în timp

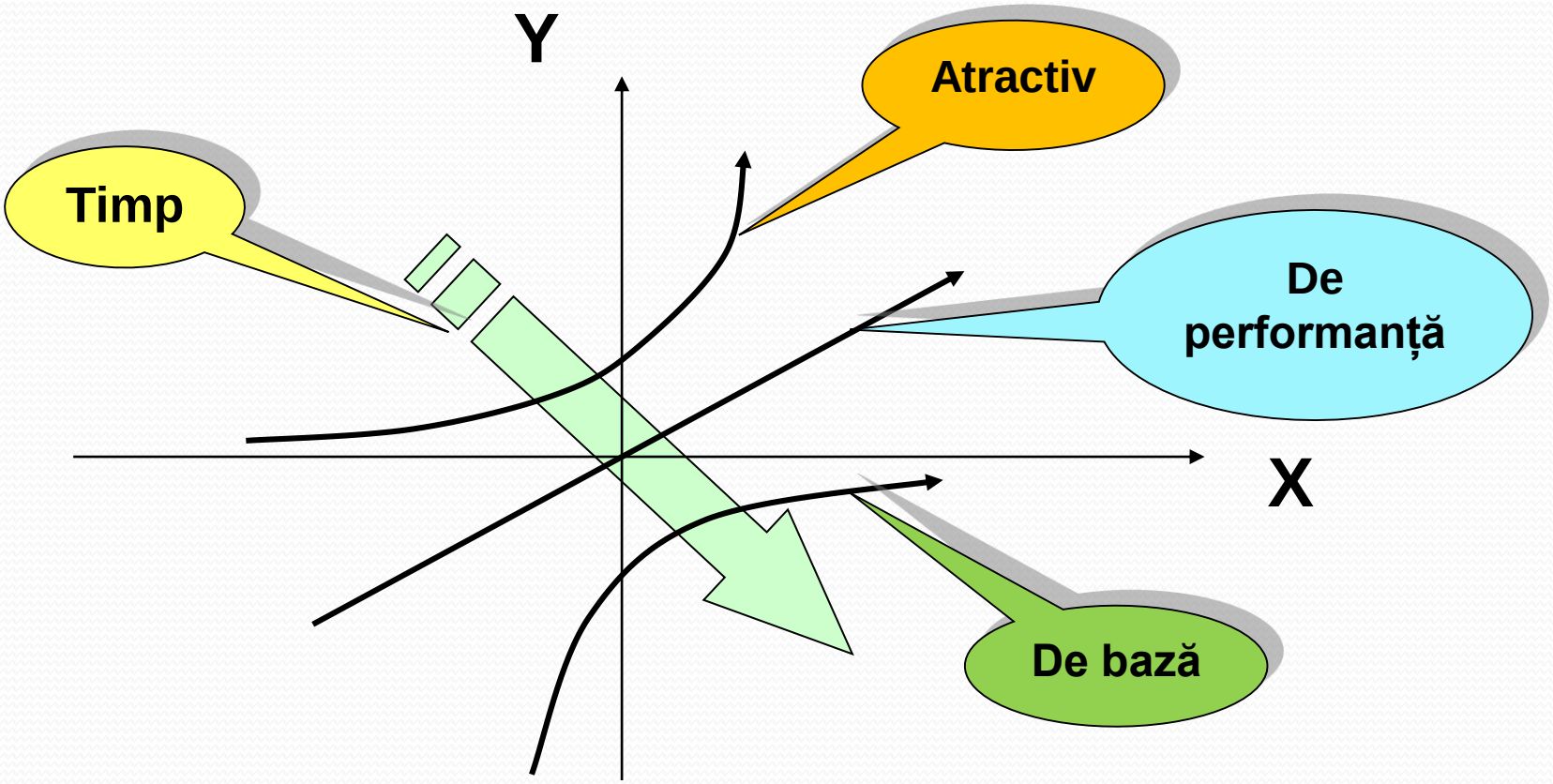


Fig. 3.19 Schimarea în timp a pozițiilor categoriilor de cerințe de tip Kano

O altă posibilitate de ***a distinge între tipurile de cerinţe care influenţează satisfacţia clientului*** este **să se răspundă în 5 feluri diferite la fiecare pereche de întrebări pentru fiecare element al produsului sau serviciului**.

1. Construirea chestionarelor de tip Kano

Întrebări funcţionale şi disfuncţionale în sondajul Kano

Forma funcţională a întrebării **Dacă automobilul are o vizibilitate bună cum vă simţiţi ?**	**1. Îmi place în acest fel** **2. Trebuie să fie în acest fel** **3. Sunt neutru** **4. Este acceptabil în acest fel** **5. Nu îmi place în acest fel**
Forma disfuncţională a întrebării **Dacă automobilul nu are o vizibilitate bună cum vă simţiţi ?**	**1. Îmi place în acest fel** **2. Trebuie să fie în acest fel** **3. Sunt neutru** **4. Este acceptabil în acest fel** **5. Nu îmi place în acest fel**

Modul de evaluare al răspunsurilor la întrebările pereche

Tab. 3.3 Evaluarea răspunsurilor la întrebările pereche din chestionarul Kano

Cerinţele clientului		Întrebări disfuncţionale (negative)				
		1.Satisfăcut	**2.Trebuie să existe**	**3.Neutru**	**4.Acceptabil**	**5.Nesatisfăcut**
Întrebări funcţionale (pozitive)	**1.Satisfăcut**	*Chestionabil*	*Atractiv*	*Atractiv*	*Atractiv*	*Unidimensional*
	2.Trebuie să existe	*Invers*	*Indiferent*	*Indiferent*	*Indiferent*	*Trebuie să existe*
	3.Neutru	*Invers*	*Indiferent*	*Indiferent*	*Indiferent*	*Trebuie să existe*
	4.Acceptabil	*Invers*	*Indiferent*	*Indiferent*	*Indiferent*	*Trebuie să existe*
	5.Nesatisfăcut	*Invers*	*Invers*	*Invers*	*Invers*	*Chestionabil*

Modul de evaluare al răspunsurilor la întrebările pereche (simbolizare)

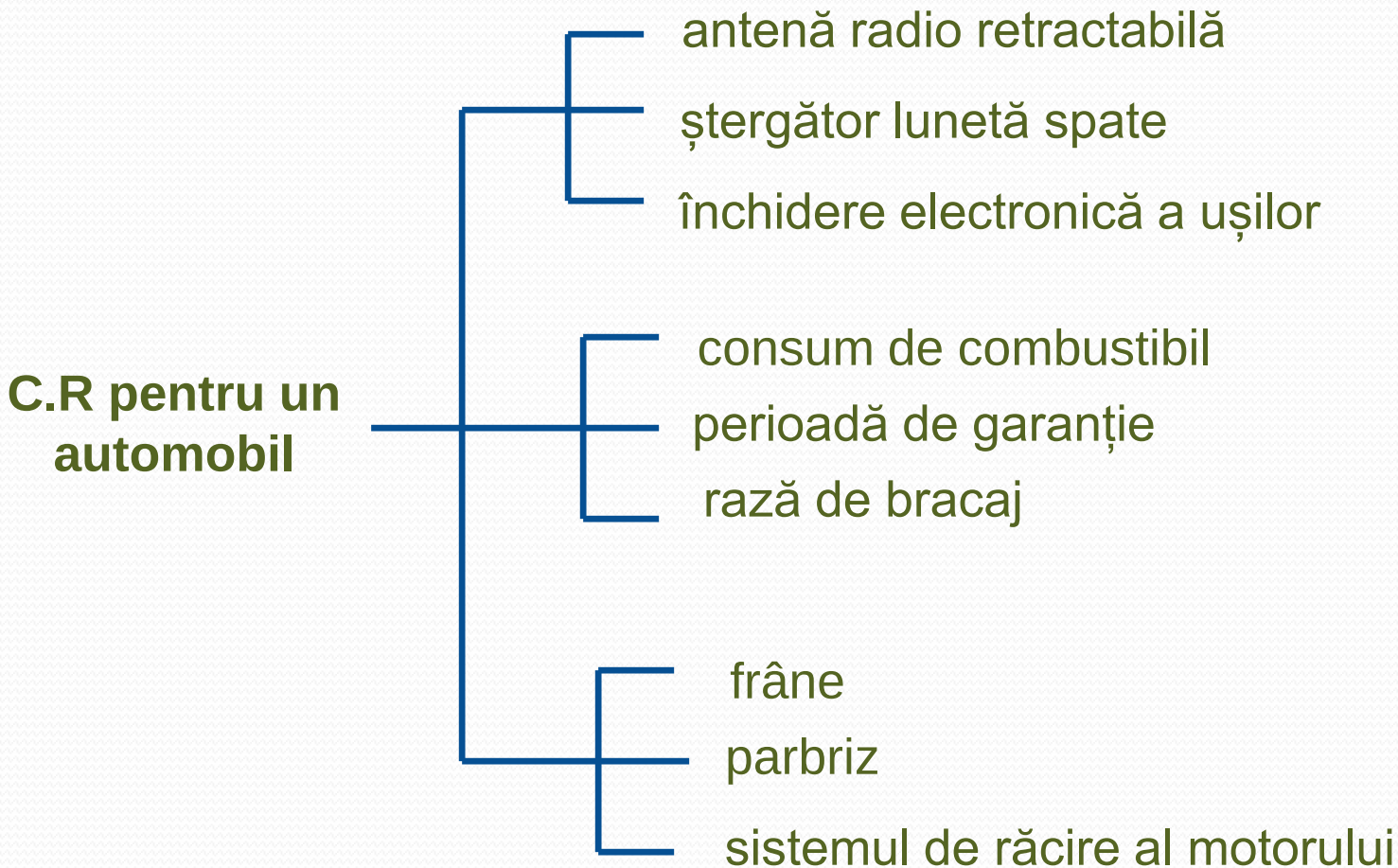
Customer Requirements → / ↓		Dysfunctional 1. like	2. must-be	3. neutral	4. live with	5. dislike
Functional	1. like	Q	A	A	A	O
	2. must-be	R	I	I	I	M
	3. neutral	R	I	I	I	M
	4. live with	R	I	I	I	M
	5. dislike	R	R	R	R	Q

Customer Requirement is:

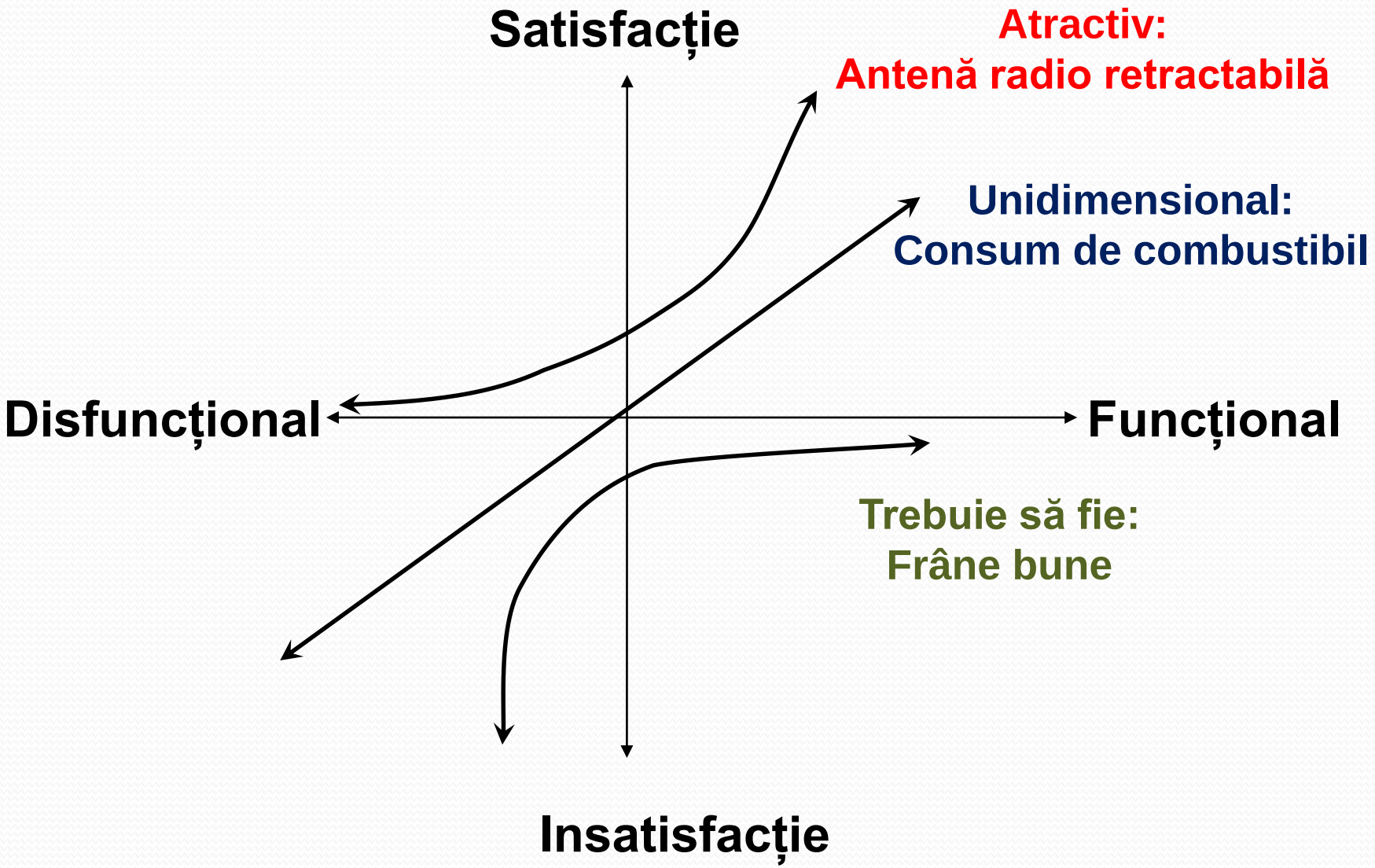
A: Attractive
M: Must-be
R: Reverse
O: One-dimensional
Q: Questionable result
I: Indifferent

Exemplu:

...cerințele clientului (Customer Requirements – C.R)



1.a Dacă consumul de combustibil este mic cum vă simţiţi ?	1. Îmi place în acest fel 2. Trebuie să fie în acest fel 3. Sunt neutru 4. Este acceptabil în acest fel 5. Nu îmi place în acest fel
1.b Dacă consumul de combustibil este mare, cum vă simţiţi ?	1. Îmi place în acest fel 2. Trebuie să fie în acest fel 3. Sunt neutru 4. Este acceptabil în acest fel 5. Nu îmi place în acest fel
2.a Dacă frânele sunt tari, cum vă simţiţi ?	1. Îmi place în acest fel 2. Trebuie să fie în acest fel 3. Sunt neutru 4. Este acceptabil în acest fel 5. Nu îmi place în acest fel
2.b Dacă frânele sunt slabe, cum vă simţiţi ?	1. Îmi place în acest fel 2. Trebuie să fie în acest fel 3. Sunt neutru 4. Este acceptabil în acest fel 5. Nu îmi place în acest fel
3.a Dacă antena radio se retrage automat când radioul este oprit, cum vă simţiţi ?	1. Îmi place în acest fel 2. Trebuie să fie în acest fel 3. Sunt neutru 4. Este acceptabil în acest fel 5. Nu îmi place în acest fel
3.b Dacă antena radio nu se retrage automat când radioul este oprit, cum vă simţiţi ?	1. Îmi place în acest fel 2. Trebuie să fie în acest fel 3. Sunt neutru 4. Este acceptabil în acest fel 5. Nu îmi place în acest fel


Satisfacție
Atractiv:
Antenă radio retractabilă
Unidimensional:
Consum de combustibil
Disfuncțional
Funcțional
Trebuie să fie:
Frâne bune
Insatisfacție

...câteva recomandări privind întrebările pereche...

- Pentru a formula o întrebare clară, **nu abstractizați la limită**
- Atunci când o cerință potențială provine din analiza datelor VOC, **evitați abaterea de la intenția originală a declarației de cerință a clientului**
- Atenție la **exprimarea polară** a întrebărilor pereche, **este de preferat orientarea multivalorică**
- **Nu introduceți mai multe gânduri într-o singură întrebare**. Dacă o cerință particulară conține mai multe gânduri, folosiți mai multe întrebări Kano.
- **Formulați întrebările în termenii clientului**, nu în termeni ai dezvoltării produsului, adică în termeni ai beneficiului adus și ai elementelor care le produc
- **Timpul alocat** ascultării clientului și **formatul chestionarului îmbunătățesc imaginea profesională a organizației**

2. Testarea chestionarelor de tip Kano

Atunci când un chestionar Kano este trimis la mai mulți clienți este important ca acesta să fie înțeles de toți.

- Pentru început ***puneți membrii care participă la elaborarea chestionarului Kano să răspundă la întrebări***. Fiecare membru trebuie să se gândească la un client încercând să prezică ce ar răspunde acesta și care întrebări s-ar putea să nu le înțeleagă.

- Apoi ***selectați oameni din interiorul organizației și administrați-le chestionarul***. Selectați o mare varietate de personal (manageri, ingineri, personal de la marketing etc).

- ***Dacă testul intern semnalează ceva confuz, este probabil că și clienții vor remarca același lucru***.

- ***Revizuiți și retestați chestionarul*** adăugând, dacă e necesar, instrucțiuni suplimentare.

3. Administrarea chestionarelor de tip Kano

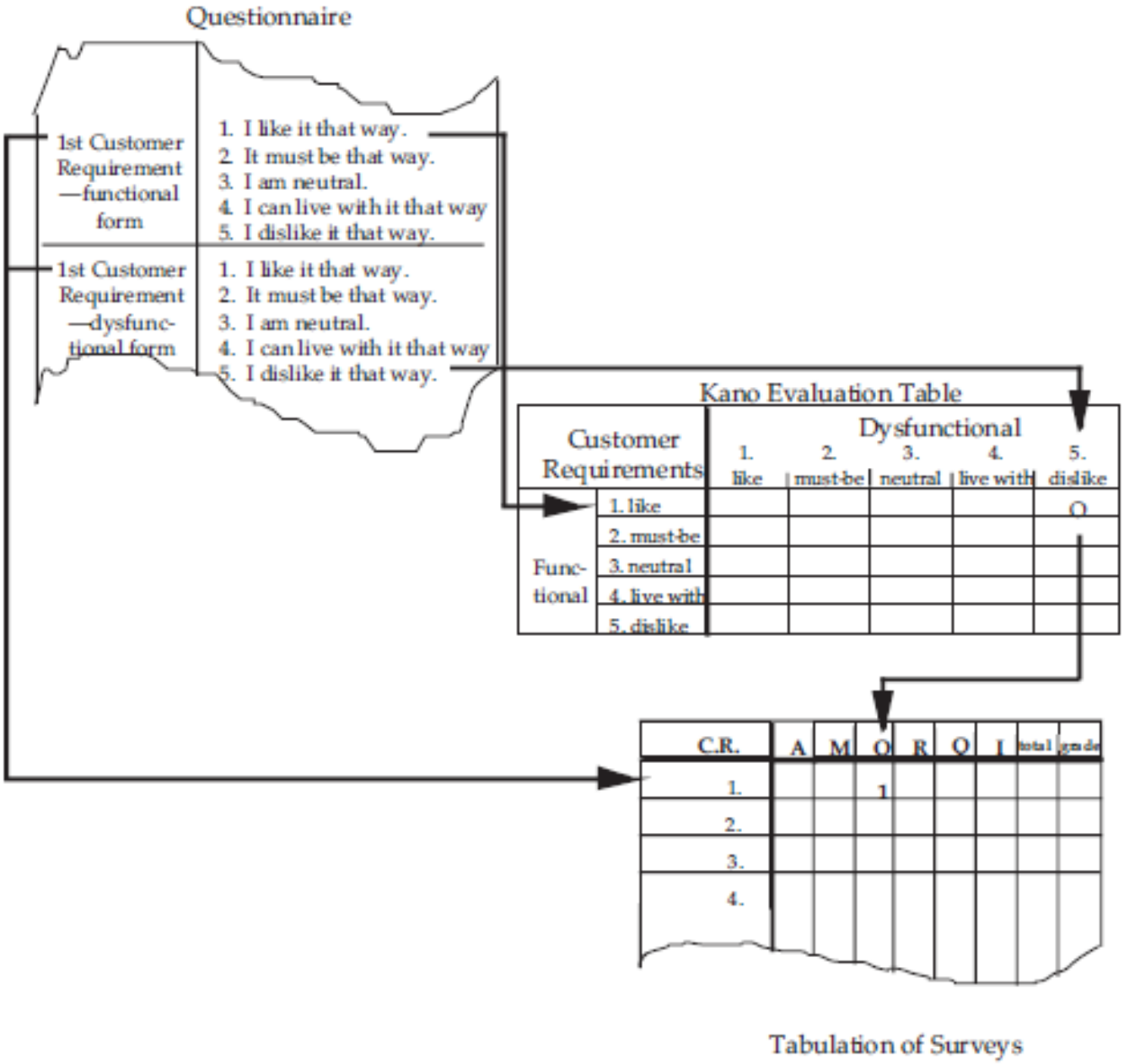
- ***Selectați clienții*** pe care doriți să-i intervievați, **asigurând reprezentativitatea eșantionului**

- Decideți cum doriți să transmiteți chestionarele: ***telefon, fax, poștă, e-mail, față în față*** etc. Cea mai folosită este transmiterea prin poștă. Dacă optați pentru acest mod, **scrieți o scrisoare de introducere în care să explicați scopul sondajului** și ***includeți instrucțiuni de completare pentru clienți.***

- Dacă folosiți și **Chestionare pentru Importanță** alături de **Chestionarele Kano**, **folosiți aceeași secvență de întrebări în ambele** pentru a compara mai ușor cele două chestionare.

- Trimiteți chestionarele. ***Păstrați un jurnal al clienților*** la care s-au trimis chestionare și ***înregistrați rezultatele*** pe măsură ce sosesc.

4. Procesarea rezultatelor



Exemplu:

C.R.	A	M	O	R	Q	I	total	grade
1.	1	1	**21**				23	O
2.		**22**			1		23	M
3.	**13**		5			5	23	A
…	6	1	4	1		**11**	23	I
…	1	**9**	6	1		6	23	M
…	7		2	3	1	**10**	23	I

Cel mai simplu mod de a alege o categorie este să se folosească codul care apare cel mai des în răspunsurile pentru o anumită cerință (C.R) - adică se folosește **modul statistic al răspunsurilor.**

✓**Observații**

✓ Dacă orice cerință primește un număr substanțial de scoruri **Q (questionable) – chestionabil**, **întrebarea trebuie probabil scoasă temporar din analiză până când confuzia cu aceasta va fi rezolvată sau modul de gândire a respondenților poate fi deslușit**.

✓ Dacă majoritatea respondenților dau un scor **R (reverse) - invers** la una din cerințe, **aceasta indică faptul că gândirea pieței despre întrebare este opusă gândirii celor ce au creat chestionarul**.

5. Analiza rezultatelor

Beneficii obținute prin analiza datelor **Chestionarului Kano**:

- ✓ **O mai bună înțelegere a cerințelor clienților;**
- ✓ **Prioritizarea cerințelor pentru activități de dezvoltare;**
- ✓ **Decelarea caracteristicilor segmentelor de piață;**
- ✓ **Ajutarea procesului de proiectare.**

✓ **Observație:**

Scopul Chestionarelor Kano este să se înțeleagă mai bine *caracteristicile cerințelor clienților*.

Răspunsurile trebuie privite doar ca un ghid, *ele nu oferă răspunsuri exacte asupra a ce element trebuie inclus în produs* sau *ce cerință nu trebuie satisfăcută în întregime*.

De obicei se dorește să se facă o ***analiză mai în profunzime decât cea oferită de modul statistic simplu***.

Exemplu:

- **Există două întrebări și 50 de răspunsuri la fiecare:**

- 30 de clienți consideră prima cerință A iar 20 o consideră I.

- 30 de clienți consideră a doua cerință A iar 20 o consideră M.

Concluzii:

- În acest caz este clar că ***cele două cerințe trebuie tratate în mod diferit.***
- ***A doua cerință trebuie să fie prioritară pentru echipă***.

Atunci **când două coduri Kano sunt egale** în evaluarea unei întrebări, se consideră:

a. **Contactarea clienților pentru informații adiționale,**

b. **Cercetarea pentru diferențe în segmentarea pieței,**

c. **Selectarea clasificării care va avea cel mai mare impact asupra produsului, folosind următoarea ordine:**

M > O > A > I

Un alt mod de a studia datele este să se construiască un tabel cu coloane pentru primul, al doilea și al treilea cel mai frecvent răspuns.

Numărul CR	Cel mai frecvent răspuns	Al 2-lea cel mai frecvent răspuns	Al 3-lea cel mai frecvent răspuns
1	A	O	
2	A	O	
3	M		
4	O	I	I
5	O	A	
6	M	A	
7	A	O	M
8	M		
9	O	M	I

Apoi rândurile pot fi rearanjate în grupe conform ordinii: **M, O, A, I, R.**

Numărul CR	Cel mai frecvent răspuns	Al 2-lea cel mai frecvent răspuns	Al 3-lea cel mai frecvent răspuns
8	M		
3	M		
6	M	A	
9	O	M	I
5	O	A	
4	O	A	
1	A	O	
7	A	O	M
2	A	O	I

Dacă se utilizează în paralel cu chestionarul Kano și un **Chestionar de Importanță**, atunci răspunsurile pot fi sortate pe baza acestuia:

Exemplu:

Dacă există mai multe cerințe ale clienților a căror evaluare a fost **A**, atunci se pot folosi datele din **Chestionarul de Importanță** pentru sortare în ordine descrescătoare a importanței acestor cerințe.

✓ **Observație:**

Ca și ghid general, se poate considera necesar:

- ***îndeplinirea cerințelor* M**,
- ***a fi competitiv față de liderii de piață relativ la* O**,
- ***a se include pentru diferențiere elemente* A**.

Chestionarul de Importanță

Pentru fiecare cerintă potențială a clienților inclusă în chestionarul Kano, se construiește o întrebare în **Chestionarul de Importanță** în formatul general: **”Cât de important este sau ar fi dacă: [cerința X]?**

Exemplu:

“Cât de important este sau ar fi dacă automobilul are un consum mic ?”

	Not at all important		Somewhat important		Important		Very important		Extremely important
How important is it or would it be if: The car has good gas mileage?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
How important is it or would it be if: The car has good brakes?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
How important is it or would it be if: The car has a long warranty period?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
How important is it or would it be if: The car has a small turning radius?	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Îmbunătățiri ale analizei rezultatelor

Dacă **Chestionarul Kano** întreabă despre **funcții foarte generale**, ca de exemplu dacă o mașină trebuie să aibă 3 sau 4 roți sau un soft trebuie să aibă o GUI (graphical user interface), **fiecare va avea o opinie specifică**.

Dacă însă **Chestionarul Kano** întreabă despre **funcții foarte specifice**, ca de exemplu dacă o mașină trebuie să aibă valve ceramice sau un soft trebuie să fie compatibil cu un printer specific, atunci **majoritatea respondenților pot fi indiferenți (I)**.

Întrebări **extrem de detaliate** pot crește **"nivelul zgomotului"** până la nivelul în care **toate cerințele sunt considerate indiferente (I)**.

Exemplu:

Dacă răspunsurile clienților clasifică o cerință după cum urmează:

18 – **O**,
19 – **A**,
18 – **M**,
20 – **I**,
2 – **R**,
3 – **Q**,

... atunci modul statistic simplu ***clasifică cerința ca*** **I** deși 57 din 82 de persoane consideră că au nevoie de acea cerință într-un fel sau altul

O modalitate de a modifica **modul statistic simplu** este:

Dacă **(O + A + M) > (I + R + Q)**

Atunci gradul este maximum (**O**, **A**, **M**)
Dacă nu, gradul este maximum (**I**, **R**, **Q**).

C. R.	A	O	M	I	R	Q	total	grade
1.	19	18	18	20	2	3	90	A
2.	7	6	9	36	2	2	62	I
…								

✓ Pentru **CR1, (19+18+18) > (20+2+3)**. De aceea, gradul este **A**; adică, **maximum (18, 19, 18).**

✓ Pentru **CR2, (7+6+9) < (36+2+2)**. De aceea, gradul este **I**, sau **maximum (36, 2, 2)**.

Sunt unele cazuri în care **răspunsurile sunt ”răspândite” pe mai multe categorii** sau când **deși sunt împărțite în mod diferit pe două categorii, gradul este același**.

C R	A	M	O	R	Q	I	total	grade
1.	33	21	30			16	100	A
2.	90					10	100	A
3.	60					40	100	A

Ideea este să se reducă datele la 2 numere***, unul pozitiv care dă valoarea relativă a îndeplinirii cerințelor clienților*** (satisfacția clientului va crește prin oferirea de elemente **A** și **O**) și ***unul negativ, arătând costul relativ al neîndeplinirii acelei cerințe*** (satisfacția clientului va scădea dacă elementele **O** și **M** nu sunt incluse).

(Customer Satisfaction Index – CSI)

Indicele de Satisfacție al Clienților

- Customer Satisfaction Index (CSI) este o metodă (propusă de Berger et. al în 1993) de a identifica clasificarea atributelor în conformitate cu modelul Kano.

- Acesta este format din rata de clienții care declară a fi mulțumiți cu prezența sau suficiența atributelor (**SI - Satisfaction Index**), precum și de rata de clienții care declară a fi nemulțumiți cu lipsa sau insuficiența atributelor (**DI – Dissatisfaction Index**).

  - Dacă SI > 0,5 și DI < 0,5, atributul este clasificat ca fiind **A**.

  - Dacă SI ≤ 0,5 și D I ≥ 0,5, acesta este clasificat ca **M**.

  - Dacă SI > 0,5 și DI > 0,5, acesta este clasificat ca **O**

  - Dacă SI < 0,5 și DI < 0,5, el este clasificat ca **I** (**Neutru)**.

Coeficienții de Satisfacție / Insatisfacție a Clienților

Coeficientul de Satisfacție al Clientului

$$SC = \frac{A + O}{A + O + M + I} \qquad (3.1)$$

Coeficientul de Insatisfacție al Clientului

$$DC = \frac{O + M}{(A + O + M + I) \cdot (-1)} \qquad (3.2)$$

Coeficientul Total de Satisfacție al Clientului

$$TSC = \frac{A - M}{A + O + M + I} \qquad (3.3)$$

- **Semnul (-)** pus în fața **coeficientului DC** este pentru **a accentua influența lui negativă asupra satisfacțieie clientului dacă nu este atins nivelul de calitate pentru acest produs.**

- **Coeficientul pozitiv SC** ia valori între **0** și 1; **cu cât valoarea este mai apropiată de 1, cu atât mai mare influența asupra satisfacției clientului**.

- **Un coeficient SC care se apropie de ”0” semnifică faptul că există foarte puțină influență.**

- **Dacă coeficientul DC se apropie de ”-1”, influența asupra insatisfacției clientului este foarte puternică dacă atributul produsului nu este îndeplinit**.

- **O valoare de aproximativ ”0”** a **coeficientului DC** semnifică faptul că acel atribut nu cauzează insatisfacție dacă nu e îndeplinit.

- Dacă **TSC < 0**, atunci cerințele sunt **O**, dacă **TSC > 0,1**, atunci cerințele sunt **A**, dacă **TSC = 0**, atunci cerințele sunt **R**.

Tabelul de transformare Kano

	I like	Must-be	Neutral	I live with	Dislike
Functional	4	2	0	-1	-2
Dysfunctional	-2	-1	0	2	4

Forma de analiză descrisă în această secțiune presupune existența a Q perechi de întrebări, j = 1, ..., Q și N respondenți, i = 1, ..., N. Se presupune de asemenea folosirea în paralel cu **Chestionarul Kano** a unui **Chestionar de Importanță**. Astfel, există trei scoruri pentru fiecare cerință investigată a clientului— **Funcțional**, **Disfuncțional** și **Importanță**.

Cele 3 scoruri sunt codate astfel:

Funcțional: Y_{ij} =-2 (Dislike), -1 (Live with), 0 (Neutral), 2 (Must-be), 4 (Like)
Disfuncțional: X_{ij} =-2 (Like), -1 (Must be), 0 (Neutral), 2 (Live with), 4 (Dislike)
Importanță: W_{ij} =1 (Not at all Important), ..., 9 (Extremely Important).

Astfel, dacă spre exemplu **respondentul 8** răspunde că **”îi place economia de carburant”**, poate **”trăi și cu consum mai mare”** și consideră că **”problema economiei de carburant e de importanță medie”,** rezultă:

$$Y_{8,6} = 4$$
$$X_{8,6} = 2$$
$$W_{8,6} = 5$$

- De notat că **X** și **Y** iau valorile **-2, -1, 0, 2, 4** .
- **Logica pentru scala asimetrică** (începând de la **-2**, mai degrabă decât de la **-4) este că ”Must be” și ”One-dimensional” sunt răspunsuri mai puternice ca ”Reverse” sau ”Questionable”.**
- De aceea ***scala trebuie să dea o importanță mai mică răspunsurilor mai puțin puternice*** pentru **a diminua influența lor asupra mediei.**
- Răspunsurilor de tip **”Reverse”** **li se dă o importanță mai mică, fiind ”trase” spre zero.**

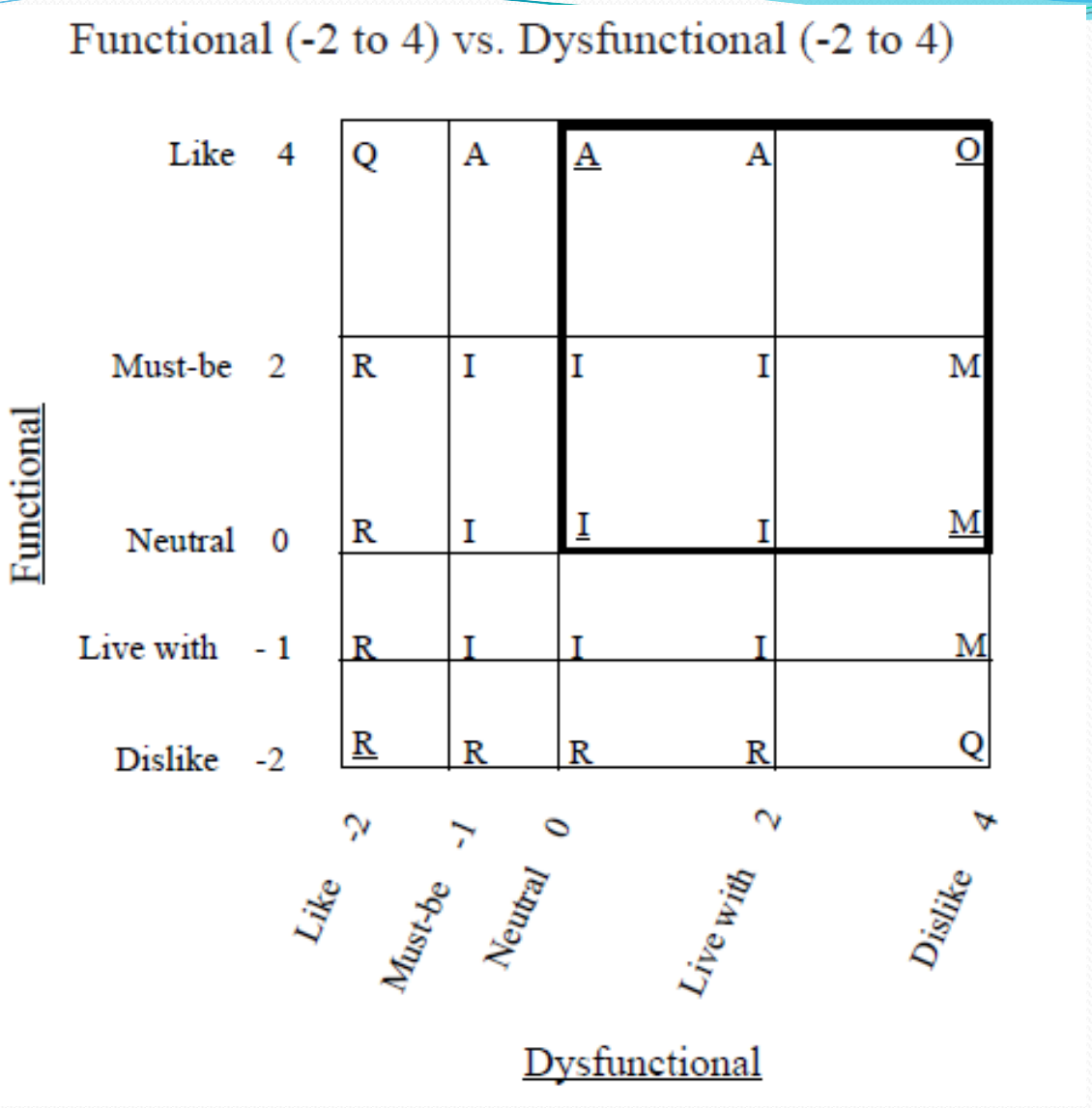


Fig. 3.20 Reprezentarea cerințelor de tip Kano după transformare

Cele mai pure reprezentări pentru punctele ”**Reverse”**, ”**Indifferent”**, ”**One-dimensional”**, ”**Must-be”**, și ”**Attractive”** se identifică în acest sistem de coordonate cu punctele:

Reverse: **X = -2, Y = -2**
Indifferent: **X = 0, Y = 0**
One-dimensional: **X = 4, Y = 4**
Must-be: **X = 4, Y = 0**
Attractive: **X = 0, Y = 4**

Aceste puncte sunt prezentate în figură (cu bold).

Toate celelalte coombinații de puncte XY apar ca interpolări între aceste puncte

✓ Se calculează pentru toate întrebările, j = 1, ..., Q, media lui **X (disfuncțional)** și **Y (funcțional)** :

$$X_{ave}[j] = \frac{\sum_i X_{ij}}{N} \qquad (3.4)$$

$$Y_{ave}[j] = \frac{\sum_i Y_{ij}}{N} \qquad (3.5)$$

✓ Se reprezintă punctele **Q** ($X_{ave}[j], Y_{ave}[j]$) și se folosește numărul j ca simbol pe grafic astfel încât să se poată identifica ce întrebare reprezintă fiecare punct.

➢ Mediile trebuie să cadă între **0 și 4**, deorece valorile negative sunt fie **”Questionables”** sau **”Reverses”**.

➢**„Questionables”** nu vor fi incluse în medii.

➢**”Reverses”** pot fi transformate din această categorie schimbând sensul întrebărilor funcționale și disfuncționale pentru toți respondenții.

➢ Altfel, cum s-a descris și anterior nu o să fie destule **”Reverses„ *să* ”*trag*ă” media spre negativ**.

➢ În figura 3.20, pătratul în care X_{ave} și Y_{ave} sunt cuprinse între **0 și 4** este împărțit în cadrane, considerând punctele prototip **Attractive**, **One-dimensional**, **Must-be**, și **Indifferent** plasate în cele 4 colțuri.

➢ Acest pătrat provine din colțul dreapta-sus al figurii 3.19.

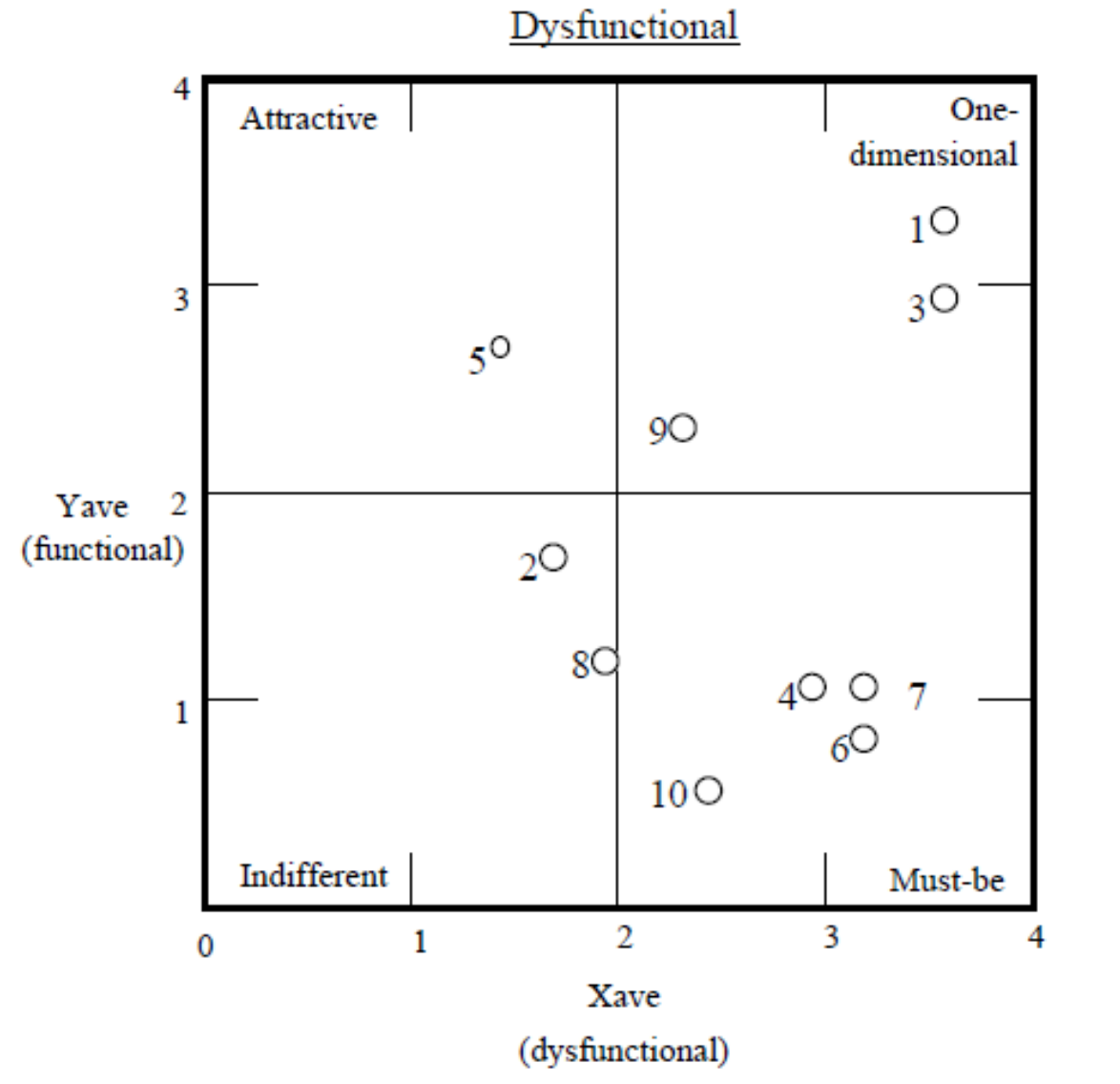


Fig. 3.20 Exemplu de reprezentarea a 10 cerințe de tip Kano după transformare, cu valori X_{ave} și Y_{ave} cuprinse între **0 și 4**

✓ Din **Chestionarul de Importanță**, se calculează **media importanței pentru fiecare întrebare**:

$$W_{ave}[j] = \frac{\sum_i W_{ij}}{N} \qquad (3.6)$$

✓ Se reprezină valoarea lângă punctele $(X_{ave}[j], Y_{ave}[j])$. De exemplu se desenează un cerc plin, cu raza proporțională cu:

$$\sqrt{W_{ave}[j]}$$

astfel încât raza cercului ”j” va fi proporțională $W_{ave}[j]$.

✓ Ca alternativă, se pot prezenta valorile lui ”j” folosite în identificarea întrebării în nuanțe de gri, reprezentând domeniul de valori pentru W_{ave}, ca în figura 3.21.

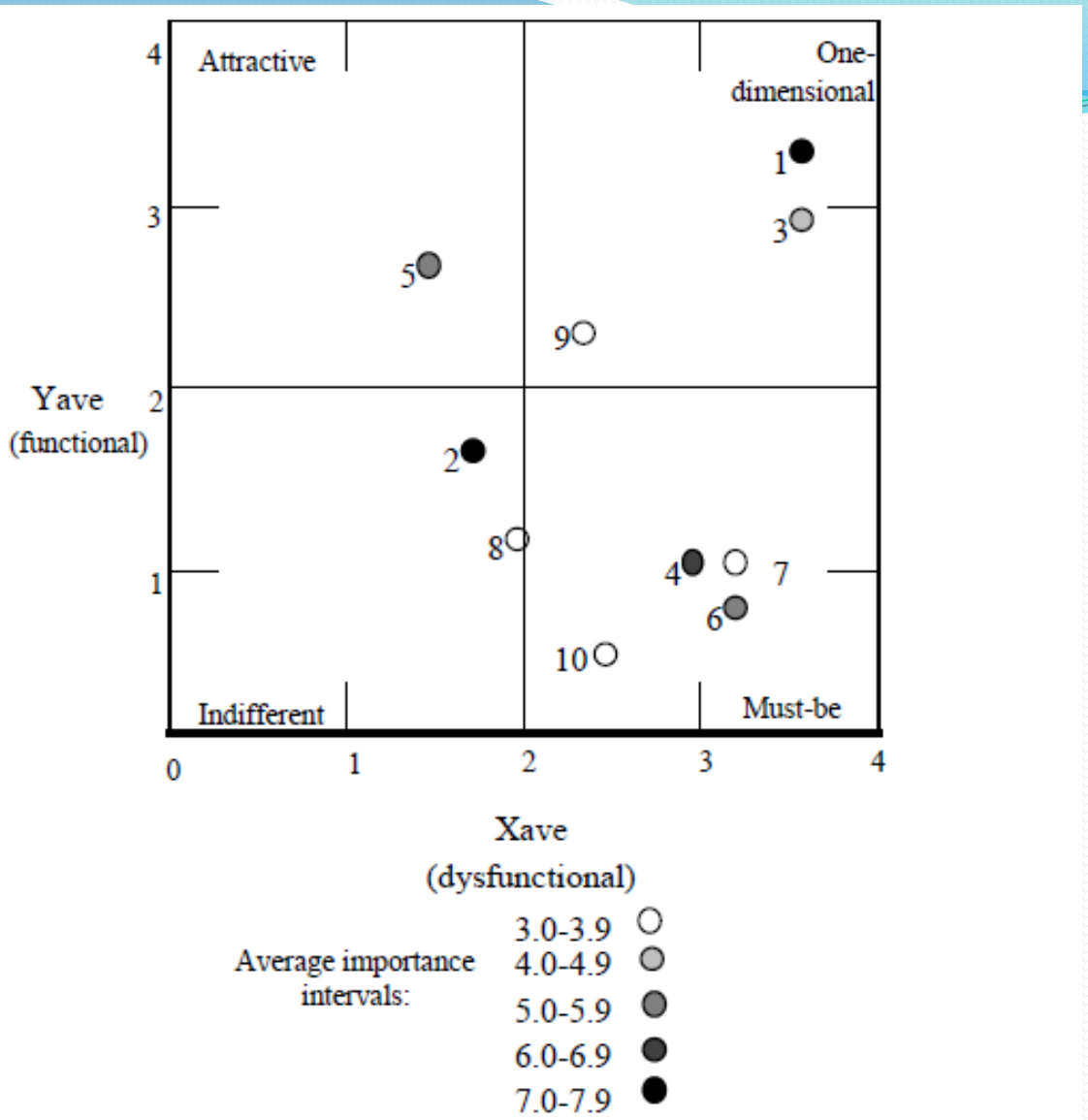


Fig. 3.20 Exemplu de reprezentarea a 10 cerințe de tip Kano după transformare, cu valori X_{ave} și Y_{ave} cuprinse între **0 și 4** și cu reprezentarea domeniului de valori pentru media importanței

Chestionar de Ierarhizare

Pentru fiecare cerință potențială a clienților inclusă în chestionarul Kano, se construiește o întrebare în **Chestionarul de Ierarhizare** în formatul general: **”Cum ierarhizați [cerința X] a produsului dumneavoastră?**

“Cum evaluați ierarhizați elementele pentru zăpadă adâncă ale sky-ului dumneavoastră ?”

How would you rank the deep powder snow features of your skis?

☐ ☒ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

1 2 3 4 5 6 7

totally unsatisfactory — excellent

Ierarhizare: R_{ij} =1 (Totally Unsatisfactory), ..., 7 (Excellent).

Indicele de Îmbunătățire a Calității

Este foarte important pentru strategia dezvoltării produselor, **să se cunoască calitatea propriului produs în raport cu cel mai puternic competitor.**

Este de aceea util, ***nu numai să cerem clienților să ne evalueze propriul produs ci și pe cel al competitorului***.

Indicele de Îmbunătățire a Calității (QI) se calculează prin înmulțirea semnificației relative a unei cerințe a produsului (**Chestionarul de Importanță**) cu diferența dintre ierarhizarea propriului produs și cel al competitorului obținute printr-un **Chestionar de Ierarhizare**

QI = Importanța relativă x
(ierarhizarea propriului produs– ierarhizarea produsului competiției)

How important are the following features?

	totally unimportant 1	2	3	4	5	6	very important 7
Good edge grip on hard snow							
Ease of turn							
Excellent deep powder snow features							X
Scratch-resistant surface							
.....							

How would you rank the deep powder snow features of your skis? (own customer)

☐ ☒ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

1 2 3 4 5 6 7

totally unsatisfactory — excellent

How would you rank the deep powder snow features of your skis? (competitor's customer)

☐ ☐ ☐ ☐ ☒ ☐ ☐

1 2 3 4 5 6 7

totally unsatisfactory — excellent

➢ *Desfășurarea funcției calității* – Quality Function Deployment (QFD)

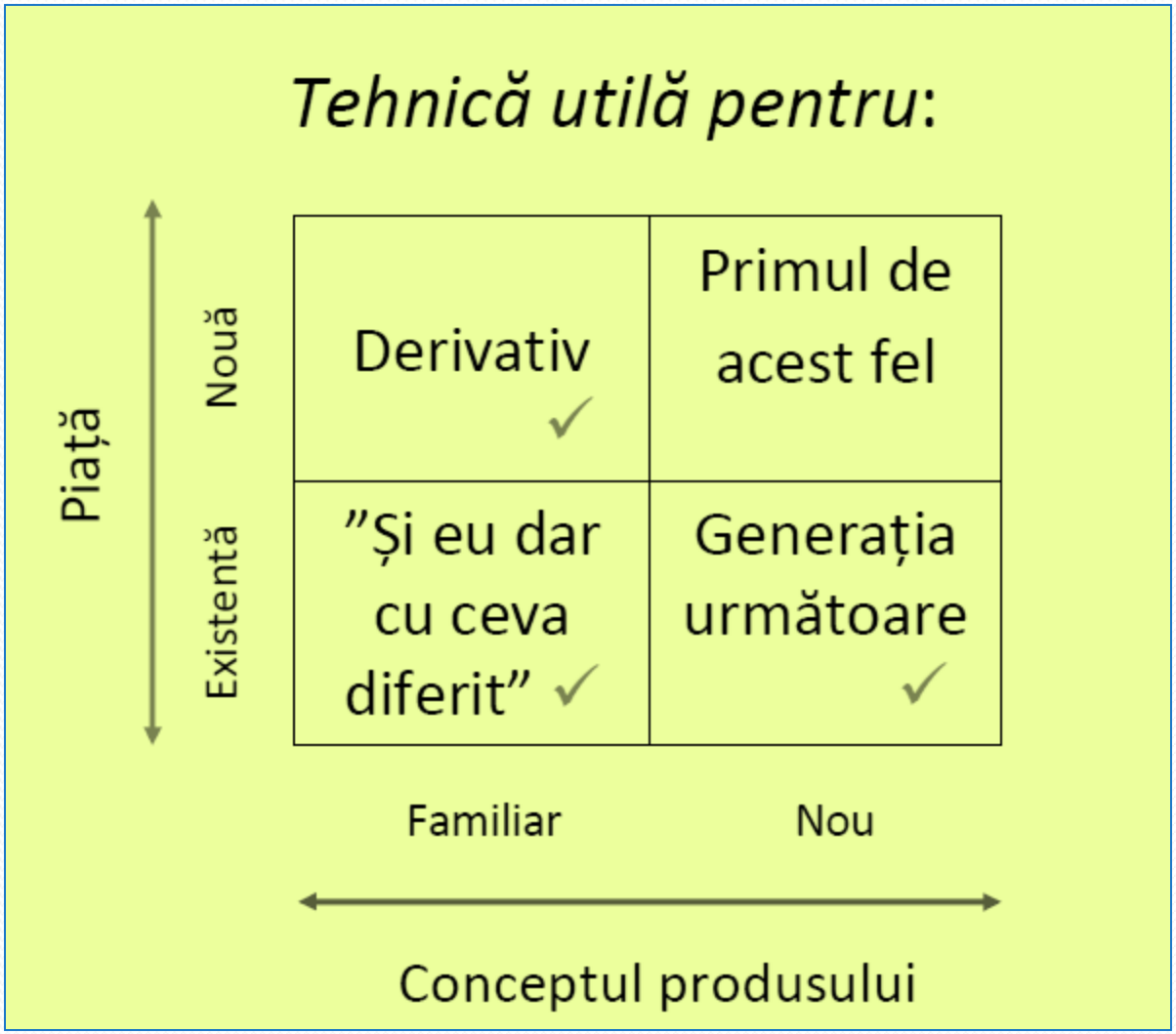
Yoji Akao

✓ **Yoji Akao** este creatorul ”**Hoshin kanri”** – o metodologie de planificare/management strategic.

✓**QFD** a fost dezvoltată de **Yoji Akao** și **Shigeru Mizuno** în anii 1960 ca un grup cuprinzător și flexibil de tehnici de decizie utilizate în special la dezvoltarea produselor și serviciilor.

✓ ”**Casa calității”** a apărut pentru prima oară în 1972 la proiectarea unui petrolier la Mitsubishi Heavy Industries Kobe Shipyard.

✓ În 1978 a apărut prima carte în limba japoneză, tradusă ulterior în 1994 în limba engleză ”**QFD: The Customer Driven Approach to Quality Planning and Deployment”** (Mizuno & Akao, 1994).


Tehnică utilă pentru:
Piață
Nouă
Existentă
Derivativ ✓
Primul de acest fel
”Și eu dar cu ceva diferit” ✓
Generația următoare ✓
Familiar
Nou
Conceptul produsului

Quality Function Deployment (QFD) – este un ***instrument de planificare*** care are ca obiectiv proiectarea calității unui produs sau serviciu pornind de la nevoile clientului.

- Este o abordare care implică ***echipe inter-funcționale*** (ai căror membrii nu sunt neapărat din proiectarea produsului) care urmăresc ciclul complet al dezvoltării produsului.

QFD este o ***abordare sistematică a proiectării*** bazată pe o cunoaștere profundă a dorințelor/cerințelor clienților cuplată cu integrarea grupurilor funcționale ale corporației.

- Pentru a proiecta corect un produs, echipa de proiectare trebuie să cunoască ***ce este produsul*** pe care îl proiectează și ***ce așteaptă clientul (utilizatorul final)*** de la acesta.

- Constă în ***”traducerea” dorințelor/cerințelor*** clientului (de exemplu: ușurința de a scrie a unui pix) ***în caracteristici de proiectare*** (vâscozitatea pastei, presiune asupra vârfului-bilă) pentru fiecare stadiu al dezvoltării produsului.

Scopul final al **QFD** este ***”traducerea” criteriilor de calitate***, adesea ***subiective***, în ***criterii obiective*** ce pot fi ***cuantificate și măsurate*** și care apoi pot fi utilizate pentru proiectarea și fabricarea produsului.

- Este o ***metodă complementară*** pentru determinarea a cum și unde trebuie atribuite prioritățile în dezvoltarea produsului.

- Intenția este să se obțină ***proceduri obiective din ce în ce mai detaliate*** în dezvoltarea produsului.

Cele 3 scopuri principale în implementarea QFD sunt:

1. **Prioritizarea nevoilor și cerințelor spuse și nespuse ale clienților**

2. **Traducerea acestora în caracteristici tehnice și specificații**

3. **Construirea și oferirea unui produs sau serviciu de calitate prin focalizarea tuturor spre satisfacerea clientului.**

De la introducerea **QFD**, multe companii au reușit să-și transforme modul în care:

- **Planifică noile produse**
- **Proiectează cerințelor produsului**
- **Determină caracteristicile procesului**
- **Controlează procesul de fabricare**
- **Documentează specificațiile existente ale produselor**

QFD folosește unele **principii ale Concurrent Engineering** în ceea ce privește implicarea echipelor inter-funcționale în toate fazele dezvoltării produselor.

Fiecare din cele 4 faze ale unui proces **QFD** utilizează o **matrice pentru a traduce cerințelor clienților de la fazele inițiale de planificare pînă la controlul producției**.

Fiecare fază, sau matrice, reprezintă un aspect mai specific al cerințelor produsului. Relațiile între elemente sunt evaluate pentru fiecare fază. ***Numai cele mai importante aspecte din fiecare fază sunt desfășurate în matricea următoare***.

QFD permite evidențierea:

- ✓a ceea **”ce” așteaptă clientul în raport cu caracteristicile de calitate**,
- ✓**”cum” vor fi îndeplinite aceste așteptări și caracteristici** care vor fi apoi asociate procesului de fabricație, de asamblare, de aprovizionare sau a altor etape implicate în realizarea produsului.

QFD este o **tehnică de identificare a cerințelor în cursul mai multor etape** și anume:

- ✓ **Identificarea inițială a cerințelor pieței/clienților** (în etapa de prospectare a pieței) sub forma nevoilor și a funcțiilor;
- ✓ **Identificarea caracteristicilor de calitate care răspund cerințelor clienților** pe baza funcțiilor și nevoilor determinate anterior;
- ✓ **Identificarea parametrilor și a caracteristicilor procesului de prelucrare** în baza caracteristicilor de calitate ale produsului, prevăzute în specificațiile tehnice;
- ✓ **Identificarea cerințelor referitoare la verificarea procesului,** în baza specificațiilor tehnologice de execuție a produsului;
- ✓ **Identificarea neconformităților, a defecțiunilor și insatisfacției clientului** în raport cu produsul realizat și vândut (feed-back-ul informațional) și redimensionarea funcțiilor produsului, această din urmă activitate ducând practic la reluarea ciclului.

Aplicarea QFD în diverse etape din ciclul de dezvoltare al produsului

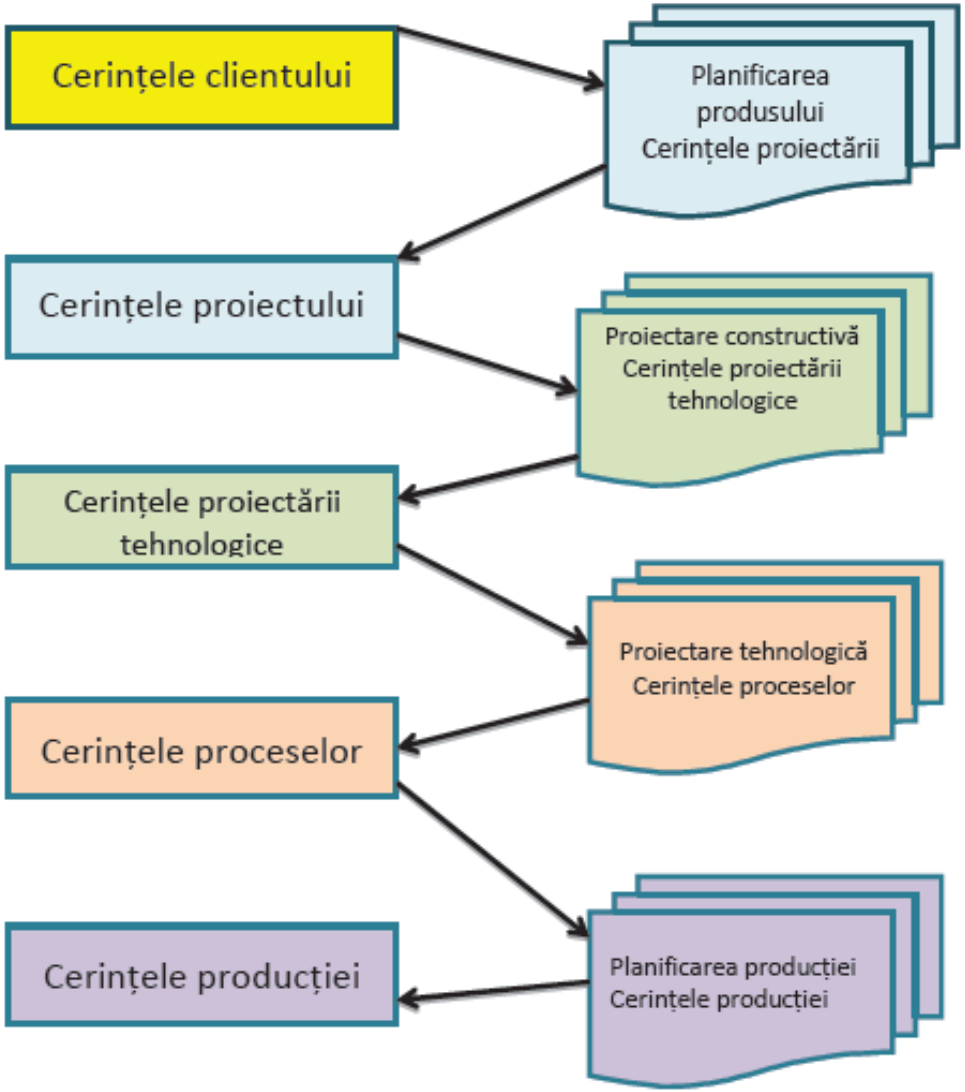


Fig. 3.21 Aplicarea QFD

Fazele unui proces QFD

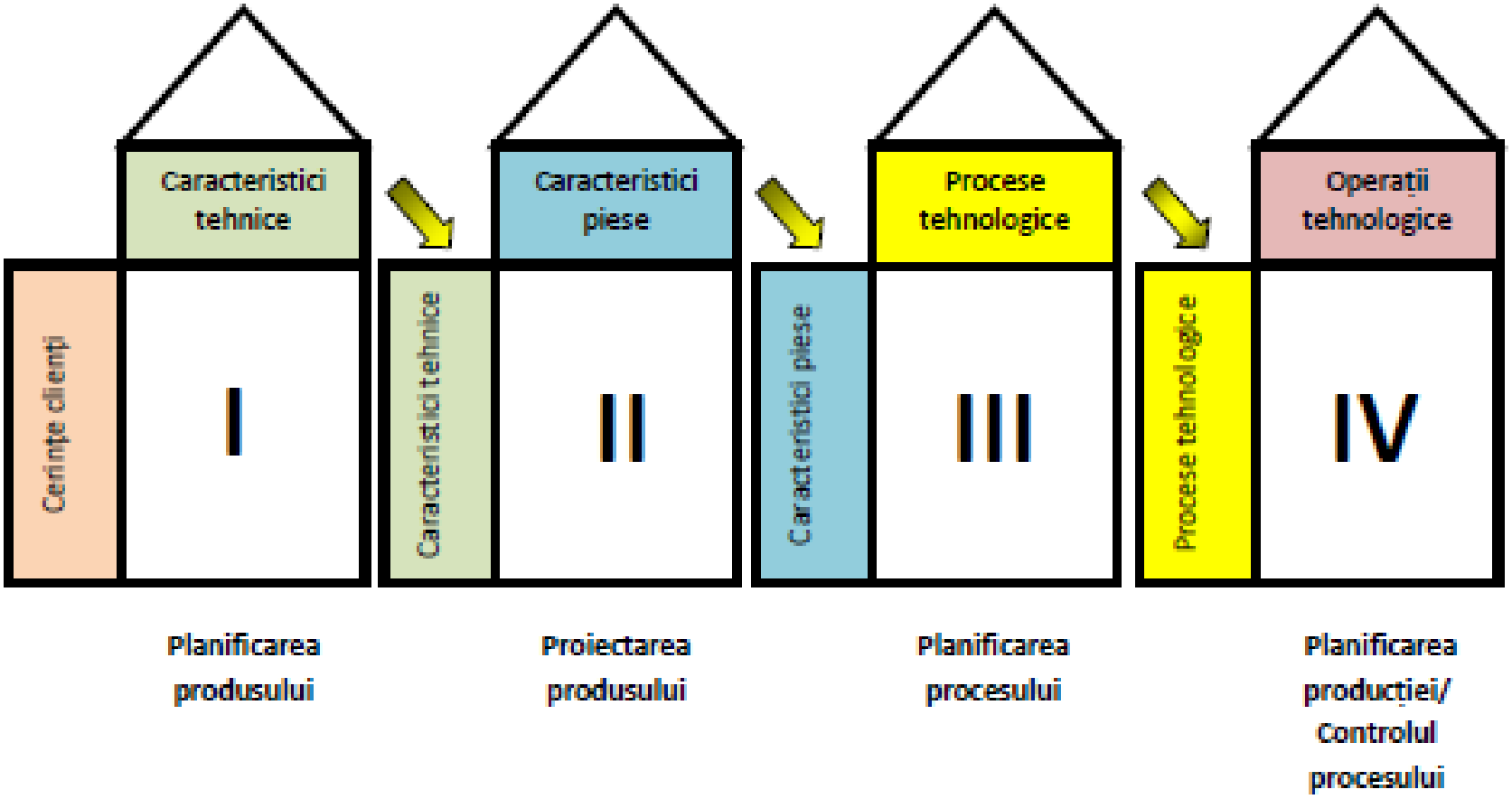


Fig. 3.22 Fazele procesului QFD

Faza 1 – Planificarea produsului: Construirea Casei Calității.

- Este condusă de Departamentul Marketing.
- Multe organizații trec numai prin această fază a procesului QFD.
- Această fază documentează cerințele clienților, date din garanții, oportunități competitive, măsurări referitoare la produs, măsurări referitoare la competiție precum și abilitatea tehnică a organizației să îndeplinească fiecare cerință a clientului.
- Obținerea de date bune/corecte de la clienți, în această fază, este critică pentru succesul întregului proces QFD.

Faza 2 – Proiectarea produsului:

- Este condusă de Departamentul Inginerie (Engineering).
- Proiectarea produsului necesită din partea echipei idei creative și inovative.
- În timpul acestei faze sunt create conceptele produsului și sunt documentate specificațiile pieselor.
- Piesele considerate a fi cele mai importante în satisfacerea cerințelor clienților sunt transferate spre planificarea proceselor, adică faza 3.

Faza 3 – Planificarea procesului:

- Este condusă de Departamentul Fabricare (Manufacturing).
- În timpul acestei faze, se creează diagrame de flux (flowcharts) pentru procesele de fabricare și sunt documentate valorile parametrilor proceselor (sau valorile țintă).

Faza 4 – Planificare producției/Controlul procesului:

- Este condusă de Departamentele Calitate (Quality) și Fabricare (Manufacturing).
- Se creează indicatori de performanță pentru monitorizarea proceselor de producție, planificarea mentenanței și abilităților necesare ale operatorilor.
- De asemenea se iau decizii referitoare la care procesul prezintă cel mai mare risc și sunt prevăzute elemente de control pentru prevenirea căderilor.

”Casa Calității”

Prima fază în implementarea procesului **QFD** implică construirea **”Casei Calității”**

Fig. 3.23 Elementele Casei Calității

Etapele construirii casei calității:

a. **Declararea obiectivului** - permite **stabilirea domeniului proiectului QFD,** concentrând astfel eforturile echipei. Obiectivele multiple sunt împărțite în QFD-uri separate în scopul menținerii unui obiectiv clar definit.

b. **Identificarea cerințelor clienților** - cerințele clienților reprezintă caracteristici individuale ale produsului sau serviciului. ***Pentru identificarea acestor cerințe*** se recurge de regulă la ***cercetări de marketing, chestionarele întocmite în acest scop trebuind să permită colectarea cel puțin a următoarelor informații***:

- ✓ ***Identificarea cerințelor clienților;***
- ✓ ***Identificarea indicelui de importanță al cerințelor clienților;***
- ✓ ***Evaluarea de către client a organizației în raport cu organizații concurente pentru fiecare dintre cerințele identificate.***

Exemplu: Tranzacții cu cărți de credit

În urma unei cercetări de marketing au rezultat următoarele ***cerințe ale clienților privind realizarea acestui tip de tranzacții***:

- ✓ **Comisioane mici;**
- ✓ **Tranzacții fără erori;**
- ✓ **Neplata unei taxe anuale;**
- ✓ **Termen de valabilitate extins;**
- ✓ **Servicii pentru client 24 de ore pe zi;**
- ✓ **Un avocat al clientului pentru dispute financiare.**

Clientul va fi și cel care ***va acorda indici de importanță*** pentru fiecare dintre aceste cerințe.

De obicei se folosește o scară de la 1 la 5, unde 1 este cel mai puțin important, iar 5 cel mai important.

În urma prelucrării datelor, s-au obținut rezultatele din tabelul 3.4

Tab. 3.4 Cerințele clientului și importanța acestora

Cerințele clientului	Indice de importanță al cerinței
Comisioane mici	2
Tranzacții fără erori	**5**
Neplata unei taxe anuale	**1**
Termen de valabilitate extins	3
Servicii pentru client 24 ore pe zi	4
Avocatul clientului în dispute financiare	4

✓ Se observă că **tranzacțiile fără erori reprezintă cea mai importantă cerință** iar **cea mai puțin importantă este neplata unei taxe anuale.**

c. Evaluarea de către client a organizației în raport cu concurența, pentru fiecare dintre cerințele identificate

- **Clientul** are un rol important în ***determinarea poziției relative a organizației față de competitorii săi pentru fiecare cerință***.
- Prin aceasta ***se verifică percepția clientului față de produs sau serviciu*** (ajută la ***identificarea punctelor tari și slabe*** ale organizației).
- Rezultatele acestei analizei pot fi spre exemplu:
  - ✓ **noi cerințe ale clientului, care apoi să fie adăugate celor existente,** sau
  - ✓ **schimbarea importanței evaluării.**
- De asemenea, rezultatele acestei analize vor indica **care sunt elementele importante ale produsului sau serviciului pe care organizația trebuie să se concentreze.**
- În această analiză este folosită ***aceeași scară de evaluare ca și la evaluarea cerințelor clientului.***

În tabelul 3.5 se prezintă evaluarea de către client a organizației în raport cu concurența.

Tab.3.5 Cerințele clientului și importanța acestora

Cerințele clientului	**Evaluarea realizată de client**			
	A	**B**	**C**	**D**
Comisioane mici	2	2	**4**	2
Tranzacții fără erori	4	**5**	3	3
Neplata unei taxe anuale	**5**	**5**	2	3
Termen de valabilitate extins	2	2	1	**4**
Servicii pentru client 24 de ore pe zi	2	2	**4**	3
Avocatul clientului în dispute financiare	**4**	2	3	3

- Evaluările sunt ***punctaje medii obținute de la diferiți clienți*** pentru: **A** - organizația noastră și **B**, **C** și **D** - cei trei concurenți

- De exemplu, compania **C** are un punctaj de **4** la cerințele ***comisioane mici și servicii pentru client 24 de ore pe zi***, comparativ cu punctajul **2** obținut de organizația noastră;

- Rezultă deci că ***părerea clienților despre această cerință relativ la organizația noastră nu este una foarte bună***.

- S-a identificat astfel o problemă pe care **pentru a rezolva putem studia practicile companiei C** și să vedem pe care dintre ele le putem adopta.

- Se va continua cu ***analize similare pentru celelalte cerințe***, implementând gradat servicii îmbunătățite.

✓**Obiectivul** nostru e să devenim **nivel de referință**.

d. Identificarea caracteristicilor de calitate - ***”Cum să facem ?”***
ca să îndeplinim cerințele clientului

Pentru a îmbunătăți punctajul organizației noastre, echipa (membri din departamentele de proiectare/dezvoltare a produsului, marketing, vânzări, contabilitate, proiectarea procesului, producție, achiziții, și servicii cu clienții) ***va identifica caracteristici de calitate necesare pentru satisfacerea cerințelor clienților***, ca de exemplu:

- ✓ **Software pentru detectarea erorilor la tranzacții;**
- ✓ **O pregătire mai bună a organizațiilor pentru introducere de date și servicii cu clienții;**
- ✓ **Negocieri cu producătorii și distribuitorii pentru a asigura valabilitate extinsă;**
- ✓ **Program de lucru prelungit;**
- ✓ **Recrutare eficientă.**

e. Identificarea obiectivelor caracteristicilor de calitate

Pentru caracteristicile tehnice idetificate ***se vor stabili obiectivele țintă***.

Se pot utiliza trei simboluri pentru a indica ***obiectivele țintă:***

- **Maximizare sau creștere a valorii obținute;**
- **Minimizare sau descreștere a valorii obținute;**
- **Îndeplinirea unei valori țintă.**

În tabelul 3.6 se prezintă ***cinci caracteristici de calitate***, fiecare cu ***obiectivele lor țintă***.

Tab.3.6 Obiective ale caracteristicilor de calitate

Nr. Crt.	Caracteristici de calitate	Obiectiv
1	Software pentru detectarea erorilor la tranzacții	○
2	Instruirea angajaților pentru introducere de date și servicii cu clienții	↑
3	Negocieri cu producătorii și distribuitorii pentru a asigura valabilitate extinsă	↑
4	Program de lucru prelungit	○
5	Recrutare eficientă	↑

- ✓ pentru caracteristica de calitate nr.1: ***”crearea unui software pentru detectarea erorilor la tranzacții”***, valoarea dorită a obiectivului este **îndeplinirea unei valori țintă – nicio eroare (zero) la tranzacții.**

- ✓ pentru caracteristica de calitate nr. 2: ***”instruirea angajaților pentru introducere de date și servicii cu clienții”*** este de dorit o **maximizare sau creștere** a rezultatelor pregătirii angajaților pentru a reduce erorile la introducerea datelor și interacțiunea eficientă cu clienții.

- ✓ pentru caracteristica de calitate nr.4: ***”program de lucru prelungit”,*** **obiectivul este îndeplinirea unei valori țintă – obținerea de servicii pentru clienți 24 de ore din 24**.

- ➢ **Dacă un obiectiv concret nu poate fi stabilit pentru o caracteristică de calitate, *ar trebui eliminat din listă și introdusă o altă caracteristică*.**

f. Realizarea matricei de corelație între caracteristicile de calitate

Matricea de corelație a caracteristicilor de calitate este **”acoperișul” casei calității**.

În **matricea corelațiilor** arătată în figura 3.24 , sunt descrise patru niveluri de corelație, cu simbolurile:

Puternic pozitiv (++)

Pozitiv (+)

Negativ (-)

Puternic negativ (--)

- Acestea **indică măsura în care caracteristicile de calitate se sprijină între ele sau dacă acestea sunt în conflict**

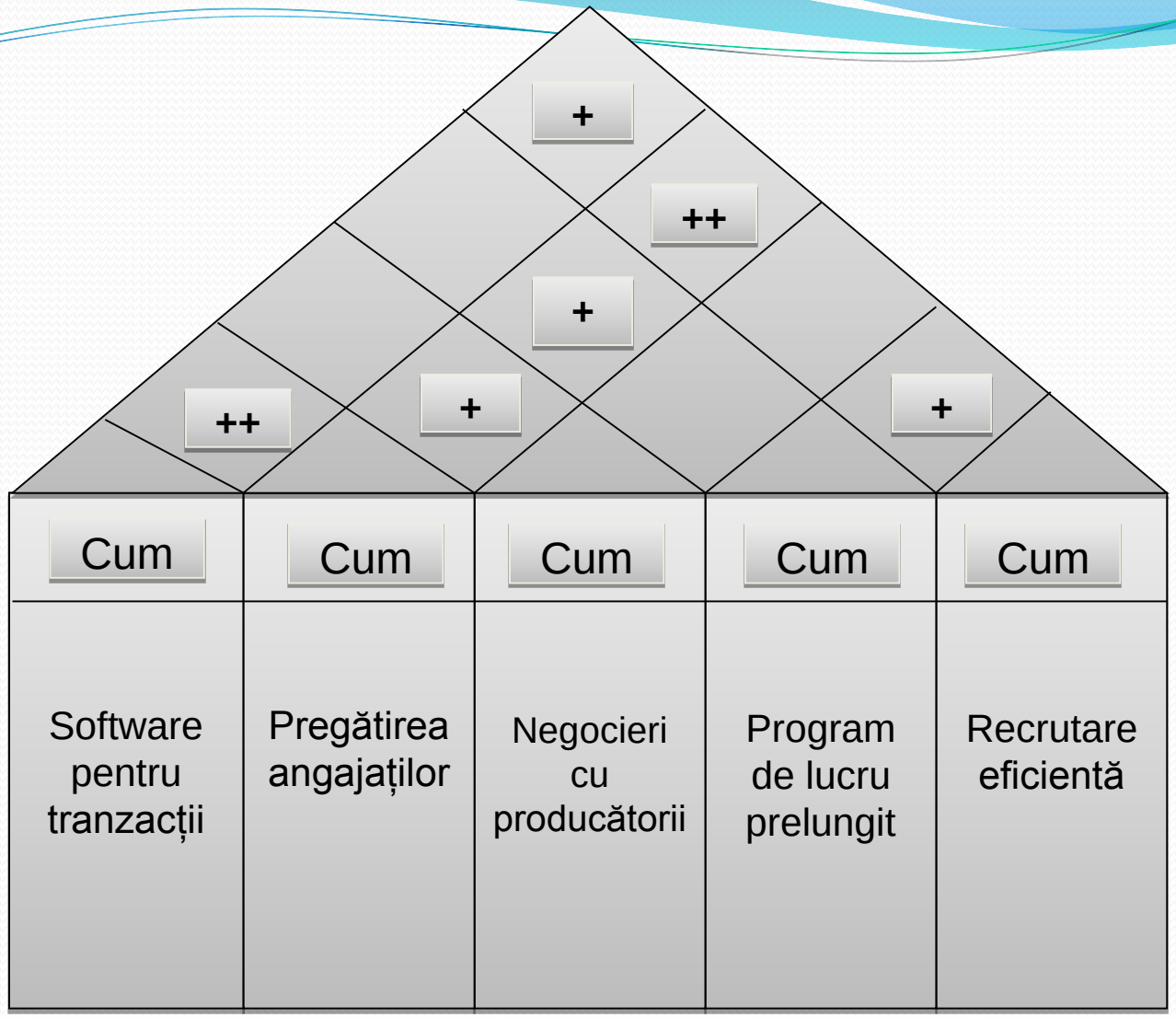


Fig. 3.24 Matricea corelațiilor caracteristicilor de calitate

Relațiile negative ar putea determina ***o modificare a valorilor obiectivelor*** caracteristicilor de calitate.

Caracteristica de calitate nr. 1: ***”crearea unui software pentru detectarea erorilor la tranzacții”***, are o **relație puternic pozitivă** (**++**) cu caracteristica de calitate nr. 2: ***”instruirea angajaților pentru introducerea de date și servicii cu clienții”***.

- *această arată că interfețele prietenoase ale software-ului vor avea un impact în ceea ce privește tipul și durata pregătirii.*

Există, de asemenea o **relație puternic pozitivă** între caracteristica de calitate nr.2 ***”instruirea angajaților pentru introducere de date și servicii cu clienții”*** și caracteristica de calitate nr. 5 ***”recrutare eficientă”***.

- aceasta arată că un program de recrutare bun, va forma baza pentru un program de pregătire eficient și de succes.

g. Evaluarea caracteristicilor de calitate

Evaluarea tehnică a caracteristicilor de calitate de face în mod asemănător cu evaluarea de către clienți a organizației în raport cu concurența.

În acest caz, ***conducerea tehnică a organizației a evaluat caracteristicile tehnice***. (tabelul 3.7)

Tab. 3.7 Evaluarea caracteristicilor de calitate

Caracteristici de calitate					
Organizația	1	2	3	4	5
A	4	3	2	3	4
B	**5**	3	1	**4**	1
C	3	**5**	2	2	**5**
D	2	2	**4**	1	3

- Pentru caracteristica de calitate nr.1, ***”crearea unui software pentru detectarea erorilor la tranzacții”***, organizația noastră (A) a obținut punctajul 4, dar organizația B se descurcă mai bine având un punctaj de 5; în concluzie compania B reprezintă **nivelul de referință** față de care se vor măsura performanțele.

- Organizația C reprezintă nivelul de referință pentru caracteristica de calitate nr. 2: ***”instruirea angajaților pentru introducere de date și servicii cu clienții”*** și deci se va căuta deci să se îmbunătățească calitatea și eficacitatea programelor de pregătire.

- Pentru caracteristica de calitate nr.4: ***”program de lucru prelungit”,*** deoarece organizația B este cotată cel mai bine, acesta va fi nivelul pe care organizația noastră se va strădui să-l atingă sau să-l depășească.

- Spre exemplu ***dacă organizația B oferă servicii cu clienții 16 ore pe zi, acesta devine obiectivul nostru***. Dacă nu putem atinge acest nivel de referință ar fi poate indicat să nu intrăm pe această piață deoarece produsele sau serviciile noastre nu vor fi la fel de bune ca ale competitorilor.

h. Elaborarea matricei de relații dintre cerințele clientului și caracteristicile de calitate

Această matrice oferă un mecanism pentru a analiza modul în care o caracteristică de calitate va ajuta la satisfacerea unei cerințe a clienților.

Se poate utiliza următorul punctaj:

0 – nu există relație;

1 – relație scăzută;

3 – relație medie;

5 – relație foarte puternică.

În tabelul 3.8 se prezintă matricea relațiilor (exemplul cu cărți de credit)

Tab. 3.8 Matricea relațiilor rezultatelor relative și absolute

Cerințele clientului	Indice de importanță al cerinței	Caracteristici de calitate				
		1.Software pt tranzacții	2.Pregătirea angajaților	3.Negocieri cu producătorii	4.Program de lucru prelungit	5.Recrutare eficientă
Comisioane mici	2	0(0)	0(0)	5(10)	0(0)	0(0)
Tranzacții fără erori	5	5(25)	5(25)	0(0)	3(15)	5(25)
Neplata unei taxe anuale	1	0(0)	0(0)	3(3)	0(0)	0(0)
Termen de valabilitate extins	3	0(0)	1(3)	5(15)	0(0)	0(0)
Servicii pentru client 24 de ore pe zi	4	1(4)	3(12)	0(0)	5(20)	5(20)
Avocatul clientului în dispute financiare	4	1(4)	3(12)	5(20)	0(0)	3(12)
Importanța absolută a caracteristicii de calitate		33	52	48	35	57
Importanța relativă a caracteristicii de calitate		5	2	3	4	1

Pentru caracteristica de calitate nr.2: ***”instruirea angajaților pentru introducere de date și servicii cu clienții”***, **conducerea tehnică** consideră că această caracteristică de calitate **are o legătură puternică** cu cerința clientului ***”realizarea de tranzacții fără erori”*** așa că i-a fost alocată valoarea **5**.

Aceeași caracteristică de calitate **are o relație moderată** cu cerința clientului ***”oferirea serviciilor pentru clienți 24 ore pe zi”*** și punerea la dispoziție a unui ***”avocat pentru dispute financiare”*** așa că un punctaj de **3** a fost acordat acestor relații.

Valorile din paranteze din tabelul ... sunt obținute înmulțind indicele de importanță al cerinței clientului cu punctajul corespunzător corelației

Importanța absolută a fiecărei caracteristici de calitate este calculată adunând rezultatele din paranteze.

Importanța relativă a caracteristicii de calitate reprezintă o clasificare a valorilor absolute, unde 1 înseamnă cel mai important.

Caracteristica de calitate nr.5, ***”recrutarea eficientă”*** este cea mai importantă deoarece valoarea absolută, **57**, este cea mai ridicată.

i. Analiza rezultatelor și stabilirea acțiunilor de întreprins

- Pentru ca serviciile oferite să răspundă cerințelor clienților este necesar să ne concentrăm atenția asupra **caracteristicilor de calitate** cu o **importanță absolută ridicată**.

- Trebuie găsite **soluțiile tehnice efective** pentru ca serviciul oferit să înglobeze în totalitate sau într-o cât mai mare măsură caracteristicile tehnice identificate.

- Pentru caracteristica de calitate: ***"recrutare eficientă"*,** care a rezultat a fi caracteristica de calitate cea mai importantă, pasul următor este de a stabili programele de instruire, personalul anticipat, durata instruirii etc.

- Cerințele clienților sunt numeroase și rareori le putem satisface în totalitate la un preț competitiv, **QFD ne ajută să identificăm acele caracteristici de calitate care să conducă la satisfacerea unei proporții cât mai ridicate din cerințele clienților**. Justificarea are la bază și regula 20/80 a lui Pareto: **20% dintre caracteristicile de calitate satisfăcute**, inseamnă **80% dintre cerințele clienților satisfăcute.**

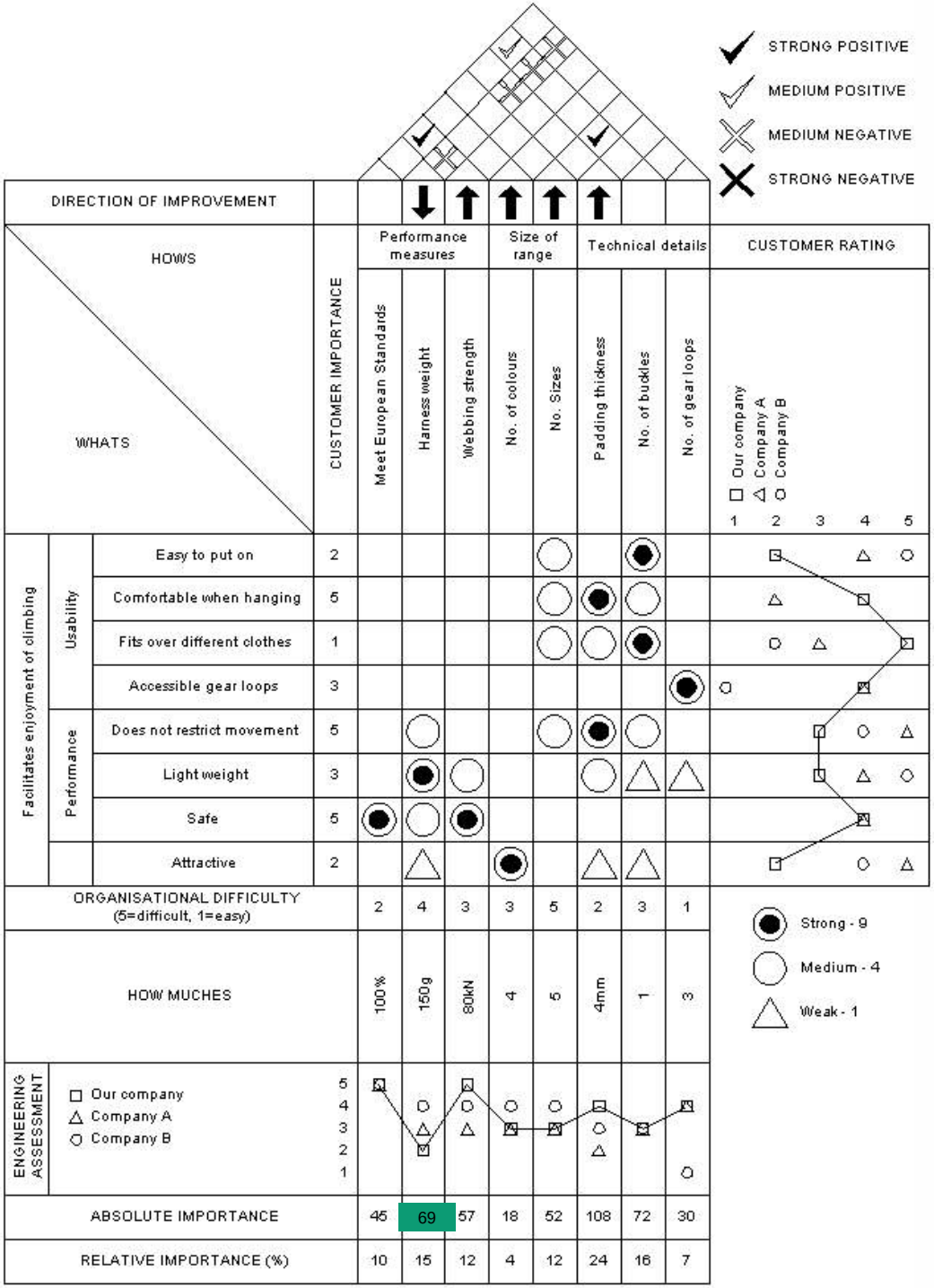
Acest proces este apoi repetat într-o manieră ușor simplificată pentru următoarele 3 faze ale proiectului, implicând pașii 1,2,3,5,7,9 &11.

Principalele diferențe:

- în Faza 2 procesul devine o traducere a **VOE (Voice of Engineer)** în **VOPDS (Voice of Part Design Specifications)**;
- în Faza 3 procesul devine o traducere a **VOPDS** în **VOMP (Voice of Manufacturing Planning)**;
- în Faza 4 procesul devine o traducere a **VOMP** în **VOPP (Voice of Production Planning)**

Dezvoltarea unui echipament de cățărare

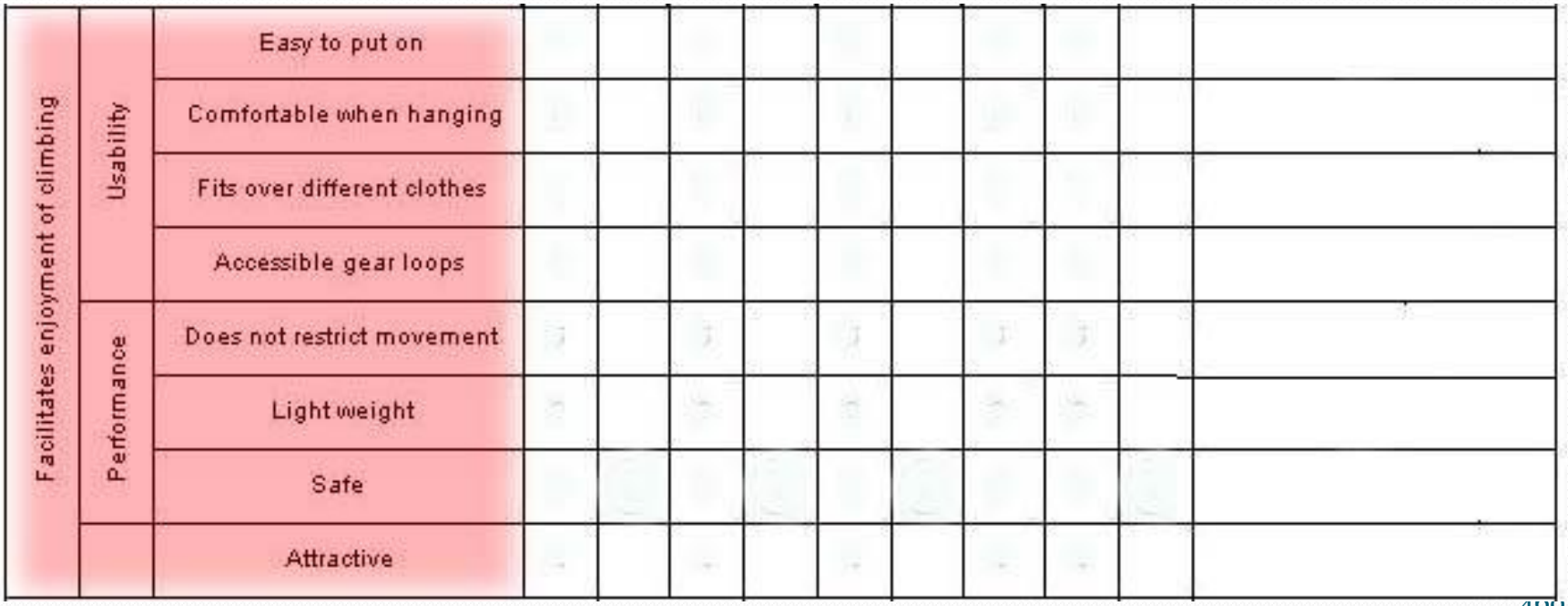
(Lowe & Ridgway, 2001)



Pași în construirea Casei Calității (Becker and Associates, 2000)

Pasul 1: Cerințele clientului – ”Vocea Clientului” (Voice of Customer – VOC)

Primul pas într-un proiect **QFD** este să se determine ***ce segment de piață va fi analizat*** în cadrul acestui proces și ***să identifice clienții***. Apoi echipa preia informații de la client referitor la cerințele acestora despre produs sau serviciu. Pentru organizarea și evaluarea acestor date, se folosesc chestionare de tip Kano, Diagrame de Afinități sau Diagrame Arbore.



Pasul 2: Cerințele obligatorii (regulatorii)

Nu toate cerințele produsului sau serviciului sunt cunoscute clienților, astfel încât echipa trebuie să documenteze cerințele dictate de management sau standardele regulatorii.

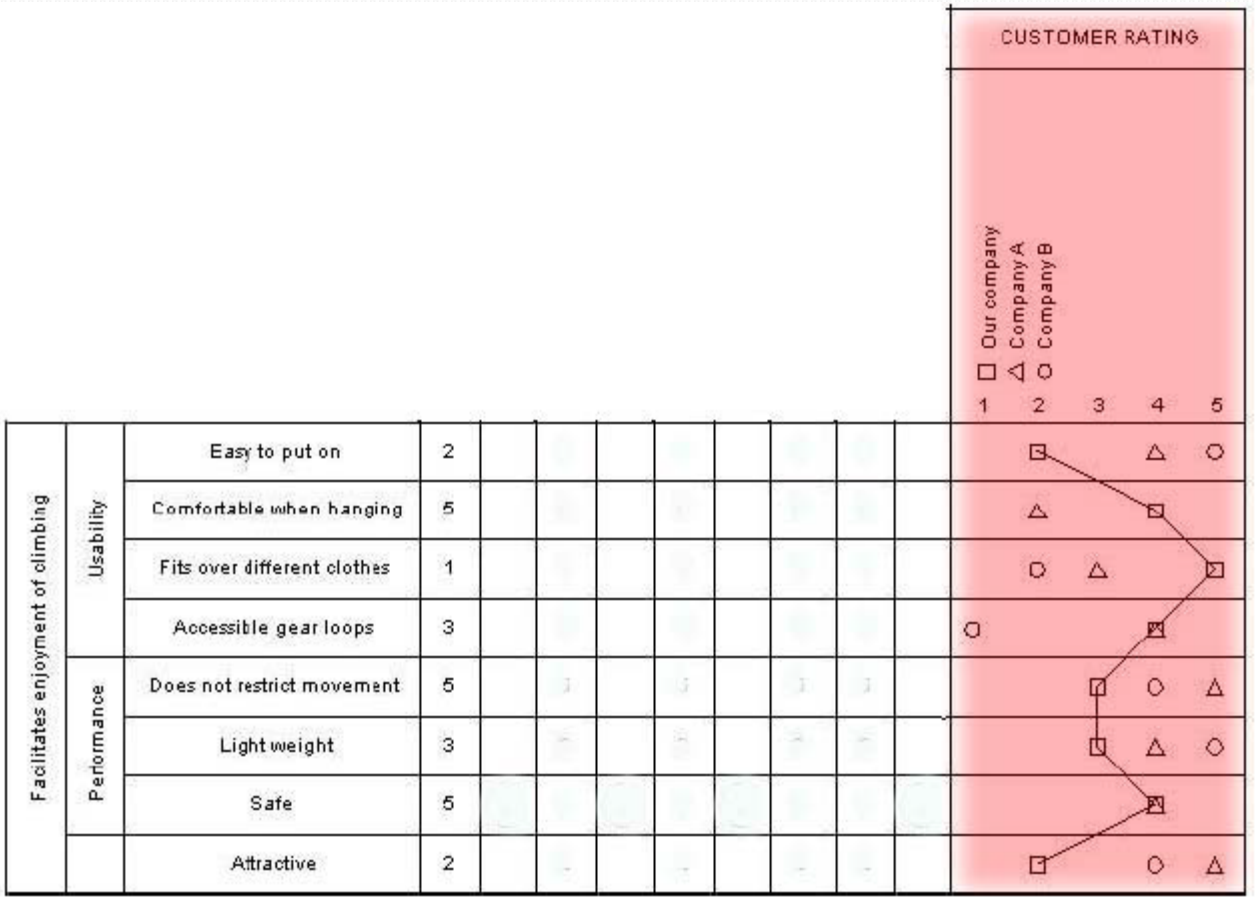
Pasul 3: Evaluarea importanței cerințelor de către clienți

Pe o scală de la 1 la 5, clienții evaluează importanța fiecărei cerințe. Acest număr va fi folosit mai târziu în matricea de relații.

Facilitates enjoyment of climbing	Usability	Easy to put on	2								
		Comfortable when hanging	5								
		Fits over different clothes	1								
		Accessible gear loops	3								
	Performance	Does not restrict movement	5								
		Light weight	3								
		Safe	5								
		Attractive	2								

Pasul 4: Evaluarea competiției de către clienți

Înțelegerea modului în care clienții evaluează competiția poate fi un mare avantaj competitiv. În acest pas al procesului QFD este o idee bună să se ceară clienților să evalueze produsul sau serviciul oferit relativ la competiție. Pot fi adăugate ”camere” care să identifice oportunitățile de vânzare, țeluri pentru îmbunătățire continuă, plângeri ale clienților etc.

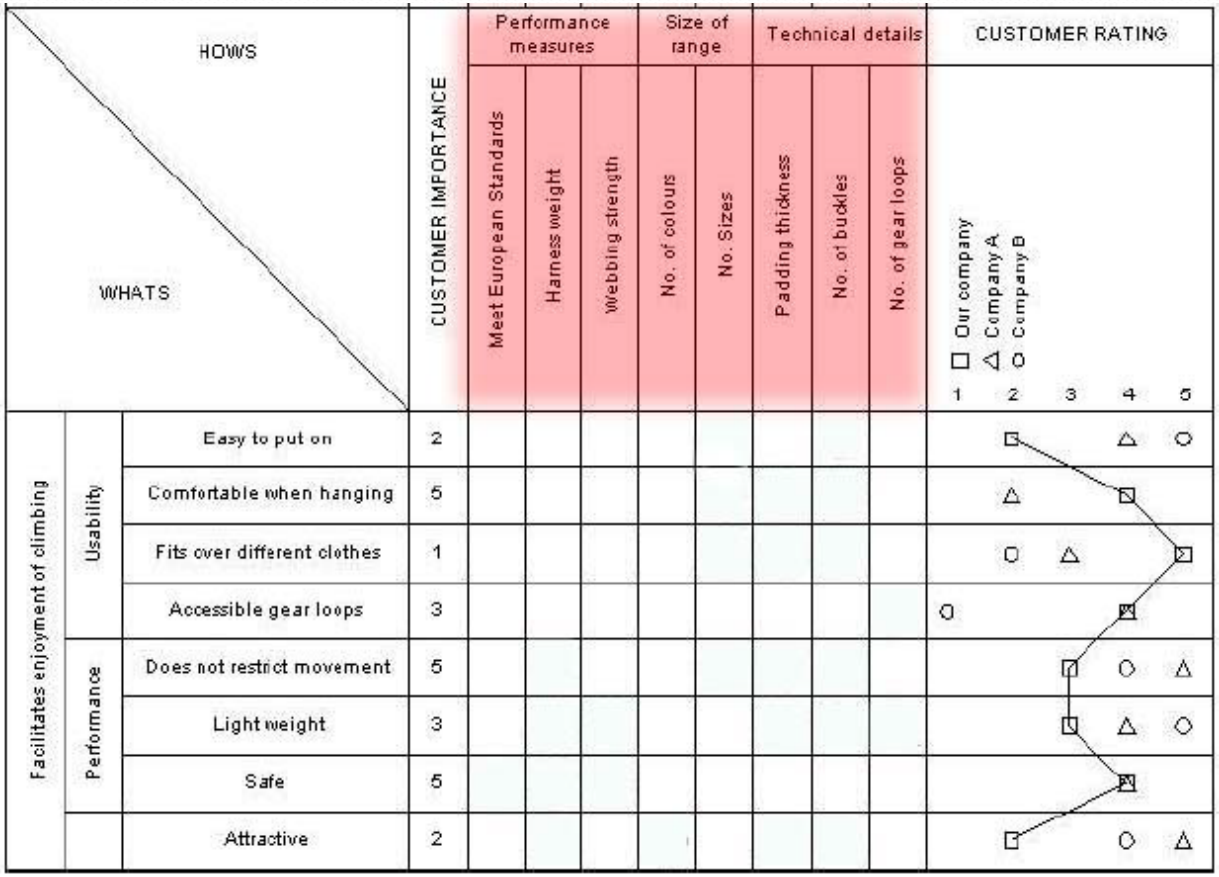


PLANNING MATRIX

Our product	Competitor A's product	Competitor B's product	Planned rating	Improvement factor	Sales point	Overall weighting	Percentage of total
3	3	4	4	1.2	1.1	2.6	7
4	4	2	5	1.2	1.4	8.4	22
1	1	5	2	1.2	1.0	1.2	3
3	4	1	3	1.0	1.0	3.0	8
2	2	3	5	1.6	1.4	11.2	29
3	2	5	3	1.0	1.0	3.0	8
4	3	3	4	1.0	1.2	6.0	16
2	2	5	Total (100%)			38	7

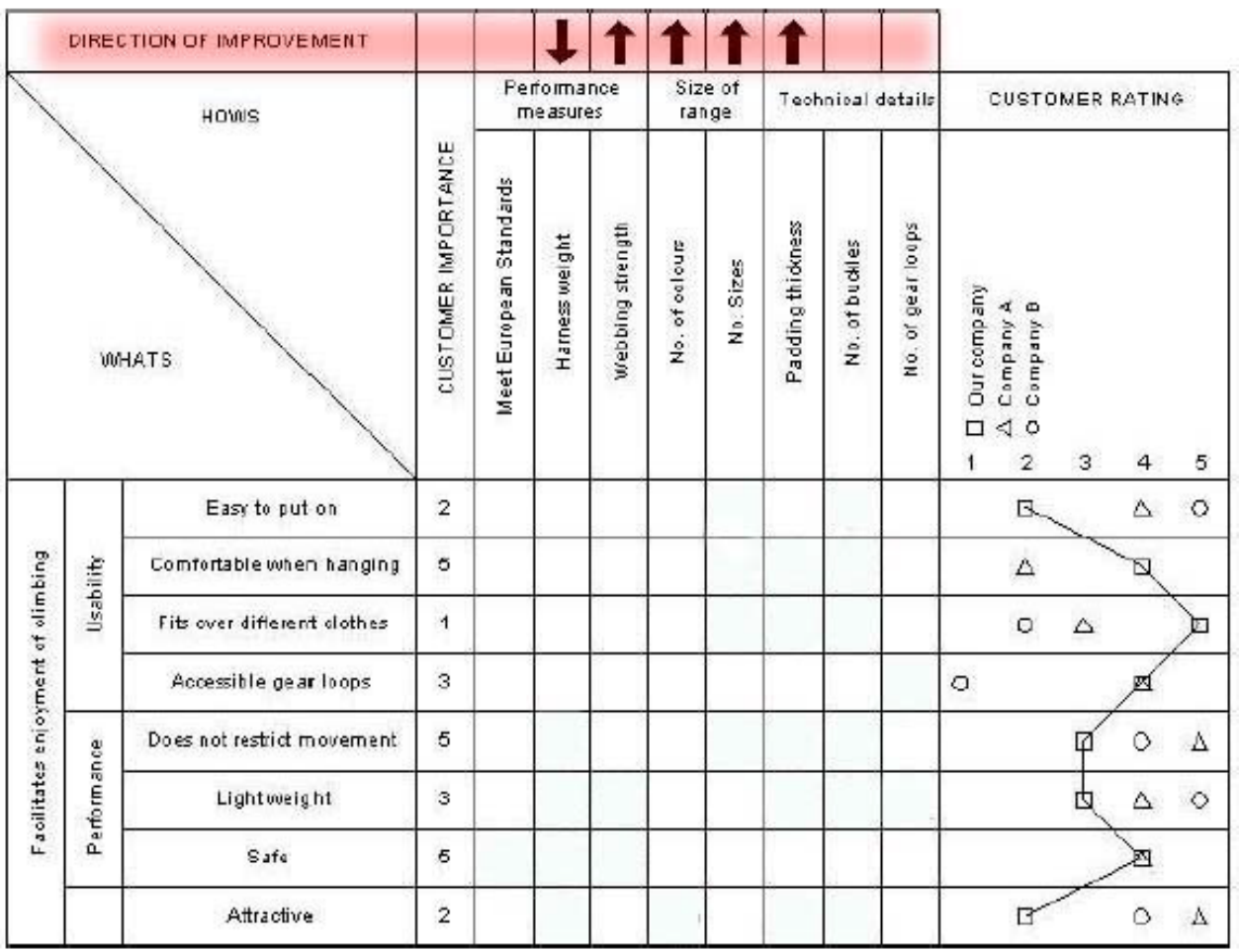
Pasul 5: Descriptori tehnici – ”Vocea Inginerului” – (Voice of Engineer – VOE)

Descriptorii tehnici sunt atribute despre produs sau serviciu care pot fi măsurate și evaluate în raport cu competiția. Pot exista descriptori tehnici deja folosiți în organizație pentru determinarea specificațiilor produsului sau pot fi create noi tipuri de măsurări care să asigure că produsul va îndeplini cerințele clientului.



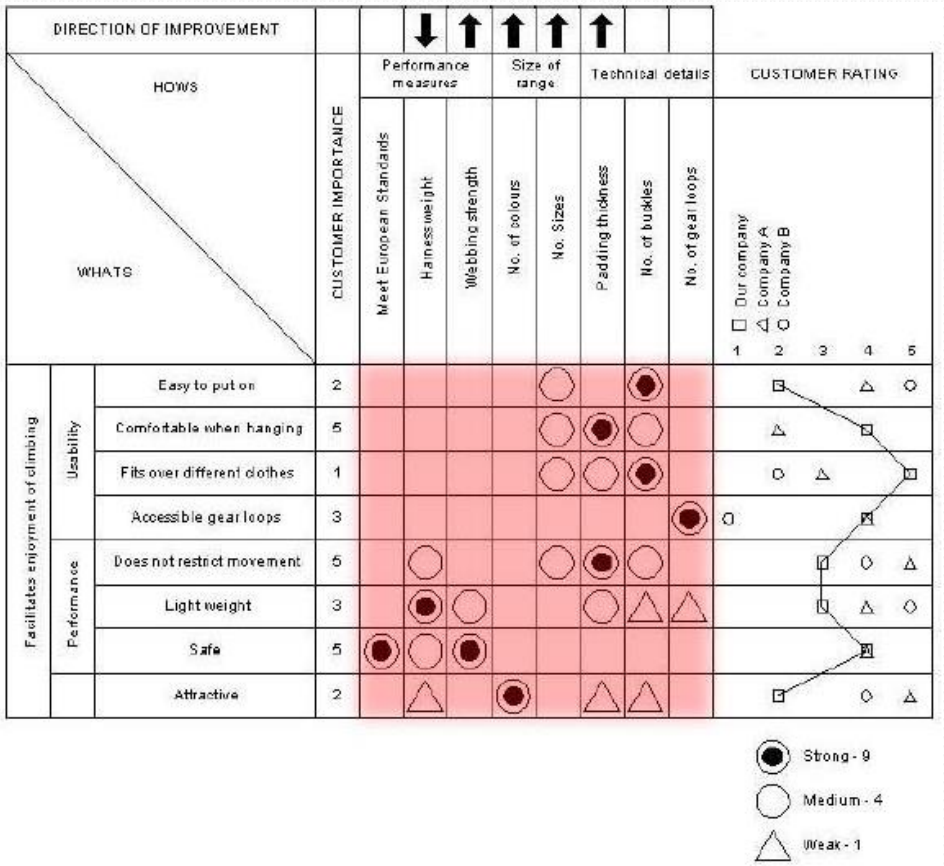
Pasul 6: Direcția de îmbunătățire

După definirea descriptorilor tehnici, trebuie determinată direcția în care trebuie să se deplaseze fiecare descriptor



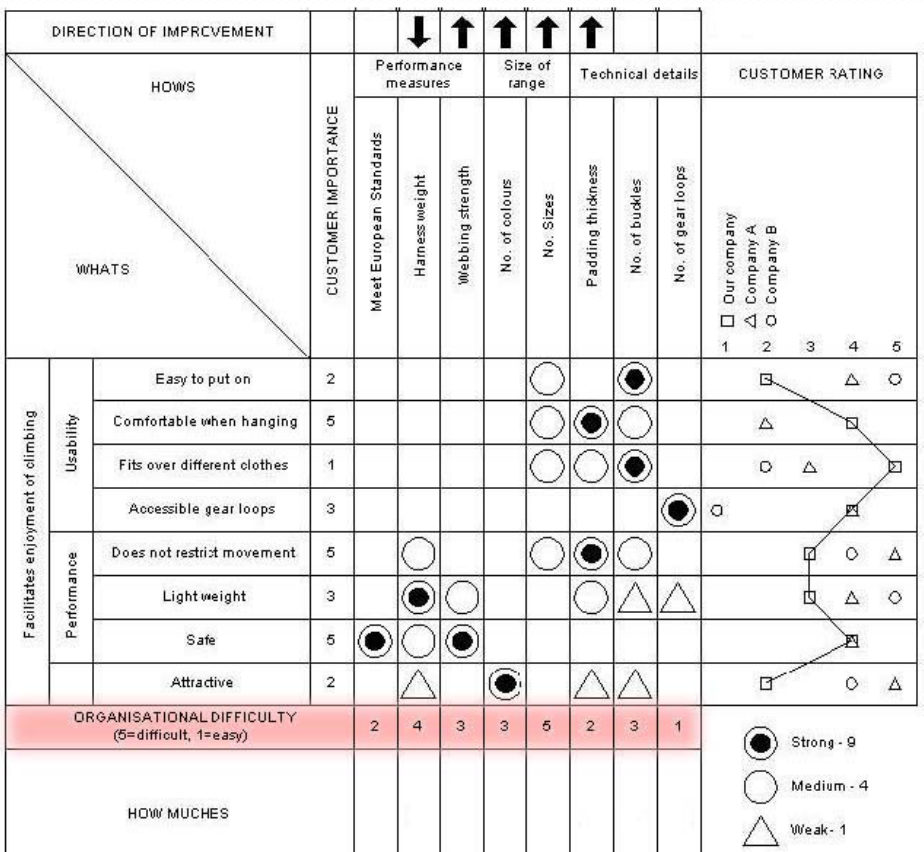
Pasul 7: Matricea de relații

Cu ajutorul matricii de relații, echipa determină relația între cerințele clienților și abilitatea organizației de a le îndeplini. Echipa pune întrebarea ”Care este tăria relației între descriptorii tehnici și cerințele clienților?”. Relația poate fi slabă, moderată sau puternică cu valorile numerice 1, 4 sau 9.



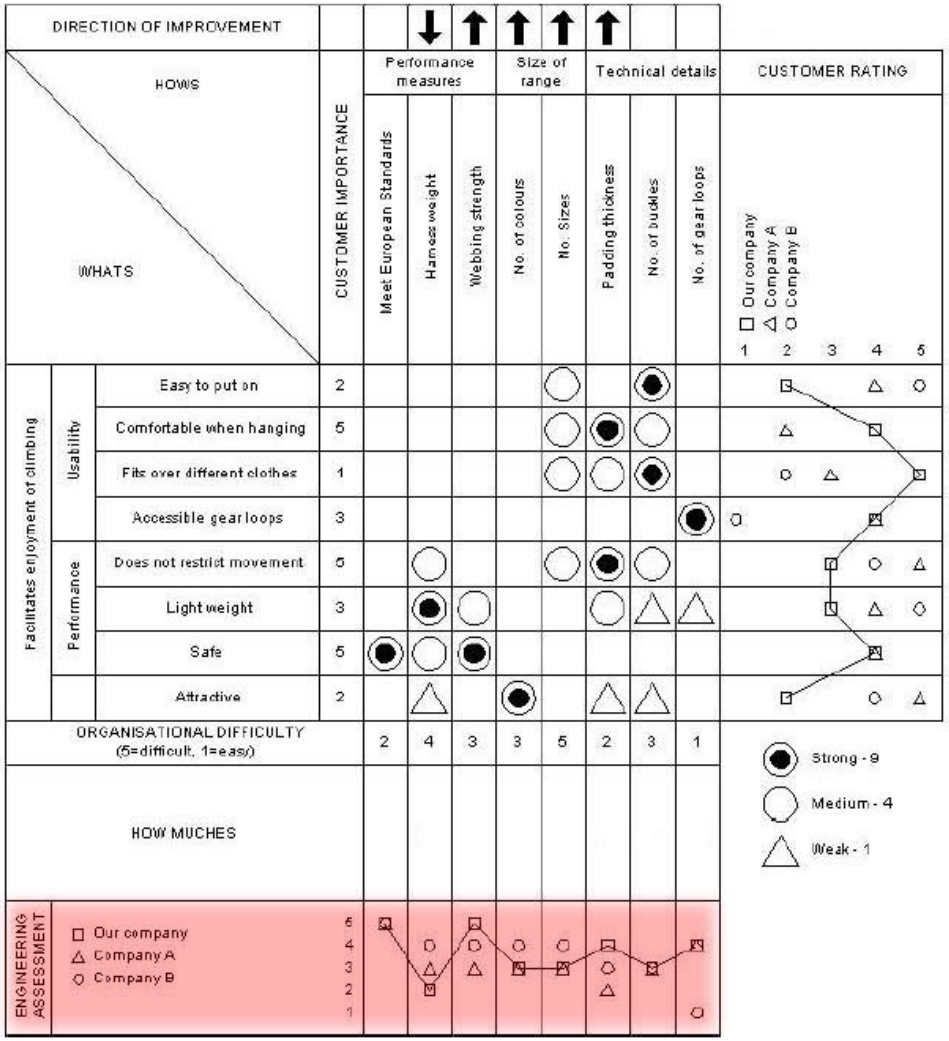
Pasul 8: Dificultatea organizațională

Se evaluează atributele de proiectare în termeni de dificultate organizațională. Este posibil ca anumite atribute să fie în conflict direct cu politicile organizației, de exemplu creșterea *numărului de mărimi (number of sizes)* poate fi în contradicție cu politica stocurilor organizației (de unde și gradul de dificultate organizațională maxim = 5)



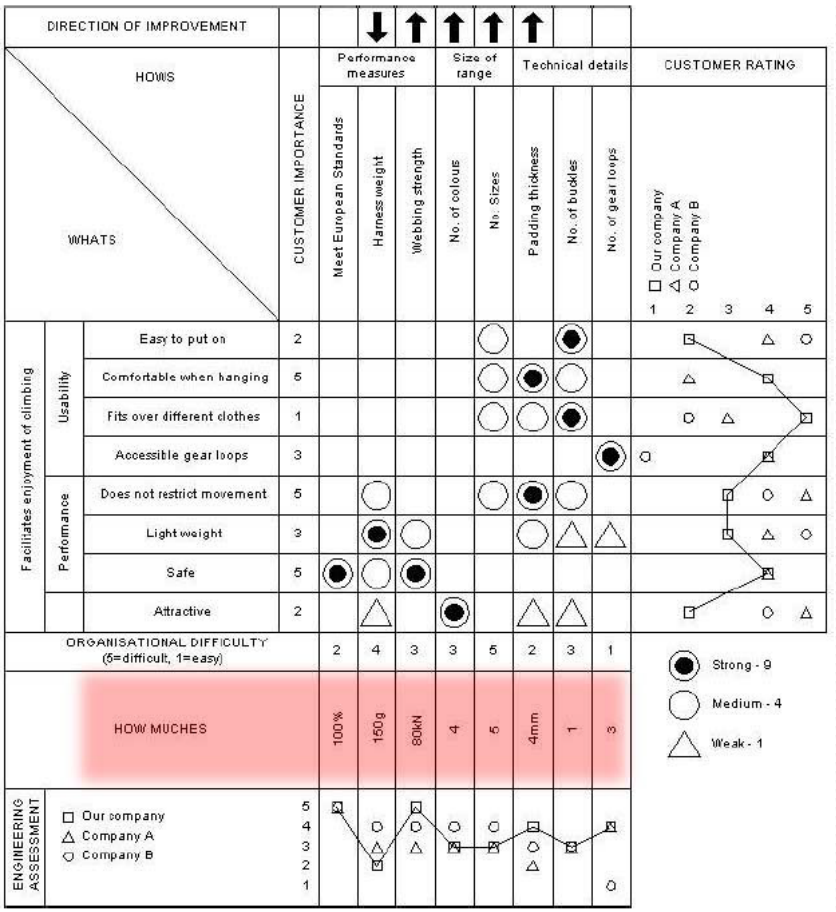
Pasul 9: Analiza tehnică a produselor competiției

Pentru o cât mai bună înțelegere a competiției, Departamentul de Inginerie va efectua o comparație cu descriptorii tehnici ai competiției.



Pasul 10: Valori țintă pentru descriptorii tehnici

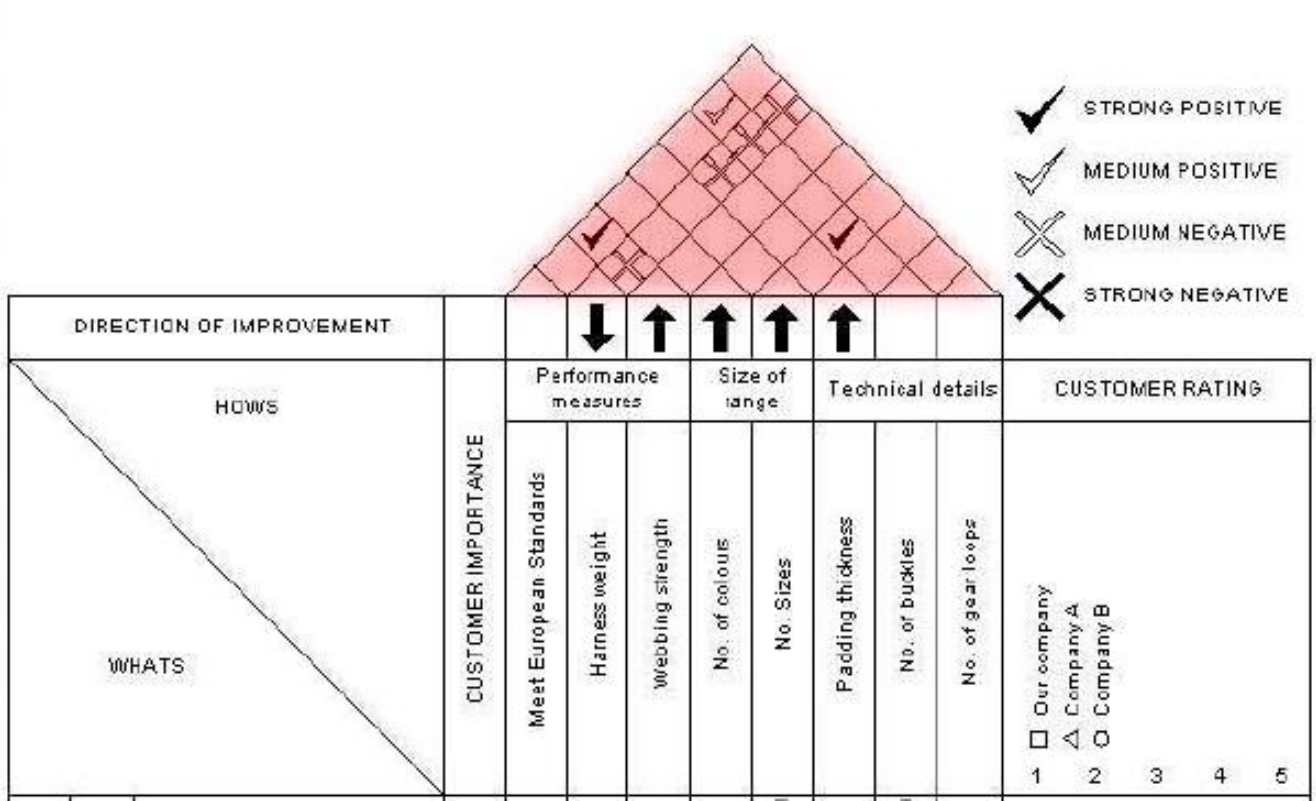
Echipa **QFD** începe să stabilească valori țintă pentru fiecare descriptor tehnic. Valorile țintă reprezintă ”cât de mult” pentru descriptorii tehnici și pot fi considerați ca și bază pentru comparații ulterioare (sau se pot detalia valorile pentru descriptorii tehnici pentru competiție stabilind apoi valorile țintă)



Technical Benchmarking	Our product	Y	174g	250	5	4	4mm	1	4
	Competitor A's product	Y	193g	321	3	5	8mm	4	5
	Competitor B's product	Y	157g	198	6	4	3mm	1	3
DESIGN TARGETS		Y	160g	250	8	6	4mm	2	4

Pasul 11: Matricea de corelare a descriptorilor tehnici

Matricea de corelare (numită și ”acoperișul” Casei Calității) este probabil ultima folosită în analiză, însă, este de mare ajutor pentru inginerii proiectanți în următoarea fază a proiectului **QFD**. Echipa examinează impactul descriptorilor tehnici unul asupra altuia. Echipa trebuie să documenteze relații puternic negative între descriptorii tehnici și să elimine contradicțiile fizice



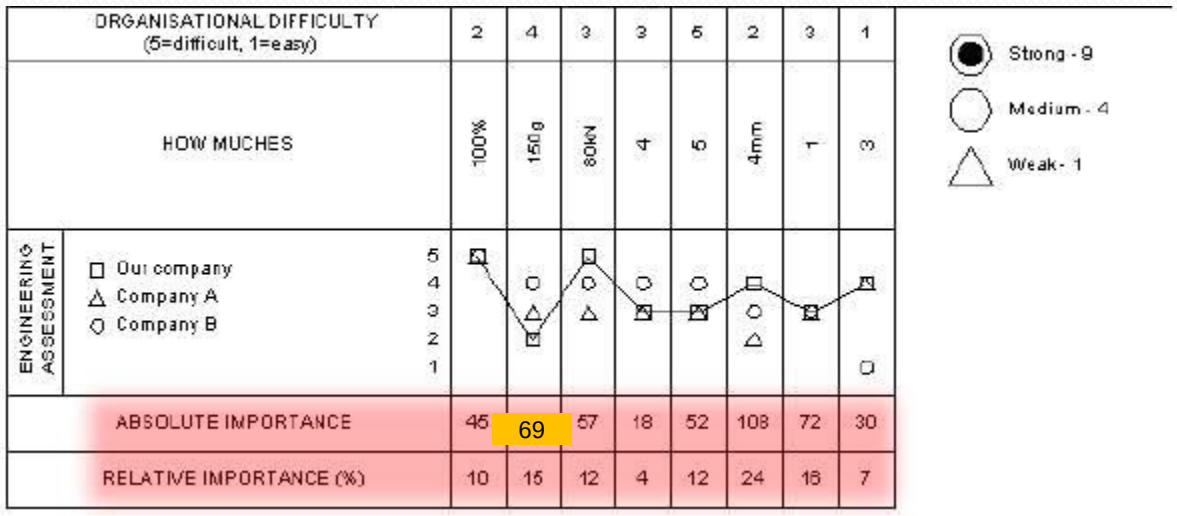
Pasul 12: Importanța absolută și relativă

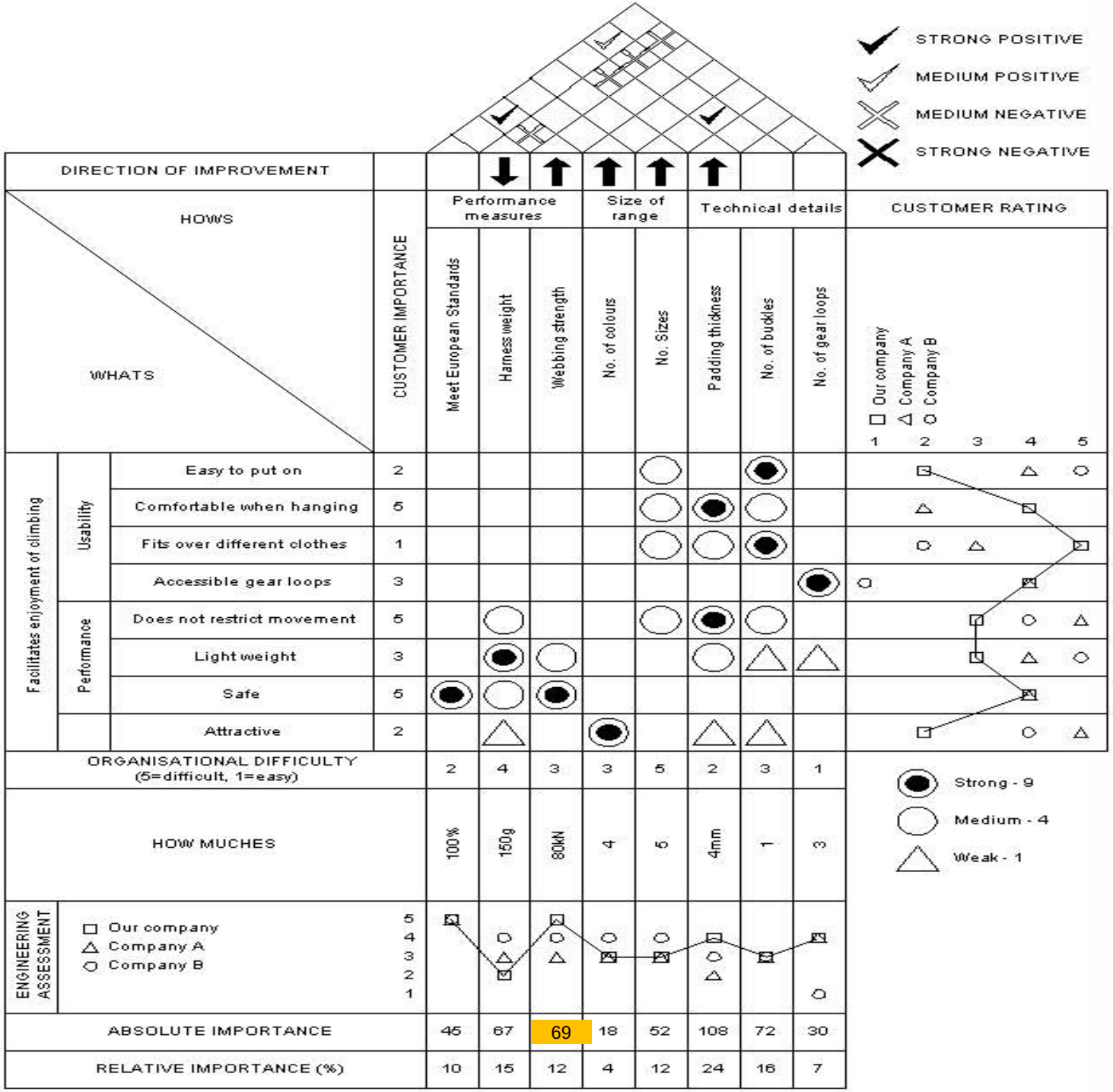
Valoarea numerică a importanței absolute se obține însumând pe coloană (pentru fiecare descriptor tehnic) produsul dintre valoarea celulei cu valoarea importanței evaluată de clienți.

De exemplu: Descriptorul tehnic – ”greutatea echipamentului” (harness weight) – 5 x 4 + 3 x 9 +5 x 4 + 2 x 1 = 69

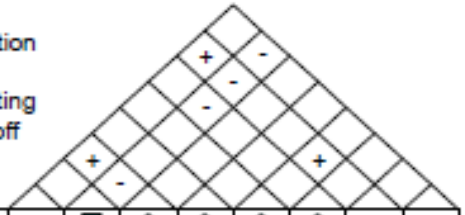
Importanța relativă (%) se obține însumând valorile absolute și apoi împărțind valoarea absolută a fiecărui descriptor tehnic la suma respectivă

În acest mod se va cunoaște care din aspectele tehnice contează cel mai mult pentru clienți !!




STRONG POSITIVE
MEDIUM POSITIVE
MEDIUM NEGATIVE
STRONG NEGATIVE
DIRECTION OF IMPROVEMENT
HOWS
WHATS
CUSTOMER IMPORTANCE
Performance measures
Size of range
Technical details
CUSTOMER RATING
Meet European Standards
Harness weight
Webbing strength
No. of colours
No. Sizes
Padding thickness
No. of buckles
No. of gear loops
Our company
Company A
Company B
1 2 3 4 5
Facilitates enjoyment of climbing
Usability
Performance
Easy to put on 2
Comfortable when hanging 5
Fits over different clothes 1
Accessible gear loops 3
Does not restrict movement 5
Light weight 3
Safe 5
Attractive 2
ORGANISATIONAL DIFFICULTY (5=difficult, 1=easy)
2 4 3 3 5 2 3 1
HOW MUCHES
100% 150g 80kN 4 5 4mm 1 3
Strong - 9
Medium - 4
Weak - 1
ENGINEERING ASSESSMENT
5
4
3
2
1
Our company
Company A
Company B
ABSOLUTE IMPORTANCE
45 67 69 18 52 108 72 30
RELATIVE IMPORTANCE (%)
10 15 12 4 12 24 16 7

Rock-Climbing Harness



DIRECTION OF IMPROVEMENT				↓	↑	↑	↑	↑												
TECHNICAL REQUIREMENTS / CUSTOMER REQUIREMENTS			CUSTOMER IMPORTANCE	Performance measures			Size of range		Technical details			PLANNING MATRIX								
				Meets European standards	Harness weight	Webbing strength	No. of colors	No. of sizes	Padding thickness	No. of buckles	No. of gear loops	Our product	Competitor A's product	Competitor B's product	Planned rating	Improvement factor	Sales point	Overall weighting	Percentage of total
Facilitates climbing	Usability	Easy to put on	2					■		●		3	3	4	4	1.2	1.1	2.6	7
		Comfortable when hanging	5					■	●	■		4	4	2	5	1.2	1.4	8.4	22
		Fits over different clothes	1					■	■	●		1	1	5	2	1.2	1.0	1.2	3
		Accessible gear loops	3								●	3	4	1	3	1.0	1.0	3.0	8
	Performance	Does not restrict movement	5		■			■	●	■		2	2	3	5	1.6	1.4	11.2	29
		Lightweight	3		●	■			■	▲	▲	3	2	5	3	1.0	1.0	3.0	8
		Safe	5	●	■	●						4	3	3	4	1.0	1.2	6.0	16
		Attractive	2		▲		●		▲	▲		2	2	5	3	1.2	1.1	2.6	7
		TECHNICAL PRIORITIES		54	81.2	63	23.4	70.2	191.6	98.6	30	612			Total (100%)			38	
		PERCENTAGE OF TOTAL		9	13	10	4	12	31	16	5	Total (100%)							
	Technical Benchmarking	Our product		Y	174g	250	5	4	4mm	1	4								
		Competitor A's product		Y	193g	321	3	5	6mm	4	5								
		Competitor B's product		Y	157g	198	6	4	3mm	1	3								
		DESIGN TARGETS		Y	160g	250	8	6	4mm	2	4								

Key to interrelationship matrix symbols

- ● Strong interrelationship
- ■ Medium interreltionship
- ▲ Weak interrelationship

Dezvoltarea unei uși de automobil

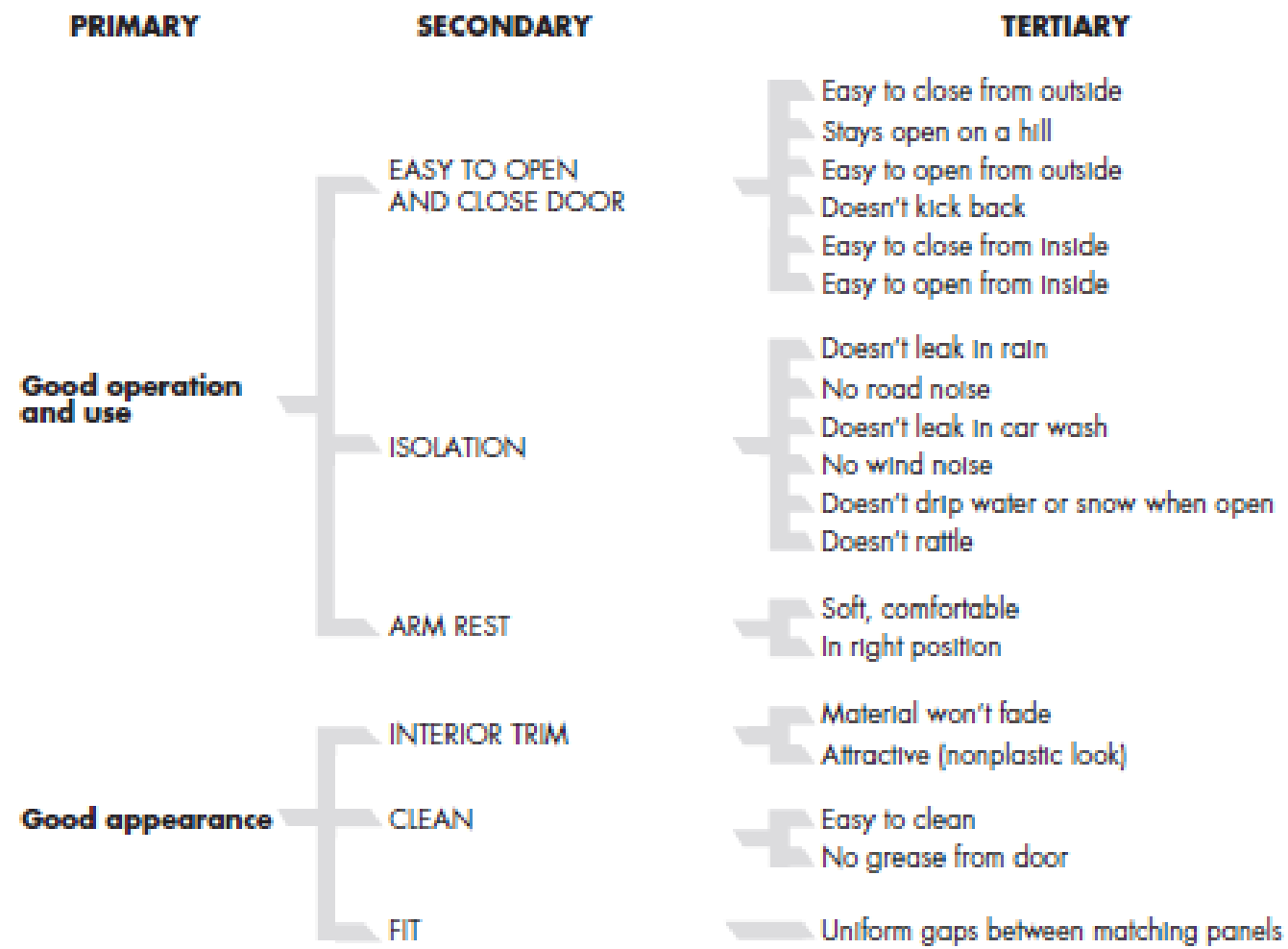
John R. Hauser & Don Clausing

HARVARD BUSINESS REVIEW May-June 1988

CRs (CAs)

Customer Attributes

Customer attributes and bundles of CAs for a car door



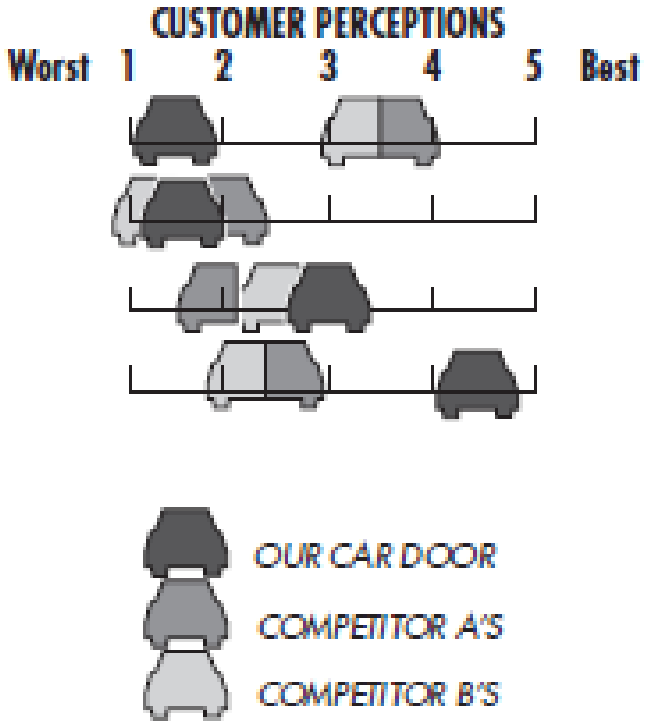
Relative-importance weights of customer attributes

BUNDLES	CUSTOMER ATTRIBUTES	RELATIVE IMPORTANCE
EASY TO OPEN AND CLOSE DOOR	Easy to close from outside	7
	Stays open on a hill	5
ISOLATION	Doesn't leak in rain	3
	No road noise	2

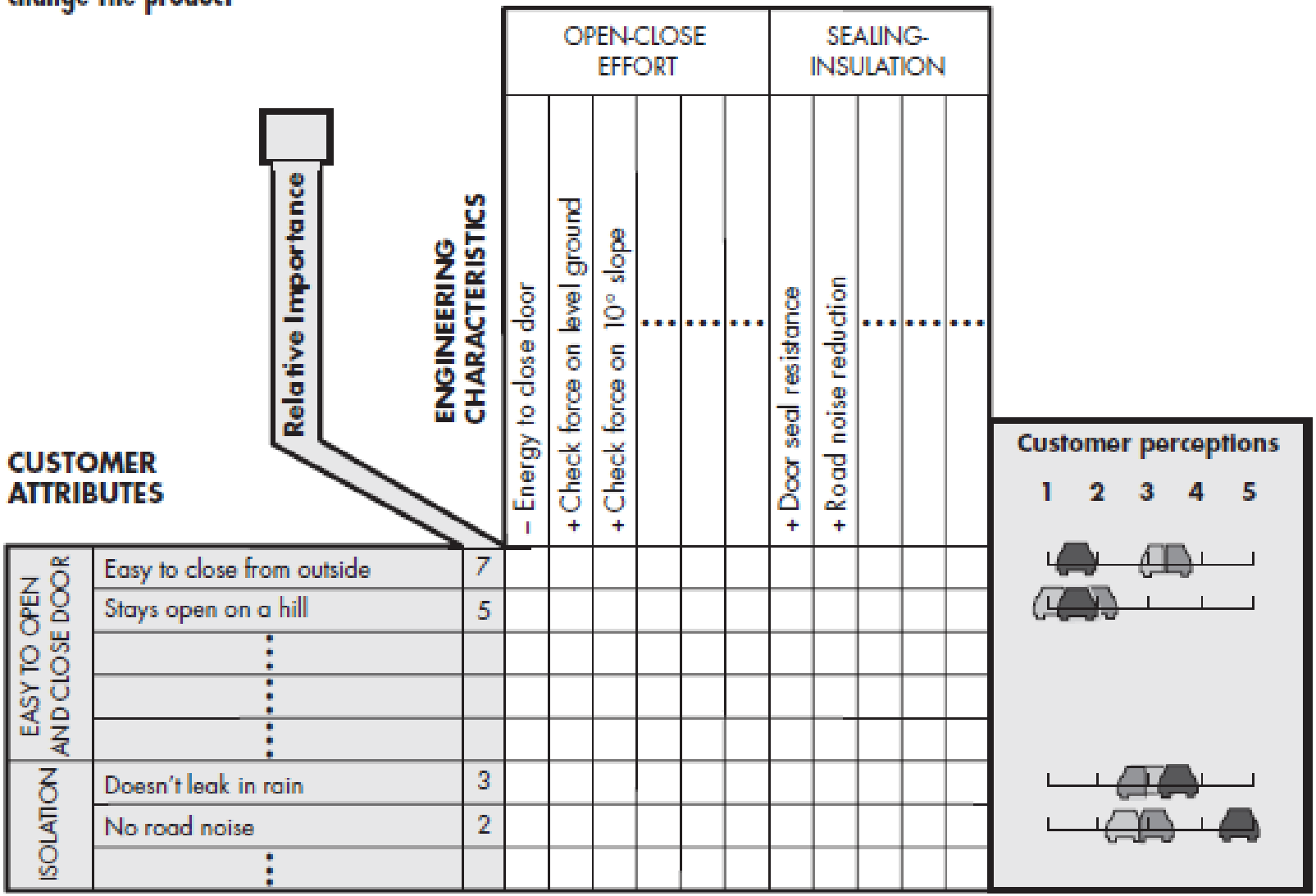
A complete list totals 100%

Customers' evaluations of competitive products

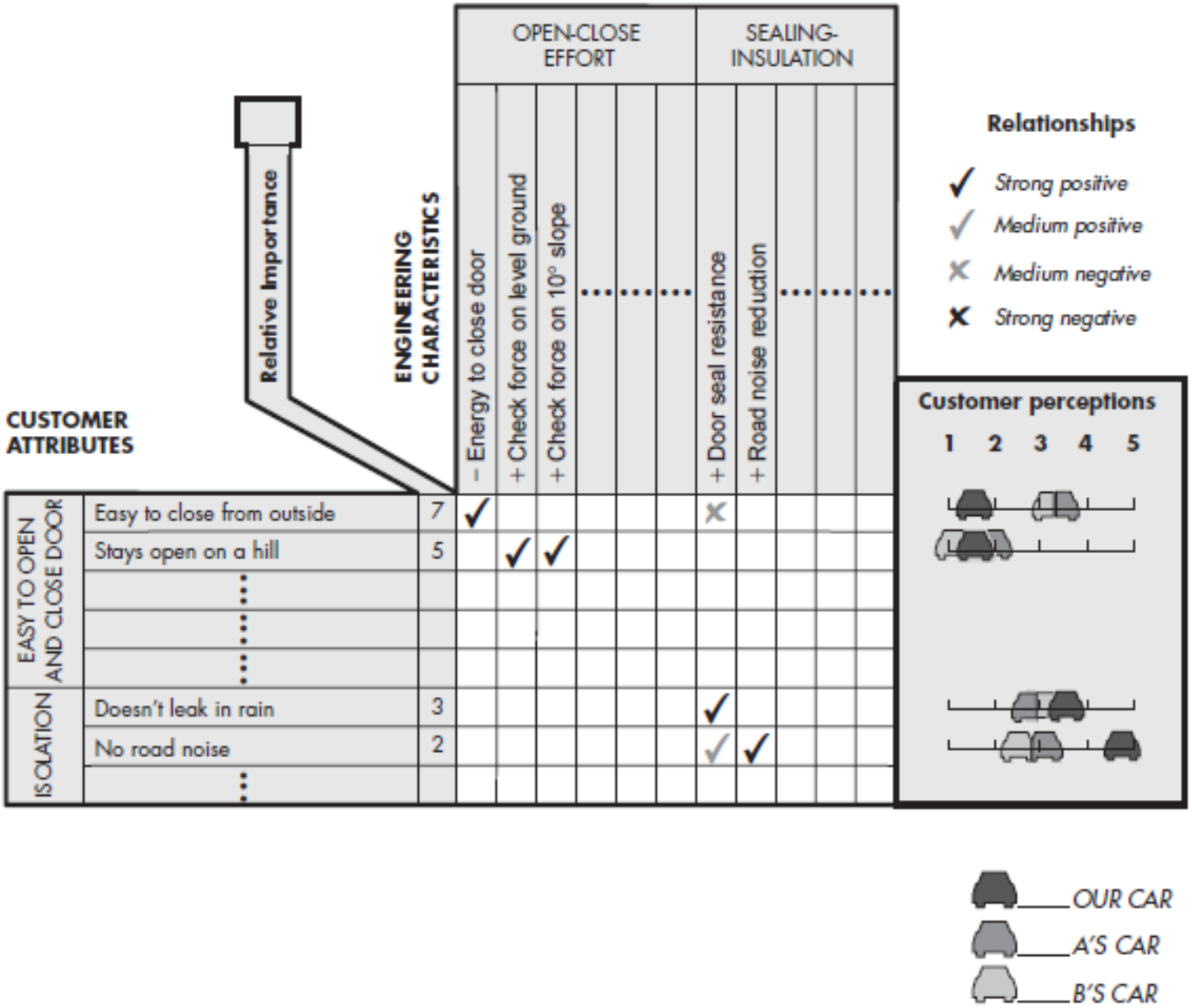
BUNDLES	CUSTOMER ATTRIBUTES	RELATIVE IMPORTANCE
EASY TO OPEN AND CLOSE DOOR	Easy to close from outside	7
	Stays open on a hill	5
ISOLATION	Doesn't leak in rain	3
	No road noise	2



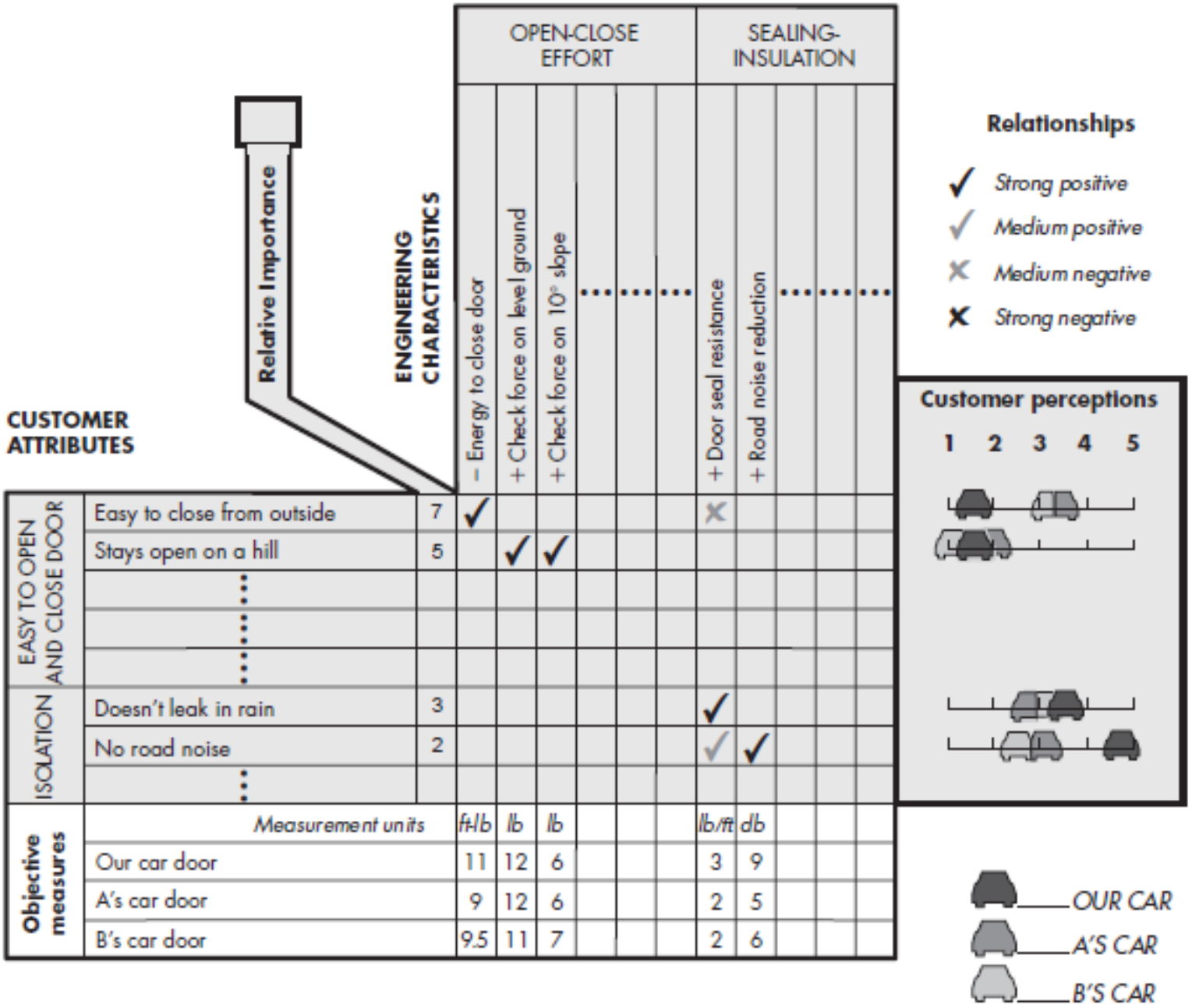
Engineering characteristics tell how to change the product



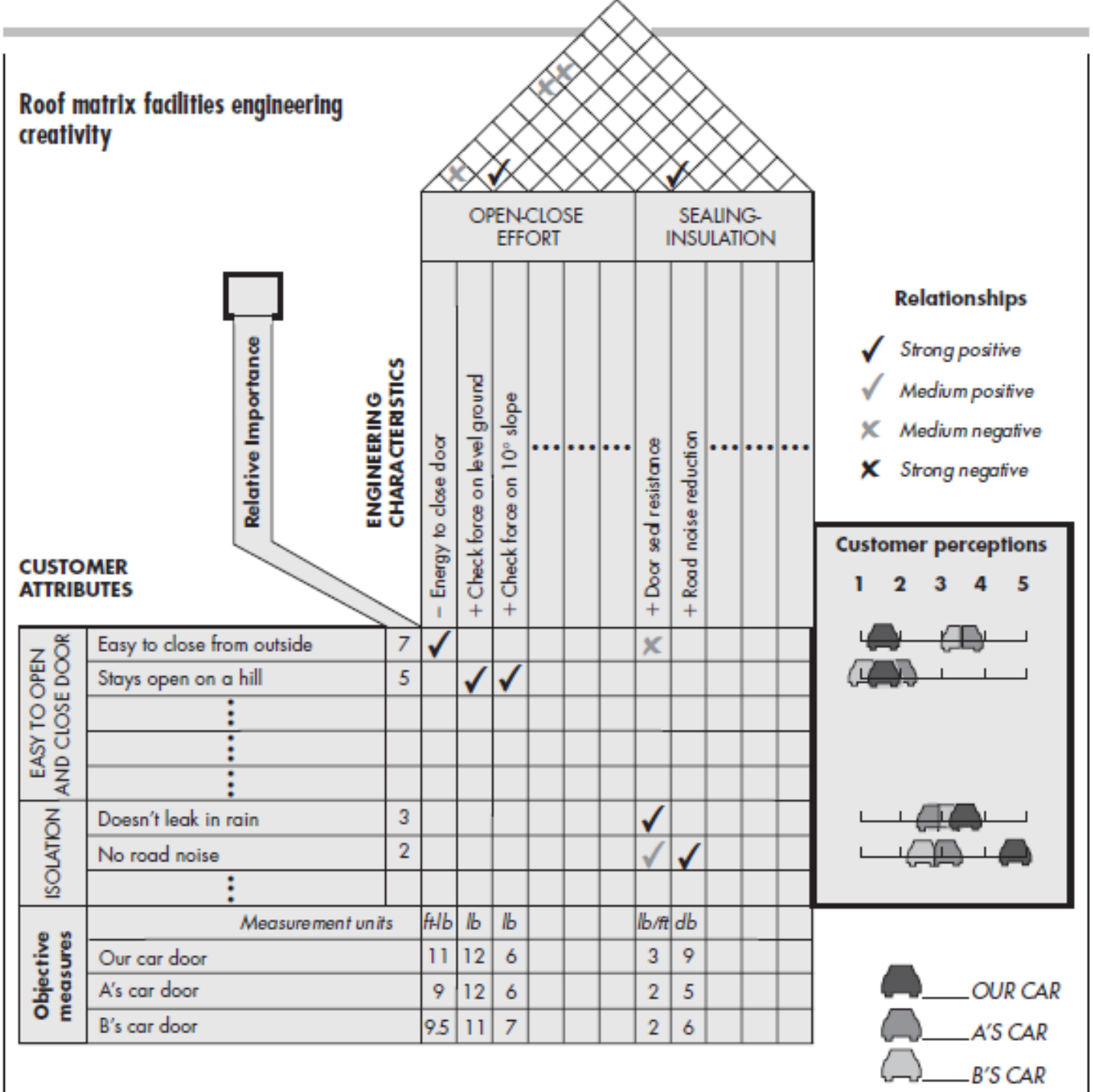
Relationship matrix shows how engineering decisions affect customer perceptions

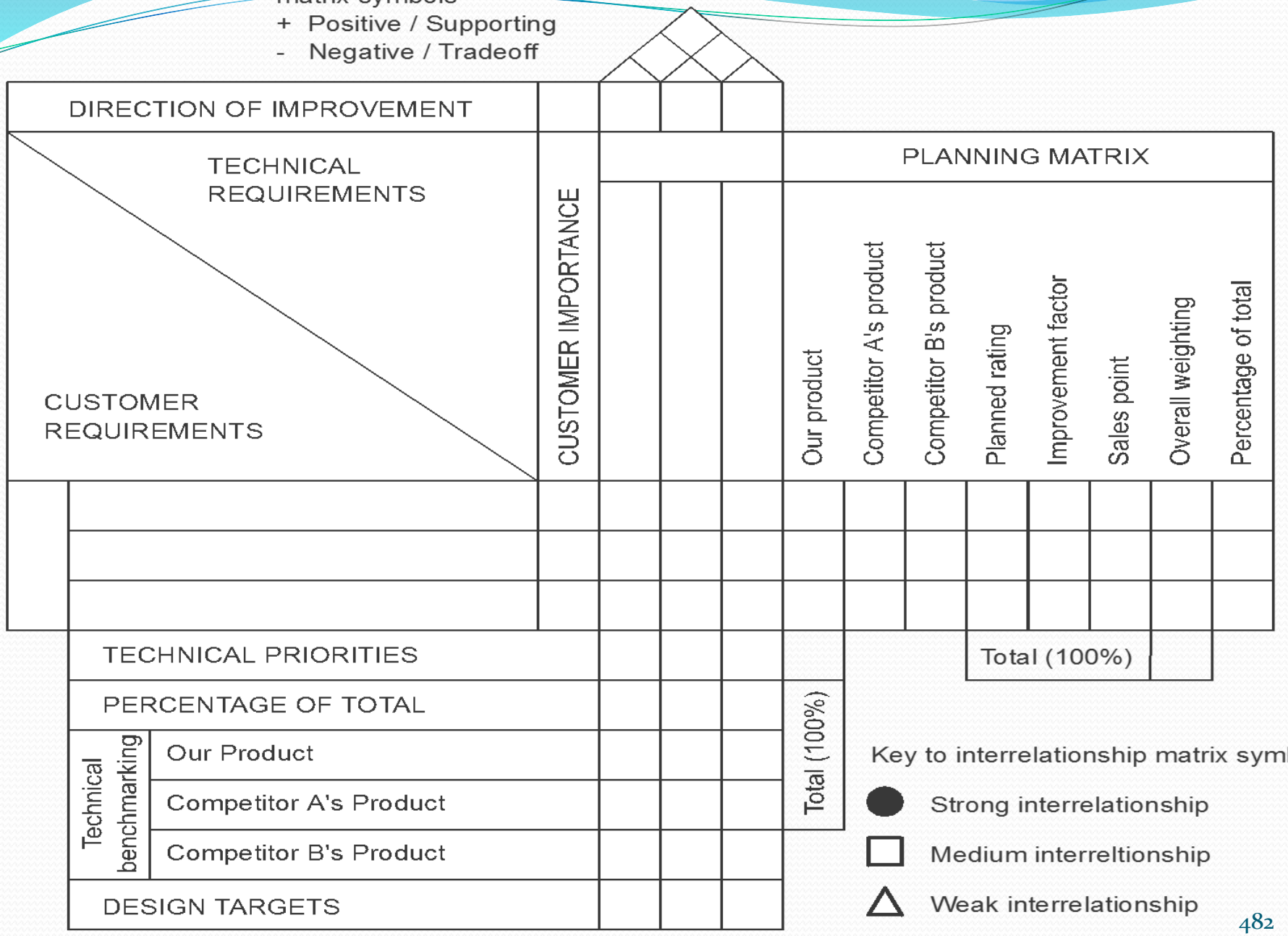


Objective measures evaluate competitive products

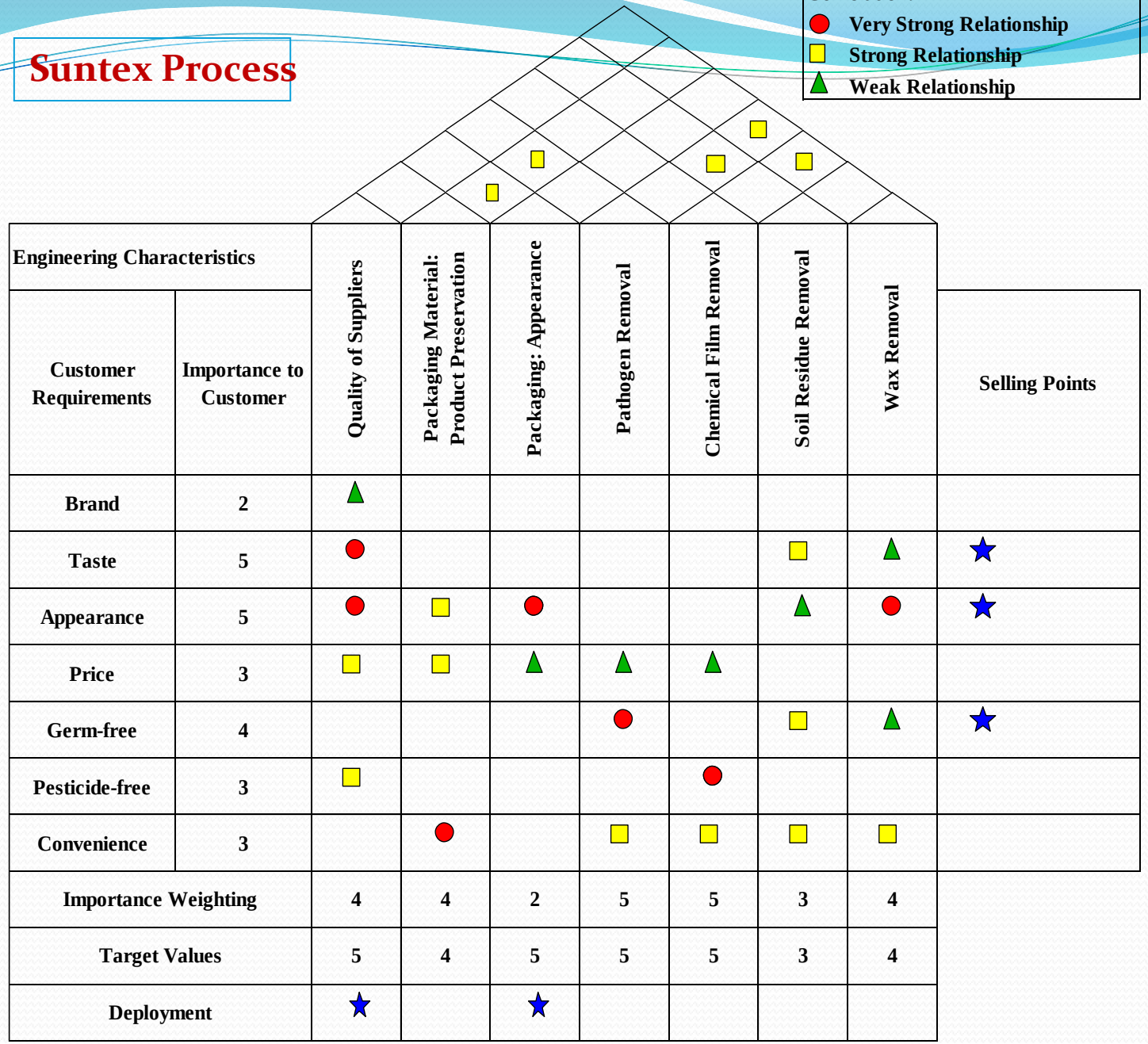


Roof matrix facilities engineering creativity



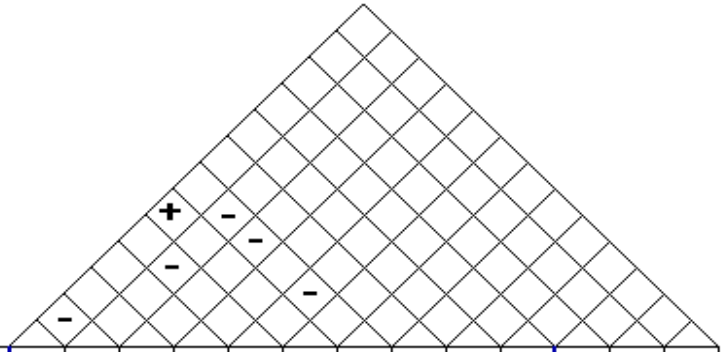

Key to roof / correlation matrix symbols
+ Positive / Supporting
- Negative / Tradeoff
DIRECTION OF IMPROVEMENT
TECHNICAL REQUIREMENTS
CUSTOMER REQUIREMENTS
CUSTOMER IMPORTANCE
PLANNING MATRIX
Our product
Competitor A's product
Competitor B's product
Planned rating
Improvement factor
Sales point
Overall weighting
Percentage of total
Total (100%)
TECHNICAL PRIORITIES
PERCENTAGE OF TOTAL
Total (100%)
Technical benchmarking
Our Product
Competitor A's Product
Competitor B's Product
DESIGN TARGETS
Key to interrelationship matrix symbols
Strong interrelationship
Medium interreltionship
Weak interrelationship

Suntex Process



Engineering Characteristics		Quality of Suppliers	Packaging Material: Product Preservation	Packaging: Appearance	Pathogen Removal	Chemical Film Removal	Soil Residue Removal	Wax Removal	Selling Points
Customer Requirements	Importance to Customer								
Brand	2	▲							
Taste	5	●					□	▲	★
Appearance	5	●	□	●			▲	●	★
Price	3	□	□	▲	▲	▲			
Germ-free	4				●		□	▲	★
Pesticide-free	3	□				●			
Convenience	3		●		□	□	□	□	
Importance Weighting		4	4	2	5	5	3	4	
Target Values		5	4	5	5	5	3	4	
Deployment		★		★					

Windshield Wiper



	Mechanic	Sales	Driver	Visibility Percentage	Steps to attach	Time to attach (secs)	Steps to detach	Time to detach	Number of Parts	Weight (g)	Cars that fit it (%)	Smoothness of blade	Sales Price ($)	Design 1	Design 2	Design 3
Functional Performance																
removes water	5	9	1													
Fast attachment	3	1	9													
Fast detachment	3															
not release accidently	4		1													
Human Factors																
Easy to attach	2	9							1				3	5	4	
Easy to detach	4	9					9		1				3	5	5	
Interface with vehicle																
fits most cars	4		1			9						5	5	5	4	
Not mar window	5	1	1			9						1	5	3	5	
light weight	4	1	3			9	3		9			5	3	4	5	
not rattle	2		3				1		9			5	3	2	3	
Competitive sales price																
Design 1				92												
Design 2				100												
Design 3				89												
Target				100												

QFDINNOE.XLS

QFD-Laatutalo

© VTT Building Technology
Finland 1995 Version 1.0

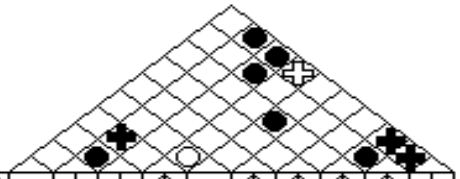
Subject: Spektri Trio, dining room
Title: Customer demands
Compiler: Nokkala, Koskinen, Sundell, Mikkola, Vainio
Date: 11.5.1995

Characteristics (HOWs) / Requirements (WHATs)	modifiability of lighting	colours, textiles, plants	acoustics; no echo	different routes for personnel	sound reproduction possibility	no fixed sections	functioning collection of dishes &	no thresholds	possibility for extra service points	dirt-resistant joints of tiles	sufficient number of trash bins	stackability of chairs	clearance in front of windows	guidance ("start here" etc.)	peaceful spots	continuous counter line	buffet service option	interior decoration reservations	electric points in floor	tables around columns	Customer importance (P1)	Product comparison: Present level	Competitor	Competitor	Target level (P2)
COMFORTABLE	9	9	9	1	3		3			1	1		1	1	9					3	4	3		3	4
MODIFIABLE	9	3			9	9		1	9			3					9	9	9		5	1	2	4	3
FUNCTIONAL	1			9	1	9	9	3	9		3	3	1	9		9	3	1	3	3	4	2	2	4	5
FLEXIBLE				3		3	9		9		1	1		3		3	9	3	9	1	3	2		3	5
ATTRACTIVE	3	9	3		3		3			1				3	3					1	4	3	4	2	5
AMPLE CAPACITY				1			9		9					3		3				3	5	4	2	4	3
CLEAN, CLEANABLE	3						9	9		9	9	9	9								4	4	2	4	4
UNCOMPLICATED		1					9							9		9					5	4	2	4	4
INDIVIDUALISTIC	3	9			3										3		3	1		3	2	4	1	2	3
UNIVERSALLY ADAPTABLE	9	3			3	9		3	9		1	3			3		9	9	9	3	3	4	3	3	3
Weight factor (P1)	142	119	48	54	88	117	213	62	180	44	58	75	44	121	63	105	117	87	111	61	1909				
Weight factor %	7 %	6 %	3 %	3 %	5 %	6 %	11 %	3 %	9 %	2 %	3 %	4 %	2 %	6 %	3 %	6 %	6 %	5 %	6 %	3 %	100 %				
Weight factor (P2)	131	130	51	67	77	114	216	63	171	45	63	74	45	124	69	105	123	77	114	64	1923				
Weight factor %	7 %	7 %	3 %	3 %	4 %	6 %	11 %	3 %	9 %	2 %	3 %	4 %	2 %	6 %	4 %	5 %	6 %	4 %	6 %	3 %	100 %				
Selections	x						x		x					x			x		x						

QFDINNOE

Auxiliary Power Unit Product Planning Matrix

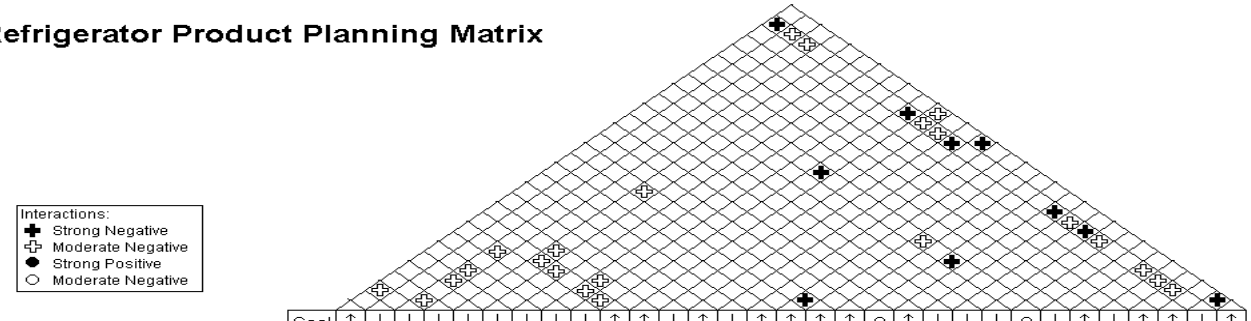
Interactions:
- Strong Negative
- Moderate Negative
- Strong Positive
- Moderate Negative



	Customer Needs	Priority	Bleed air ducting location	Maximum APU weight	Low turbine wheel weight	High equivalent shaft horsepower	Controlled turbine inlet temp.	Bleed air	Electrical power output	Turbine assy tri-hub containment	Strong containment ring	Lightweight containment ring	Competitive Evaluation (1-Low, 5-High) 1 3 5
	Goal		○	↓	↓	↑	○	↑	↑	↑	↑	↓	
	Area		Physical			Operation				Contain			
Interface	Fit with customer envelop/interface	3	5								3		W T
Interface	Support oil-cooled generator	5		3									T W
Interface	Low weight	4	3	5	3					3		5	T W
Oper.	Provide bleed air	4	3			5	5	5					T W
Oper.	Provide electrical power	3				5			5				W T
Oper.	Operate safely	5			3		3			5	5		WT
	Reliable	5					5			3			WT
	Technical Evaluation	5			W		T			T		W	
		4											
		3	W	WT	T	W	W	WT	WT	W	WT		
		2				T						T	
		1	T										
	Target Value / Specification Value		Interface point A	160 lbs.	6 lbs.	350 hp	1850 degrees F	75 lbs/min.	75 KVA	2.5 lbs at power	3 lbs. at power	< 6 lbs.	
	Technical Difficulty (1-Low, 5-High)		1	4	3	5	3	3	3	4	2	4	
	Importance Rating		39	35	27	35	60	20	15	52	34	20	

W - We
T - They

Refrigerator Product Planning Matrix



	Customer Needs	Priority	Compressor energy efficiency rating	Insulation efficiency	Noise measurement-front	Refrig. temp. range (on/off cycle)	Refrig. temperature variation	Refrig. cooling speed (from 30°C to 5°C)	Freezer temp. range (on/off cycle)	Freezer temperature variation	Freezer cooling speed (30°C to -15°C)	Volume efficiency (total/usable)	% Shelf & tray area adjustable	Drawer/shelf pull force	# of visibility features	Dis-assy & re-assy time for cleaning	% of features rated easy to clean	Freezer width	Refrigerator shelf depth & width	Freezer shelf height	Door tray depth	Warranty period (years)	Water filter replacement time & cost	10 year service contract cost	Time to disassb & reassb door	Refrigerator depth	Stainless & trim panel option prices	Focus group rating - appearance	Water temperature	Water filter indicator & life	Ice produced daily	Manufacturing cost	No. of adjustable temp. drawers	Competitive Evaluation (1-Low, 5-High) 1 3 5	Sales Points	Improvement Goal	Improvement Factor	Relative Development Effort
	Goal		↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↑	O	↑	↓	↓	↓	O	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↑					
Operation	Low energy consumption	4	5	5																													U MGF A W	1.0	3	1.1	1
	Quiet	1			5																												MFA WG U	1.0	5	1.0	0
	Maintains temperature	3		1		3	3	3	3	3	3																						FA MWG U	1.0	5	1.0	0
	Preserves food & freshness	3		1		5	5	5	5	5	5																					5	MFA WG U	1.2	5	1.0	0
Storage	Maximize storage space	5		3								5						3	3	3													U MG FA W	1.1	5	1.4	5
	Flexibility for changing storage needs	3										3	5	1		3																3	A U WGF M	1.0	3	1.1	1
	Easy access & visibility	4											1	5	5	3		1	1	1													U FA WG M	1.0	3	1.2	1
	Easy to clean	2														5	5																MWGFA U	1.0	5	1.0	0
	Handles large containers & items	4										3	3					5	5	5	5												U WGA MF	1.0	3	1.2	1
Reliab	Reliable, doesn't break	5																				5											M WGA F U	1.0	5	1.0	0
	Easy & low cost to service	3																				5	5	5	1								U MA WG F	1.0	4	1.3	1
Kitchen	Easy to deliver & install	1																							5	3							MWGFA U	1.0	5	1.0	0
	Fits in kitchen space	5		3								5														5							UMF A WG	1.1	5	1.4	5
	Coordinates with kitchen décor	4																								3	5	5					U MFA WG	1.0	3	1.1	1
Disp	Dispenses purified water	3				1																	3						5	5			UMFA W G	1.0	3	1.0	0
	Provides & dispenses purified ice	3							1														3						5	5	5		UMFA G W	1.0	3	1.0	0
$	Low price	3																														5	M UWG FA	1.2	5	1.2	5
	Technical Evaluation (Italicized numbers represent subjective ratings)	U	5.3	160	30	2.0	2.0	220	4.0	2.0	110	53%	2	3	2	4	4	300	450x475	4	3	5/2	2	1	5	29	2	4	5	2	2kg	486	3 dhw				
		M	5.5	150	34	4.0	3.0	228	6.0	4.0	121	56%	5	4	4	2	2	316	440x460	3	6	5/1	3	4	2	28	1	4	4	5	5kg	513	3 dhw				
		W	5.5	150	34	2.0	2.0	235	4.0	2.0	121	55%	4	4	5	5	5	320	422x413	5	6	5/1	5	4	2	28	4	5	4	6	2.3kg	471	3 dhw				
		G	5.5	150	34	3.0	2.0	230	5.0	3.0	121	58%	3	4	4	4	3	320	440x460	3	6	5/1	3	4	2	28	5	4	4	3	2.3kg	487	3 dhw				
		F	5.5	150	34	3.0	3.0	230	5.0	3.0	121	55%	4	3	3	3	3	310	418x446	3	6	5/1	4	3	2	28	3	3	4	5	2.3kg	511	3 dhw				
		A	5.5	150	34	3.0	3.0	230	5.0	3.0	121	56%	3	3	4	3	3	310	430x466	2	6	5/1	3	4	2	29	2	3	4	3	2.3kg	511	3 dhw				
	Target Value		5.8	150 Kcal/mh°C (equiv. to R-141b)	30 decibels	2°C	2°C	160 minutes	3°C	2°C	100 minutes	60%	x%	< 2 Kg	Equal to Whirlpool	X minutes	X%	320mm	450mm wide x 420mm deep	X mm	180 mm	5yr Compressor / 2yr Parts	<3 minutes & $15	< $99	< X minutes	24 inches	$60 Stainless & $40 Trim Pkg	70% rating	X°C	Yes / 6 months	2.5 kg/day	$502	4 drawers				
	Technical Difficulty (1-Low, 5-High)		4	5	2	1	2	1	2	2	1	5	4	2	3	2	2	3	4	1	1	3	2	1	1	5	3	3	1	3	3	5	5				
	Importance Rating		22	75	5	30	27	27	30	27	27	101	36	27	24	34	10	52	52	52	24	45	38	20	9	55	22	22	30	30	15	22	28				

U - Us
M - Maytag
W - Whirlpool
G - GE
F - Frigidaire
A - Amana

House of Quality- Customer Satisfaction

S=Strong M=Medium W=Weak

		Relative Importance	Aircraft	Resource (equipment)	Resource (personnel)	LT	Maintenance	Customer Handling	Check In	Boarding	Drink/food/ Entertainment	Flight Schedule	Selection Employees	Training/Skills	Attitudes/ Moral
Reliability	Luggage Handling			S	S	S			S			S		M	
	On time Arrivals and Departures		S	M		S	M		M	S		S		W	
Responsiveness	Willingness To Help				M	M		S	S	S	S	W	S	S	S
	Prompt Service				W	M		S	S	S	S		S	S	S
Assurance	Knowledge/Courtesy				S	W		S	S	S			S	S	S
	Ability Convey Trust				S	W		S	S	S			M	S	S
Empathy	Caring/ Attention of Customer				M			S	S	S	S		S	S	S
Tangibles	User Friendly Website			M		S		S					S		
	Flight Destination					M						S			
	Frequent- Flyer Benefits							S							
	Food / Drink / Entertainment							S			S				
	Seat/Cabin Comfort		S				S			W					
	Appearance of Aircraft, Personnel , Equipment		S	S	S		S								

➢ *Analiza Modurilor de Defectare, a Efectelor și Criticității lor (AMDEC)*
– ”Failure Modes, Effects & Criticality Analysis (FMECA)”

a. Definire, istoric

AMDEC reprezintă o **tehnică de analiză rațională a fiabilității produsului, procesului sau a utilajului** (folosit în cadrul procesului) prin ***inventarierea modurilor posibile de defectare ale acestora***, ***a cauzelor care ar putea provoca aceste defectări***, ***a efectelor defectărilor asupra utilizatorilor***, și ca urmare, **evaluarea cantitativă a probabilităților de afectare a funcțiunilor produsului/procesului/utilajului**.

Metoda AMDEC este considerată ca find un **instrument de bază în managementul proiectelor, al mentenanţei şi în cel al calităţii totale**.

Procedura a fost dezvoltată inițial de armata SUA, astfel procedura militară MIL-P-1829 din 1949 intitulată ***”Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis”*** fiind legată de proiectele pentru asigurarea unei disponibilităţi maxime a echipamentelor militare strategice.

- Primele aplicații notabile ale tehnicilor AMDEC sunt legate de NASA (anii 60) și ulterior în anii 90 de cele 3 mari firme producătoare de autovehicule din SUA: GM, Ford și Chrysler prin includerea acestora în prescripțiile standardului de calitate QS 9000.

- Cerințe asemănătoare include și noul standard ISO 16949 pentru producătorii din industria de autovehicule.

- S-a pornit de la ideea că ***rutinele asigurării calităţii tradiţionale, bazate pe detectarea produselor defecte nu mai sunt adecvate producţiei actuale.***

- În condiţiile creşterii pretenţiilor de calitate ale clienţilor, a creşterii complexităţii produselor, a scăderii perioadelor de proiectare şi lansare **trebuie să existe o planificare sistematică a calităţii**.

- Motivul este extrem de simplu şi de intuitiv: **defectele care pot fi evitate inițial nu trebuie să fie corectate mai târziu.**

- **Principiul de prevenire** răspunde unei ***analize sistematice şi evaluării resurselor potențiale de erori susceptibile a se produce în toate fazele realizării unui proiect.***

- **Noile metode ale proiectării sistemice ale calităţii** ***trebuie să permită analiza şi eliminarea defectelor potențiale încă din stadiul de proiectare şi implementare***, astfel încât tot mai des se întâlneşte noţiunea de "**Proiectare a Calităţii**".

- Dezvoltarea metodei AMDEC a dus la **crearea unor seturi de instrumente pentru analiza sistematică** cu grad foarte mare de aplicabilitate.

- În practică **s-a demonstrat că costurile pentru corectarea unui defect nedetectat într-o etapă anterioară cresc de 10 ori de la un stadiu de implementare la altul**.

- În această ordine de idei, **AMDEC este o metodă de analiză a defectărilor potențiale ale unui produs, proces sau utilaj** în vederea elaborării unui ***plan de măsuri*** ce au ca scop ***prevenirea acestora şi creşterea nivelului calitativ al produselor, proceselor de muncă şi a mediilor de producţie***.

În figura 3.25 se prezintă **relaţia dintre originea şi detectarea defectelor în timpul ciclului de fabricație al unui produs**.

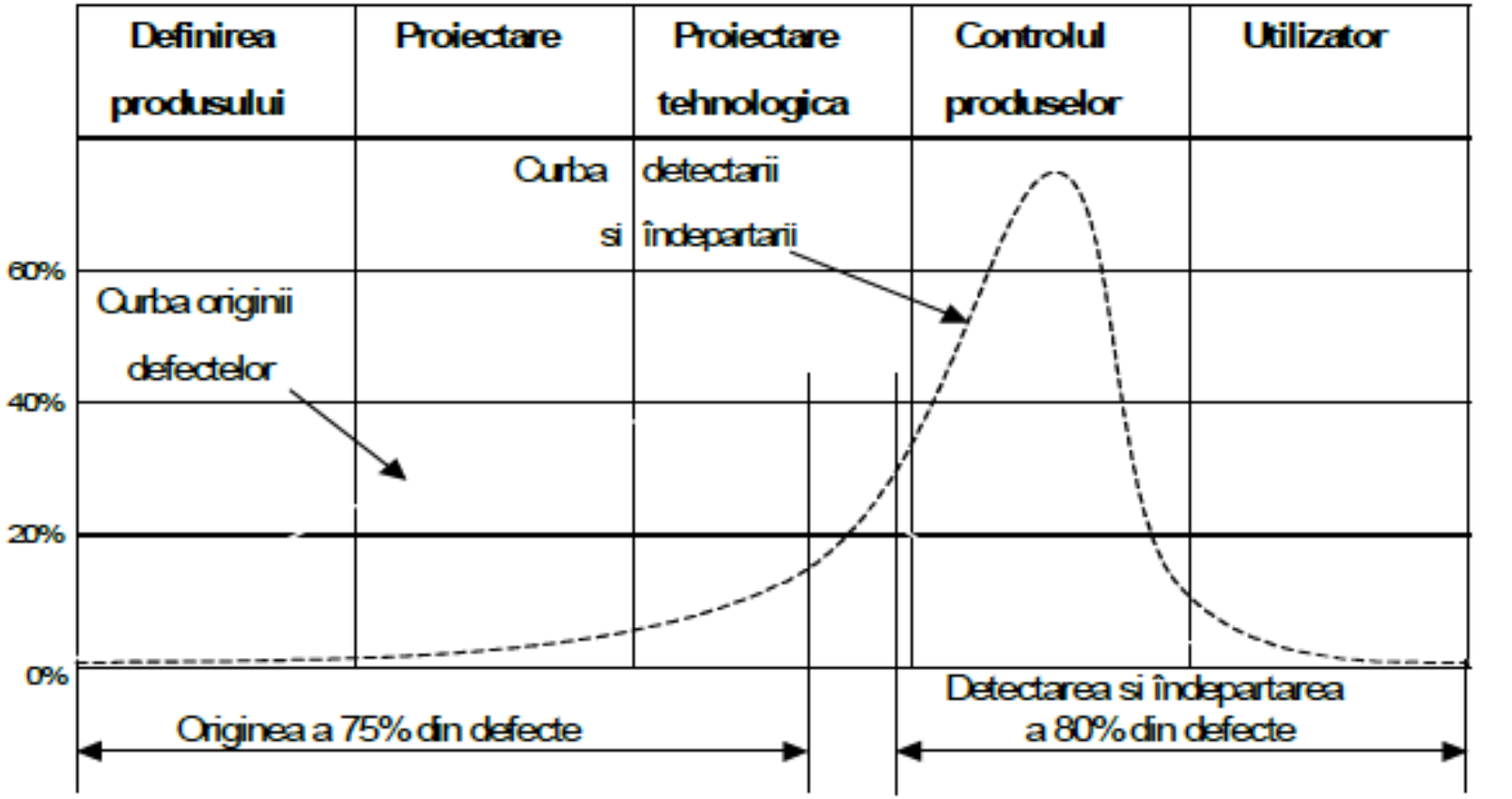


Fig. 3.25 Relaţia dintre originea şi detectarea defectelor în timpul ciclului de fabricație al unui produs

b. Tipuri de AMDEC

- **AMDEC proiect – produs, se aplică după etapa de elaborare a documentației de proiectare constructivă** și **permite urmărirea şi analiza produselor încă din stadiul de proiectare**, încercând ***să evidenţieze care sunt defectele posibile şi implicaţiile acestora asupra utilităţii produsului final***.

- **AMDEC proces – produs, se aplică după etapa de elaborare a documentației tehnologice a procesului pentru realizarea produsului** și **permite validarea tehnologiilor de realizare a unui produs, astfel încât să fie asigurată o fabricaţie eficientă a acestuia.**

- **AMDEC mijloc de muncă/utilaj se aplică după definirea sistemului de mașini și utilaje tehnologice pe care se realizează procesul tehnologic** și **este focalizat pe analiza mijloacelor de producţie,** în ***scopul diminuării numărului de rebuturi, a ratei de detectare şi creşterii fiabilităţii şi disponibilităţii***.

c. Obiectivele AMDEC

- ✓ determinarea punctelor slabe ale unui sistem tehnic;
- ✓ căutarea cauzelor iniţiatoare ale disfuncţionalităţii componentelor;
- ✓ analiza consecinţelor asupra mediului, siguranţei de funcţionare, valorii produsului;
- ✓ prevederea unor acţiuni corective de înlăturare a cauzelor de apariţie a defectelor;
- ✓ prevederea unui plan de ameliorare a calităţii produselor şi mentenanţei;
- ✓ determinarea necesităţilor de tehnologizare şi modernizare a producţiei;
- ✓ creşterea nivelului de comunicare între compartimente de muncă, persoane, nivele ierarhice.

d. Situații când se impune obligatoriu utilizarea AMDEC

- ✓ produse la care se impune un nivel ridicat de securitate;
- ✓ lansarea unui nou tip de produs sau de proces;
- ✓ implementarea unei noi tehnologii;
- ✓ evaluarea probabilităţii de apariţie a defectărilor, în cazul unor componente importante din punct de vedere al siguranţei ansamblului;
- ✓ adaptarea produselor unor noi condiţii de utilizare;
- ✓ schimbarea seriilor de fabricație;
- ✓ produse sau procese cu probleme de calitate.

e. Echipa AMDEC

Iniţiatorul: Este persoana sau serviciul care ***are iniţiativa de a declanşa studiul şi de a alege subiectul analizei***.

Decidentul: Este persoana cu responsabilitate din întreprindere, care ***are puterea de a exercita o alegere definitivă***. Aceasta va lua deciziile finale referitoare la ***cost***, ***calitate*** şi ***termene***.

Aceste prime două persoane nu au în general competenţe tehnice precise.

Animatorul: ***Este garantul metodei, organizatorul activităţii grupului. Precizează ordinea de zi a întâlnirilor, conduce reuniunile, asigură secretariatul şi urmărirea avansului studiului***. Adeseori, este o persoană din exteriorul firmei, sau cel puțin exterioară compartimentului în cauză, pentru a putea anima membrii grupului.

Grupul de analiză : 2 până la 5 persoane, responsabile şi competente, având bune cunoştinţe despre sistemul studiat şi care ar putea aduce informaţiile necesare analizei (nu se poate discuta decât despre ceea ce se cunoaşte bine).

În funcţie de studiu se implică:

- ***personal al serviciului de mentenanţă ;***
- ***personal al compartimentului de asigurare a calităţii;***
- ***operatori de producţie ;***
- ***membri ai birourilor de proiectare ;***
- ***experți ai domeniului studiat.***

Total : 5 pînă la 8 persoane.

e. Etapele aplicării AMDEC

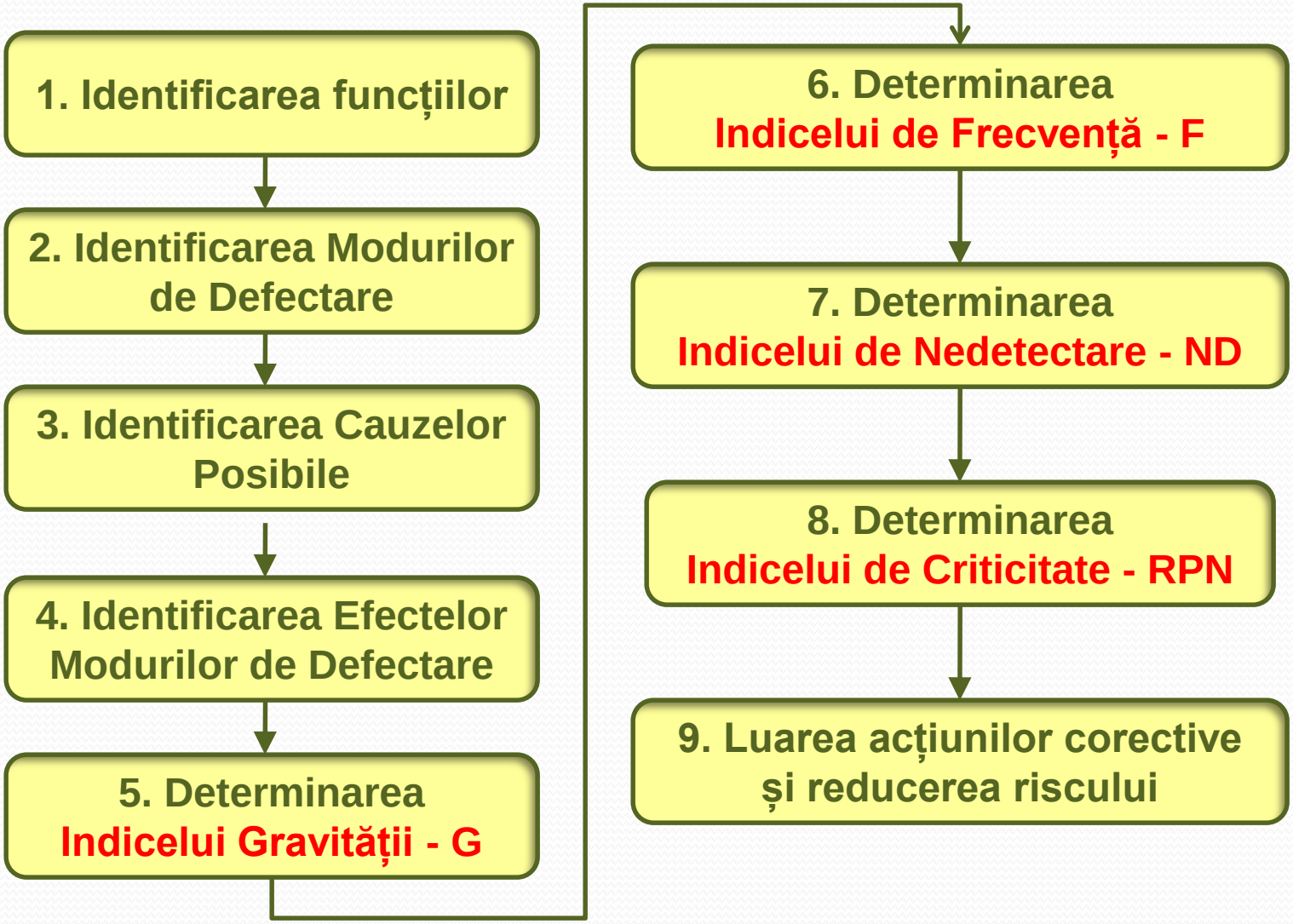


Fig. 3.26 Etapele aplicării AMDEC

1. Identificarea funcțiilor

Funcția unui **reper (subansamblu sau produs)** poate fi definită ca acțiunea așteptată a acestuia în termeni de finalitate.

Funcția unui **proces** poate fi definită ***ca operația de prelucrare (montaj sau verificare) necesară realizării unei caracteristici de calitate*** a unui **reper (subansamblu sau produs)** ***conform cerințelor specificate în desen (plan de operații, plan de control sau program de încercări)***

2. Identificarea Modurilor de Defectare

Defect = neîndeplinirea unei cerinţe referitoare la o utilizare intenţionată sau specifică.
= lipsă, scădere, imperfecţiune materială, fizică sau morală.
= deranjament, stricăciune care împiedică funcționarea unei maşini, a unui aparat.
= ceea ce nu este conform anumitor reguli stabilite într-un anumit domeniu.

Defectarea = pierderea aptitudinii unui **reper (subansamblu sau produs)** de a-și îndeplini funcția cerută în condiții date.

Deficiență = maniera în care **reperul (subansamblul sau produsul)** ***este neconform, se poate defecta sau poate funcționa necorespunzător.***

Modurile de Defectare se pot clasifica în următoarele ***categorii de defectare*** sau ***moduri generice de defectare***:

Varianta 1

- **defectare completă;**
- **defectare parțială;**
- **defectare intermitentă;**
- **defectare în timp (graduală);**
- **superperformanța unei funcții.**

- Scopul acestei grupări în categorii a **Modurilor de Defectare** este de a ajuta echipa AMDEC **să identifice toate Modurile de Defectare posibile.**

- Analiza **Modurilor de Defectare** în această clasificare poate scoate în evidență **anumite posibilități de defectare care altfel nu ar fi luate în considerare.**

- Se pot pune în evidență **funcțiile** care ***nu au fost definite corespunzător.***

- O **defectare parțială, intermitentă, graduală sau superperformanța** unei **funcții *poate genera*** o **defectare completă** a **altei funcții neidentificate**.

Varianta 2

- **refuz de a demara;**
- **refuz de a se opri;**
- **pierderea funcției;**
- **funcționare degradată;**
- **funcționare intempestivă.**

În tabelul 3.9 se prezintă câteva exemple de **moduri posibile de defectare** din trei domenii diferite.

Tab. 3.9 Exemple de moduri de defectare posibile din domeniile electronic/electromecanic, hidraulic și mecanic

	Electronic, Electromecanic	Hidraulic	Mecanic
Nefuncționare	- circuit deschis; - scurt-circuit; - fără răspuns la solicitări; - conexiune / fir desprins.	- scurgere; - circuit înfundat;	- absenţa mişcării.
Pierderea funcției	- ruptură sau scurt-circuit; - component defect.	- obstrucţie sau ruperea circuitului; - component defect.	- ruptură; - blocaj /gripare.
Funcționare degradată	- deriva caracteristicilor; - perturbaţii, paraziţi	- etanșeitate necorespunzatoare; - uzură; - perturbaţii; - "lovitura de berbec".	- contact necorespunzator; - desolidarizare; - joc.
Funcționare intempestivă	- declanşare intempestivă.	- "lovitura de berbec".	

3. Identificarea Cauzelor Posibile

Cauza defectării = este o ***anomalie inițială*** susceptibilă de a conduce la **Modul de Defectare**.

Diagrama Cauză - Efect este imaginea cauzelor identificate pentru o disfuncțiune potenţială a unui sistem.

Această diagramă se vrea cât mai exhaustivă posibil, ***reprezentând toate cauzele care pot avea vreo influenţă asupra siguranţei de funcţionare***.

Au fost identificate 5 mari familii de cauze potențiale:

- **organizarea mentenanţei;**
- **documentaţia;**
- **tehnica;**
- **resursa umană;**
- **mediul ambiant.**

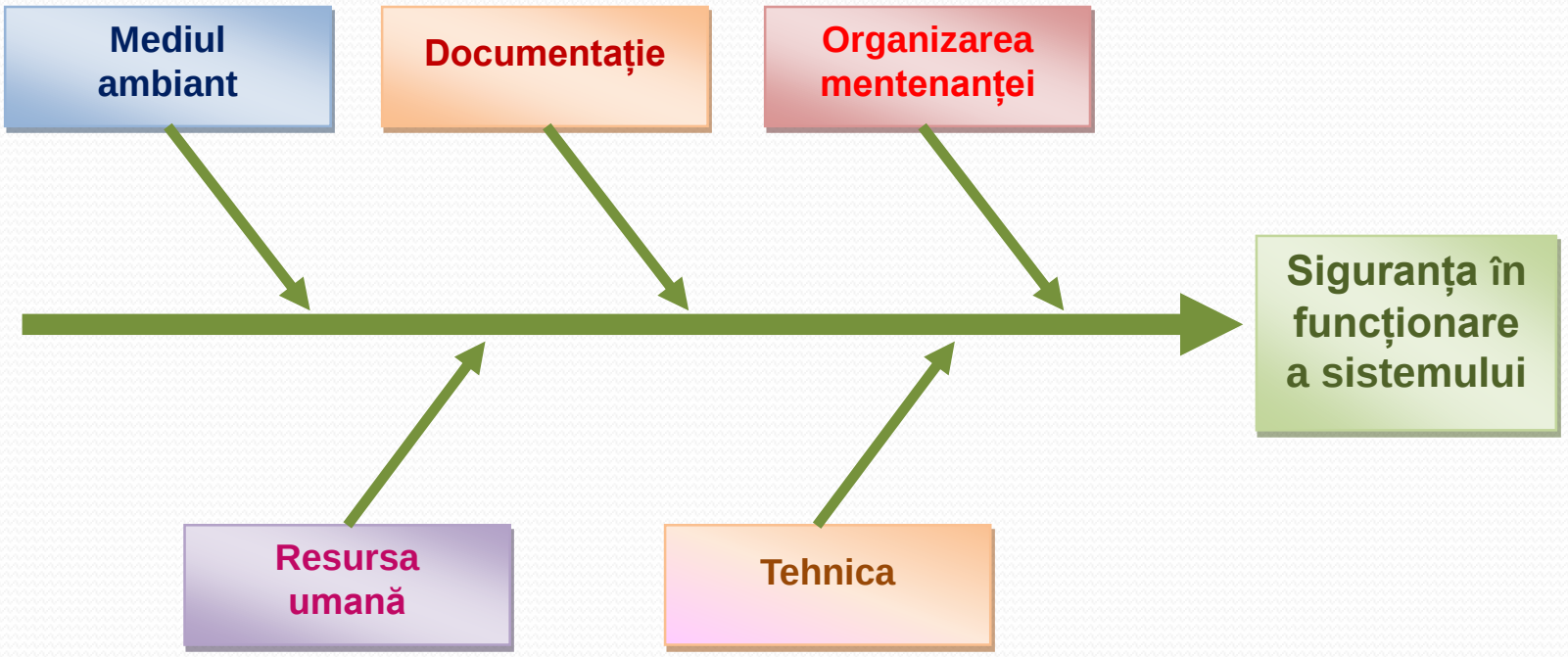


Fig. 3.27 Cauze potențiale care pot afecta siguranța în funcționare a unui sistem

În tabelul 3.10 se prezintă câteva exemple de **cauze de defectare** din trei domenii diferite.

Tab. 3.10 Exemple de cauze de defectare potențiale din domeniile electronic/electromecanic, hidraulic și mecanic

	Electronic Electromecanic	Hidraulic	Mecanic
Cauze interne materialului	- îmbătrânire; - component MS (moarte subită).	-îmbătrânire; -component MS; -colmataj; -scurgere.	- acţiuni mecanice; - oboseala; - starea suprafeţelor
Cauze legate de mediu, exploatare și ambient	- praf, ulei, apă; - şocuri, vibratii; - supraîncălzire locală; - paraziţi.	- temperatura; - apă, ulei, praf, șpan; - şocuri, vibratii; - supraîncalzire locală.	- temperatura; - apă, ulei, praf, span; - şocuri, vibratii; - supraîncălzire locală
Cauze legate de mâna de lucru și instrumente	- fabricaţie, montaj, reglaj; - control; - lipsa energiei; - utilizare, instrumente.	- fabricaţie, montaj, reglaj ; - control; - lipsa energie ; - utilizare, instrumente.	- concepţie (geometrie); - fabricaţie, montaj, reglaj; - utilizare, instrumente.

În cazul **AMDEC proiect – produs**, **cauzele de defectare** pot fi:

- **deficiențe de proiectare** care ar putea conduce la **moduri de defectare**
- **deficiențe de proiectare** care ar putea genera **erori de prelucrare sau asamblare**

În principiu, analiza **AMDEC** a unui **proiect** ***presupune că specificațiile de prelucrare și de asamblare sunt realizate în proces***, concentrîndu-se asupra **defectărilor** ce pot rezulta din proiectarea produsului.

În cazul **AMDEC proces– produs**, **cauzele de defectare** pot fi:

- **erori specifice** descrise în termenii unor acțiuni care pot fi corectate sau controlate

În principiu, analiza **AMDEC** a unui **proces** ***presupune că produsul a fost proiectat în mod corespunzător*** și **nu se va defecta din cauza unei deficiențe de proiectare**. Aceasta nu implică însă că toate intrările în proces sunt conforme cu specificațiile (acestea trebuie luate în considerare în analiză).

4. Identificarea Efectelor Modurilor de Defectare

Efectul potențial al defecienței poate fi definit prin ceea ce ***operatorul-utilizator*** al **reperului (subansamblului sau produsului)** și/sau ***clientul (utilizatorul, consumatorul, beneficiarul)***, **percepe (observă, sesizează, constată prin verificare)** ca urmare a producerii **deficienței.**

În cazul unui proces, **Efectul Modului de Defectare** reprezintă ceea ce ***operatorul-executant*** **sesizează** ca urmare a **nerealizării funcției procesului.**

5. Determinarea Indicelui Gravității - G

Indicele de Gravitate (G) estimează efectul modului de defectare perceput de **client.** Cu alte cuvinte **estimează gravitatea** pe care o are **producerea defectării** asupra utilizatorului.

Modul de stabilire a **Indicelui de Gravitate (G)**:

- se apreciază **gravitatea modului de defectare** considerat;
- corespunzător acestei **gravități** i se atribuie lui ”**G**” o valoare cuprinsă între 1 și 10 din tabelul 3.11 (dacă ”**G**” poate lua două valori, se alege valoarea cea mai mare)

Tab. 3.11 Valorile Indicelui de Gravitate - G

G	Efectul Modului de Defectare
1	Deficiență minimă, clientul nu o percepe
2 - 3	Deficiență minoră, pe care clientul o poate descoperi, care îi provoacă o ușoară nemulțumire dar nu are loc nicio degradare a performanțelor
4 - 5	Deficiență care indispune clientul sau îl incomodează
6 - 7	Deficiență antrenând o degradare notabilă a performanțelor, clientul este nemulțumit
8	Deficiență care provoacă o mare nemulțumire clientului și/sau cheltuieli mari pentru reparații
9	Produs în pană, deteriorare organe vitale
10	Deficiență care implică probleme de securitate, accident posibil

6. Determinarea Indicelui de Frecvență - F

Indicele de Frecvență (F) estimează riscul de apariție a defectului ca produs dintre probabilitatea de apariție a cauzei și probabilitatea ca această cauză să provoace defectul considerat. Cu alte cuvinte **estimează probabilitatea de producere a defectului.**

Tab. 3.12 Valorile Indicelui de Frecvență - F

F	Probabilitatea de apariție		
1	De la **0**	la **3/100000**	**Defectul este puțin probabil să apară**
2	**3/100000**	**1/10000**	
3	**1/10000**	**3/10000**	
4	**3/10000**	**1/1000**	
5	**1/1000**	**3 /1000**	
6	**3/1000**	**1/100**	
7	**1/100**	**3/100**	
8	**3/100**	**10/100**	
9	**10/100**	**30/100**	
10	**30/100**	**100/100**	**Defectul este aproape inevitabil**

7. Determinarea Indicelui de Nedetectare - ND

Indicele de Nedetectare (ND) estimează probabilitatea ca defectul datorat **cauzei potențiale** și **modului de defectare stabilit** să ajungă la client (se mai poate folosi și **Indicele de Detectare "D", care estimează probabilitatea detectării neconformității** înainte de a ajunge la client).

Tab. 3.12 Valorile Indicelui de Nedetectare - ND

ND	Probabilitatea ca defectul să ajungă la client		
1	De la **0%**	la **2%**	**Foarte mică probabilitatea ca defectul să ajungă la client**
2	**2%**	**12%**	
3	**12%**	**22%**	
4	**22%**	**32%**	
5	**32%**	**42%**	
6	**42%**	**52%**	
7	**52%**	**62%**	
8	**62%**	**72%**	**Foarte mare probabilitatea ca defectul să ajungă la client**
9	**72%**	**82%**	
10	**82%**	**100%**	

8. Determinarea Indicelui de Criticitate - RPN

Indicatorul cantitativ de evaluare al tehnicii AMDEC este **Indicele de Criticitate** notat **RPN (Risk Priority Number)** care permite **stabilirea gradului în care soluția tehnică/constructivă prezintă o fiabilitate și o siguranță de utilizare corespunzătoare** (pentru client).

$$RPN = G \times F \times ND$$

RPN poate lua valori între 1 și 1000, și în general, se consideră că sunt necesare măsuri pentru prevenirea defectărilor potențiale, atunci când **RPN** este mai mare de 100 și în cazuri speciale (tabelul 3.13)

Tab. 3.13 Evaluarea necesităţii măsurilor de îmbunătăţire (orientare generală)

F	ND	G	Descriere	Măsuri
1	1	1	Cazul ideal (scop)	Nu sunt necesare
1	1	10	În mod sigur situaţia se află sub control	Nu sunt necesare
1	10	1	Defectarea nu afectează pe client	Nu sunt necesare
1	10	10	Defectarea ar putea afecta pe client	Sunt necesare
10	1	1	Defectarea mai frecventă, în mod cert va fi detectată de client	Sunt necesare
10	1	10	Defectarea mai frecventă, ar putea să-l afecteze pe client	Sunt necesare
10	10	1	Defectarea mai frecventă, de mare importanţă	Sunt necesare
10	10	10	Situaţie total necorespunzătoare	Sunt necesare

9. Luarea acțiunilor corective și reducerea riscului

- Obținerea unei valori a indicelui **RPN > 100** sau în cazurile speciale, implică stabilirea de **acțiuni corective.**

- Aceste acțiuni corective vor fi urmate de o nouă analiză AMDEC și numai dacă **RPN < 100** se poate considera că proiectul (procesul sau produsul) este fiabil.

- Tehnica AMDEC are un caracter evident aplicativ, fiind orientată spre **identificarea cauzelor defectărilor**, a **modurilor de defectare** și a **efectelor acestor defectări**.

- Tehnica AMDEC poate fi însoțită de tehnici statistice mai complexe, ca de exemplu Proiectarea Experimentelor (**AMDEC de proiect – produs**), respectiv Controlul Statistic al Proceselor (**AMDEC de proces – produs**).

f. Avantajele aplicării AMDEC

- ✓ Îmbunătăţirea calitatăţii, fiabilităţii şi siguranţei unui produs sau proces;
- ✓ Îmbunătăţirea imaginii şi competitivităţii firmei;
- ✓ Creşterea satisfacţiei consumatorului;
- ✓ Reducerea timpilor de dezvoltare şi costurile;
- ✓ Colectarea informaţiilor pentru a reduce eşecurile şi defectările viitoare;
- ✓ Reducerea potențialelor probleme de garanţie;
- ✓ Identificarea timpurie şi eliminarea potenţialelor defecte;
- ✓ Accentuarea prevenirii problemelor;
- ✓ Minimizarea modificărilor târzii ce ar putea fi aduse produsului sau procesului, precum şi costurile aferente etc.

Studiu de caz:

XEBRA: Mașina electrică hibrid cu propulsare hidraulică

- ***ZAP***, producătorul american de automobile electrice, va lansa (2007 n.a) un **nou model de autocamion electric**, pentru flotele care au nevoie de o rată mare de încărcare: **XEBRA**.

- Ceea ce este diferit la **XEBRA**, în comparaţie cu celelalte maşini electrice, este **sistemul hidraulic de propulsare**, care **face ca eficienţa vehiculului să crească**.

- Agenţia pentru Protecţia Mediului (EPA), o agenţia guvernamentală din S.U.A., este interesată de **îmbunătăţirea eficienţei vehiculelor electrice prin integrarea unui sistem hidraulic de propulsare**, **împreună cu componentele electrice**.

- S-a observat **scăderea eficienţei la maşinile electrice, de la 90% la 60%, în timpul acceleraţiei**.

- **Adăugând sistemul hidraulic unei maşini electrice Xebra, bateriile acesteia nu vor mai fi suprasolicitate în timpul acceleraţiei, iar per total, eficienţa vehiculului va creşte**.

- De aceea, s-au făcut numeroase studii şi teste, pentru ca acest tip de propulsare să poată fi montat pe **Xebra**.

- Sponsorul acestui proiect este EPA, fondată în 1970, cu scopul de a impune legile federate de reducere a poluării şi, totodată, de a implementa diverse programe pentru prevenirea poluării.

- Deşi **vehiculele electrice au emisii reduse de gaze toxice**, **sunt foarte neeficiente**.

- Bateriile sunt făcute ca să suporte o presiune constantă, însă **în timpul acceleratiei, vehiculele necesită presiuni mari pentru perioade de timp scurte**, ceea ce nu numai că **reduce eficiența** bateriilor, dar totodată, **scade durata de viaţă a acestora**.

- Reprezentanţii EPA sunt de părere că **adăugarea unui sistem hidraulic vehiculelor poate fi un element-cheie pentru reducerea poluării aerului şi pentru a scădea dependenţa de combustibilii fosili**.

- **Xebra** este o maşină electrică mică, cu 3 roţi, clasificată de lege ca motocicletă.

- Roţile din spate ale maşinii sunt propulsate de un motor electric de 72 volţi, cu un randament de 5 CP.

- Şase baterii mari, de câte 12V, asigură puterea motorului, în timp ce o baterie mai mică, tot de 12V, asigură puterea pentru instrumentele de sub capota vehiculului.

- Viteza maximă pe care o atinge **Xebra** este de 56 km/h, și poate rula aproximativ 36 km fără ca bateriile să necesite reîncărcare.

- Aceste valori relativ mici se datorează **accelerației scăzute şi solicitării bateriilor în timpul propulsării**.

- **Implementarea sistemului hidraulic va mări acceleraţia şi va face ca eficiența bateriilor să crească**.

.

- Specialiştii care au lucrat la realizarea noului model Xebra s-au concentrat pe **modificarea design-ului maşinii**, ***pentru a permite ca noul sistem de propulsare să poată fi instalat***, şi pe **instalarea unora dintre componentele necesare sistemului hidraulic**.

- **Componentele instalate** au fost:

  - ✓ **acumulatorii laterali;**
  - ✓ **valvele;**
  - ✓ **motorul;**
  - ✓ **pompa;**
  - ✓ **senzorii;**
  - ✓ **pompa cu umplere lentă.**

Analiza AMDEC

- A fost realizat un tabel AMDEC pentru **evaluarea modificărilor** adăugate vehiculului Xebra.

- Acesta include **toate componentele importante ale sistemului hidraulic, precum şi design-ul**.

- Mai întâi, **au fost determinate toate componentele de design** şi **modalităţile în care fiecare s-ar putea defecta**.

- Gravitatea defectării (**Indicele de Gravitate – G**), probabilitatea de defectare (**Indicele de frecvență – F**) şi probabilitatea de detectare a defectării (**Indicele de Nedectare – ND**) au fost notate pe o scară de la 1 la 10.

- O **gravitate a defectării mare** indică un **efect major** pe care defectarea l-ar putea avea asupra componentei respective.

- O **probabilitate de defectare mare** înseamnă că **probabilitatea că un defect să apară este mare,** iar o **probabilitate de detectare ridicată** arată că **defectul va fi uşor de detectat.**

Intreprinderea: ZAP
Data: 12.11.2007

Componente	Funcţii/scop	Felul defectării	Efectul defectării	Cauzele defectării	Controale/Teste	Recomandări	G	F	ND	RPN
Acumulator lateral-sus	Stocare fluide la presiune	Scurgeri de fluid	Reducerea eficienţei	Lărgirea unei crăpături	Inspecţia fabricantului	-	4	2	9	72
		Scurgeri de azot	Pierderea presiunii/funcţiilor	Lărgirea unei crăpături	Inspecţia fabricantului	-	7	2	9	126
			Reducerea eficienţei	Lărgirea unei crăpături	Inspecţia fabricantului	-	3	2	9	54
		Rupere	Pericol pentru utilizator	Încărcare ciclică	Inspecţia fabricantului	-	10	1	9	90
		Blocarea pistonului	Reducerea eficienţei		Examinare fizică	Nu trebuie forţat	7	4	6	168
Motor	Transforarea energiei	Scurgeri de fluid	Reducerea eficienţei	Slăbirea îmbinărilor	Verificarea pompei de mână	-	4	5	1	20
		Găuri	Reducerea eficienţei	Bule de aer în fluid	Verificare	Adăugarea de fluid în sistem	6	4	1	24
		Blocaj	Oprirea funcţionării	Supraîncălzire	Măsurarea temperaturii	Adăugarea unei sistem de ventilaţie	4	7	4	112
				Lipirea componentelor interne			8	2	7	112
Pompa de frână	Presurizare fluide	Scurgeri de fluid	Reducerea eficienţei	Slăbirea îmbinărilor	Verificarea pompei de mână	-	4	5	1	20
		Găuri	Reducerea eficienţei	Bule de aer în fluid	Verificare	Adăugarea de fluid în sistem	6	4	1	24
		Blocaj	Oprirea vehiculului	Supraîncălzire	Măsurarea temperaturii	Adăugarea unei sistem de ventilaţie	4	7	4	112
				Lipirea componentelor interne			10	2	7	140
Balamale	Susţinerea carcasei	Rupere	Pericol pentru utilizator şi pentru celelalte componente	Curbarea datorită îndoirii	Analiza forţei	Teste de durabilitate	10	2	8	160
				Uzură din cauza multiplelor încărcări şi lărgirii crăpăturilor	Analiza forţei	Teste de durabilitate	10	2	3	60

				Materialul se îndoaie din cauza supraîncărcării	Analiza forței	Teste de durabilitate	10	4	6	240
				Necentralizare din cauza instalării necorespunzătoare	Examinare fizică		10	5	2	100
				Instabilitate din cauza încărcăturii neechilibrate	Analiza forței		10	2	2	40
Acumulator lateral-jos	Stocare fluide la presiune mică	Scurgeri de fluid	Reducerea eficienței	Slăbirea îmbinărilor	Verificarea pompei de mână	Folosirea unui cuplu de torsiune	4	5	1	20
		Intrarea aerului în sistem	Reducerea eficienței	Dop de aerisire prost instalat	Verificare		6	6	1	36
		Coroziune	Scurgeri de fluid	Degradarea materialului	Inspecția fabricantului	-	4	1	10	40
Canal hidraulic	Transportare fluid	Scurgeri de fluid	Reducerea eficienței	Slăbirea îmbinărilor	Verificarea pompei de mână	Folosirea unui cuplu de torsiune	4	5	1	20
		Ruperi	Pericol pentru utilizator	Presiunea este mai mare decât poate susține canalul	Măsurarea presiunii	Adăugarea unor elemente de siguranță	10	2	2	40
		Coroziune	Scurgeri de fluid	Degradarea materialului	Inspecția fabricantului	-	4	1	10	40
Montaj hidraulic	Conectarea componentelor	Scurgeri de fluid	Reducerea eficienței	Fire avariate și margini strâmbe	Examinare fizică	Manevrare corespunzătoare	4	9	5	180
		Coroziune	Scurgeri de fluid	Degradarea materialului	Inspecția fabricantului	-	4	1	10	40
		Slăbire în timp	Scurgeri de fluid	Fire avariate și margini strâmbe	Examinare fizică	Manevrare corespunzătoare	4	9	5	180
				Strângere insuficientă în timpul instalării	Verificarea pompei de mână	Folosirea unui cuplu de torsiune	4	8	1	32
Senzori de frână/ accelerație	Punerea în mișcare a sistemului	Scurt-circuit	Acționarea continuă a sistemului	Contact permanent între metale	Testare cu voltmetrul		9	2	4	72
		Circuit deschis	Nicio acționare asupra sistemului	Defectarea firelor din cauza uzurii	Testare cu voltmetrul	-	8	4	4	128

- Cel mai mare **RPN** s-a dovedit a fi la **îndoirea balamalelor**, din **cauza supra-încărcării, scurgerilor de fluid din îmbinările hidraulice şi din cauza slăbirii îmbinărilor în timp**.

- Acţiunile recomandate au fost utilizate pentru a reduce valoarea **RPN** şi, totodată, pentru **a scădea probabilitatea defectărilor acestor componente**.

- Pentru **balamale**, cea mai îngrijorătoare **modalitate de defectare** a fost **ruperea**.

- **Efectele potențiale ale unei astfel de defectări** ar putea răni utilizatorul, sau ar putea aduce stricăciuni mari componentelor hidraulice.

- **Gravitatea** acestor incidente a fost notată ca fiind foarte ridicată, deoarece presiunile mari ale fluidelor din sistem şi greutatea carcasei camionului ar putea cauza pagube majore.

- Există numeroase **modalităţi de defectare** dacă apare o **ruptură**.

- **Principalele cauze** sunt:

  - ✓ **curbarea datorită îndoirii,**
  - ✓ **uzura datorată numeroaselor încărcări şi lărgirii crăpăturilor,**
  - ✓ **materialul se poate îndoi din cauza supraîncărcării, instalarea necorespunzătoare**.

- **Defectele cu probabilitatea cea mai mare de apariţie** sunt: **uzura datorată numeroaselor încărcări** şi **instabilitatea**, în timp ce **defectul** cu **probabilitatea cea mai mică de apariţie** este **curbarea**.

- Toate aceste **mecanisme de defectare** sunt **controlate şi prevenite** prin ***analiza forţei balamalelor, teste de durabilitate şi adăugarea unor elemente pentru o susţinere mai bună***.

- **Montajele hidraulice** au fost şi ele un punct important în cadrul analizei.

- Aceste montaje conectează toate componentele hidraulice, astfel că **cele mai îngrijorătoare modalităţi de defectare** sunt **scurgerile, coroziunea şi slăbirea îmbinărilor montajelor în timp**.

- **Gravitatea acestor defectări este moderată**, deoarece unul dintre **efectele lor** este doar **scăderea eficienţei sistemului**, care nu este la fel de gravă ca o problemă de siguranţă a utilizatorului.

- ***Dacă presiunea mare a fluidelor poate să fie periculoasă pentru om***, **o scurgere nu ar putea fi fatală pentru utilizator**, şi **nici nu va avea un impact major asupra celorlalte componente.**

- Unele **defectări** ale montajelor hidraulice pot fi puse pe seama **firelor avariate și a pieselor cu margini îndoite**, sau mai ales, **instalării necorespunzătoare a acestora**.

- **Probabilitatea de apariţie a acestor elemente este mare** doar **dacă în timpul montării şi instalării lipseşte atenţia** şi **nu sunt luate măsuri de precauţie.**

- **Cele mai bune măsuri de prevenţie a acestor defectări** sunt ***examinarea montajelor în timpul montării***, precum şi ***folosirea unei pompe pentru a verifica dacă există scurgeri în întregul sistem, după instalare***.

- **Scurgerile** sunt **uşor de detectat pentru că sunt vizibile**, însă nu se poate spune acelaşi lucru despre **coroziune**, care este **destul de greu de detectat înainte de eventualele defectări**.

- În plus, **pentru prevenirea acestor defectări**, este recomandată ***manevrarea corespunzătoare a montajelor***, precum şi ***folosirea unui cuplu de torsiune în timpul montării***, pentru ca **montajele să fie îndeajuns de bine strânse.**

FMEA Template for AIAG and Six Sigma

[MEADinfo Product]

Prepared By:												FMEA No/Rev: 0000/01						
Date: 00/00/00												Process/Component:						
Item	Function	Potential Failure Mode	Potential Effects or Failure	Svrty	Potential Causes of Failure	Ocrnc	Current Controls for Prevention/ Detection	Dtctn	RPN	Recommended Action	Responsibility and Target Completion Date	Action Results						
												Action Taken	Svrty	Ocrnc	Dtctn	RPN		
									0							0		
									0							0		
									0							0		
									0							0		
									0							0		
									0							0		
									0							0		
									0							0		
									0							0		
									0							0		
									0							0		
									0							0		
									0							0		
									0							0		
									0							0		
									0							0		
									0							0		
									0							0		
									0							0		
									0							0		

System		Subsystem		Component		Number:	
Item:		Design Responsibility:		Prepared by:			
Model Year / Vehicle:		Key Date:		Created:			
Core team:				Modified:			

Item	Function	Failure Mode	Failure Effect	Severity	C	Potential Failure Cause	Preventive Action	Occurrence	Detection Action	Detection	RPN	Recommended Actions	Responsible & Deadline	Actions Taken	Severity	Occurrence	Detection	RPN

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS

Item: Drill Hole
Model: Current
Core Team: J. Doe (Engineering), J. Smith (Production), B. Jones (Quality)

Responsibility: J. Doe
Prepared by: J. Doe

FMEA number: 123456
Page : 1 of 1
FMEA Date (Orig): 1/1/2008 Rev: 1

Process Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Class	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	Occur	Current Process Controls	Detec	RPN	Recommended Action(s)	Responsibility and Target Completion Date	Action Results				
												Actions Taken	Sev	Occ	Det	RPN
Drill Blind Hole	Hole to deep	Break through bottom of plate	7		Improper machine set up	3	Operator training and instructions	3	63							0
	Hole not deep enough	Incomplete thread form	5		Improper machine set up	3	Operator training and instructions	3	45							0
			5		Broken Drill	5	None	9	225	Install Tool Detectors	J. Doe	3/1/2008	5	5	1	25
									0							0
									0							0
									0							0
									0							0
									0							0
									0							0
									0							0
									0							0
									0							0
									0							0

Type/Model/Fabrication/Load: Beer making (based on Indian Pale Ale)			Item Code: Revision State:	Responsible: Company:		Created: 13/03/2013			
FMEA/Process Step: Sterilisation			Item Code: Revision State:	Responsible: Company:		Created: 13/03/2013 Modified: 13/03/2013			
Effects	**S**	**Failure Mode**	**Causes**	**Preventive Action**	**O**	**Detection Action**	**D**	**RPN**	**R/D**
Process Element: OPERATION UNDER ANALYSIS - e.g. welding									
Function: WHAT YOU INTEND TO ACHIEVE AT THIS STATION - e.g. weld as per drawing									
Outcome of the Failure Mode e.g Reduced structural Integrity	8	Failure Mode - Poor weld penetration	Failure Cause - insufficient acetylene gas	Coded Welders Way to prevent the cause!	4	Gas checked before shift First off inspecion	2	80	
Fails crash test	10		Failure Cause - Wire feed blocked	TPM					
			Failure Cause - No gas shield						
Outcome of the Failure Mode e.g Reduced structural Integrity	8	Failure Mode - Excess weld penetration							
			Failure Cause - Wire feed too slow	Company welding procedures]					
Fails crash test	10								

CAPITOLUL IV

NOȚIUNI FUNDAMENTALE DE CALCUL PROBABILISTIC ȘI STATISTICĂ MATEMATICĂ

4.1 Elemente fundamentale ale teoriei probabilităţilor

În cadrul teoriei probabilităţilor se operează cu noţiuni specifice care pot fi prezentate pe scurt astfel:

- ***Proba*** *:* alegerea aleatorie a unei mulţimi (populaţii) in scopul determinării criteriului de apartenenţă la mulţimea (populaţia) cercetată.

- ***Experiment*** *:* producerea unui anumit fenomen, într-un complex de condiţii dat, care poate fi repetat de câte ori este necesar sau dorit.

- ***Eveniment (A)*** *:* rezultatul unui experiment care poate fi orice fapt ce poate să apară sau nu în urma efectuării experienţei.

- ***Probabilitatea unui eveniment P(A)***, este măsura numerică a probabilităţii de realizare. Matematic se exprimă prin raportul cazurilor favorabile “m” de producere a evenimentului A şi numărul total “n” de rezultate posibile a experimentului.

- ***Evenimentul sigur (E),*** este evenimentul care se produce sigur în cadrul unui experiment. P(E) = 1 ; m = n.

- ***Evenimentul imposibil (∅),*** este evenimentul care se nu se produce în mod obligatoriu în cadrul unui experiment. P(∅) = 0 ; m = 0.

- ***Evenimentul aleator***, este evenimentul care se produce sau nu în cadrul unui experiment, deci când m $\in$ (0,1).(∅), este evenimentul care nu se produce în mod obligatoriu în cadrul unui experiment.

În tabelul 4.1 sunt sintetizate principalele proprietăţi ale operaţiilor cu evenimente.

Tab. 4.1 Proprietăţile operaţiilor cu evenimente

Enunţ	Relaţii
Contrariul unui eveniment sigur este un eveniment imposibil (şi invers)	non E = ∅ non ∅ = E
Reuniunea sau intersecţia unui eveniment A cu el însuşi este egală cu acelaşi eveniment	A ∪ A = A A ∩ A = A
Reuniunile şi intersecţiile sunt comutative	A ∪ B = B ∪A A ∩ B = B ∩ A
Reuniunile şi intersecţiile sunt asociative	A ∪ (B ∪ C) = (A ∪ B) ∪ C A ∩ (B ∩ C) = (A ∩ B) ∩ C
Intersecţia în raport cu reuniunea şi reuniunea în raport cu intersecţia sunt distributive	A ∩ (B ∪ C) = (A ∩ B) ∪ (A ∩ C) A ∪ (B ∩ C) = (A ∪ B) ∩ (A ∪ C)
Reuniunea evenimentelor contrare este un eveniment sigur	A ∪ non A = E
Intersecţia a două evenimente incompatibile este evenimentul imposibil	A ∩ non A = ∅
Dacă E – eveniment sigur, ∅ - eveniment imposibil, A – eveniment aleator atunci există relaţiile	A ∪ E = E ; A ∪ ∅ = ∅ E ∪ ∅ = E ; E ∩ ∅ = ∅
Oricare ar fi evenimentele A şi B există relaţiile	A ∪ (A ∩ B) = A A ∩ (A ∪ B) = A
Relaţiile lui Morgan	non (A ∪ B) = non A ∩ non B non (A ∩ B) = non A ∪ non B

4.2 Variabile aleatoare

- Statistica matematică operează cu două noţiuni (concepte) de bază, **populaţia** şi **eşantionul**.

- **Populaţia statistică** poate fi reprezentată prin totalitatea (mulţimea) produselor ce pot rezulta dintr-un proce tehnologic, prin mulţimea valorilor ce le poate lua o caracteristică de calitate a unui produs etc.

- **Eşantionul** reprezintă acea parte a populaţiei asupra căreia se aplică metodele statistice propriu-zise.

- Această operaţie se defineşte prin noţiunea de **“inferenţă statistică”.**

- Trebuie făcută observaţia că **inferenţa statistică** are două limitări, în primul rând ***informaţia ce conduce la luarea deciziei este de natură statistică şi deci implicit supusă întîmplării*** , şi în al doilea rând ***se recunoaşte explicit nesiguranţa concluziei cu încercarea de a măsura cât mai obiectiv incertitudinea implicită***.

- Pentru aplicarea unor metode cantitative este nevoie ca **populaţiile statistice** ***să fie formalizate din punct de vedere matematic,*** aceasta ***în scopul găsirii unui model statistic care să definească cât mai adecvat caracteristicile populaţiei***.

- Problema găsirii modelului statistic s-a rezolvat prin introducerea conceptului de **variabilă aleatoare**.

- **Aceste variabile caracterizează populaţia respectivă** şi **este descrisă din punct de vedere matematic de funcţia de repartiţie asociată**.

- **Variabilele aleatoare** prezintă două aspecte: unul privitor la o ***anumită caracteristică ce poate fi exprimată calitativ sau cantitativ***, şi al doilea l***a probabilitatea ataşată caracteristicii respective.***

Din punct de vedere al primului aspect (al caracteristicii) variabilele aleatoare pot fi:

- ✓ ***cantitative*** : atunci când pot lua o anumită valoare închisă într-o mulţime de valori cu probabilitate prescrisă.

- ✓ ***calitative (atributive)*** : atunci când pot fi exprimate prin atribute sau adjective şi cărora li se poate asocia o anumită probabilitate.

După modul de prezentare a valorilor variabilele aleatoare pot fi:

- ✓ ***discrete*** : atunci când pot lua numai anumite valori într-un interval dat.

- ✓ ***continue*** : atunci când pot lua orice valoare într-un interval finit sau infinit

a. Variabile aleatoare discrete

Fie o **variabilă aleatoare discretă X**. În urma efectuării unui experiment variabila primeşte valorile x_1, x_2,….,x_n , fiecare având probabilitatea de apariţie p_1,p_2,….,p_n.

Enumerarea tuturor valorilor posibile ale variabilei aleatoare discrete împreună cu probabilităţile lor de apariţie se numeşte **repartiţie** şi poate fi exprimată sub una din formele (4.2):

$$X:\begin{pmatrix} x_1, x_2, \ldots, x_n \\ p_1, p_2, \ldots, p_n \end{pmatrix} \quad \text{sau} \quad X:\begin{pmatrix} x_i \\ p_i \end{pmatrix} \qquad (4.2)$$

Asociind fiecărui eveniment x_i probabilitatea corespunzătoare p_i s-a stabilit în fapt **legea de repartiţie a variabilei aleatoare discrete.**

Expresia analitică a legii de repartiţie se numeşte **funcţie de probabilitate** şi se exprimă prin relaţia (4.3):

$$P(X = x_i) = P(x_i) = p_i \qquad (4.3)$$

Funcţia de probabilitate satisface condiţia:

$$0 \le P(x_i) \le 1 \qquad (4.4)$$

Având în vedere că ***prin efectuarea experimentului s-a obţinut câte un singur rezultat pentru fiecare experienţă***, **totalitatea acestor valori formează un sistem complet de evenimente incompatibile** şi deci se poate scrie:

$$\sum_{i=1}^{n} p_i = 1 \qquad (4.5)$$

Funcţia de repartiţie a variabilei aleatoare X se defineşte ca fiind probabilitatea ca X ≤ x, având sensul unei probabilităţi cumulate.

$$F(x) = P(X \le x) \qquad (4.6)$$

Cunoscând **funcţia de probabilitate a variabilei aleatoare discrete** (relaţia 4.3) rezultă pentru **funcţia de repartiţie** expresia:

$$F(x_k) = P(X \le x_k) = \sum_{i=1}^{k}(X = x_i) = \sum_{i=1}^{k} P(x_i) = \sum_{i=1}^{k} p_i \qquad (4.7)$$

Din punct de vedere grafic (Fig. 4.1) **funcţia de repartiţie a variabilei aleatoare discrete** se prezintă sub forma unei diagrame discontinue în trepte, în care salturile corespund valorilor posibile ale variabilei aleatorii discrete, fiind egale cu probabilităţile acestor valori.

Reprezentarea grafică se mai numeşte şi ***poligonul repartiţiei sau poligonul repartiţiei probabilităţilor***

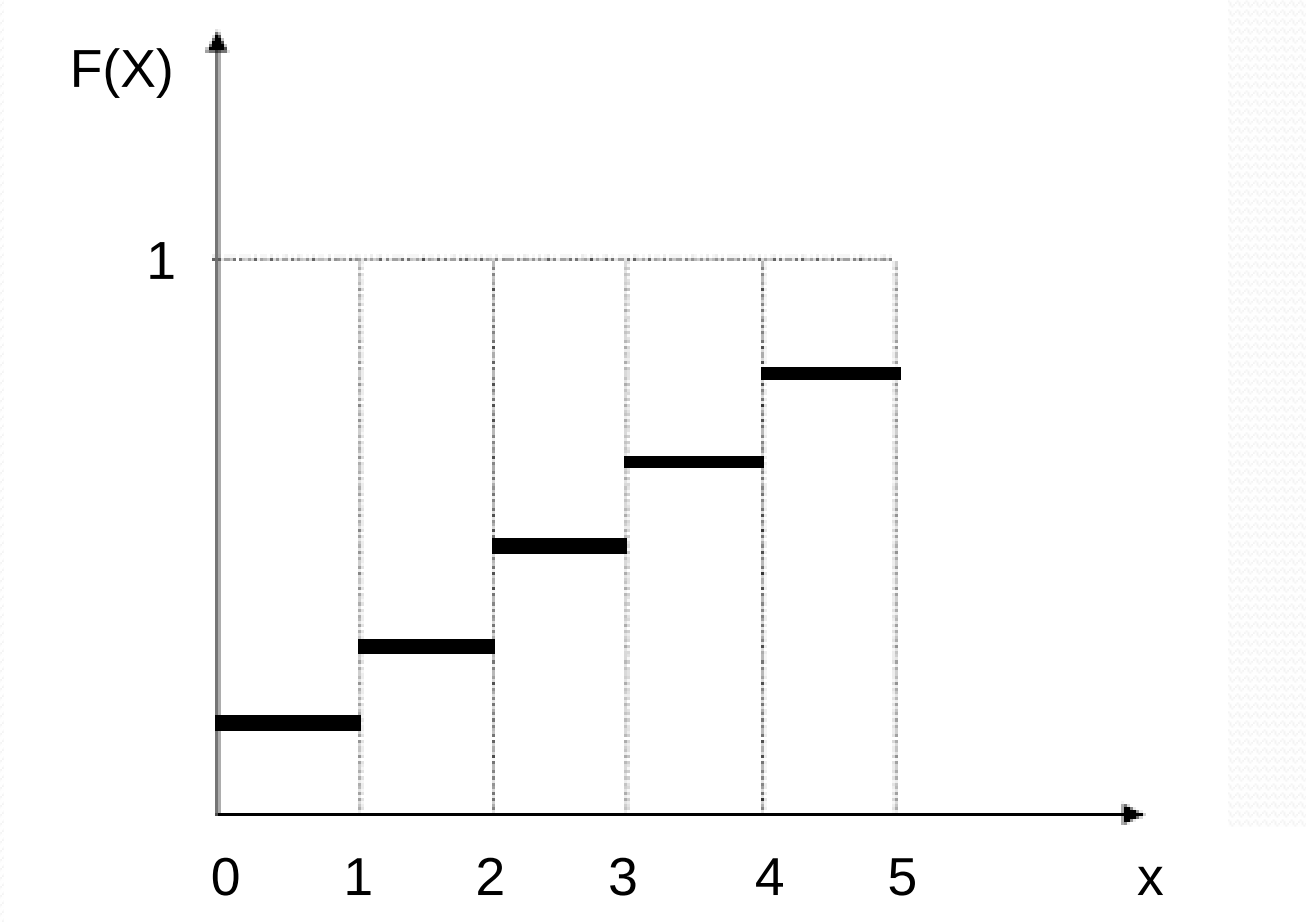


Fig. 4.1 Graficul funcţiei de repartiţie a unei variabile aleatoare discrete

b. Variabile aleatoare continue

În cazul **variabilelor continue** există o infinitate de valori şi în plus nu fiecare valoare a variabilei are o probabilitate diferită de zero.

Funcţia de repartiţie a variabilei continue are expresia din relația (4.8):

$$F(x) = P(X < x) = \int_{-\infty}^{x} f(x)dx = \int_{-\infty}^{x} F'(x)dx \qquad (4.8)$$

În care f(x) se numeşte ***densitate de probabilitate*** sau ***densitate de repartiţie*** **a variabilei aleatoare continue** şi **este totodată derivata întâi a funcţiei de repartiţie F(x)** şi este prezentată grafic în figura 4.2.

Mărimea ”f(x)dx” se numeşte ***element de probabilitate*** şi **reprezintă probabilitatea ca variabila x să se găsească în intervalul elementar ”dx”**.

Din punct de vedere geometric reprezintă aria dreptunghiului elementar cu baza ”dx” aşa cum se prezintă în figura 4.3.

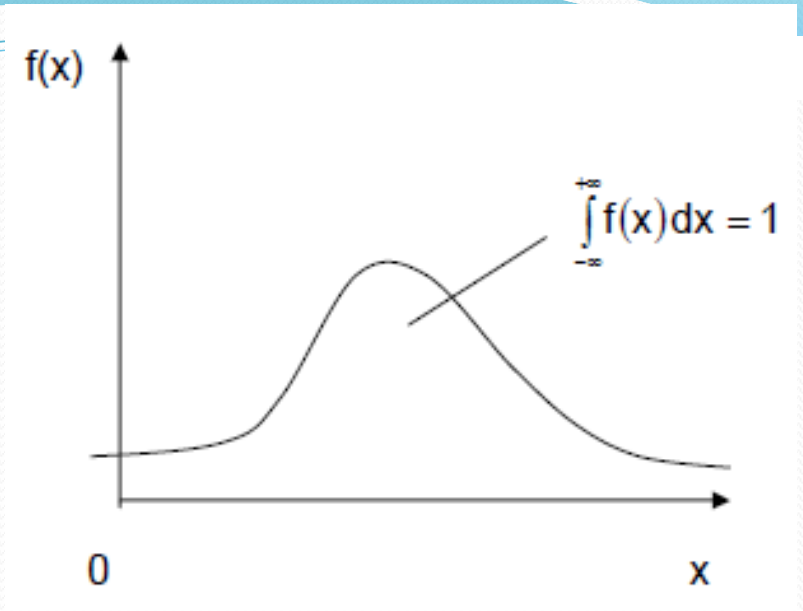


Fig. 4.2 Graficul densității de probabilitate a unei variabile aleatoare continue

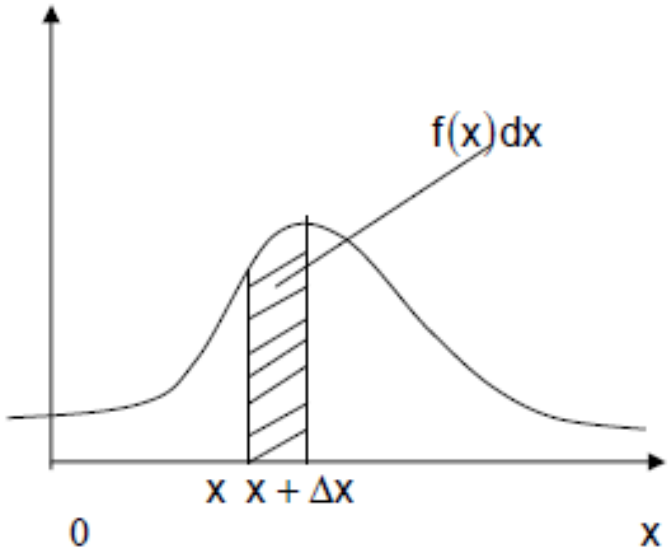


Fig. 4.3 Graficul elementului de probabilitate

Din punct de vedere geometric funcţia de repartiţie este aria cuprinsă între curba **densităţii de probabilitate** şi axa absciselor, aria totală fiind egală cu unitatea ca în figura 4.2.

Graficul **funcţiei de repartiţie a unei variabile aleatoare continue** este prezentat în figura 4. 4.

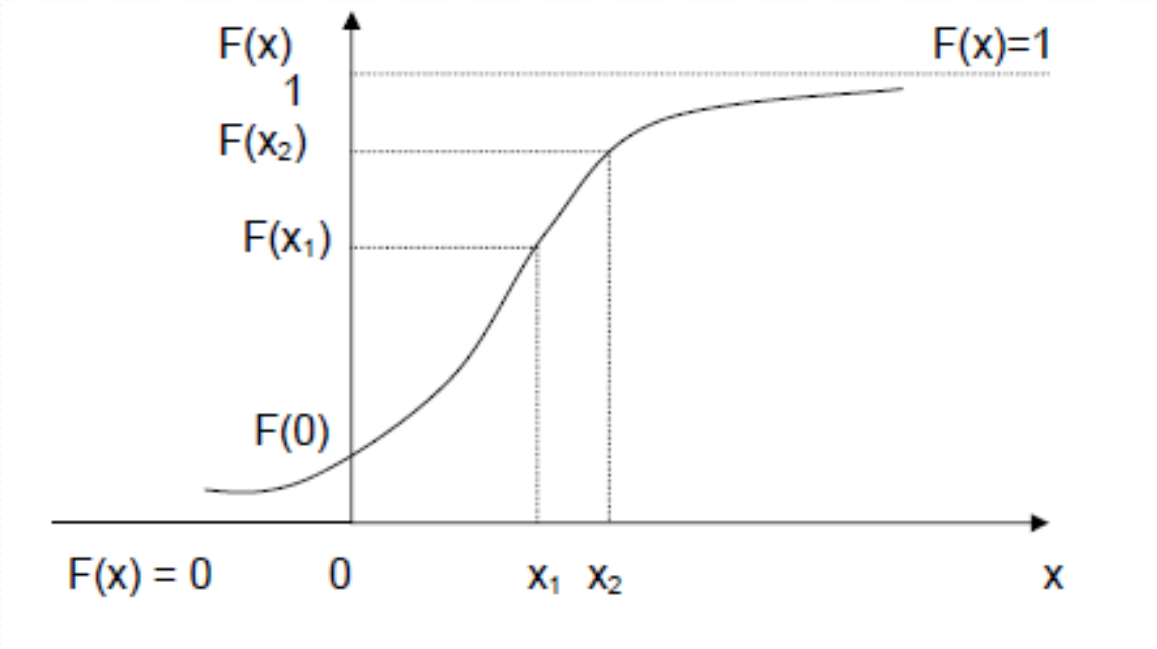


Fig. 4.4 Graficul funcţiei de repartiţie a unei variabile aleatoare continue

- graficul are ca şi asimptote dreptele F(x) = 0 şi F(x) = 1
- $F(-\infty)=0, \quad F(+\infty)=\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx=1, \quad F(x_1)\le F(x_2)$
- $P(x_1<X<x_2)=F(x_2)-F(x_1)=\int_{-\infty}^{x_2} f(x)dx-\int_{-\infty}^{x_1} f(x)dx=\int_{x_1}^{x_2} f(x)dx$

- În practică, în multe cazuri, nu se întâlnesc variabile aleatoare izolate cu alte cuvinte spre exemplu ***unele caracteristici de calitate nu pot fi modelate cu o singură variabilă aleatoare***.
- Se întâlnesc cazuri în care ***caracteristicile de calitate sunt reprezentate prin câturi (X/Y) sau sume (X+Y) de variabile aleatoare***.
- **Nu este însă obligatoriu ca** ***în cazul în care X şi Y au acelaşi tip de repartiţie câtul sau suma să urmeze aceeaşi lege de repartiţie***.
- ***Dacă însă acest lucru se întâmplă*** atunci **repartiţia** se zice ***stabilă*** şi simplifică modelarea matematică iar pe de altă parte ***stabilitatea prezintă importanţă în studiul lanţurilor de dimensiuni***

4.3 Indicatori statistici ai repartiţiilor (valori tipice ale variabilelor aleatoare)

- În studiul unei caracteristici de calitate, se dispune în general de un set de date obţinute prin experimentare.
- Anterior s-a arătat că **o variabilă aleatoare** se poate defini cu ajutorul **legii de repartiţie**.
- Există şi cazuri când aceasta nu se cunoaşte şi atunci ***sunt necesare anumite valori care să caracterizeze tendinţele*** **variabilelor aleatoare**.
- Aceste valori sau măsuri se numesc **indicatori sau valori tipice** şi oferă informaţii privind **tendinţa de grupare** şi **variaţie** respectiv ***modelarea comportării caracteristicii de calitate***.

4.3.1 Indicatorii tendinţei centrale de grupare (valori tipice de localizare)

a. Media (μ, M[X])

Se mai numeşte speranţă matematică, medie teoretică, tendinţă centrală sau valoare adevărată.

Pentru **o variabilă aleatoare discretă** se calculează cu relația (4.9):

$$\mu = M[X] = \sum_{i=1}^{n} x_i p_i \qquad (4.9)$$

Pentru **o variabilă aleatoare continuă** se calculează cu relația (4.10):

$$\mu = M[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} x\, dF(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x\, f(x)\, dx \qquad (4.10)$$

b. Mediana (Me)

Este acea valoare tipică în raport cu care **o variabilă aleatoare are aceeaşi probabilitate de a fi superioară sau inferioară**.

Din punct de vedere al unui şir de valori ordonate crescător şi care reprezintă o serie statistică este **acea valoare ce împarte seria în două grupe egale ca număr**.

$$P(X < Me) = P(X > Me)$$

sau (4.11)

$$\int_{-\infty}^{Me} f(x)dx = \int_{Me}^{+\infty} f(x)dx$$

Din punct de vedere geometric, mediana este egală cu abscisa punctului ce împarte aria delimitată de axa OY şi curba f(x) în două părţi egale.

c. Moda (Mo)

Se mai numeşte **mod** sau **modul** şi **este valoarea tipică ce are cea mai mare probabilitate de apariţie** (numită şi valoare dominantă), în **cazul variabilelor aleatoare discrete** sau **repartiţiilor continue unimodale**.

În cazul **variabilelor aleatoare continue, moda *corespunde valorii pentru care densitatea de probabilitate are un maxim***.

$$f'(X_{Mo}) = 0 \quad ; \quad f''(X_{Mo}) < 0 \qquad (4.12)$$

Ecuaţia f'(x) = 0 poate da mai multe maxime şi evident repartiţia poate avea mai multe mode.

Dacă repartiţia are mai multe mode se numeşte **plurimodală** iar repartiţiile fără modă se numesc **antimodale**.

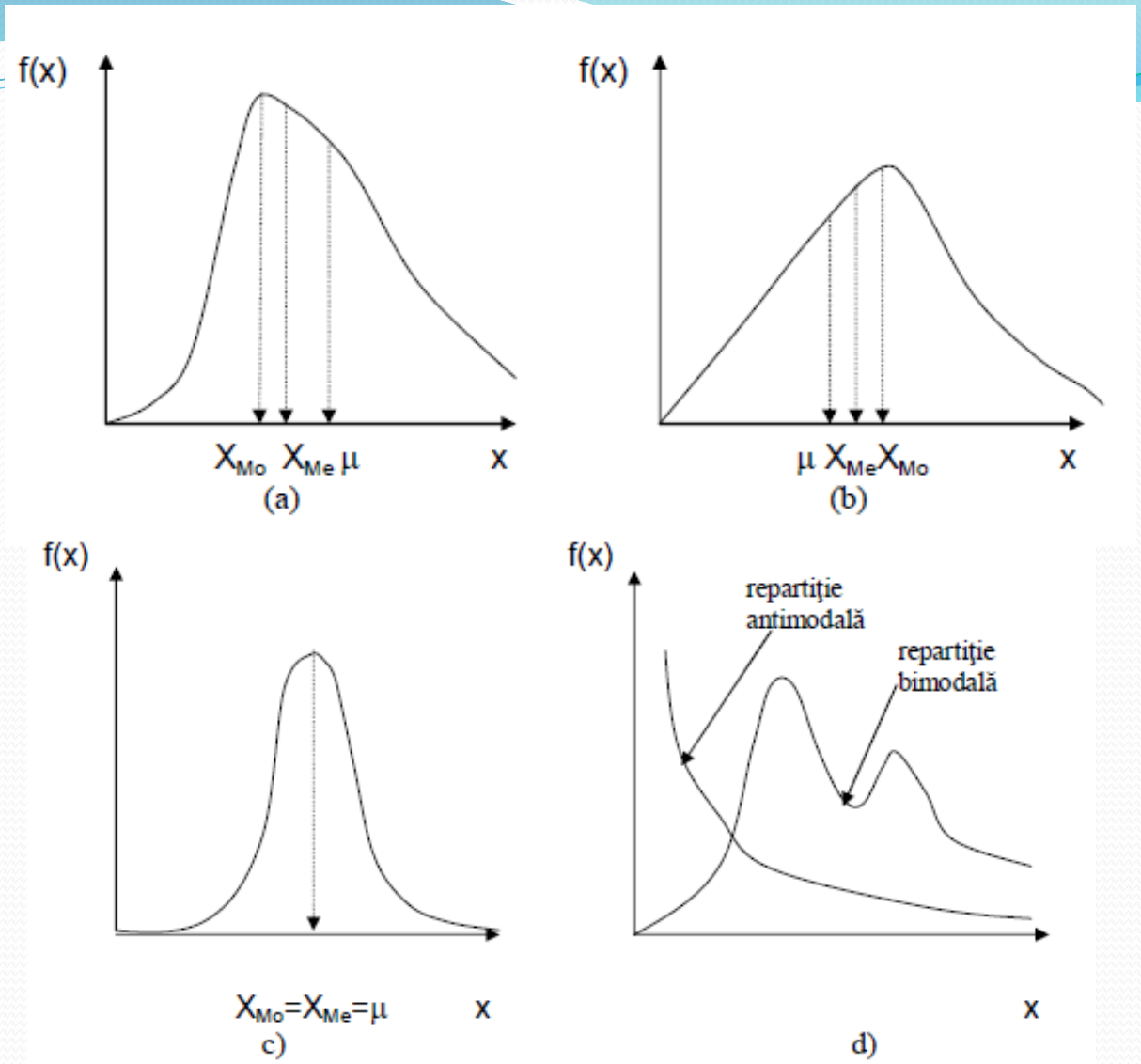


Fig. 4.5 Poziţia **μ**, **Me** și **Mo** pentru trei tipuri de repartiţii:
a) asimetrie de dreapta; b) asimetrie de stânga;
c) repartiţie simetrică; d) repartiţie bimodală şi antimodală

4.3.2 Indicatori de variabilitate (valori tipice de variaţie)

Pentru **a caracteriza concentrarea sau împrăştierea unei repartiţii statistice,** respectiv pentru **a aprecia gradul de variaţie sau apropierea de valorile tipice de localizare se** folosesc următorii indicatori:

a. Amplitudinea (R)

Este un indicator statistic dat de ***diferenţa valorilor extreme ale unui şir statistic.***

$$R = x_{max} - x_{min} \qquad (4.13)$$

b. Dispersia sau varianţa ($D[X]$; σ^2)

- pentru **variabila aleatoare discretă**:

$$D[X] = \sigma^2 = M\left[X - M(X)\right]^2 = M\left[(X-\mu)^2\right] = \sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu)^2 p_i \qquad (4.14)$$

- pentru **variabila aleatoare continuă**:

$$D[X] = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{+\infty}(x-\mu)^2 f(x)\,dx \qquad (4.15)$$

c. Abaterea standard ($(D[X])^{1/2}$; σ)

- pentru **variabila aleatoare discretă**:

$$\sqrt{D[X]} = \sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu)^2 p_i} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 p_i - \mu^2} \qquad (4.16)$$

- pentru **variabila aleatoare continuă**:

$$\sqrt{D[X]} = \sigma = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty}(x-\mu)^2 f(x)\,dx} = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} x^2 f(x)\,dx - \mu^2} \qquad (4.17)$$

d. Coeficientul de variație teoretic (CV)

$$CV = \frac{\sqrt{D[X]}}{M[X]} = \frac{\sigma}{\mu} \qquad (4.18)$$

4.3.3 Indicatori caracteristici formei funcţiei de repartiţie

a. Momentul iniţial (absolut) de ordin k (k>1) (m'_k; μ'_k)

- pentru **variabila aleatoare discretă**:

$$m'_k = \mu'_k = M\left[X^k\right] = \sum_{i=1}^{n} x_i^k p_i \qquad (4.19)$$

- pentru **variabila aleatoare continuă**:

$$m'_k = \mu'_k = \int_{-\infty}^{+\infty} x^k f(x)\,dx \qquad (4.20)$$

b. Momentul centrat de ordin k (k>1) (m'_k; μ'_k)

- pentru **variabila aleatoare discretă** (centrare în raport cu media teoretică μ = M[X])

$$\mu_k = m_k = M\left[\left(X - M[x]\right)^k\right] = \sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \mu\right)^k p_i \qquad (4.21)$$

- pentru **variabila aleatoare continuă**:

$$\mu_k = m_k = M\left[\left(X - M[X]\right)^k\right] = \int_{-\infty}^{+\infty}\left(x - \mu\right)^k f\left(x\right)dx \qquad (4.22)$$

✓ ***Observații:***

✓ $\mu_2 = D[X] = \sigma^2$ (momentul centrat de ordinul doi este egal cu dispersia)

✓ $\mu_2 = \sigma^2 = \mu'_2 - \mu'^2_1$ (dispersia exprimată cu ajutorul momentelor inițiale)

c. Coeficientul de asimetrie al lui Pearson (β_1)

Unii autori consideră **coeficientul de asimetrie al lui Pearson (β_1) un indicator al gradului de asimetrie al curbei frecvenţelor faţă de media aritmetică,** folosind relațiile (4.23) :

$$\beta_1 = \frac{m_3^{\,2}}{m_2^{\,3}} = \frac{\mu_3^{\,2}}{\left(\sigma^2\right)^3} \qquad \text{sau} \qquad A = \frac{\bar{x} - Mo}{s} \qquad (4.23)$$

- Dacă x > Mo atunci A > 0 şi asimetria este de stânga (pozitivă).
- Dacă x < Mo atunci A < 0 şi asimetria este de dreapta (negativă).
- Dacă $\beta_1 < 0$ asimetria este negativă (Fig. 4.5 b).
- Dacă $\beta_1 > 0$ asimetria este pozitivă (Fig. 4.5 a).
- Dacă $\beta_1 = 0$ curba este simetrică (Fig. 4.5 c).

Alţi autori, consideră **coeficientul de asimetrie $(\beta_1)^{1/2}$** ca fiind **un indicator ce măsoară asimetria unei repartiţii în raport cu gradul ei de împrăştiere,** folosind relaţia (4.24):

$$\sqrt{\beta_1} = A_s = \gamma_1 = \frac{m_3}{(m_2)^{3/2}} = \frac{\mu_3}{(\sigma^2)^{3/2}} = \frac{\mu_3}{\sigma^3} \qquad (4.24)$$

d. Coeficientul de boltire (β_2)

Coeficientul de boltire (β_2) reprezintă **un indicator al gradului de înclinare a pantei curbei funcţiei de repartiţie în vecinătatea modei, şi este legat de "ascuţirea" ei**, relația (4.25)

$$\beta_2 = \frac{m_4}{m_2^{\,2}} = \frac{\mu_4}{\sigma^4} \qquad (4.25)$$

m_4 fiind momentul centrat de ordinul 4

e. Coeficientul de exces (E)

Coeficientul de exces (E) reprezintă **un indicator al formei repartiţiei raportată la repartiţia normală**, relația (4.26).

Este legat de **coeficientul de boltire** prin aceea că pentru o distribuţie normală $\beta_2 = 3$.

$$E = \gamma_2 = \beta_2 - 3 = \frac{m_4}{m_2^2} - 3 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3 \qquad (4.26)$$

Pentru $E < 0$ curba are un exces negativ (mai apltatizată) şi se numeşte **placticurtică**.

Pentru $E > 0$ curba are un exces negativ (mai ascuţită) şi se numeşte **leptocurtică**.

Pentru $E = 0$ curba se numeşte **mezocurtică**.

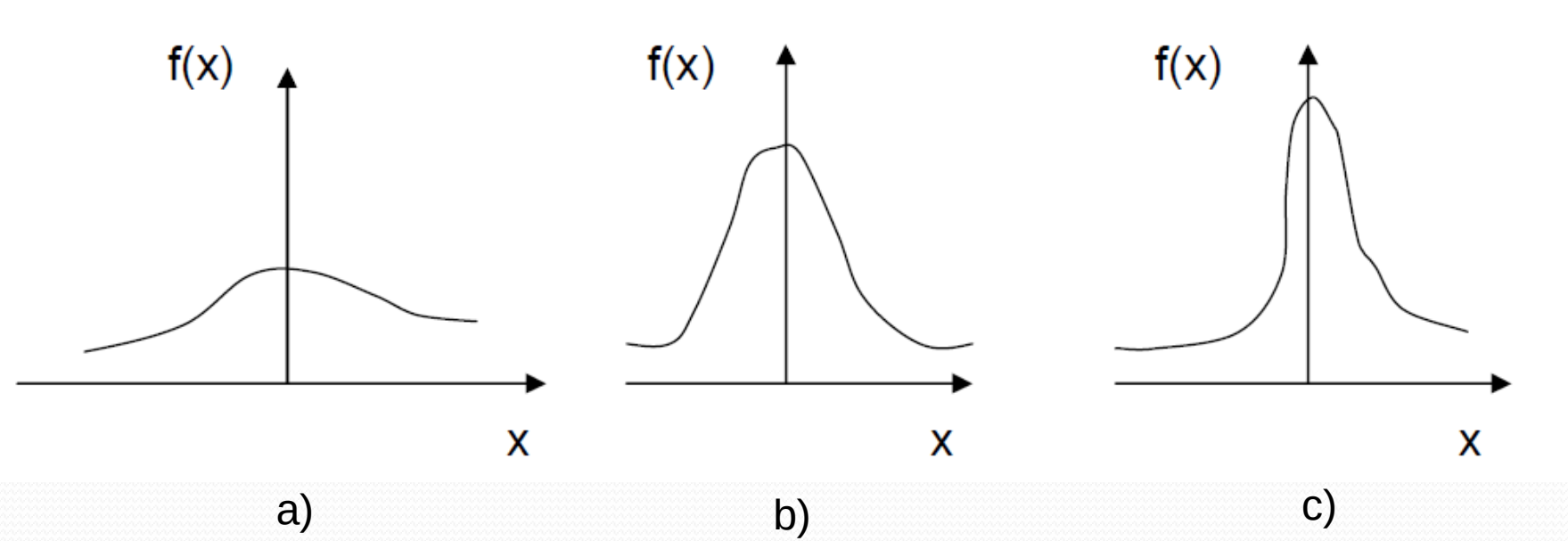


Fig. 4.6 Formele curbelor de repartiţie funcţie de exces

a) Repartiție placticurtică
b) Repartiție mezocurtică
c) Repartiție leptocurtică

4.4 Inegalitatea Cebâșev

- O repartiţie este **complet specificată** dacă **i se pot calcula toate momentele**.
- Sunt cazuri în care se cunosc numai două momente: **media** şi **dispersia**.
- Cu ajutorul inegalităţii lui Cebâşev **se poate stabili probabilitatea abaterii variabilei aleatoare faţă de medie,** relația (4.27).

$$P\left(|X-\mu| \le k\sigma\right) \ge 1-\frac{1}{k^2} \qquad (4.27)$$

- pentru $k = 4,5 \Rightarrow P\left(|X-\mu| \le 4,5\sigma\right) \ge 0,95$
- pentru $k = 10 \Rightarrow P\left(|X-\mu| \le 4,5\sigma\right) \ge 0,99$

În cazul particular al **repartiţiilor unimodale simetrice,** (frecvent întâlnite în studiul caracteristicilor de calitate) inegalitatea Cebâşev, conform relației (4.28), devine :

$$P\left(\left|X-\mu\right| \le k\sigma\right) \ge 1-\frac{1}{2,25k^2} \qquad (4.28)$$

Cu această inegalitate ***se pot urmări abaterile într-un proces tehnologic fără a-i cunoaşte legea de repartiţie*** . O atenţie specială se acordă intervalului ± **3σ**.

$$\text{- pentru } k=3 \Rightarrow P\left(\left|X-\mu\right| < 3\sigma\right) > \frac{8}{9}$$

Adică probabilitatea ca variabila aleatoare să fie în intervalul ± **3σ** este aproximativ **89%** (vezi **2.2.6 Fișe de control**) De unde rezultă că probabilitatea ca variabila aleatoare să fie în afara intervalului ± **3σ** este **1/9 (≈ 11%)**

Nici o lege de repartiţie nu poate da o valoare mai mică decât cea dată de relaţia (4.28).

4.5 Repartiţii statistice utlizate în modelarea caracteristicilor de calitate

- **Caracteristicile de calitate pot lua diferite valori aleatoare**, fiecare având o frecvenţă proprie de apariţie, între două valori extreme (limită).

- Repartizarea acestor frecvenţe se poate face printr-o **lege de repartiţie exprimând legătura dintre valorile caracteristicii de calitate şi probabilitatea lor de apariţie**.

- Asociind caracteristicii investigate modelul statistic cel mai adecvat, ***se pot deduce indicatorii statistici specifici*** şi de asemenea ***se pot face predicţii privind evoluţia caracteristicii*** respectiv ***asupra posibilităţii apariţiei evenimentelor nedorite sau anormale***.

- Există mai multe feluri de clasificare a tipurilor de repartiţii funcţie de diverse criterii (de exemplu: *după continuitate* : discrete şi continue; *după generalitate*: pentru analiza reprezentării fenomenelor şi auxiliare; *după domeniul de aplicare* etc.).

4.5.1 Repartiţii discrete

a. Repartiția Bernoulli

- Se presupune efectuarea unui experiment cu două posibile rezultate, fie ”**succes**” fie ”**eșec**”
- ”**Succesul**” are probabilitatea ”p” în timp ce ”**eșecul**” are probabilitatea ”q = 1 – p”
- O variabilă aleatoare care ia valoarea ”1” în caz de **succes** și ”0” în caz de **eșec**, se numește **variabilă aleatoare Bernoulli** (despre ea se zice că are o repartiție Bernoulli).
- Se consideră o variabilă aleatoare discretă ”X” care poate lua valorile ”0” sau ”1”.
- Considerând $p \in (0,1)$, se spune că ”X” are o **distribuție Bernoulli** cu parametrul ”p” dacă **funcția sa masă de probabilitate (probability mass function)** este cea din relația (4.29).

$$f(x;p)=\begin{cases} p & \text{dacă } x=1 \\ 1-p & \text{dacă } x=0 \end{cases} \qquad (4.29)$$

Funcţia de repartiţie Bernoulli a unei variabile aleatoare discrete X este dată în relația (4.30)

$$F(x;p)=\begin{cases} 0 & \text{dacă } x<1 \\ 1-p & \text{dacă } 0\le x<1 \\ 1 & \text{dacă } x\ge 1 \end{cases} \qquad (4.30)$$

Principalii indicatori statistici ai variabilei aleatoare **cu repartiţie Bernoulli**

- valoarea medie

$$\mu = M[X] = p$$

- mediana

$$F(x;p) = \begin{cases} 0 & \text{dacă } q > p \\ 0,5 & \text{dacă } q = p \\ 1 & \text{dacă } q < p \end{cases}$$

- moda

$$F(x;p) = \begin{cases} 0 & \text{dacă } q > p \\ 0,1 & \text{dacă } q = p \\ 1 & \text{dacă } q < p \end{cases}$$

- dispersia

$$\sigma^2 = D[X] = p(1-p)$$

- abaterea standard

$$\sigma = \sqrt{D[X]} = \sqrt{p(1-p)}$$

- asimetria

$$\beta_1 = \frac{m_3^{\,2}}{m_2^{\,3}} = \frac{(q-p)^2}{pq}, \qquad \sqrt{\beta_1} = \frac{q-p}{\sqrt{pq}}$$

- excesul

$$E = \gamma_2 = \beta_2 - 3 = \frac{m_4}{m_2^{\,2}} - 3 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3 = \frac{1-6pq}{pq}$$

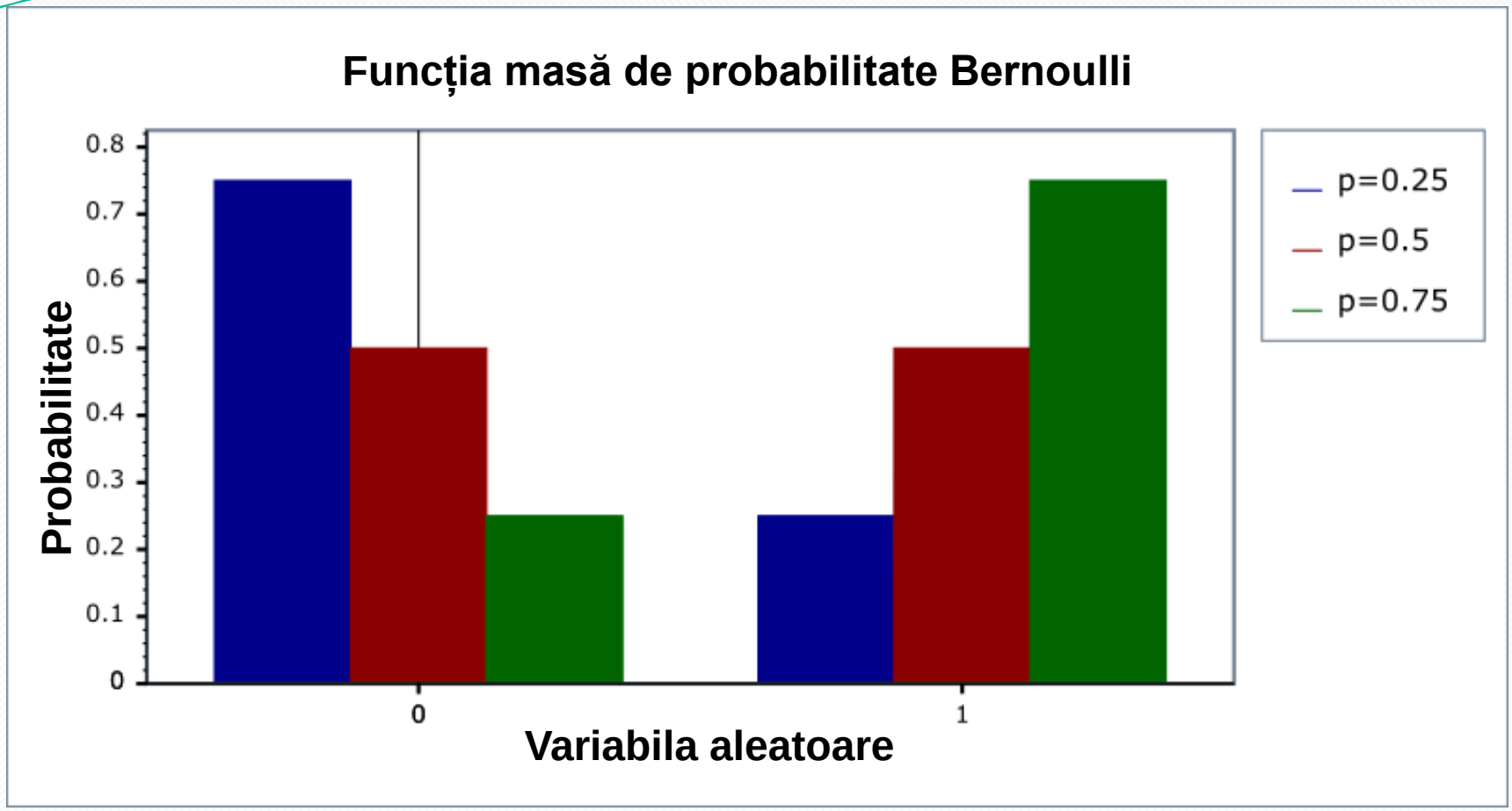


Fig. 4.7 Funcția masă de probabilitate Bernoulli pentru diferite probabilități de apariție a ”succesului = 1” și ”eșecului = 0” (un singur experiment)

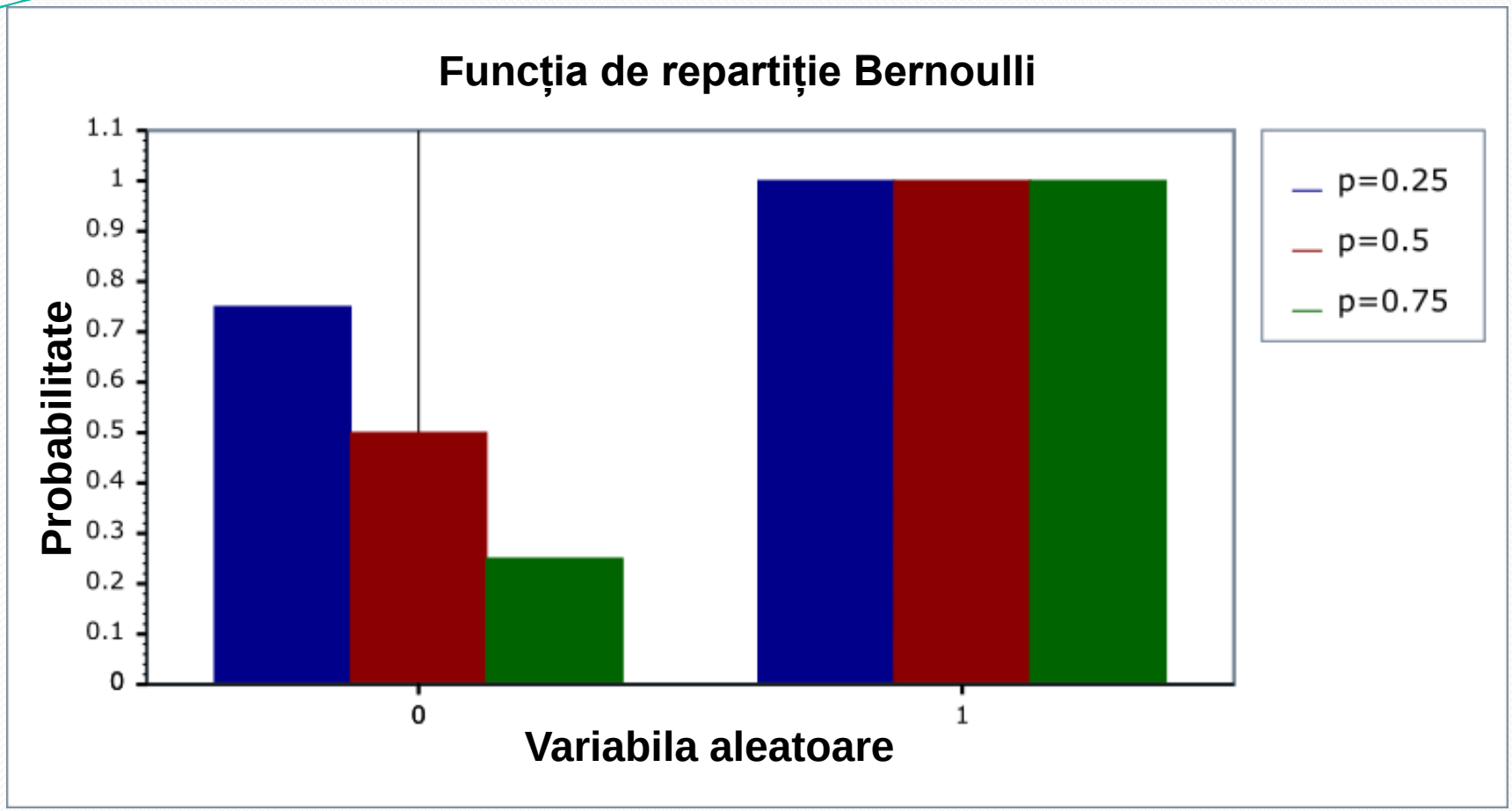


Fig. 4.8 Funcția de repartiție Bernoulli pentru diferite probabilități de apariție a ”succesului = 1” și ”eșecului = 0”
(un singur experiment)

b. Repartiţia binomială

- Este o **repartiţie discretă** cu ***modelul probabilistic obţinut prin efectuarea de extrageri repetate de piese dint-un lot (eşantion), piesele extrase fiind reintroduse în lot pentru a nu se modifica compoziţia acestuia***.

- De aceea extragerea se mai numeşte ***"cu întoarcere".***

- Se foloseşte în **modelarea controlului de recepţie a loturilor de produse.**

- Dacă $X_1,...X_n$ sunt variabile aleatoare independente și identic distribuite , repartizate Bernoulli cu probabilitatea de "**succes**" "p", atunci suma acestora este **distribuită Binomial (n;p).**

- În aceste condiții, **repartiția Bernoulli** este **Binomial (1;p)**

- **Funcţia de repartiţie binomială** este dată în relația (4.31):

$$P(X \le x) = F(x;n;p) = \sum_{x=0}^{[x]-1} C_n^x p^x q^{n-x} = \begin{cases} 0 & \text{pentru } x \le 0 \\ q^n & \text{pentru } 0 < x \le 1 \\ \sum_{k=0}^{1} C_n^k p^k q^{n-k} & \text{pentru } 1 < x \le 2 \\ ------------------ & \\ \sum_{k=0}^{n-1} C_n^k p^k q^{n-k} & \text{pentru } (n-1) < x \le n \\ 1 & \text{pentru } x > n \end{cases} \quad (4.31)$$

În care: p – probabilitatea (constantă de apariţie a unui eveniment A la fiecare încercare)

q = 1 - p, probabilitatea evenimentului contrar Ā

n – numărul valorilor posibile (volumul eşantionului)

[x] - partea întreagă a lui x

k – numărul de ”**succese**”

Principalii indicatori statistici ai variabilei aleatoare **cu repartiţie Binomială**:

- valoarea medie

$$\mu = M[X] = \sum_{i=1}^{n} x_i p_i \sum_{i=1}^{n} x_i C_n^{x_i} p^{x_i} q^{n-x_i} = np$$

- dispersia

$$\sigma^2 = D[X] = np(1-p) = npq$$

- abatrerea standard

$$\sigma = \sqrt{D[X]} = \sqrt{npq}$$

- moda

$$np - q < Mo < np + p, \quad Mo \in Z$$

- momente

$$m_1' = \mu = np$$

$$m_2 = \mu_2 = \sigma^2 = npq$$

$$m_3 = \mu_3 = npq(q-p)$$

$$m_4 = \mu_4 = npq(1-6pq+3npq)$$

- asimetria

$$\beta_1 = \frac{m_3^{\,2}}{m_2^{\,3}} = \frac{(q-p)^2}{npq}, \qquad \sqrt{\beta_1} = \frac{q-p}{\sqrt{npq}}$$

- excesul

$$E = \gamma_2 = \beta_2 - 3 = \frac{m_4}{m_2^{\,2}} - 3 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3 = \frac{1-6pq}{npq}$$

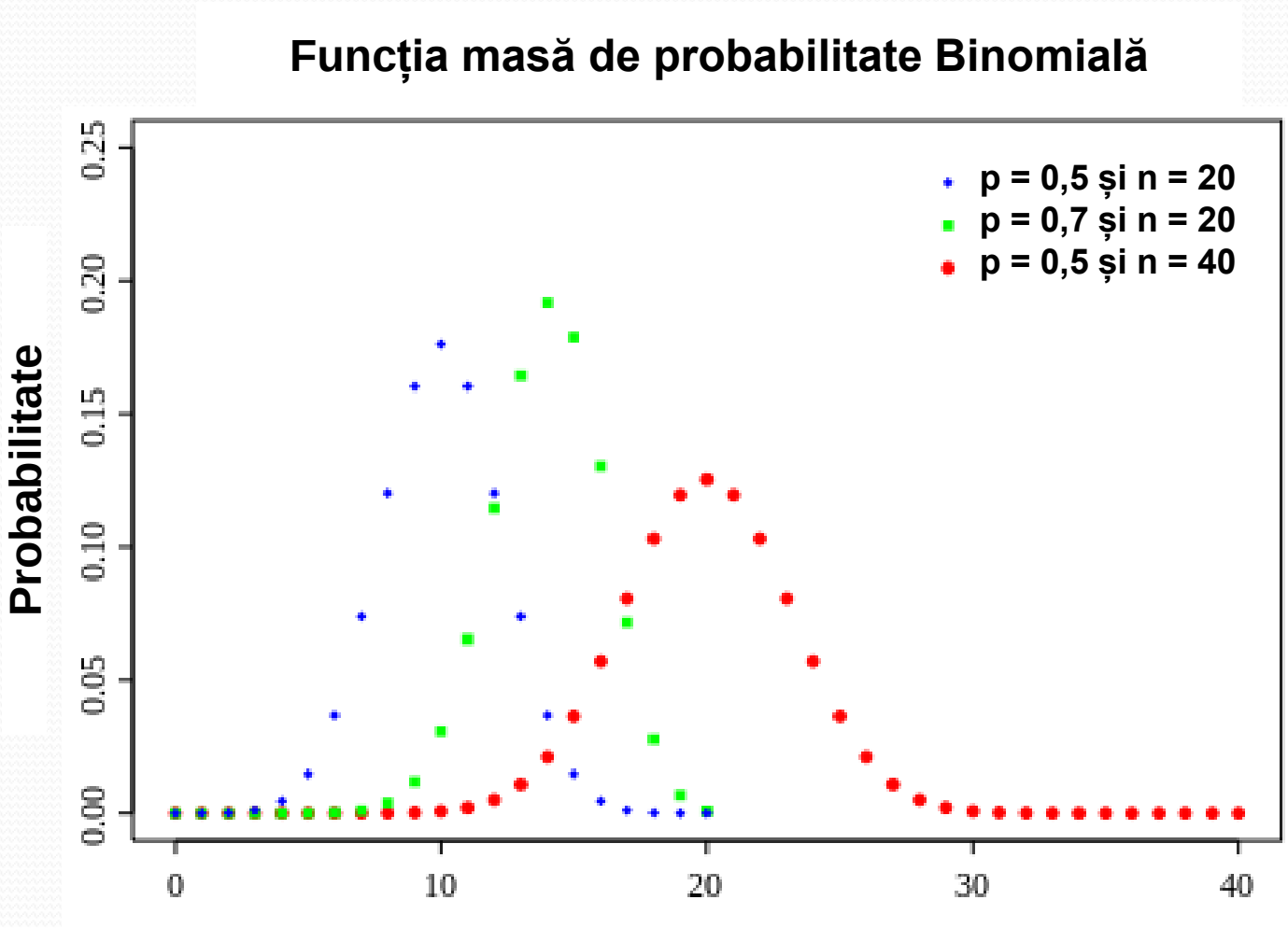


Fig. 4.9 Funcția masă de probabilitate Binomială

Funcția de repartiție Binomială

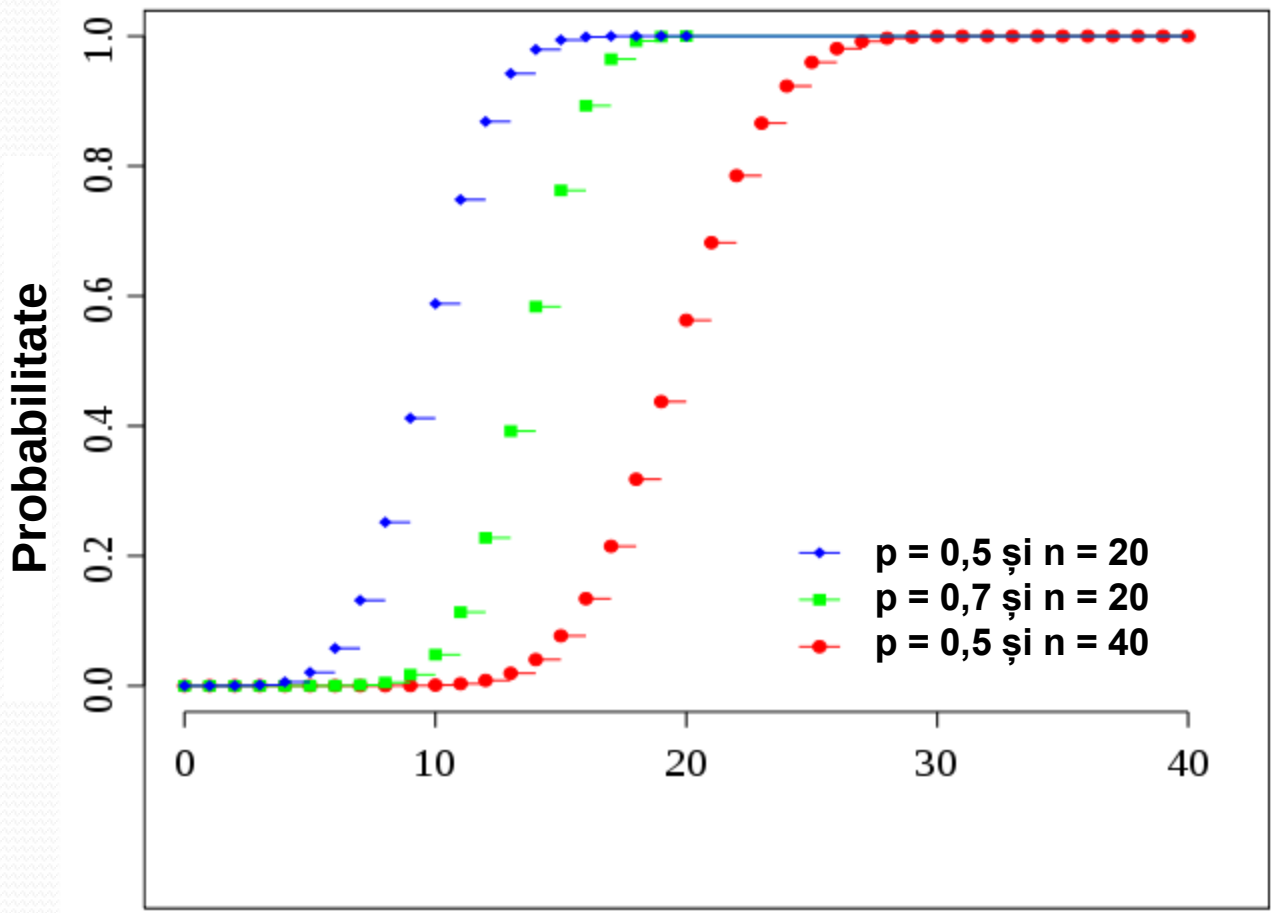


Fig. 4.10 Funcția de repartiție Binomială

Funcţia de probabilitate binomială $P(n,k) = C_n^k p^k q^{n-k}$

n	k \ p	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08		
5	0	0,95009	0,90392	0,81537	0,73390	0,65908	5	5
	1	0,04803	0,09221	0,16987	0,23122	0,28656	4	
	2	0,00097	0,00376	0,01416	0,04981	0,04981	3	
	3	0,00001	0,00008	0,00059	0,00433	0,00433	2	
	4			0,00001	0,00006	0,00019	1	
	5						0	
10	0	0,90438	0,81707	0,66183	0,53862	0,43439	10	10
	1	0,09135	0,16675	0,27701	0,34380	0,37773	9	
	2	0,00115	0,01531	0,05191	0,09875	0,14781	8	
	3	0,00011	0,00083	0,00577	0,01681	0,03127	7	
	4		0,00003	0,00042	0,00188	0,00522	6	
	5			0,00002	0,00014	0,00051	5	
	6				0,00001	0,00004	4	
	7						3	
	8						2	
	9						1	
	10						0	
15	0	0,86006	0,73857	0,54209	0,39259	0,28630	15	15
	1	0,13031	0,22609	0,33880	0,37847	0,37313	14	
	2	0,00921	0,03230	0,09822	0,16910	0,22731	13	
	3	0,00040	0,00286	0,01784	0,04677	0,08565	12	
	4	0,00001	0,00017	0,00223	0,00896	0,02234	11	
	5		0,00001	0,00020	0,00126	0,00427	10	
	6			0,00001	0,00013	0,00062	9	
	7				0,00001	0,00007	8	
	8					0,00001	7	
	9						6	
	10						5	
	11						4	
	12						3	
	13						2	
	14						1	
	15						0	
		0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	k \ p	n

n	k \ p	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	k \ p	n
20	0	0,81791	0,66761	0,44200	0,29011	0,18869	20	20
	1	0,16523	0,27249	0,36831	0,37035	0,32861	19	
	2	0,01586	0,05283	0,14580	0,22157	0,27109	18	
	3	0,00096	0,00647	0,03645	0,08601	0,14144	17	
	4	0,00004	0,00056	0,00645	0,02333	0,05227	16	
	5		0,00004	0,00086	0,00477	0,01454	15	
	6			0,00009	0,00076	0,00316	14	
	7			0,00001	0,00010	0,00055	13	
	8				0,00001	0,00008	12	
	9					0,00001	11	
	10						10	
	11						9	
	12						8	
	13						7	
	14						6	
	15						5	
	16						4	
	17						3	
	18						2	
	19						1	
	20						0	
		0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	k \ p	n

Funcţia de probabilitate binomială $P(n,k) = C_n^k p^k q^{n-k}$ (continuare)

n	k \ p	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	k \ p	n
5	0	0,59049	0,32768	0,10807	0,07776	0,03125	5	5
	1	0,32805	0,40960	0,36015	0,25920	0,15625	4	
	2	0,07290	0,20480	0,30870	0,31560	0,31250	3	
	3	0,00810	0,05120	0,13230	0,23040	0,31250	2	
	4	0,00045	0,00640	0,02835	0,07680	0,15625	1	
	5	0,00001	0,00032	0,00243	0,01024	0,03125	0	
10	0	0,34868	0,10737	0,02825	0,00605	0,00098	10	10
	1	0,38742	0,26844	0,12306	0,04031	0,00977	9	
	2	0,19371	0,30199	0,23147	0,12093	0,04395	8	
	3	0,05740	0,20133	0,26683	0,21499	0,11719	7	
	4	0,01116	0,08808	0,20012	0,25082	0,20508	6	
	5	0,00149	0,02642	0,10292	0,20066	0,24609	5	
	6	0,00014	0,00551	0,03676	0,11148	0,20508	4	
	7	0,00001	0,00079	0,00900	0,04217	0,11719	3	
	8		0,00007	0,00145	0,01062	0,04395	2	
	9			0,00014	0,00157	0,00977	1	
	10			0,00001	0,00010	0,00098	0	
15	0	0,20589	0,03518	0,00475	0,00047	0,00003	15	15
	1	0,34315	0,13194	0,03052	0,00470	0,00046	14	
	2	0,26690	0,23090	0,09156	0,02194	0,00320	13	
	3	0,12851	0,25014	0,17004	0,06339	0,01389	12	
	4	0,04284	0,18760	0,21862	0,12678	0,04166	11	
	5	0,01047	0,10318	0,20613	0,18594	0,09164	10	
	6	0,00194	0,04299	0,14724	0,20660	0,15274	9	
	7	0,00028	0,01382	0,08113	0,17708	0,19638	8	
	8	0,00003	0,00345	0,03477	0,11806	0,19638	7	
	9		0,00067	0,01159	0,06121	0,15274	6	
	10		0,00010	0,00298	0,02449	0,09164	5	
	11		0,00001	0,00058	0,00742	0,04166	4	
	12			0,00008	0,00165	0,01389	3	
	13			0,00001	0,00025	0,00320	2	
	14				0,00002	0,00046	1	
	15					0,00003	0	
		0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	k \ p	n

n	k \ p	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	k \ p	n
20	0	0,12158	0,01153	0,00080	0,00004		20	20
	1	0,27017	0,05765	0,00684	0,00049	0,00002	19	
	2	0,28518	0,13691	0,02785	0,00309	0,00018	18	
	3	0,19012	0,20536	0,07160	0,01235	0,00109	17	
	4	0,08978	0,21820	0,13402	0,03499	0,00462	16	
	5	0,03192	0,17456	0,17886	0,07465	0,01479	15	
	6	0,00887	0,10910	0,19614	0,12441	0,03696	14	
	7	0,00197	0,05455	0,16426	0,16588	0,07393	13	
	8	0,00036	0,02216	0,11440	0,17971	0,12013	12	
	9	0,00005	0,00739	0,06537	0,15974	0,16018	11	
	10	0,00001	0,00203	0,03082	0,11714	0,17620	10	
	11		0,00046	0,01201	0,07099	0,16018	9	
	12		0,00009	0,00386	0,03550	0,12013	8	
	13		0,00001	0,00102	0,01456	0,07393	7	
	14			0,00022	0,00485	0,3696	6	
	15			0,00004	0,00129	0,01479	5	
	16			0,00001	0,00027	0,00462	4	
	17				0,00004	0,00109	3	
	18					0,00018	2	
	19					0,00002	1	
	20						0	
		0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	k \ p	n

c. Repartiţia multinomială

Este o **repartiţie ce generalizează repartiţia binomială** studiind distribuţia unui vector m – dimensional (ζ_1, ζ_2, …., ζ_m).

Se utilizează în ***studiul fiabilităţii mijloacelor de măsură şi control*** (de ex: o operaţie este un ”**succes**” sau un ”**eşec**” datorită unor defecţiuni de tipuri independente unele de altele.

Funcţia de repartiţie multinomială este dată în relația (4.32):

$$F_n(x_1, x_2, \ldots, x_m) = \sum_{k_1=0}^{[x_1]} \sum_{k_2=0}^{[x_2]} \ldots \sum_{k_m=0}^{[x_m]} P_n(k_1 k_2, \ldots k_m) \qquad (4.32)$$

În care $[x_i]$ este partea întreagă a lui x_i, i=1,...,m

d. Repartiţia Poisson (repartiția evenimentelor rare)

Repartiția Poisson este o repartiţie discretă şi **modelează apariţia unor produse de calitate necorespunzătoare (defecte) în cadrul unui lot de produse de calitate superioară**.

Se foloseşte de asemenea în **modelarea controlului de recepţie a produselor şi în fiabilitate**.

Se aplică în special când ***există şansa ca un eveniment să apară de un număr mare de ori dar cu o probabilitate mică la fiecare încercare***.

Repartiţia determinată de probabilităţile :

$$P(k;\lambda) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \; ; \quad \text{unde } k = 0,1,.... \; ; \; \lambda > 0$$

se numeşte **repartiţie Poisson de parametru λ**.

Variabila aleatoare Poisson este:

$$X:\begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & \ldots\ldots & k & \ldots. \\ e^{-\lambda} & \dfrac{\lambda e^{-\lambda}}{1!} & \dfrac{\lambda^2 e^{-\lambda}}{2!} & \ldots\ldots & \dfrac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} & \ldots \end{pmatrix}$$

Funcţia de repartiţie Poisson este dată de relaţia (4.33):

$$F(x) = e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{[x]-1} \frac{\lambda^k}{k!} \qquad (4.33)$$

în care [x] este partea întreagă a lui x, $\lambda > 0$, un număr dat.

Într-un alt mod de prezentare, se consideră că **λ este densitatea de apariţie a unui eveniment în unitatea de timp** şi atunci **μ = λt este media apariţiilor în intervalul de timp t.**

Probabilitatea apariţiei de "k" ori a evenimentului respectiv (şi deci **funcţia de probabilitate**) este dată în relația (4.34):

$$P(X=k)=\frac{(\lambda t)^k}{k!}e^{-\lambda t}=\frac{\mu^k}{k!}e^{-\mu} \qquad (4.34)$$

Funcţia de repartiţie este dată în relația (4.35):

$$F(k)=P(X\le k)=e^{-\mu}\sum_{k=0}^{k}\frac{\mu_k}{k!} \qquad (4.35)$$

Valorile **funcţiilor de probabilitate şi repartiţie** sunt tabelate funcţie de k.

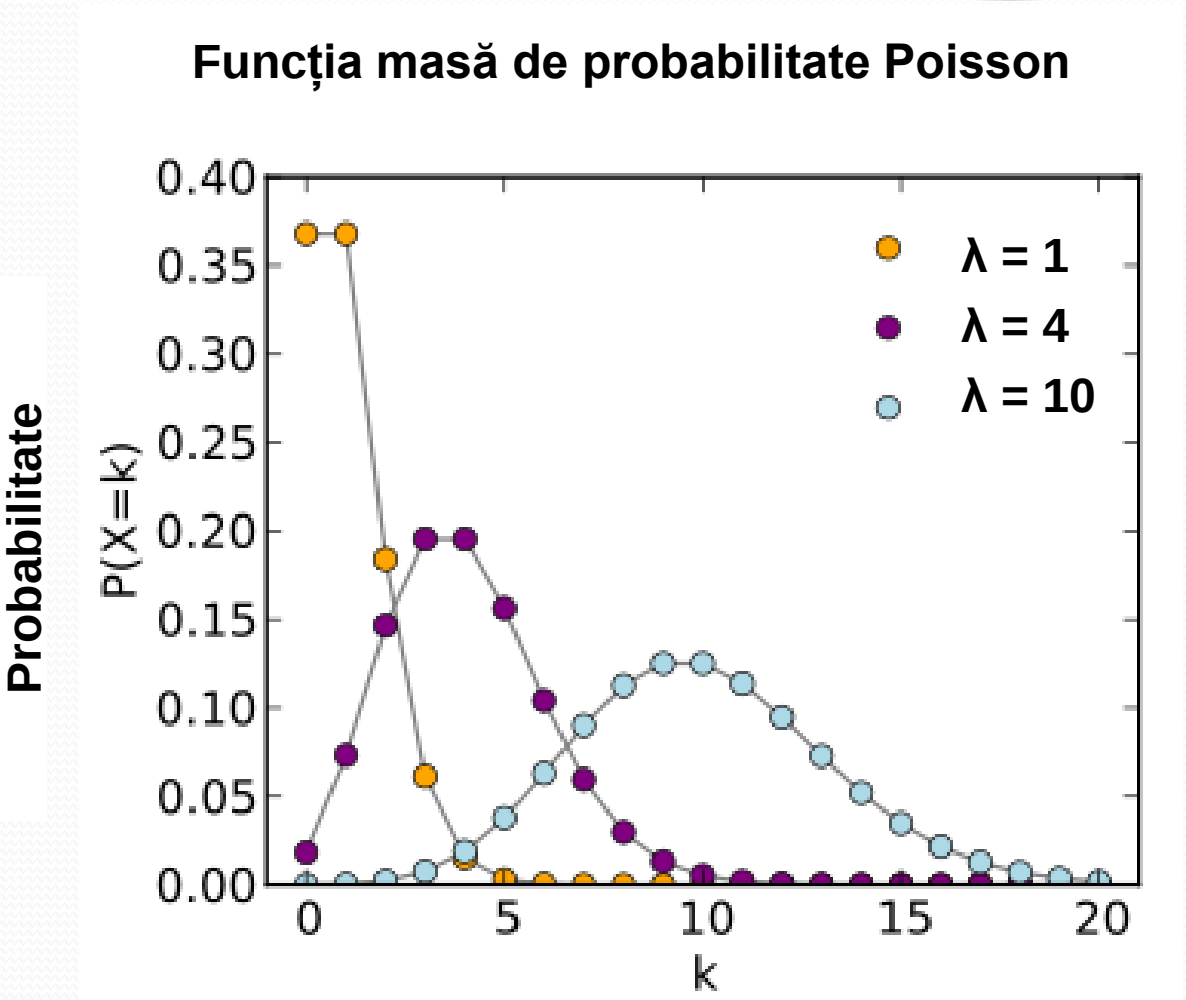


Fig. 4.11 Funcția masă de probabilitate Poisson
(liniile care unesc punctele sunt doar un ghid vizual)

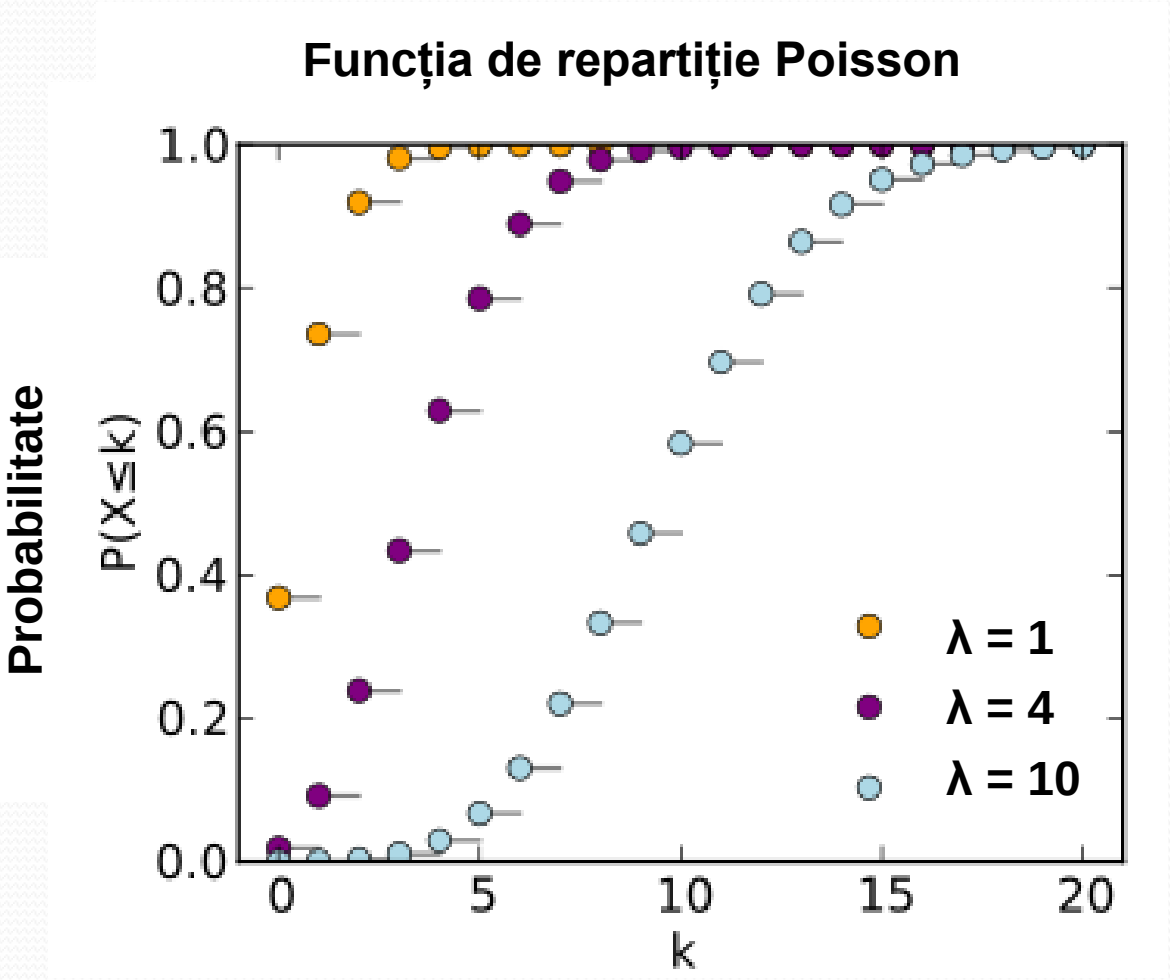


Fig. 4.12 Funcția de repartiție Poisson
(este discontinuă la valori întregi ale lui k și plată oriunde altundeva pentru că variabilele care sunt repartizate Poisson au numai valori întregi)

Funcţia de probabilitate Poisson $P(x=k)=\frac{\mu^k}{k!}e^{-\mu}$

k \ μ	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
0	0,904837	0,818731	0,740818	0,670320	0,606529	0,548812	0,496585
1	0,090484	0,163746	0,222245	0,268128	0,303265	0,329287	0,347610
2	0,004524	0,016375	0,033337	0,053626	0,075816	0,098786	0,121663
3	0,000151	0,001092	0,003334	0,007150	0,012636	0,019757	0,028388
4	0,000004	0,000055	0,000250	0,000715	0,001580	0,002964	0,004968
5		0,000002	0,000015	0,000057	0,000158	0,000356	0,000696
6			0,000001	0,000004	0,000013	0,000036	0,000081
7					0,000001	0,000003	0,000008
8							0,000001

k \ μ	0,8	0,9	1	2	3	4	5
0	0,449329	0,406750	0,367879	0,135335	0,049787	0,018316	0,006738
1	0,359463	0,365913	0,367879	0,270671	0,149361	0,073263	0,033690
2	0,143785	0,164661	0,183940	0,270671	0,224042	0,146525	0,084224
3	0,038343	0,049398	0,061313	0,180447	0,224042	0,195367	0,140374
4	0,007669	0,011115	0,015528	0,090224	0,168031	0,195367	0,175467
5	0,001227	0,002001	0,003066	0,036089	0,100819	0,156293	0,175457
6	0,000164	0,000300	0,000511	0,012030	0,050409	0,104196	0,146223
7	0,000019	0,000039	0,000073	0,003437	0,021604	0,059540	0,104445
8	0,000002	0,000004	0,000009	0,000859	0,008102	0,029770	0,065278
9			0,000001	0,000191	0,002701	0,013231	0,036266
10				0,000038	0,000810	0,005292	0,018133
11				0,000007	0,000221	0,001925	0,008242
12				0,000001	0,000055	0,000642	0,003434
13					0,000013	0,000197	0,001321
14					0,000003	0,000056	0,000472
15					0,000001	0,000015	0,000157
16						0,000004	0,000049
17						0,000001	0,000014
18							0,000004
19							0,000001

k \ μ	6	7	8	9	10	11
0	0,002479	0,000912	0,000335	0,000123	0,000045	0,000017
1	0,014873	0,006383	0,002684	0,001111	0,000454	0,000184
2	0,044618	0,022341	0,010735	0,004998	0,002270	0,001010
3	0,089235	0,052129	0,028626	0,014994	0,007567	0,003705
4	0,133853	0,091226	0,057252	0,033737	0,018917	0,010189
5	0,160628	0,127717	0,091601	0,060727	0,037833	0,022415
6	0,160623	0,149003	0,122138	0,091090	0,063055	0,041095
7	0,137677	0,149003	0,139587	0,117116	0,090079	0,064577
8	0,103258	0,130377	0,139587	0,131756	0,112599	0,088794
9	0,068838	0,101405	0,124077	0,131756	0,125110	0,108526
10	0,041303	0,070983	0,099262	0,118580	0,125110	0,119378
11	0,022529	0,045171	0,072190	0,097020	0,113736	0,119378
12	0,011264	0,026350	0,048127	0,072765	0,094780	0,109430
13	0,005199	0,014188	0,029616	0,050376	0,072908	0,092595
14	0,002228	0,007094	0,016924	0,032384	0,052077	0,072735
15	0,000891	0,003311	0,009026	0,019431	0,034718	0,053352
16	0,000334	0,001448	0,004513	0,010930	0,021699	0,036680
17	0,000118	0,000596	0,002124	0,005786	0,012764	0,023374
18	0,000039	0,000232	0,000944	0,002893	0,007091	0,014504
19	0,000012	0,000085	0,000397	0,001370	0,003732	0,008397
20	0,000004	0,000030	0,000159	0,000617	0,001866	0,004618
21	0,000001	0,000010	0,000061	0,000264	0,000889	0,002419
22		0,000003	0,000022	0,000108	0,000404	0,001210
23		0,000001	0,000008	0,000042	0,000176	0,000578
24			0,000003	0,000016	0,000073	0,000265
25			0,000001	0,000006	0,000029	0,000117
26				0,000002	0,000011	0,000049
27				0,000001	0,000004	0,000020
28					0,000001	0,000008
29					0,000001	0,000003
30						0,000001

Funcţia de repartiţie Poisson

$$P(x \le k) = F(k) = \sum_{k=0}^{k} e^{-\mu} \cdot \frac{\mu^k}{k!}$$

k	μ=0,1	μ=0,2	μ=0,3	μ=0,4	μ=0,5	μ=0,6	μ=0,7	μ=0,8	μ=0.9
0	0,9048	0,8187	0,7408	0,6703	0,6065	0,5488	0,4966	0,4493	0,4066
1	0,9953	0,9825	0,9631	0,9384	0,9098	0,8781	0,8422	0,8088	0,7725
2	0,9998	0,9988	0,9964	0,9920	0,9856	0,9769	0,9659	0,9526	0,9372
3	1	0,9999	0,9997	0,9992	0,9982	0,9966	0,9942	0,9909	0,9866
4		1	1	0,9999	0,9998	0,9996	0,9992	0,9986	0,9977
5				1	1	1	0,9999	0,9998	0,9997
6							1	1	1

k	μ=1,0	μ=1,5	μ=2,0	μ=2,5	μ=3,0	μ=3,5	μ=4,0	μ=4,5	μ=5,0
0	0,3679	0,2231	0,1353	0,0821	0,0498	0,0302	0,0183	0,0111	0,0067
1	0,7358	0,5578	0,4060	0,2873	0,1991	0,1359	0,0916	0,0611	0,0404
2	0,9197	0,0888	0,6767	0,5438	0,4232	0,3208	0,2381	0,1736	0,1247
3	0,9810	0,9344	0,8571	0,7576	0,6472	0,5366	0,4335	0,3423	0,2650
4	0,9963	0,9814	0,9473	0,8912	0,8153	0,7254	0,6288	0,5321	0,4405
5	0,9994	0,9955	0,9834	0,9579	0,9161	0,8576	0,7851	0,7029	0,6160
6	0,9999	0,9991	0,9955	0,9858	0,9665	0,9347	0,8893	0,8311	0,7622
7	1	0,9998	0,9989	0,9958	0,9881	0,9733	0,9489	0,9134	0,8666
8		1	0,9998	0,9989	0,9962	0,9901	0,9786	0,9597	0,9319
9			1	0,9997	0,9989	0,9967	0,9919	0,9829	0,9682
10				0,9999	0,9997	0,9990	0,9972	0,9933	0,9863
11				1	0,9999	0,9997	0,9991	0,9976	0,9945
12					1	0,9999	0,9997	0,9992	0,9980
13						1	0,9999	0,9997	0,9993
14							1	0,9999	0,9998
15								1	0,9999
16									1

k	μ=5,5	μ=6,0	μ=6,5	μ=7,0	μ=7,5	μ=8,0	μ=8,5	μ=9,0	μ=9,5
0	0,0041	0,0025	0,0015	0,0009	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001
1	0,0266	0,0174	0,0113	0,0073	0,0047	0,0030	0,0019	0,0012	0,0008
2	0,0884	0,0620	0,0430	0,0296	0,0293	0,0138	0,0093	0,0062	0,0042
3	0,2017	0,1512	0,1118	0,0818	0,0591	0,0424	0,0301	0,0212	0,0149
4	0,3575	0,2851	0,2237	0,1730	0,1321	0,0966	0,0746	0,0550	0,0403
5	0,5289	0,4457	0,3690	0,3007	0,2414	0,1912	0,1496	0,1157	0,0885
6	0,6860	0,6063	0,5265	0,4497	0,3782	0,3134	0,2562	0,2068	0,1649
7	0,8005	0,7440	0,6728	0,5987	0,5246	0,4530	0,3856	0,3239	0,2687
8	0,9044	0,8172	0,7916	0,7291	0,6620	0,5925	0,5231	0,4557	0,3918
9	0,9462	0,9161	0,9774	0,8305	0,7764	0,7166	0,6530	0,5874	0,5218
10	0,9747	0,9574	0,9332	0,9015	0,8622	0,8159	0,7634	0,7006	0,6453
11	0,9890	0,9799	0,9661	0,9466	0,9208	0,8881	0,8487	0,8030	0,7520
12	0,9955	0,9912	0,9840	0,9730	0,9573	0,9362	0,9091	0,8758	0,8364
13	0,9983	0,9964	0,9929	0,9872	0,9784	0,9658	0,9486	0,9261	0,8981
14	0,9994	0,9986	0,9970	0,9943	0,9897	0,9827	0,9726	0,9585	0,9400
15	0,9998	0,9995	0,9988	0,9976	0,9954	0,9918	0,9862	0,9780	0,9665
16	0,9999	0,9998	0,9996	0,9990	0,9980	0,9963	0,9934	0,9889	0,9823
17	1	1	0,9998	0,9996	0,9992	0,9984	0,9970	0,9947	0,9911
18			1	0,9999	0,9997	0,9993	0,9987	0,9976	0,9957
19				1	0,9999	0,9997	0,9995	0,9989	0,9980
20					1	0,9999	0,9998	0,9996	0,9991
21						1	0,9999	0,99998	0,9996
22							1	0,9999	0,9998
23								1	0,9999
24									1

E. Repartiţia hipergeometrică

- Este o **repartiţie discretă similară cu cea binomială** cu ***deosebirea că elementul extras din lot nu se mai reîntoarce***.

- De aceea extragerea se mai numeşte ***”fără întoarcere”.***

- Acest model **se recomandă la analiza calităţii controlului de recepţie atunci când decizia de acceptare sau respingere se ia pe baza numărului de produse defecte din eşantion** (fiind îndeplinite şi condiţiile privind volumul eşantionului precum şi proporţia acestor doi indicatori).

- **Funcţia de repartiţie hipergeometrică** este dată în relația (4.33):

$$F(x) = P(X < x) = \sum_{k=0}^{n} P_n(k, a, b) \qquad (4.33)$$

unde: $P_n(k,a,b) = \dfrac{C_a^k C_b^{n-k}}{C_{a+b}^n}$

Pentru n, a, b $\in$ N; n < (a + b); k astfel încât max (0 , n-b) ≤ k ≤ min (n , a)

a – numărul de piese bune
b – numărul de piese defecte
n – numărul de extrageri

C_a^k - nr. grupelor care au k piese bune

C_b^{n-k} - nr. grupelor care au $n-k$ piese bune

- media

$$\mu = M[X] = \frac{na}{a+b}$$

- dispersia

$$\sigma^2 = D[X] = \frac{nab(a+b-n)}{(a+b)^2(a+b-1)}$$

Se consideră un lot finit de produse , de volum “N”, şi un eşantion de volum “n” având proporţia de defective “p”. Se folosesc notaţiile din tabelul 4.2.

Tab. 4.2 Simboluri utilizate la repartiţia hipergeometrică

Indicator	**Lot**	**Eşantion**
Numărul produselor	N	n
Numărul de produse bune	G	G
Numărul de rebuturi	D	d
Proporţia defectivă	P	p
Proporţia de produse corespunzătoare	Q	q

Între aceşti indicatori există relaţiile:

$N = D + G$

$1 = P + Q$

$D = NP$

$G = NQ$

$P = D/N$

$Q = G/N$

Probabilitatea ca **eşantionul** să conţină “d” rebuturi şi “g” produse corespunzătoare este:

$$P(d,n;D,N) = \frac{C_D^d C_G^g}{C_N^n}$$

4.5.1 Repartiţii continue

a. Repartiția uniformă

Repartiția uniformă este o **repartiţie continuă** caracterizată prin faptul că **variabila aleatoare are toate valorile echiprobabile pe un interval [a,b].**

Densitatea de probabilitate a variabilei aleatoare repartizată uniform este dată în relația (4.34):

$$f(x)=\begin{cases}\dfrac{1}{b-a} & \text{, pentru } x\in[a,b]\\ 0 & \text{, pentru } x\notin[a,b]\end{cases} \qquad (4.34)$$

Funcţia de repartiţie uniformă este dată în relația (4.35): :

$$F(x)=\begin{cases}0 & \text{, pentru } x\le a\\ \dfrac{x-a}{b-a} & \text{, pentru } a<x\le b\\ 1 & \text{, pentru } x>b\end{cases} \qquad (4.35)$$

- valoarea medie

$$M[X] = \int_a^b x\, f(x)\, dx = \int_a^b \frac{x\, dx}{b-a} = \frac{a+b}{2}$$

- momente

$$m_1' = M[x] = \frac{a+b}{2}$$

$$m_2' = \int_a^b x^2 f(x)\, dx = \int_a^b \frac{x^2 dx}{b-a} = \frac{a^2+ab+b^2}{3}$$

- dispersia

$$D[X] = m_2' - m_1'^2 = \frac{a^2+ab+b^2}{3} - \left(\frac{a+b}{2}\right)^2 = \frac{(a-b)^2}{12}$$

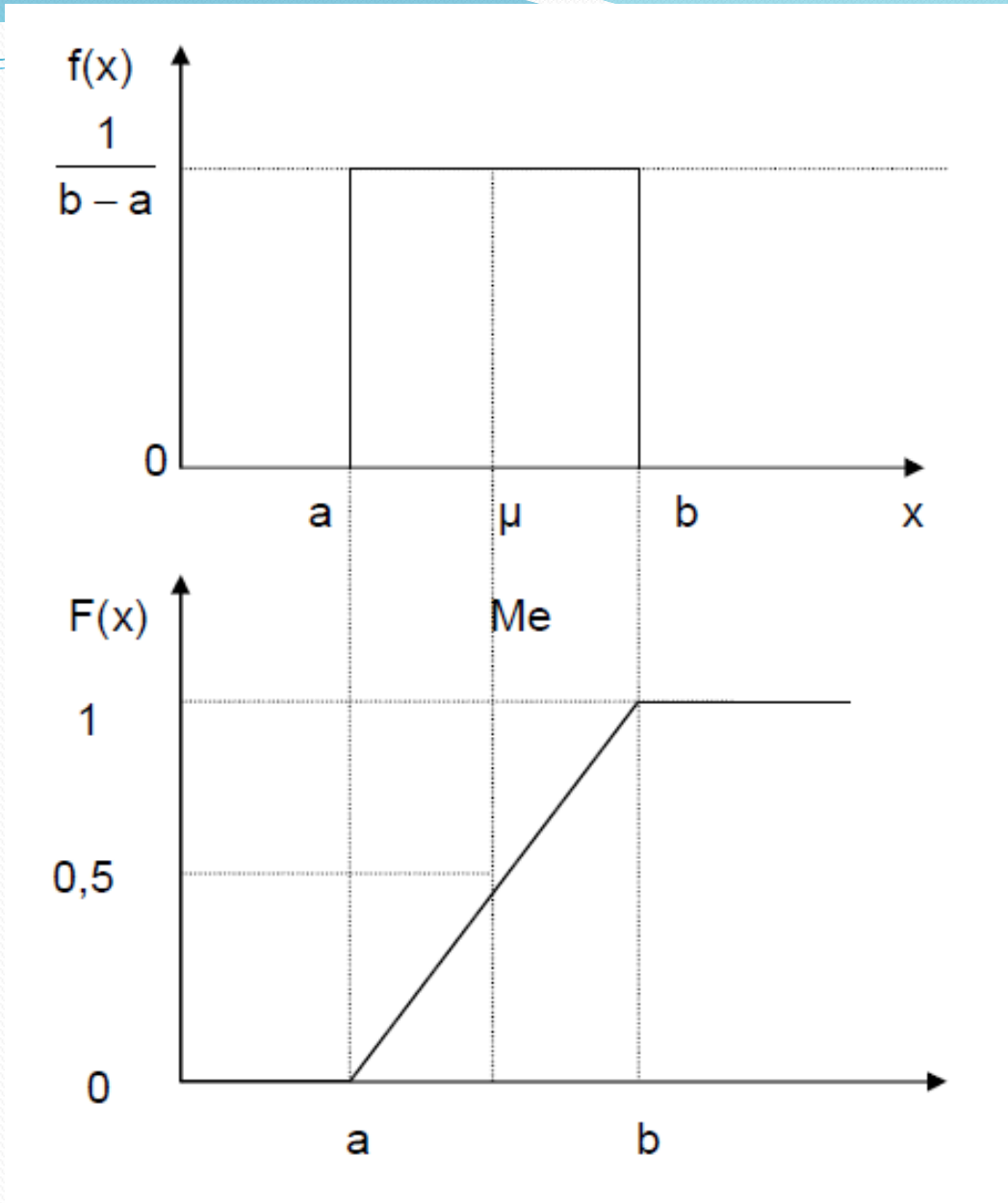


Fig. 4.8 Graficele f(x) şi F(x) pentru repartiţia uniformă

b. Repartiția exponențială

Repartiția exponențială este o repartiţie **continuă** care **se foloseşte în studiul fiabilităţii, în cazul ratei de defectare constante**.

Se aplică atunci când **probabilitatea de apariţie a evenimentelor este mai mare sub medie decât peste medie**.

Densitatea de probabilitate a variabilei aleatoare repartizată exponenţial este dată în relația (4.36):

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & , \text{pentru } x \in (0, +\infty) \\ 0 & , \text{pentru } x \in (-\infty, 0] \end{cases} \qquad (4.36)$$

Funcţia de repartiţie exponențială este dată în relația (4.37):

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x} & , \text{pentru } x \in (0, +\infty) \\ 0 & , \text{pentru } x \in (-\infty, 0] \end{cases} \qquad (4.37)$$

- valoarea medie

$$M[x] = \int_0^{\infty} x f(x) dx = \int_0^{\infty} \lambda x e^{-\lambda x} dx = \frac{1}{\lambda}$$

- momente

$$m_1' = \frac{1}{\lambda}$$

$$m_2' = \int_0^{\infty} x^2 \lambda e^{-\lambda x} = \frac{2}{\lambda^2}$$

- dispersia

$$D[X] = m_2' - m_1'^2 = \frac{2}{\lambda^2} - \frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{\lambda^2}$$

- abaterea standard

$$\sqrt{D[X]} = \frac{1}{\lambda}$$

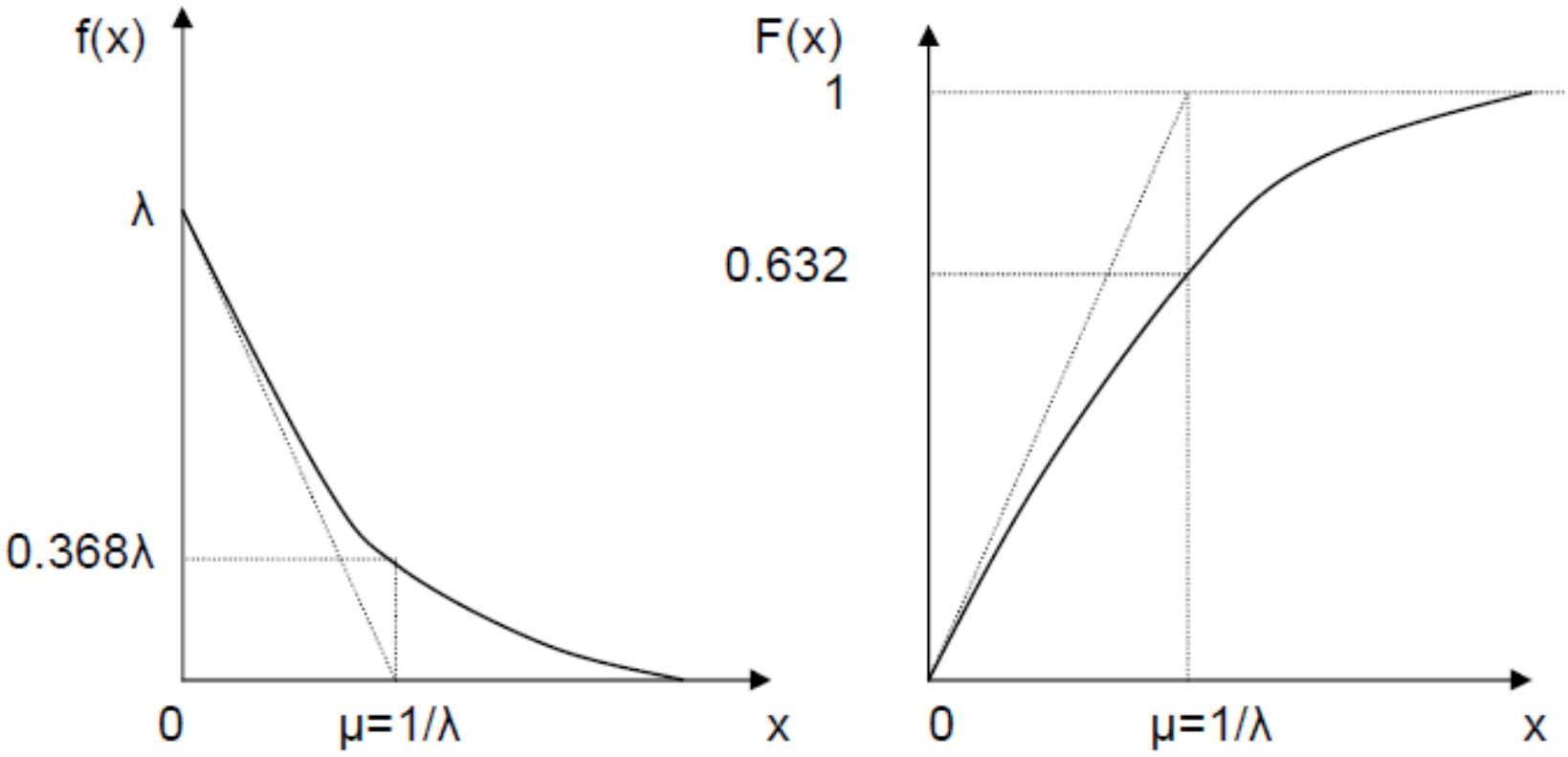


Fig. 4.9 Graficele f(x) şi F(x) pentru repartiţia exponențială

c. Repartiția normală (Gauss-Laplace)

- **Repartiția normală** este o **repartiţie continuă** cu o largă aplicabilitate atunci când **observaţiile se concentrează în jurul mediei, probabilitatea ca acestea să fie sub medie este aceeaşi ca ele să se afle peste medie**.

- **Variabilitatea** este dată de un **număr mare de factori întâmplători**.

- Abraham de Moivre menţionează în 1773 pentru prima oară distribuţia normală, ulterior prin lucrările lui Laplace din 1774 şi în special Gauss în 1809 şi 1816 ea devine o **distribuţie de bază în statistică**.

- Densitatea de probabilitate a variabilei aleatoare distribuită normal este dată în relația (4.38): :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \qquad (4.38)$$

Particularităţi ale curbei densitate de probabilitate:

- ✓ admite un maxim pentru x = μ (punct de extrem):

$$f'(x) = 0 \Rightarrow x - \mu = 0 \Rightarrow x = \mu \; ; \; f_{max}(x - \mu) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

- ✓ este simetrică în raport cu dreapta x = μ
- ✓ are o formă de clopot cu convexitatea în sus.
- ✓ în punctele μ - σ şi μ + σ îşi modifică convexitatea (puncte de inflexiune):

$$f''(x) = 0 \Rightarrow \left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)^2 = 1 \Rightarrow x = \mu \pm \sigma$$

✓ modificarea parametrului μ translatează curba de-alungul axei OX (Fig. 4.10 a.)

✓ modificarea parametrului σ determină modificarea alurii curbei (Fig. 4.10 b.)

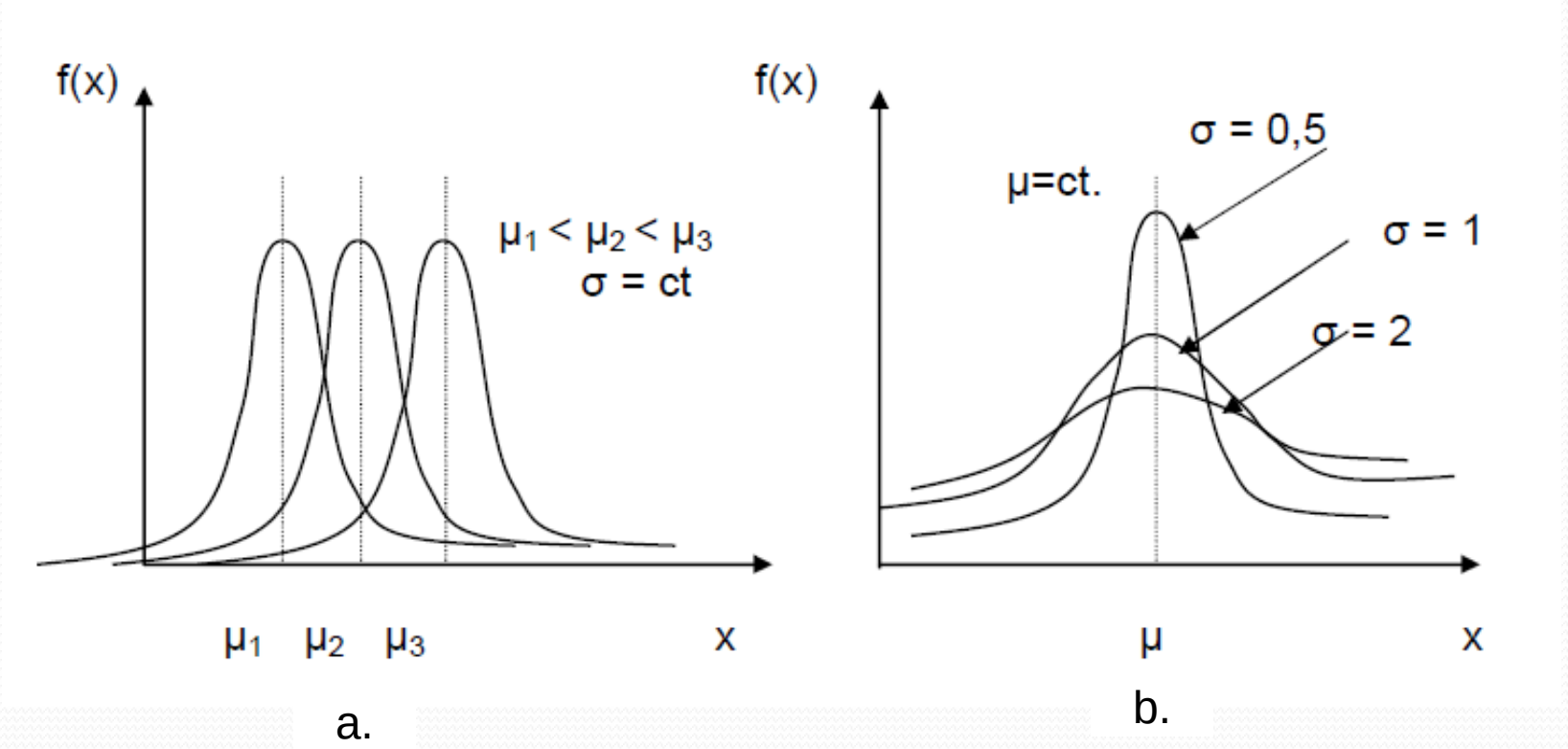


Fig. 4.10 Densitatea de probabilitate a variabilei aleatoare distribuită normal
a. diferite valori medii şi dispersie constantă
b. diferite dispersii și valoare medie constantă

Funcţia de repartiţie normală este dată în relația (4.39):

$$F(x) = P(X < x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \qquad (4.39)$$

- *valoare medie*: $M[X] = \mu$

- *dispersia:* σ^2

- *momente*: de ordin impar: $\mu_{2k+1} = 0$

de ordin par: $\mu_{2k} = (2k+1)\mu_{2k-2} \rightarrow (\mu_2=\sigma^2 \ ; \ \mu_4=3\sigma^2 \ ; \ \mu_6=\sigma^{4)}$

- *asimetria*: $\beta 1=0$

- *excesul:* $E=0$

Curbele densităţii de probabilitate şi de repartiţie se pot centra efectuând schimbarea de variabilă :

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Dacă $\mu = 0$ şi $\sigma = 1$ se obţine **densitatea de probabilitate normală normată (redusă)** din relația (4.40).

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \qquad (4.40)$$

Funcţia de **repartiţie normală normată (Laplace)** este dată în relația (4.41):

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \qquad (4.41)$$

Densitatea de probabilitate a repartiţiei normale normate este dată în Tab. 4.3 (extras) iar funcţia de repartiţie normală normată este dată în Tab. 4.4 (extras).

Tab. 4.3 Densitatea de probabilitate a repartiţiei normale normate (extras)

z	0,00	0,01	0.02	….	0,08	0,09
0,0	0,3989	0,3989	0,3989	….	0,3977	0,3973
0,1	0,3970	0,3965	0,3961	….	0,3925	0,3918
0,2	0,3910	0,3902	0,3894	….	0,3836	0,3825
.	….	….	….	….	….	….
2	0,0510	0,0529	0,0519	….	0,0459	0,0449
.	.	.	.	.		.
3,8	0,0003	0,0003	0,0003	….	0,0002	0,0002
3,9	0.0002	0,0002	0,0002	….	0,0001	0,0001

Tab. 4.4 Funcţia de repartiţie normală normată (extras)

z	0,00	0,01	0.02	….	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	….	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5478	0,5478	….	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5871	0,5871	….	0,6103	0,6141
.	….	….	….	….	….	….
2	0,9772	0,9783	0,9783	….	0,9812	0,9817
.	.	.	.	.		.
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	….	0,9996	0,9997
3,4	0.9997	0,9997	0,9997	….	0,9997	0,9998

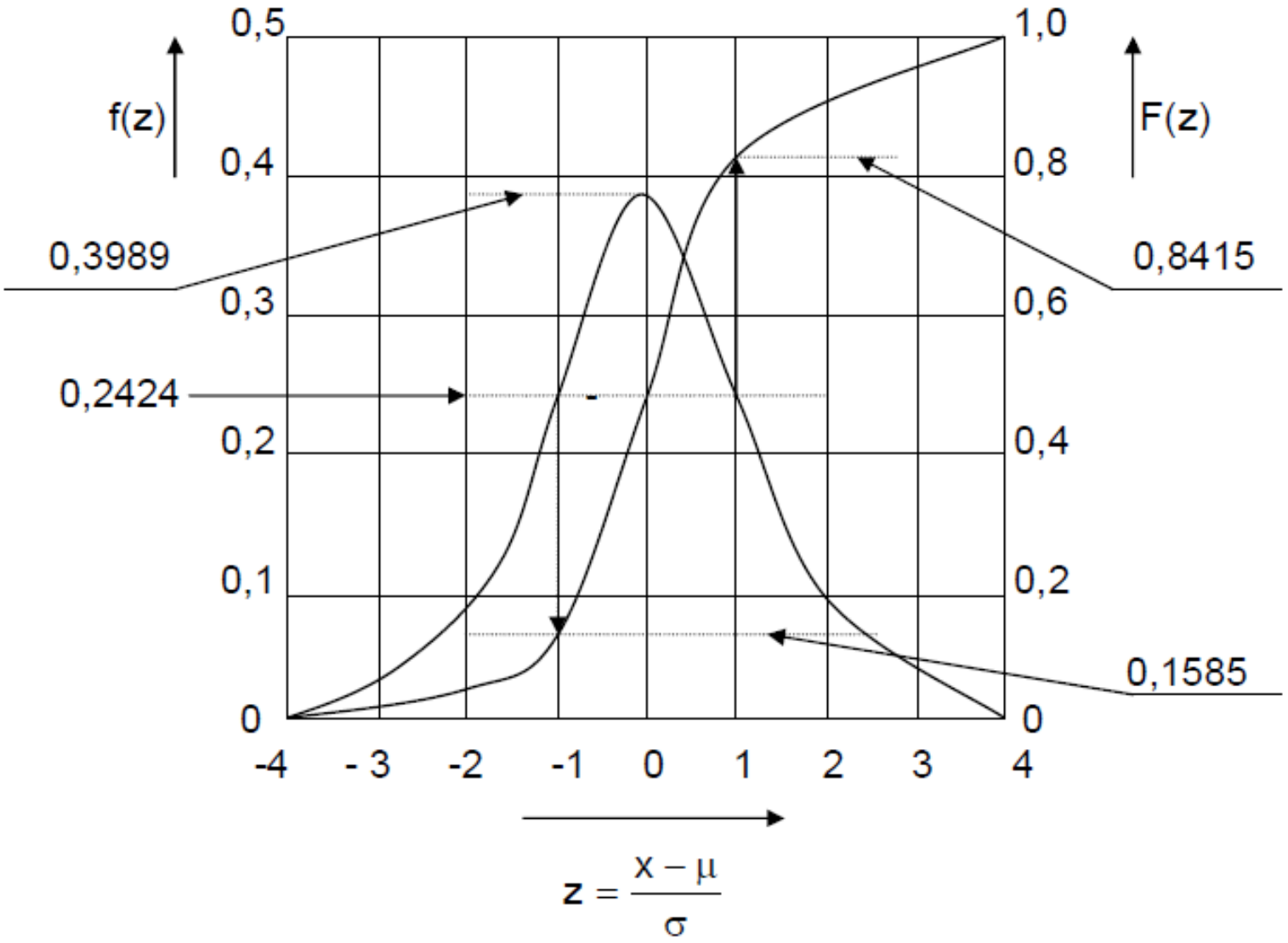


Fig. 4.11 Graficele densităţii de probabilitate şi funcţiei de repartiţie Laplace

Datorită simetriei lui F(z) în raport cu originea se poate face notația din relația (4.42):

$$F(z) = \int_{-\infty}^{z} f(z)dz = \int_{-\infty}^{0} f(z)dz + \int_{0}^{z} f(z)dz = \frac{1}{2} + \Phi(z) \qquad (4.42)$$

Din punct de vedere grafic, **normarea reprezintă o translaţie realizată de ecuaţiile:**

$$z = z \text{ şi } \Phi(z) = F(z) - 1/2$$

Integrala **Φ(z) se numeşte funcţia integrală Laplace**, relaţiile de legătură cu F(z) fiind prezentate în tabelul 4.5.

Tab. 4.5 Relaţii între funcţiile Φ(z) şi F(z)

z	**Φ(z)**	**F(z)**
-∞	-1/2	0
-z	- Φ(z) = 1/2 - F(z)	1 - F(z) = 1/2 - Φ(z)
0	0	1/2
z	Φ(z) = F(z) - 1/2	- 1/2 + Φ(z)
+∞	1/2	1

Funcţia intergrală Laplace este de asemenea simetrică în raport cu originea $\Phi(-z) = -\Phi(z)$, deci este suficient să se cunoască valorile lui $\Phi(z)$ pentru $z > 0$. Aceste valori sunt de asemenea tabelate.

Probabilitatea ca o variabilă aleatoare normală $N(\mu,\sigma)$ să aparţină unui interval oarecare (x_1,x_2) este dată în relația (4.43):

$$P(x_1 < X < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx = F(x_2) - F(x_1) \qquad (4.43)$$

Efectuând normarea $z_1 = (x_1 - \mu)/\sigma$ şi $z_2 = (x_2 - \mu)/\sigma$ rezultă:

$$P(x_1 < X < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx = \int_{z_1}^{z_2} f(z)dz = F(z_2) - F(z_1) \qquad (4.44)$$

În cazul general:

$$P(X < x) = \frac{1}{2} + \Phi(z) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$$

$$P(X > x) = \frac{1}{2} - \Phi(z) = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$$

$$P(X < x_1 \; ; X > x_2) = 1 - \left[\Phi(x_2) - \Phi(x_1)\right] = 1 - \left[\Phi\left(\frac{x_2-\mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{x_1-\mu}{\sigma}\right)\right]$$

$$P(X < +\infty \; ; X > -\infty) = 1$$

Prin folosirea unei **fişe cu gradaţie specială** se poate obţine **liniarizarea graficului funcţiei de repartiţie** (dreapta lui Henry).

Liniarizarea se bazează pe anamorfozarea curbei sigmoide (sau în ogivă) a funcţiei de repartiţie normale normate într-o dreaptă.

Densitatea de probabilitate a repartiţiei normale normate N(0,1)

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,3989	0,3989	0,3989	0,3988	0,3986	0,3984	0,3982	0,3980	0,3977	0,3973
0,1	0,3970	0,3965	0,3961	0,3956	0,3951	0,3945	0,3939	0,3932	0,3925	0,3918
0,2	0,3910	0,3902	0,3894	0,3885	0,3876	0,3867	0,3857	0,3847	0,3836	0,3825
0,3	0,3814	0,3802	0,3790	0,3778	0,3765	0,3739	0,3739	0,3725	0,3712	0,3697
0,4	0,3683	0,3668	0,3653	0,3637	0,3621	0,3589	0,3589	0,3572	0,3555	0,3538
0,5	0,3521	0,3503	0,3185	0,3167	0,3448	0,3429	0,3110	0,3391	0,3372	0,0052
0,6	0,3332	0,3312	0,3292	0,3271	0,3251	0,3230	0,3209	0,3187	0,3166	0,3144
0,7	0,3123	0,3101	0,3079	0,3056	0,3031	0,3011	0,2989	0,2966	0,2943	0,2920
0,8	0,2897	0,2874	0,2850	0,2827	0,2803	0,2780	0,2756	0,2732	0,2709	0,2685
0,9	0,2661	0,2637	0,2613	0,2589	0,2565	0,2541	0,2516	0,2492	0,2468	0,2444
1,0	0,2120	0,2396	0,2371	0,2347	0,2323	0,2299	0,2275	0,2251	0,2227	0,2203
1,1	0,2179	0,2155	0,2131	0,2107	0,2083	0,2059	0,2036	0,2012	0,1989	0,1965
1,2	0,1942	0,1919	0,1895	0,1872	0,1849	0,1826	0,1804	0,1781	0,1758	0,1736
1,3	0,1714	0,1691	0,1669	0,1647	0,1626	0,1604	0,1582	0,1561	0,1539	0,1518
1,4	0,1497	0,1476	0,1456	0,1435	0,1415	0,1394	0,1374	0,1354	0,1334	0,1315
1,5	0,1295	0,1276	0,1257	0,1238	0,1219	0,1200	0,1182	0,1163	0,1145	0,1127
1,6	0,1109	0,7092	0,1074	0,1057	0,1010	0,1023	0,1006	0,0989	0,0973	0,0957
1,7	0,0940	0,0925	0,0909	0,0893	0,0878	0,0863	0,0848	0,0833	0,0818	0,0804
1,8	0,0790	0,0775	0,0761	0,0748	0,0731	0,0721	0,0707	0,0694	0,0681	0,0669
1,9	0,0656	0,0644	0,0632	0,0620	0,0608	0,0596	0,0584	0,0573	0,0562	0,0551

z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2,0	0,0510	0,0529	0,0519	0,0508	0,0498	0,0488	0,0478	0,0468	0,0459	0,0449
2,1	0,0440	0,0131	0,0122	0,0113	0,0404	0,0396	0,0387	0,0379	0,0371	0,0363
2,2	0,0355	0,0317	0,0339	0,0332	0,0325	0,0317	0,0310	0,0303	0,0297	0,0290
2,3	0,0283	0,0277	0,0270	0,0264	0,0258	0,0252	0,0246	0,0241	0,0235	0,0229
2,4	0,0221	0,0219	0,0213	0,0208	0,0203	0,0198	0,0194	0,0189	0,0184	0,0180
2,5	0,0175	0,0171	0,0167	0,0163	0,0158	0,0154	0,0151	0,0147	0,0143	0,0139
2,6	0,0136	0,0132	0,0129	0,0126	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110	0,0107
2,7	0,0101	0,0101	0,0099	0,0096	0,0093	0,0097	0,0088	0,0086	0,0094	0,0081
2,8	0,0079	0,0077	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0067	0,0065	0,0063	0,0061
2,9	0,0060	0,0058	0,0056	0,0055	0,0053	0,0051	0,0050	0,0048	0,0047	0,0046
3,0	0,0044	0,0043	0,0042	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036	0,0035	0,0034
3,1	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026	0,0025	0,0025
3,2	0,0024	0,0023	0,0022	0,0022	0,0021	0,0020	0,0020	0,0019	0,0018	0,0018
3,3	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014	0,0013	0,0013
3,4	0,0012	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010	0,0010	0,0009	0,0009
3,5	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006
3,6	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004
3,7	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
3,8	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
3,9	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001

Funcţia de repartiţie normală normată (Laplace) N(0,1)

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7459
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9155	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9744	0,9756	0,9761	0,9767

z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9783	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359
0,1	0,0398	0,0438	0,0478	0,0517	0,0557	0,0596	0,0636	0,0675	0,0714	0,0753
0,2	0,0793	0,0832	0,0871	0,0910	0,0948	0,0987	0,1026	0,1064	0,1103	0,1141
0,3	0,1179	0,1217	0,1255	0,1293	0,1331	0,1368	0,1406	0,1443	0,1480	0,1517
0,4	0,1554	0,1591	0,1628	0,1664	0,1700	0,1736	0,1772	0,1808	0,1844	0,1879
0,5	0,1915	0,1950	0,1985	0,2019	0,2054	0,2088	0,2123	0,2157	0,2190	0,2224
0,6	0,2257	0,2291	0,2324	0,2357	0,2389	0,2422	0,2454	0,2486	0,2517	0,2549
0,7	0,2580	0,2611	0,2642	0,2673	0,2704	0,2734	0,2764	0,2794	0,2823	0,2852
0,8	0,2881	0,2910	0,2939	0,2967	0,2995	0,3023	0,3051	0,3078	0,3106	0,3133
0,9	0,3159	0,3186	0,3212	0,3238	0,3264	0,3289	0,3315	0,3340	0,3365	0,3389
1,0	0,3413	0,3438	0,3461	0,3485	0,3508	0,3531	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621
1,1	0,3643	0,3665	0,3686	0,3708	0,3729	0,3749	0,3770	0,3790	0,3810	0,3830
1,2	0,3849	0,3869	0,3888	0,3907	0,3925	0,3944	0,3962	0,3980	0,3997	0,4015
1,3	0,4032	0,4049	0,4066	0,4082	0,4099	0,4115	0,4131	0,4147	0,4162	0,4177
1,4	0,4192	0,4207	0,4222	0,4236	0,4251	0,4265	0,4279	0,4292	0,4306	0,4319
1,5	0,4332	0,4345	0,4357	0,4370	0,4382	0,4394	0,4406	0,4418	0,4429	0,4441
1,6	0,4452	0,4463	0,4474	0,4484	0,4495	0,4505	0,4515	0,4525	0,4535	0,4545
1,7	0,4554	0,4564	0,4573	0,4582	0,4591	0,4599	0,4608	0,4616	0,4625	0,4633
1,8	0,4641	0,4649	0,4656	0,4664	0,4671	0,4678	0,4686	0,4693	0,4699	0,4706
1,9	0,4713	0,4719	0,4726	0,4732	0,4738	0,4744	0,4750	0,4756	0,4761	0,4767
2,0	0,4772	0,4778	0,4783	0,4788	0,4793	0,4798	0,4803	0,4808	0,4812	0,4817
2,1	0,4821	0,4826	0,4830	0,4834	0,4838	0,4842	0,4846	0,4850	0,4854	0,4857
2,2	0,4861	0,4864	0,4868	0,4871	0,4875	0,4878	0,4881	0,4884	0,4887	0,4890
2,3	0,4893	0,4896	0,4898	0,4901	0,4904	0,4906	0,4909	0,4911	0,4913	0,4916
2,4	0,4918	0,4920	0,4922	0,4925	0,4927	0,4929	0,4931	0,4932	0,4934	0,4936
2,5	0,4938	0,4940	0,4941	0,4943	0,4945	0,4946	0,4948	0,4949	0,4951	0,4952
2,6	0,4953	0,4955	0,4956	0,4957	0,4959	0,4960	0,4961	0,4962	0,4963	0,4964
2,7	0,4965	0,4966	0,4967	0,4968	0,4969	0,4970	0,4971	0,4972	0,4973	0,4974
2,8	0,4974	0,4975	0,4976	0,4977	0,4977	0,4978	0,4979	0,4979	0,4980	0,4981
2,9	0,4981	0,4982	0,4982	0,4983	0,4984	0,4984	0,4985	0,4985	0,4986	0,4986
3,0	0,4987	0,4987	0,4987	0,4988	0,4988	0,4989	0,4989	0,4989	0,4990	0,4990

d. Repartiția lognormală (legea lui Galton)

Repartiția lognormală este o **repartiţie continuă** utilizată cu precădere în **studiul fiabilităţii**, ***modelând distribuţia unor defecte specifice reparării utilajelor***.

Densitatea de probabilitate a unei variabile aleatoare repartizată lognormal este dată în relația (4.45):

$$f(x) = \left(\frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}}\right) e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - a}{\sigma}\right)^2} \qquad (4.45)$$

unde: $a = \frac{\sum_{i=1}^{n} \ln x_i}{n}$; $\sigma^2 = D[\ln x]$

- *valoarea medie:* $M[X] = \exp\left(a + \frac{\sigma^2}{2}\right)$

- *dispersia:* $D[X] = \exp\left[2a + \sigma^2\left(1 - e^{\sigma^2}\right)\right]$

Atunci când $a >> \sigma$, **repartiţia lognormală tinde spre repartiţia normală**.

e. Repartiţia "χ^2" (Helmert-Pearson)

Repartiţia "χ^2" este o **repartiţie continuă auxiliară** folosită în special la **testarea ipotezelor statistice** (pentru minim 50 de observaţii), precum şi la **simularea distribuţiilor cu abateri de la normalitate**.

Include ca şi cazuri particulare **repartiţia exponenţială** (pentru $\nu = 2$), respectiv se poate aproxima cu **repartiţia normală** (pentru $\nu > 30$).

Funcţia densitate de probabilitate a repartiţiei Helmert-Pearson dată în relația (4.46):

$$f(x) = \begin{cases} \dfrac{1}{2^{\nu/2}\Gamma(\nu/2)} x^{\left(\frac{\nu}{2}-1\right)} e^{-\frac{x}{2}} & , \text{pentru } x \geq 0 \\ 0 & , \text{pentru } x < 0 \end{cases} \qquad (4.46)$$

Unde:

- $\nu = n - 1$ este numărul gradelor de libertate (n – numărul de variabile independente).
- Γ este integrala Euler de speţa II: $\Gamma(p) = \int_0^{\infty} x^{p-1} e^{-x} dx$

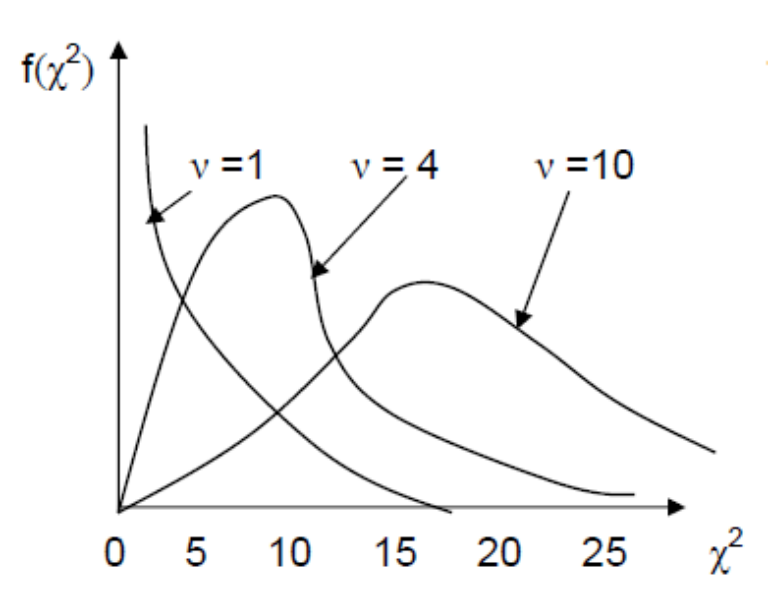


Fig. 4.12 Densitatea de probabilitate a repartiției χ^2

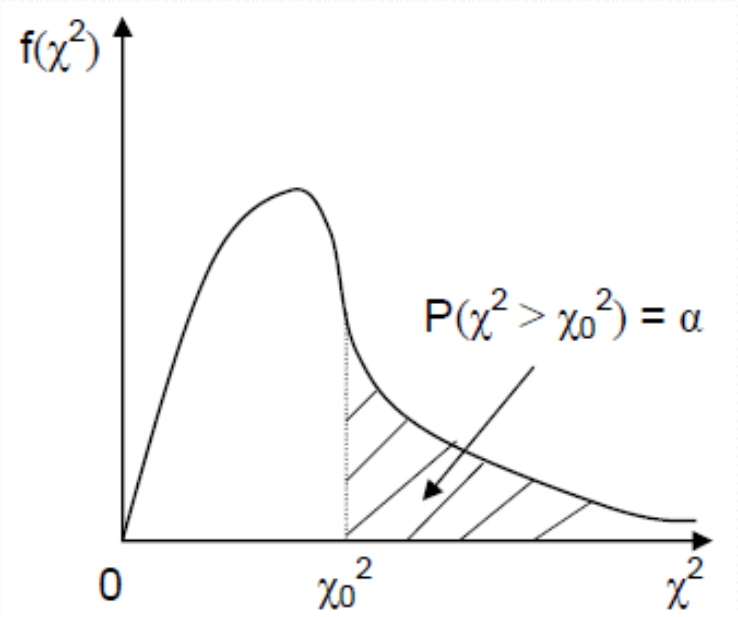


Fig. 4.13 Reprezentarea geometrică a $P(\chi^2 > \chi_0^2) = \alpha$

- dacă z_i $i = 1,...,\nu$ sunt variabile independente repartizate normal N(0,1) atunci:

variabila $\chi^2 = \sum_{i=1}^{n} z_i^2$ este repartizata χ^2 cu ν grade de libertate.

- două variabile aleatoare χ_1^2 şi χ_2^2 repartizate χ^2, atunci şi suma lor $\chi_1^2 + \chi_2^2$ este repartizată χ^2 cu $\nu = \nu_1 + \nu_2 = n_1 + n_2 - 2$ grade de libertate.

- *valoarea medie:* $M[X] = \nu$

- *dispersia*: $D[X]=2\nu$

- *momente*: $m_2'=2\nu$; $m_3'=8\nu$; $m_4' = 12\nu(\nu + 4)$

- *asimetria :* $\beta_1 = \frac{2\sqrt{2}}{\nu}$

- *coeficientul de boltire :* $\beta_2 = 3\left(1+\frac{4}{\nu}\right)$

- *excesul :* $E = \beta_2 - 3 = \frac{12}{\nu}$

- În practică se determină limita χ_0^2 pentru care se cunoaşte fie probabilitatea $P = 1 - \alpha$ astfel încât $P(\chi^2 < \chi_0^2) = 1 - \alpha$ fie probabilitatea α astfel încât $P(\chi^2 > \chi_0^2) = \alpha$.

- Aceste valori sunt date funcţie de ν şi α în tabelul 4.6 (extras)

Tab. 4.6 Valorile variabilei $\chi^2_{\nu,\alpha}$ cu v grade de libertate având probabilitatea α de a fi depăşită. $P(\chi^2 > \chi^2_{\nu,\alpha} = \chi_0^2)$ (extras)

v \ α	**0,995**	**0,990**	**0,980**	**….**	**0,100**	**0,005**
2	0,0100	0,0201	0,0404	….	4,605	5,991
3	0,0717	0,1150	0,1850	….	6,251	7,815
.						
.						
20	7,431	8,260	9,237	….	28,412	31,419
.						
.						
30	13,787	14,953	16,306	….	40,256	43,773

Repartiţia χ^2 $P\left(\chi^2 > \chi^2_{\nu,\alpha}\right) = \alpha$

ν \ α	0,995	0,99	0,98	0,975	0,95	0,90	0,80	0,75
1	$0,0^4 39$	$0,0^3 157$	$0,0^3 628$	$0,0^3 982$	0,003	0,0158	0,0642	0,102
2	0,0100	0,0201	0,0404	0,0506	0,103	0,211	0,446	0,575
3	0,0717	0,115	0,185	0,216	0,352	0,584	1,005	1,213
4	0,207	0,297	0,429	0,484	0,711	1,064	1,649	1,923
5	0,412	0,554	0,752	0,831	1,145	1,610	2,343	2,675
6	0,676	0,872	1,134	1,237	1,635	2,204	3,070	3,455
7	0,989	1,239	1,564	1,690	2,167	2,833	3,822	4,255
8	1,344	1,646	2,032	2,180	2,733	3,490	4,594	5,071
9	1,735	2,088	2,532	2,700	3,325	4,168	4,380	5,899
10	2,156	2,558	3,059	3,247	3,940	4,865	6,179	6,737
11	2,603	3,053	3,609	3,816	4,575	5,578	6,989	7,584
12	3,074	3,571	4,178	4,404	5,226	6,304	7,807	8,438
13	3,565	4,107	4,765	5,009	5,892	7,042	8,634	9,299
14	4,075	4,660	5,368	5,629	6,571	7,790	9,467	10,165
15	4,601	5,229	5,985	6,262	7,261	8,547	10,307	11,036
16	5,142	5,812	6,614	6,908	7,962	9,312	11,152	11,912
17	5,697	6,408	7,255	7,564	8,672	10,085	12,002	12,792
18	6,265	7,015	7,906	8,231	9,390	10,865	12,857	13,675
19	6,844	7,633	8,567	8,907	10,117	11,651	13,716	14,562
20	7,434	8,260	9,237	9,591	10,851	12,443	14,578	15,452
21	8,034	8,897	9,915	10,283	11,591	13,240	15,445	16,344
22	8,643	9,542	10,600	10,982	12,338	14,041	16,314	17,240
23	9,620	10,196	11,293	11,688	13,091	14,848	17,187	18,137
24	9,886	10,856	11,992	12,401	13,848	15,659	18,062	19,037
25	10,520	11,524	12,697	13,120	14,611	16,473	18,940	19,039
26	11,160	12,198	13,409	13,844	15,379	17,292	19,820	20,843
27	11,808	12,879	14,125	14,573	16,151	18,114	20,703	21,749
28	12,461	13,565	14,847	15,308	16,928	18,939	21,588	22,657
29	13,121	14,256	15,574	16,047	17,708	19,768	22,475	23,567
30	13,787	14,953	16,306	16,791	18,493	20,559	23,364	24,478

ν \ α	0,70	0,50	0,30	0,25	0,20	0,10	0,005	0,025
1	0,148	0,455	1,074	1,323	1,642	2,706	3,841	5,024
2	0,713	1,386	2,408	2,773	3,219	4,605	5,991	7,378
3	1,424	2,366	3,665	4,108	4,642	6,251	7,815	9,348
4	2,195	3,357	4,878	5,385	5,989	7,779	9,488	11,143
5	3,000	4,351	6,064	6,626	7,289	9,236	11,070	12,832
6	3,828	5,348	7,231	7,841	8,558	10,645	12,592	14,449
7	4,671	6,346	8,383	9,037	9,803	12,017	14,067	16,013
8	5,527	7,344	9,524	10,219	11,030	13,362	15,507	17,535
9	6,393	8,343	10,656	11,389	12,242	14,684	16,919	19,023
10	7,267	9,342	11,781	12,549	13,442	15,987	18,307	20,483
11	8,148	10,341	12,899	13,701	14,631	17,275	19,675	21,920
12	9,034	11,340	14,011	14,845	15,812	18,549	21,026	23,337
13	9,926	12,340	15,119	15,984	16,985	19,812	22,362	24,736
14	10,821	13,339	16,222	17,117	18,151	21,064	23,685	26,119
15	11,721	14,339	17,322	18,245	19,311	22,307	24,996	27,488
16	12,624	15,338	18,418	19,369	20,465	23,542	26,296	28,845
17	13,531	16,338	19,511	20,489	21,615	24,769	27,587	30,191
18	14,440	17,338	20,601	21,605	22,760	25,989	28,869	31,526
19	15,352	18,338	21,689	22,718	23,900	27,204	30,144	32,852
20	16,266	19,337	22,775	23,828	25,038	28,412	31,410	34,170
21	17,182	20,337	23,858	24,935	26,171	29,615	32,671	35,479
22	18,101	21,337	24,939	26,039	27,301	30,813	33,924	36,781
23	19,021	22,337	26,018	27,141	28,429	32,007	35,172	38,076
24	19,943	23,337	27,096	28,241	29,553	33,196	36,415	39,364
25	20,867	24,337	28,172	29,339	30,675	34,382	37,652	40,646
26	21,792	25,336	29,246	30,434	31,795	35,563	38,885	41,923
27	22,719	26,336	30,319	31,528	32,912	36,741	40,113	43,194
28	23,647	27,336	31,391	32,620	34,027	37,916	41,337	44,461
29	24,577	28,336	32,461	33,711	35,139	39,087	42,557	45,722
30	25,508	29,336	33,530	34,800	36,250	40,256	43,773	46,979

f. Repartiţia ”t” (Student)

Repartiția ”t” este o **repartiție continuă, simetrică**, mai aplatizată ca distribuţia normală (Fig. 4.14), face parte din **categoria distribuţiilor auxiliare** şi serveşte la diferite **teste şi interpretări**.

Densitatea de probabilitate a variabilei aleatoare repartizată Student este dată în relația (4.47):

$$f(x)=\frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi\nu}\,\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)}\left(1+\frac{x^2}{\nu}\right)^{-\frac{\nu+1}{2}} \quad ; \quad x\in R,\ \nu\in N \qquad (4.47)$$

unde ν este numărul gradelor de libertate.

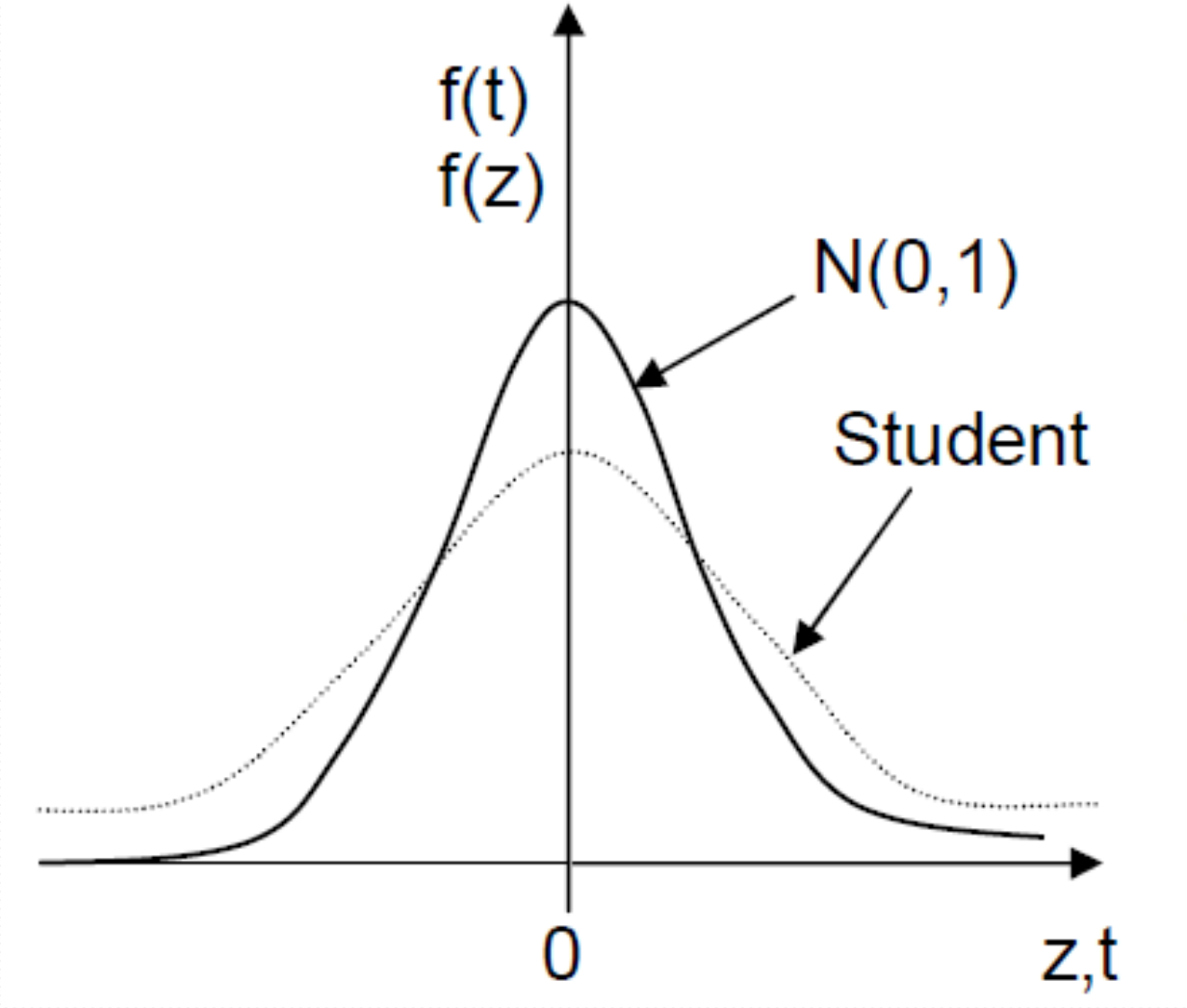


Fig. 4.14 Comparaţie între distribuţiile normală şi Student

- dacă variabilele $U \in N(0,1)$ şi $X \in \chi^2(\nu,1)$ sunt independente atunci variabila:

$t = \dfrac{U}{\sqrt{\dfrac{V}{\nu}}}$ este repartizata Student cu v grade de libertate

- repartiţia este simetrică, deci există relaţiile: $f(-t) = -f(t)$; $F(-t) = 1-F(t)$

- *valoarea medie:* $M[X] = M[t] = 0$

- *dispersia*:; $D[X] = D[t] = \nu/\nu-2$

-dacă $\nu \geq 30 \Rightarrow D[X]=1$, deci repartiţia prezintă aceleaşi caracteristici cu cea normală normată.

În practică repartiţia este folosită pentru determinarea limitelor care sunt depăşite cu probabilitatea α (Fig. 4.15).

Valorile Valorile $P(|t| \leq t_{\nu,\alpha/2}) = \alpha/2$ și $P(t > t_{\nu,\alpha}) = \alpha$, sunt tabelate

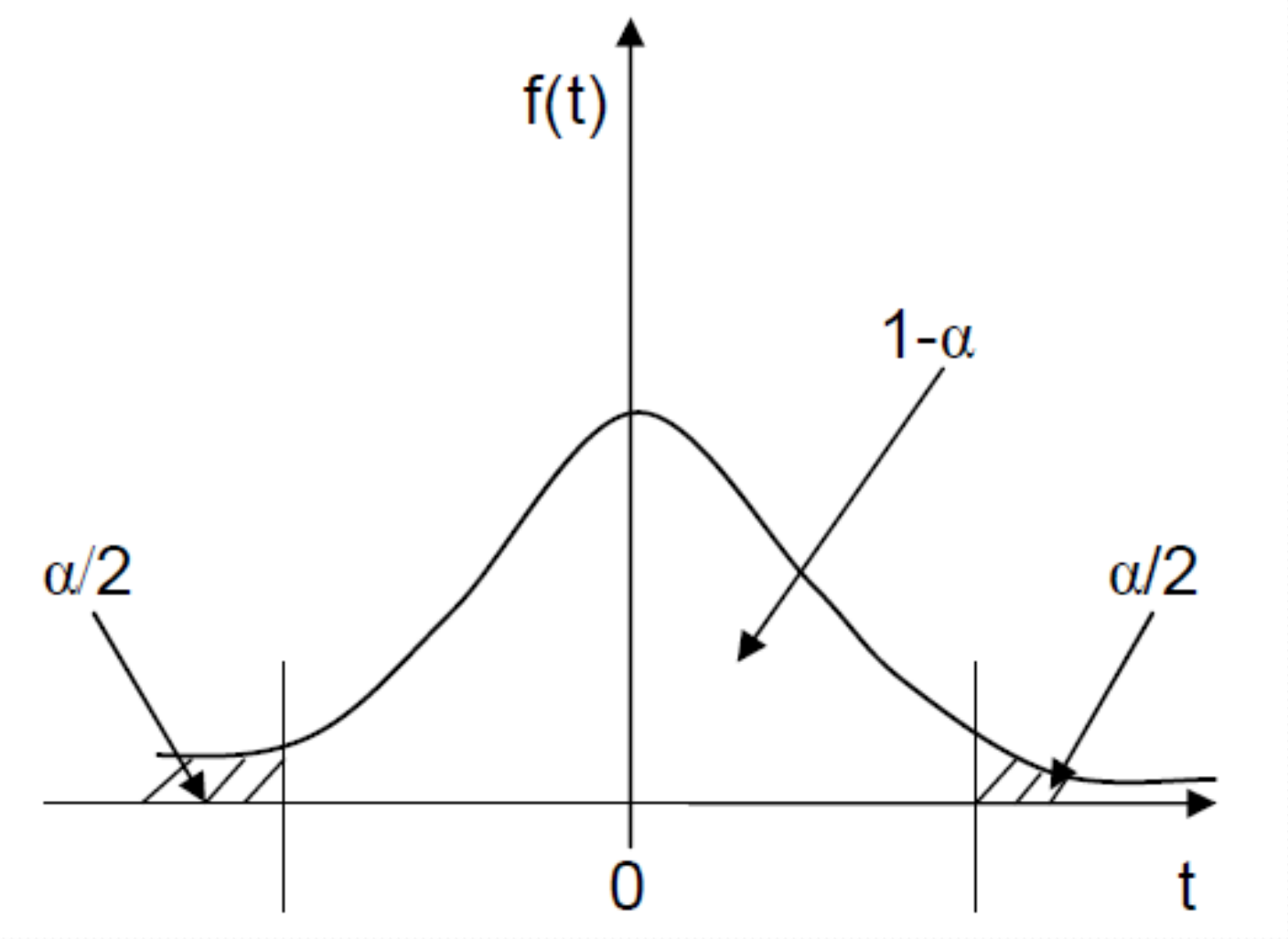


Fig. 4.15 Poziţia limitelor pe care variabila aleatoare Student le poate depăşi cu probabilitatea α

Repartiția "t" $P(|t| \le t_{\nu,\alpha/2}) = \alpha/2$ și $P(t > t_{\nu,\alpha}) = \alpha$

$$P\left(|t| \le t_{\nu,\frac{\alpha}{2}}\right) = \frac{\alpha}{2}$$

Nivel de semnificație pentru testul bilateral									
ν \ α	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,002	0,001	0,0001
1	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	318,309	638,619	6366,19
2	0,816	1,866	2,920	4,303	6,965	9,925	22,327	31,958	99,992
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,214	12,924	28,000
4	0,741	1,533	3,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610	15,544
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,893	6,869	11,178
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959	9,082
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,785	5,408	7,855
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501	5,041	7,120
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781	6,591
10	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144	4,587	6,211
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025	4,437	5,921
12	0,695	1,356	1,782	0,179	2,681	3,055	3,930	4,318	5,694
13	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852	4,221	5,513
14	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787	4,140	5,363
15	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733	4,073	5,239
16	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686	4,015	5,134
17	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646	3,965	5,044
18	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,610	3,922	4,966
19	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579	3,883	4,897
20	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552	3,850	4,837
21	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527	3,819	4,784
22	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505	3,792	4,736
ν \ α	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001	0,0005	$5x10^{-5}$
Nivel de semnificație pentru testul unilateral									

Nivel de semnificație pentru testul bilateral									
ν \ α	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,002	0,001	0,0001
23	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,485	3,767	4,693
24	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467	3,745	4,654
25	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,450	3,725	4,619
26	0,684	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,435	3,707	4,587
27	0,684	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,421	3,690	4,558
28	0,683	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,408	3,674	4,530
29	0,683	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,396	3,659	4,506
30	0,683	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,385	3,646	4,482
35	0,682	1,306	1,690	2,030	2,438	2,724	3,340	3,591	4,389
40	0,681	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,307	3,551	4,321
45	0,680	1,301	1,679	2,014	2,412	2,690	3,281	3,520	4,269
50	0,679	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	3,261	3,496	4,228
60	0,679	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,232	3,460	4,169
70	0,678	1,294	1,667	1,994	2,381	2,648	3,211	3,435	4,127
80	0,678	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639	3,195	3,416	4,096
90	0,677	1,291	1,662	1,987	2,368	2,632	3,183	3,402	4,072
100	0,677	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	3,174	3,390	4,053
120	0,677	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,160	3,373	4,025
200	0,676	1,286	1,653	1,972	2,345	2,601	3,131	3,340	3,970
500	0,675	1,283	1,648	1,965	2,334	2,586	3,107	3,310	3,922
1000	0,675	1,282	1,646	1,962	2,330	2,581	3,098	3,300	3,906
∞	0,675	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,090	3,290	3,891
ν \ α	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001	0,0005	$5x10^{-5}$
Nivel de semnificație pentru testul unilateral									

$$P\left(t > t_{\nu,\alpha}\right) = \alpha$$

g. Repartiţia ”F” (Fisher - Snedecor)

Repartiția ”F” este o **repartiţie continuă auxiliară** care **se utilizează pentru testarea ipotezei că două eşantioane care provin din populaţii normale aparţin unor populaţii identice**.

Densitatea de probabilitate a unei variabile aleatoare repartizată F (Fig. 4.16) este dată în relația (4.48):

$$f(x)=\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\frac{v_1}{2}}\frac{\Gamma\left(\frac{v_1+v_2}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{v_1}{2}\right)\Gamma\left(\frac{v_2}{2}\right)}x^{\frac{v_1}{2}-1} \qquad (4.48)$$

unde $x>0$; $v_1;v_2 \in N$

- dacă $U \in \chi^2(v1;1)$ şi $V \in \chi^2(v_2;1)$ sunt independente atunci variabila

$F = \frac{v_2 U}{v_1 V}$ este repartizata F cu $v_1; v_2$ grade de libertate

- dacă $x_1, x_2, \ldots, x_{n1}$ şi $y_1, y_2, \ldots, y_{n2}$ sunt două eşantioane provenite din două populaţii de clase $N(\mu_1;\sigma^2)$ şi $N(\mu_2;\sigma^2)$ având dispersiile de selecţie:

$S_x^2 = \frac{\sigma^2 \chi^2(v_1)}{v_1}$; $S_y^2 = \frac{\sigma^2 \chi^2(v_2)}{v_2}$ unde $v_1 = n_1 - 1$; $v_2 = n_2 - 1$ atunci variabila S_x^2/S_y^2 este repartizată F.

- *valoarea medie*

$$M[X] = M[F] = \frac{v_2}{v_2 - 2} \quad \text{pentru } v_2 > 2$$

- *dispersia:*

$$D[X] = D[F] = \frac{2v_2^2(v_1 + v_2 - 2)}{v_1(v_1 - 2)^2(v_2 - 4)} \quad \text{pentru } v_2 > 4$$

În aplicaţii este necesar să se cunoască valorile variabilei $F_{\alpha,v1,v2}$ care este depăşită cu probabilitatea ”α”, $P(F > F_{\alpha,v1,v2}) = \alpha$ (Fig. 4.17). Aceste valori sunt tabelate

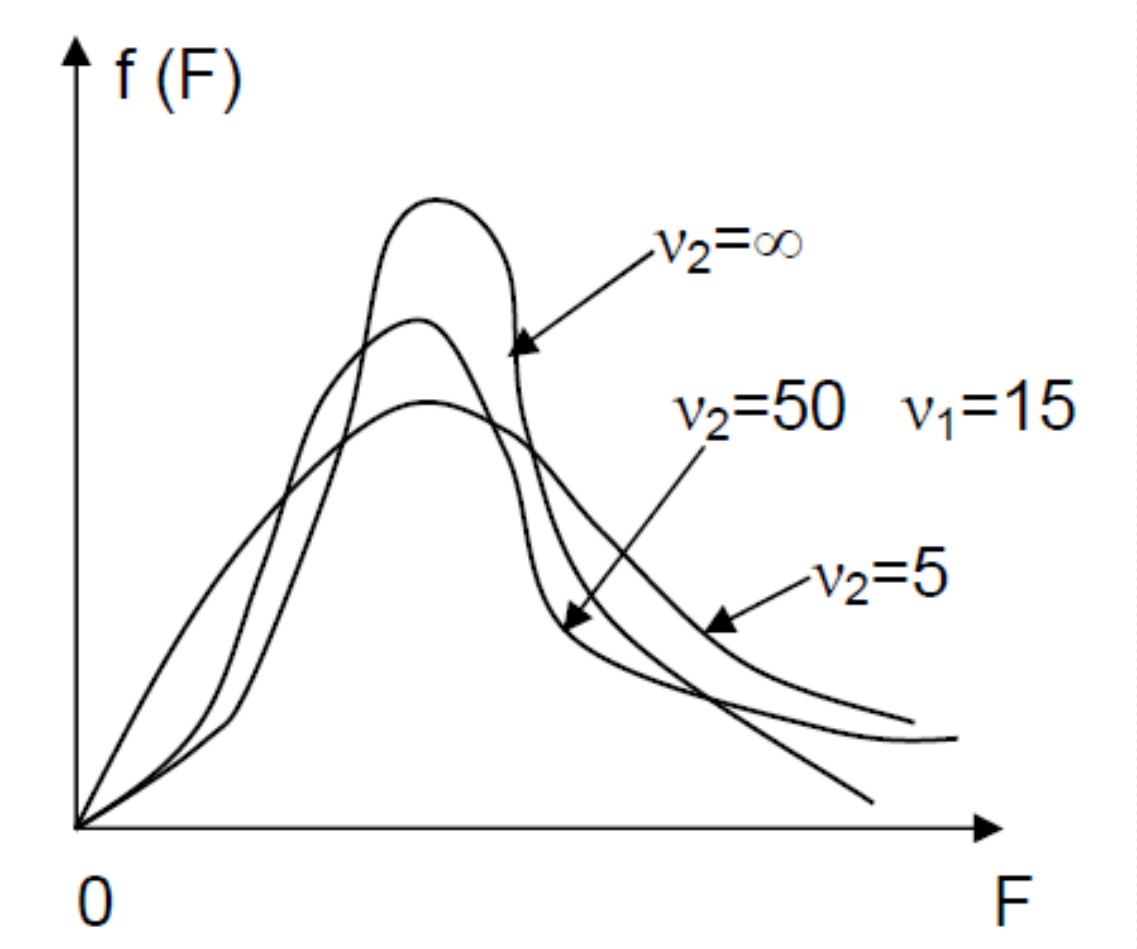


Fig. 4.16 Densitatea de probabilitate a repartiției ”F”

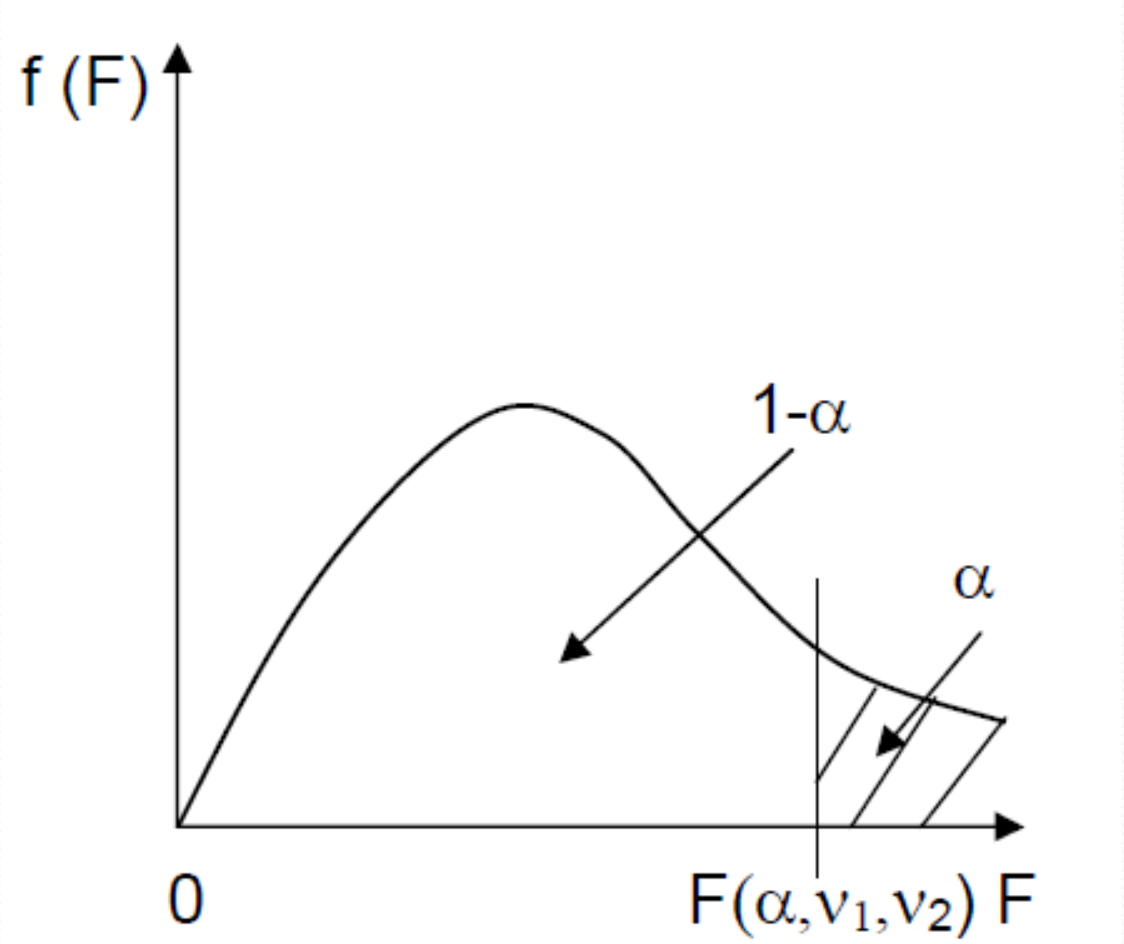


Fig. 4.17 Reprezentarea geometrică a probabilităţii $P(F > F_{\alpha,v1,v2}) = \alpha$

Repartiția "F" $(F > F_{\alpha,v1,v2}) = \alpha$

$$P\left(F > F_{\alpha,v_1,v_2}\right) = 0{,}10$$

v_2 \ v_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	39,90	49,50	53,60	55,80	57,20	58,20	58,90	54,90	59,90
2	8,53	9,00	9,16	9,24	9,29	9,33	9,35	9,37	9,38
3	5,54	5,46	5,39	5,34	5,31	5,28	5,27	5,25	5,24
4	4,54	4,32	4,19	4,11	4,05	4,01	3,98	3,95	3,94
5	4,06	3,78	3,62	3,52	3,45	3,40	3,37	3,34	3,32
6	3,78	3,46	3,29	3,18	3,11	3,05	3,01	2,98	2,96
7	3,59	3,26	3,07	2,96	2,88	2,82	2,78	2,75	2,72
8	3,46	3,11	2,92	2,81	2,73	2,67	2,62	2,59	2,56
9	3,36	3,01	2,81	2,69	2,61	2,55	2,51	2,47	2,44
10	3,28	2,92	2,73	2,61	2,52	2,46	2,41	2,38	2,35
11	3,23	2,86	2,66	2,54	2,45	2,39	2,34	2,30	2,27
12	3,18	2,81	2,61	2,48	2,39	2,33	2,28	2,24	2,21
13	3,14	2,76	2,56	2,43	2,35	2,28	2,23	2,20	2,16
14	3,10	2,73	2,52	2,39	2,31	2,24	2,19	2,15	2,12
15	3,07	2,70	2,49	2,36	2,27	2,21	2,16	2,12	2,09
16	3,05	2,67	2,46	2,33	2,24	2,18	2,13	2,09	2,06
17	3,03	2,64	2,44	2,31	2,22	2,15	2,10	2,06	2,03
18	3,31	2,62	2,42	2,29	2,20	2,13	2,08	2,04	2,00
19	2,99	2,61	2,40	2,27	2,18	2,11	2,06	2,02	1,98
20	2,97	2,59	2,38	2,25	2,16	2,09	2,04	2,00	1,96
22	2,95	2,56	2,35	2,22	2,13	2,06	2,01	1,97	1,93
24	2,93	2,54	2,33	2,19	2,10	2,04	1,98	1,94	1,91
26	2,91	2,52	2,31	2,17	2,08	2,01	1,96	1,92	1,88
28	2,89	2,50	2,29	2,16	2,06	2,00	1,94	1,90	1,87
30	2,88	2,49	2,28	2,14	2,05	1,98	1,93	1,88	1,85
40	2,84	2,44	2,23	2,09	2,00	1,93	1,87	1,83	1,79
50	2,81	2,41	2,20	2,06	1,97	1,90	1,84	1,80	1,76
60	2,79	2,39	2,18	2,04	1,95	1,87	1,82	1,77	1,74
80	2,77	2,37	2,15	2,02	1,92	1,85	1,79	1,75	1,71
100	2,76	2,36	2,14	2,00	1,91	1,83	1,78	1,73	1,70
200	2,73	2,33	2,11	1,97	1,88	1,80	1,75	1,70	1,66
500	2,72	2,31	2,10	1,96	1,86	1,79	1,73	1,68	1,64
∞	2,71	2,30	2,08	1,94	1,85	1,77	1,72	1,67	1,63

v_2 \ v_1	10	15	20	30	50	100	200	500	∞
1	60,02	61,20	61,70	62,30	62,70	63,00	63,20	63.30	63.30
2	9,39	9,42	9,44	9,46	9,47	9,48	9,49	9,49	9,49
3	5,23	5,20	5,18	5,17	5,15	5,14	5,14	5,14	5,13
4	3,92	3,87	3,84	3,82	3,80	3,78	3,77	3,76	3,76
5	3,30	3,24	3,21	3,17	3,15	3,13	3,12	3,11	3,10
6	2,94	2,87	2,84	2,80	2,77	2,75	2,73	2,73	2,72
7	2,70	2,63	2,59	2,56	2,52	2,50	2,48	2,48	2,47
8	2,54	2,46	2,42	2,38	2,35	2,32	2,31	2,30	2,29
9	2,42	2,34	2,30	2,25	2,22	2,19	2,17	2,17	2,16
10	2,32	2,24	2,20	2,16	2,12	2,09	2,07	2,06	2,06
11	2,25	2,17	2,12	2,08	2,04	2,00	1,99	1,98	1,97
12	2,19	2,10	2,06	2,01	1,97	1,94	1,92	1,91	1,90
13	2,14	2,05	2,01	1,96	1,92	1,88	1,86	1,85	1,85
14	2,10	2,01	1,96	1,91	1,87	1,83	1,82	1,80	1,80
15	2,06	1,97	1,92	1,87	1,83	1,79	1,77	1,76	1,76
16	2,03	1,94	1,89	1,84	1,79	1,76	1,74	1,73	1,72
17	2,00	1,91	1,86	1,81	1,76	1,73	1,71	1,69	1,69
18	1,98	1,89	1,84	1,78	1,74	1,70	1,68	1,67	1,66
19	1,96	1,86	1,81	1,76	1,71	1,67	1,65	1,64	1,63
20	1,94	1,84	1,79	1,74	1,69	1,65	1,63	1,62	1,61
22	1,90	1,81	1,76	1,70	1,65	1,61	1,59	1,58	1,57
24	1,88	1,78	1,73	1,67	1,62	1,58	1,56	1,54	1,53
26	1,86	1,76	1,71	1,65	1,59	1,55	1,53	1,51	1,50
28	1,84	1,74	1,69	1,63	1,57	1,53	1,50	1,49	1,48
30	1,82	1,72	1,67	1,61	1,55	1,51	1,48	1,47	1,46
40	1,76	1,66	1,61	1,54	1,48	1,43	1,41	1,39	1,38
50	1,73	1,63	1,57	1,50	1,44	1,39	1,36	1,34	1,33
60	1,71	1,60	1,54	1,48	1,41	1,36	1,33	1,31	1,29
80	1,68	1,57	1,51	1,44	1,38	1,32	1,28	1,26	1,24
100	1,66	1,56	1,49	1,42	1,35	1,29	1,26	1,23	1,21
200	1,63	1,52	1,46	1,38	1,31	1,24	1,20	1,17	1,14
500	1,61	1,50	1,44	1,36	1,28	1,21	1,16	1,12	1,09
∞	1,60	1,49	1,42	1,34	1,26	1,18	1,13	1,08	1,00

h. Repartiţia Weibull

- Repartiția Weibull este o **repartiţie continuă** pusă în evidenţă în 1939 de Waloddi Weibull pentru **descrierea modului de împrăştiere a valorilor obţinute din experimentări asupra rezistenţei la oboseală a oţelului**.

- Repartiţia Weibull are o largă aplicabilitate în **studiul durabilităţii, poluării atmosferice, în controlul de recepţie, în chimie,etc**.

- Repartiţia Weibull înglobează ca şi cazuri particulare **repartiţiile exponenţială, Rayleigh şi normală**.

- Un avantaj major este posibilitatea utilizării în **studiul proceselor asimetrice**.

- Cele mai importante moduri de prezentare sunt sub formele: - *biparametrică*, *normată și triparametrică*.

- Transformarea dintr-o formă în alta se poate face relativ uşor funcţie de cerinţele aplicaţiei.

a) Repartiţia Weibull – *modelul biparametric*

Densitatea de probabilitate a unei variabile aleatoare repartizată Weibull este dată în relația (4.49):

$$f(x,\beta,\lambda) = \beta\lambda x^{\beta-1}\exp\left(-\lambda x^{\beta}\right) \;\; ; \;\; x \geq 0 \; ; \; \beta > 0 \; ; \; \lambda > 0 \qquad (4.49)$$

Funcţia de repartiţie în variantă biparametrică este dată în relația (4.50):

$$F(x,\beta,\lambda) = \int_{-\infty}^{T} f(x,\beta,\lambda)\,dt = \begin{cases} 0 & ; \text{ pentru } x < 0 \\ 1-\exp\left(-\lambda x^{\beta}\right) & ; \text{ pentru } x \geq 0 \end{cases} \qquad (4.50)$$

b) Repartiţia Weibull – *modelul normat*

Se introduce notaţia: $\lambda = \frac{1}{\eta^{\beta}}$

de unde: $\eta = \frac{1}{\sqrt[\beta]{\lambda}}$

Densitatea de probabilitate a unei variabile aleatoare repartizată Weibull în variantă normată este dată în relația (4.51):

$$f(x,\eta,\beta,\gamma) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\beta}\right] \qquad (4.51)$$

unde $x > \gamma$; $\eta > 0$; $\gamma \in R$; $\beta > 0$

β – parametrul de formă; η – parametrul de scală

Dacă cantitatea ”x” reprezintă ***”timpul până la cădere”,*** repartiția Weibull oferă o **rată a căderilor ”λ”**(relația 4.52), proporțională cu timpul ridicat la o putere egală cu parametrul de formă minus 1 (β - 1).

$$\lambda = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \qquad (4.52)$$

- O valoare **β < 1** indică faptul că **rata defectărilor scade în timp**. Aceasta se întâmplă dacă există o ”mortalitate infantilă” seminificativă sau elementele defective ”cad” devreme și rata defectărilor scade în timp pe măsură ce elementele defective sunt eliminate din populație.

- O valoare **β = 1** indică faptul că **rata defectărilor este constantă în timp**. Aceasta poate sugerea existența unor evenimente externe aleatoare care cauzează ”mortalitatea” sau căderea.

- O valoare **β > 1** indică faptul că **rata defectărilor crește în timp**. Aceasta se întâmplă dacă are loc un proces de ”îmbătrânire” sau elementele au tendința să cadă pe măsura trecerii timpului.

Funcţia de repartiţie în variantă normată este dată în relația (4.53):

$$F\left(\frac{x}{\eta},\beta\right)=\int_{-\infty}^{T} f\left(\frac{x}{\eta},\beta\right)dt=\begin{cases}0 & ;\ \text{pentru } x\le 0\\ 1-\exp\left[-\left(\frac{x}{\eta}\right)^{\beta}\right] & ;\ \text{pentru } x>0\end{cases} \qquad (4.53)$$

c) Repartiţia Weibull – *modelul triparametric*

Densitatea de probabilitate a unei variabile aleatoare repartizată Weibull în variantă triparametrică este dată în relația (4.54):

$$f(x,\eta,\beta,\gamma)=\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}\exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\beta}\right] \qquad (4.54)$$

$$\text{unde}\quad x>\gamma\ ;\ \eta>0\ ;\ \gamma\in R\ ;\ \beta>0$$

β – parametrul de formă; η – parametrul de scală; γ – parametrul de locație

Pentru diferite valori ale lui β se pot obţine alte legi de repartiţie (pentru $\beta = 1 \Rightarrow$ repartiţia exponenţială, pentru $\beta = 2 \Rightarrow$ repartiția Rayleigh pentru $\beta > 3 \Rightarrow$ repartiţia normală).

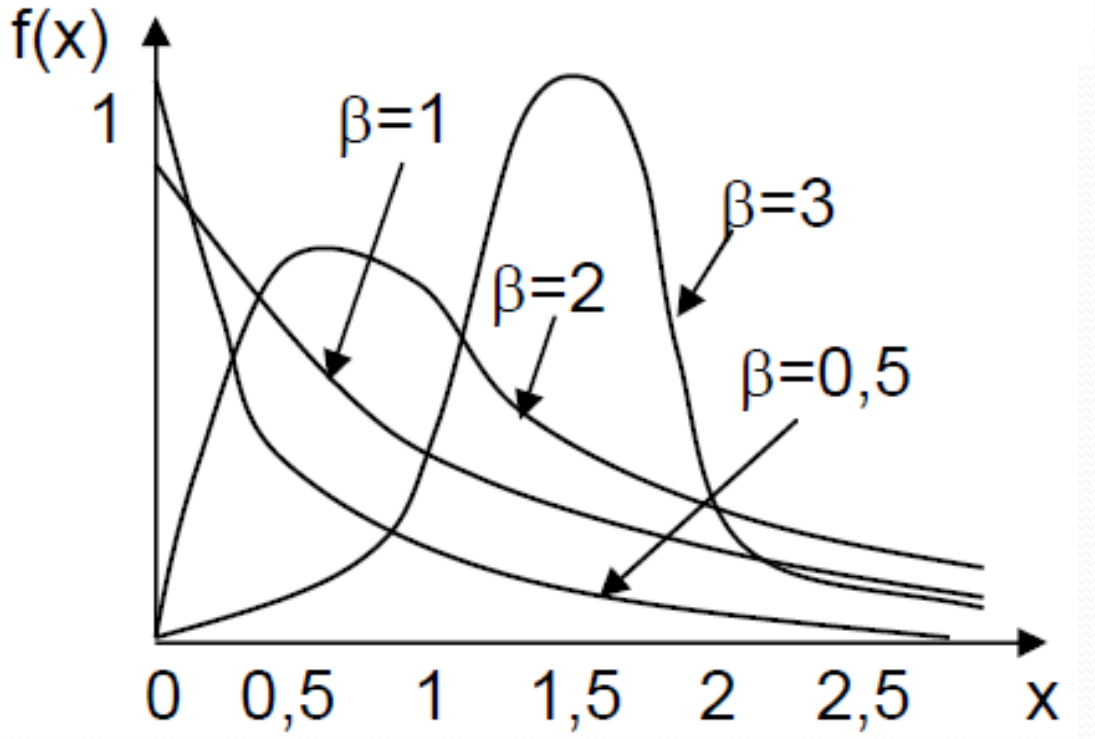


Fig. 4.18 Densitatea de probabilitate Weibull

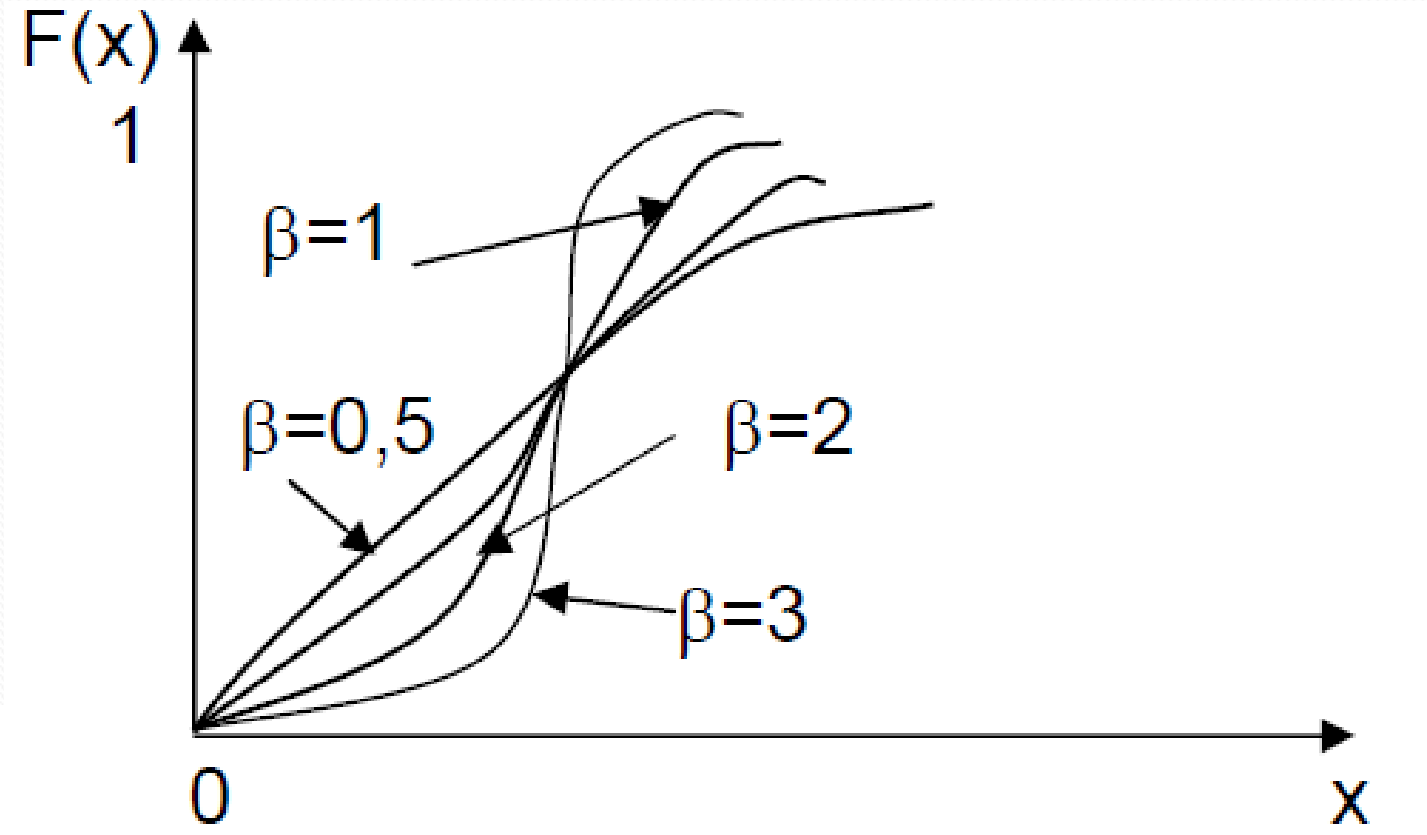


Fig. 4.19 Funcția de repartiție Weibull

4.6 Estimații statistice

4.6.1 Noțiuni de bază privind sondajul

- Prin experimentări se doreşte **obţinerea de valori numerice care să caracterizeze cantitativ procesul tehnologic** sau **caracteristica de calitate** şi să fie totodată **o măsură a valorii parametrilor unei legi de repartiţie statistică sau funcţii ale acestora**.

- Mulţimea tuturor valorilor obţinute prin experimentări formează o **populaţie statistică**, valorile individuale numindu-se **unitaţi statistice**.

- **Populaţiile statistice** pot fi **omogene** sau **neomogene** respectiv **finite (numărabile)** sau **infinite**.

- În analiza calităţii **rezultatele experimentărilor formează o populaţie finită şi reală**.

- În cazul în care se iau în considerare toate rezultatele experimentale atunci operaţiunea se numeşte **cercetare unitară (completă),** care însă se poate dovedi **neeconomică**.

- Dacă se iau în considerare numai o parte din unităţile statistice (rezultate) atunci se consideră o **cercetare selectivă**, unităţile statistice analizate formând **eşantionul**.

- În mod practic dintr-o populaţie iniţală numită **lot** se supune analizei o subpopulaţie denumită **eşantion**.

- Numărul de unităţi statistice (elemente) al eşantionului se numeşte **volum al eşantionului**.

- Pentru **n < 30 eşantionul** este considerat de **volum mic**, iar pentru **n > 30** este de **volum mare**.

- Determinarea **volumului eşantionului** se face funcţie de **condiţiile concrete şi aspectul economic**, fiind deosebit de important pentru alegerea modelului statistic ce va fi aplicat.

- Este de asemenea important ca **eşantionul** să aibe un **caracter aleator** şi să fie **reprezentativ**.

- Un **eşantion reprezentativ** este cel care redă cât mai exact structura populaţiei din care provine.

- Operaţiunea prin care din **populaţia iniţială "N" (originară)** se prelevează **eşantionul "n"** se numeşte **sondaj**.

- **Dacă sondajul este incorect** atunci se pot obţine **eşantioane nereprezentative** care evident pot conduce la concluzii eronate privind populaţia iniţială.

- **Sondajul** poate fi: **pur aleator, dirijat** sau **mixt**

Se notează **volumul colectivităţii generale (originară) cu "N"** şi **volumul colectivităţii de selecţie (eșantionul) cu "n"**, $1 \le n \le N-1$.

Se notează cu μ, media aritmetică a lui **N** și cu $\bar{x}$ media aritmetică a lui **n**

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N} \qquad (4.55)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \qquad (4.56)$$

Se notează cu σ^2, dispersia lui **N** și cu s^2 dispersia lui **n**

$$\sigma_x^{\,2} = \frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \mu)^2}{N} \qquad (4.57)$$

$$s_x^{\,2} = \frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \qquad (4.58)$$

Atunci când eşantioanele sunt de **volum mare (n >30)**, se poate renunţa la scăderea lui 1 din numitorul dispersiei.

a) Sondajul pur aleator

Sondajul pur aleator se defineşte prin faptul că fiecare element (unitate statistică) al populaţiei are aceeaşi probabilitate de a fi extras, prelevările fiind independente între ele.

Există două situaţii:

- **Sondajul pur aleator repetat** – fiecare unitate statistică este măsurată (verificată) şi apoi reintrodusă în populaţia iniţială (se mai numeşte **extragere bernoulliană** sau **nonexhaustivă**), asigurându-se astfel astfel probabilitatea constantă a extragerii fiecărei unităţi statistice.

- **Sondajul pur aleator nerepetat** – fiecare unitate statistică care este măsurată (verificată) nu se mai reintroduce în populaţia iniţială (se mai numeşte **extragere nebernoulliană** sau **exhaustivă**), crescând astfel probabilitatea ca fiecare unitate statistică să fie extrasă.

➢ Sondajul pur aleator repetat

a. Eroarea de reprezentativitate (a eșantionului)

$$E_r = \bar{x} - \mu \qquad (4.59)$$

b. Eroarea medie de reprezentativitate (măsurată prin abaterea medie pătratică a mediei de sondaj)

$$s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \qquad (4.60)$$

c. Eroarea limită (maximă) admisibilă

Media de sondaj $\bar{x}$ este o variabilă aleatoare normal distribuită, de medie μ şi abaterea medie pătratică $\sigma_{\bar{x}} = \sigma_x / \sqrt{n}$, înseamnă că **variabila normală normată (redusă)** corespunzătoare este**:**

$$z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} \qquad (4.61)$$

$$z = \frac{\bar{x} - \mu}{s_{\bar{x}}} \qquad (4.62)$$

Pentru probabilitatea cu care se garantează rezultatele 100(1-α)%, **eroarea limită (maximă) admisibilă** este**:**

$$\Delta_{\bar{x}} = z_{\alpha/2} s_{\bar{x}} = z_{\alpha/2} \frac{s_x}{\sqrt{n}} \qquad (4.63)$$

d. Intervalul de încredere pentru media μ

Intervalul de încredere calculat pe baza **erorii limită (maximă) admisibilă** este:

$$\bar{x} - \Delta_{\bar{x}} < \mu < \bar{x} + \Delta_{\bar{x}} \qquad (4.64)$$

$$\bar{x} - z_{\alpha/2} \frac{s_x}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + z_{\alpha/2} \frac{s_x}{\sqrt{n}} \qquad (4.65)$$

e. Intervalul de încredere pentru nivelul total al caracteristicii

$$N\left(\bar{x} - \Delta_{\bar{x}}\right) < \sum_{i=1}^{N} x_i < N\left(\bar{x} + \Delta_{\bar{x}}\right) \qquad (4.66)$$

f. Volumul eșantionului

Se pornește de la relația (4.63) de unde rezultă **volumul eșantionului**:

$$n = \frac{\left(z_{\alpha/2}\right)^2 s_x^{\,2}}{\Delta_{\bar{x}}^{\,2}} \qquad (4.67)$$

s_x^2 se foloseşte ca o estimaţie a lui $\sigma_x^{\,2}$, în general necunoscută.

Valoarea aproximativă a lui s_x^2 poate fi cunoscută dintr-o cercetare prin sondaj anterioară.

g. Probabilitatea de garantare a rezultatelor 100(1-α)%

Considerând coeficientul de încredere este 1-α, pentru care $P(-z_{\alpha/2} < Z < z_{\alpha/2})=1-\alpha$, atunci, din formula erorii limită (maximă) admisibilă dată în relația (4.63) rezultă:

$$z_{\alpha/2} = \frac{\Delta_{\bar{x}}\sqrt{n}}{s_x} \qquad (4.68)$$

Din tabelele distribuţiei normale normate se poate determina apoi probabilitatea 100(1-α)% de garantare a rezultatelor.

✓ **Observație:**

Dacă **eşantionul este de volum redus (n < 30),** iar abaterea medie pătratică din colectivitatea generală (σ) este necunoscută şi înlocuită cu cea din eşantion (s_x), statistica din relația (4.69) este o statistică ”t” cu (n-1) grade de libertate.

Distribuţia de eşantionare a statisticii din relația (4.69) este o distribuţie de probabilitate ”t” cu condiţia ca populaţia generală să fie normal distribuită.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s_x / \sqrt{n}} \qquad (4.69)$$

Atunci, **intervalul de încredere pentru media μ** este:

$$\bar{x} - t_{\alpha/2,n-1}\frac{s_x}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{\alpha/2,n-1}\frac{s_x}{\sqrt{n}} \qquad (4.70)$$

Exemplul 1:

Să se determine **intervalul de încredere**, garantat cu o probabilitate de 99%, pentru media şi nivelul total al unei caracteristici numerice X, dacă eşantionul selectat aleator repetat de 36 de unităţi, adică 5% din colectivitatea generală este de medie 800 şi abatere medie pătratică 60.

- eroarea medie de reprezentativitate :

$$s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} = \frac{60}{\sqrt{36}} = \frac{60}{6} = 10$$

- eroarea limită (maximă) admisibilă

$$\Delta_{\bar{x}} = z_{\alpha/2} s_{\bar{x}} = 2{,}58 \cdot 10 = 25{,}8$$

- intervalul de încredere pentru media μ

$$\bar{x} - \Delta_{\bar{x}} < \mu < \bar{x} + \Delta_{\bar{x}} \Rightarrow$$

$$800 - 25{,}8 < \mu < 800 + 25{,}8 \Rightarrow$$

$$774{,}2 < \mu < 825{,}8$$

Funcţia de repartiţie normală normată (Laplace) N(0,1)

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7459
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9155	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9744	0,9756	0,9761	0,9767

z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9783	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9943	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359
0,1	0,0398	0,0438	0,0478	0,0517	0,0557	0,0596	0,0636	0,0675	0,0714	0,0753
0,2	0,0793	0,0832	0,0871	0,0910	0,0948	0,0987	0,1026	0,1064	0,1103	0,1141
0,3	0,1179	0,1217	0,1255	0,1293	0,1331	0,1368	0,1406	0,1443	0,1480	0,1517
0,4	0,1554	0,1591	0,1628	0,1664	0,1700	0,1736	0,1772	0,1808	0,1844	0,1879
0,5	0,1915	0,1950	0,1985	0,2019	0,2054	0,2088	0,2123	0,2157	0,2190	0,2224
0,6	0,2257	0,2291	0,2324	0,2357	0,2389	0,2422	0,2454	0,2486	0,2517	0,2549
0,7	0,2580	0,2611	0,2642	0,2673	0,2704	0,2734	0,2764	0,2794	0,2823	0,2852
0,8	0,2881	0,2910	0,2939	0,2967	0,2995	0,3023	0,3051	0,3078	0,3106	0,3133
0,9	0,3159	0,3186	0,3212	0,3238	0,3264	0,3289	0,3315	0,3340	0,3365	0,3389
1,0	0,3413	0,3438	0,3461	0,3485	0,3508	0,3531	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621
1,1	0,3643	0,3665	0,3686	0,3708	0,3729	0,3749	0,3770	0,3790	0,3810	0,3830
1,2	0,3849	0,3869	0,3888	0,3907	0,3925	0,3944	0,3962	0,3980	0,3997	0,4015
1,3	0,4032	0,4049	0,4066	0,4082	0,4099	0,4115	0,4131	0,4147	0,4162	0,4177
1,4	0,4192	0,4207	0,4222	0,4236	0,4251	0,4265	0,4279	0,4292	0,4306	0,4319
1,5	0,4332	0,4345	0,4357	0,4370	0,4382	0,4394	0,4406	0,4418	0,4429	0,4441
1,6	0,4452	0,4463	0,4474	0,4484	0,4495	0,4505	0,4515	0,4525	0,4535	0,4545
1,7	0,4554	0,4564	0,4573	0,4582	0,4591	0,4599	0,4608	0,4616	0,4625	0,4633
1,8	0,4641	0,4649	0,4656	0,4664	0,4671	0,4678	0,4686	0,4693	0,4699	0,4706
1,9	0,4713	0,4719	0,4726	0,4732	0,4738	0,4744	0,4750	0,4756	0,4761	0,4767
2,0	0,4772	0,4778	0,4783	0,4788	0,4793	0,4798	0,4803	0,4808	0,4812	0,4817
2,1	0,4821	0,4826	0,4830	0,4834	0,4838	0,4842	0,4846	0,4850	0,4854	0,4857
2,2	0,4861	0,4864	0,4868	0,4871	0,4875	0,4878	0,4881	0,4884	0,4887	0,4890
2,3	0,4893	0,4896	0,4898	0,4901	0,4904	0,4906	0,4909	0,4911	0,4913	0,4916
2,4	0,4918	0,4920	0,4922	0,4925	0,4927	0,4929	0,4931	0,4932	0,4934	0,4936
2,5	0,4938	0,4940	0,4941	0,4943	0,4945	0,4946	0,4948	0,4949	**0,4951**	0,4952
2,6	0,4953	0,4955	0,4956	0,4957	0,4959	0,4960	0,4961	0,4962	0,4963	0,4964
2,7	0,4965	0,4966	0,4967	0,4968	0,4969	0,4970	0,4971	0,4972	0,4973	0,4974
2,8	0,4974	0,4975	0,4976	0,4977	0,4977	0,4978	0,4979	0,4979	0,4980	0,4981
2,9	0,4981	0,4982	0,4982	0,4983	0,4984	0,4984	0,4985	0,4985	0,4986	0,4986
3,0	0,4987	0,4987	0,4987	0,4988	0,4988	0,4989	0,4989	0,4989	0,4990	0,4990

- intervalul de încredere pentru nivelul total al caracteristicii

$$N\left(\bar{x}-\Delta_{\bar{x}}\right)<\sum_{i=1}^{N}x_i<N\left(\bar{x}+\Delta_{\bar{x}}\right)\Rightarrow$$

$$557424<\sum_{i=1}^{N}<594576$$

Exemplul 2:

Să se determine **volumul eşantionului** necesar pentru a estima media unei colectivităţi (μ) cu o eroare limită de 0,2 şi o probabilitate de garantare a rezultatelor de 95%, ştiind dintr-o cercetare anterioară că dispersia s_x^2 este aproximativ egală cu 6,1.

$$\Delta_{\bar{x}}=0,2\,;\,s_x^{\,2}=6,1$$

$$100\left(1-\alpha\right)\%=95\%\Rightarrow z_{\alpha/2}=z_{0,025}=1,96$$

$$n=\frac{\left(z_{\alpha/2}\right)^2 s_x^{\,2}}{\Delta_{\bar{x}}^{\,2}}=\frac{\left(1,96\right)^2\cdot 6,1}{\left(0,2\right)^2}=585,84\cong 586 \text{ unități statistice}$$

Exemplul 3:

Să se determine **nivelul de încredere pentru estimaţia privind media colectivităţii generale (μ)**, dacă volumul eşantionului este n = 100 unităţi statistice, media eşantionului $\bar{x}$= 258600, abaterea medie pătratică s = 8000, iar intervalul de încredere dorit este de 4000.

$$z_{\alpha/2} = \frac{\Delta_{\bar{x}}\sqrt{n}}{s_x} = \frac{2000\sqrt{100}}{8000} = 2{,}5$$

și

$$1-\alpha = P\left(-2{,}5 < z < +2{,}5\right) = 2 \cdot 0{,}4398 = 0{,}9876$$

- Probabilitatea cu care se garantează rezultatele este de **98,76%.**

Exemplul 4:

Presupunem că un număr de n = 15 imprimante sunt selectate pentru a se calcula media numărului de caractere imprimate până la terminarea cartuşului de imprimare. Pentru eşantionul selectat se obţin: $\bar{x}$ = 1.23 milioane caractere; s_x = 0.27 milioane caractere.
Să se formeze un interval de încredere, garantat cu o probabilitate de 99%, pentru media numărului de caractere imprimate (μ), în colectivitatea generală.

Dacă presupunem că numărul de caractere imprimate este normal distribuit, atunci, pentru n=15:

$$t_{\alpha/2\ ,\ n-1} = t_{0,005\ ,\ 14} = 2,977$$

- Intervalul de încrederepentru media μ este:

$$\bar{x} - t_{\alpha/2\,,n-1}\frac{s_x}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{\alpha/2,n-1}\frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

$$1,23 - 2,977\frac{0,27}{\sqrt{15}} < \mu < 1,23 + 2,977\frac{0,27}{\sqrt{15}}$$

$$1,02 < \mu < 1,44$$

➢ Sondajul pur aleator nerepetat

a. Eroarea de reprezentativitate (a eșantionului)

Relația (4.59) – similar cu **sondajul pur aleator repetat**

b. Eroarea medie de reprezentativitate (măsurată prin abaterea medie pătratică a mediei de sondaj)

$$s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \cong \frac{s_x}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{1-\frac{n}{N}} \qquad (4.71)$$

$\frac{N-n}{N-1} \cong 1-\frac{n}{N}$ ⇨ se numeşte ***coeficient de corecţie în populaţie finită*** sau ***factor de exhaustivitate***

$\frac{n}{N}$ ⇨ reprezintă ***fracția de sondaj***

c. Eroarea limită (maximă) admisibilă

$$\Delta_{\bar{x}} = z_{\alpha/2} \cdot s_{\bar{x}} = z_{\alpha/2} \left(\frac{s_x}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{1 - \frac{n}{N}} \right) \qquad (4.72)$$

d. Intervalul de încredere pentru media μ

$$\bar{x} - z_{\alpha/2} \left(\frac{s_x}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{1 - \frac{n}{N}} \right) < \mu < \bar{x} + z_{\alpha/2} \left(\frac{s_x}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{1 - \frac{n}{N}} \right) \qquad (4.73)$$

e. Intervalul de încredere pentru nivelul total al caracteristicii

$$N\left(\bar{x} - z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \sqrt{1 - \frac{n}{N}} \right) < \sum_{i=1}^{N} x_i < N\left(\bar{x} + z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \sqrt{1 - \frac{n}{N}} \right) \qquad (4.74)$$

f. Volumul eșantionului

$$n = \frac{z_{\alpha/2}^2 \cdot s_x^{\,2} \cdot N}{z_{\alpha/2}^2 \cdot s_x^{\,2} + \Delta_{\bar{x}}^2 \cdot N} = \frac{z_{\alpha/2}^2 \cdot s_x^{\,2}}{\Delta_{\bar{x}}^2 + \frac{z_{\alpha/2}^2 \cdot s_x^{\,2}}{N}} \qquad (4.75)$$

Prelevarea pieselor pentru **sondajul pur aleator** poate fi realizată prin 3 metode.

1. Pe baza unui **tabel de numere întâmplătoare (aleatoare)** generate prin metoda Monte-Carlo (tabelul 4.7 – extras)

Tab. 4.7 Numere întâmplătoare (aleatoare) – extras

	13407	62899	78937	90525	25033	56358	78902	47008
	50230	63237	94083	93634	71652	02656	57532	60307
	84980	62458	09703	78397	66179	46982	67619	39254
	22116	33646	17545	31321	65772	86506	09811	82848
5	68645	15068	56898	87021	40115	27524	42221	88293
	26518	39122	96561	56004	50260	68648	85596	83979
Nr. 7 Piesa 1	36493	41666	27871	**71329**	69212	57932	65281	57233
	77402	12994	59892	85581	70823	53338	34405	67080
	83679	97154	40341	84741	08967	73287	94952	59008
10	71802	39356	02981	89107	79788	51330	37129	31898
	57494	72484	22676	44311	15356	05348	03582	66183
	73364	38416	93128	10297	11419	82937	84389	88273
	14499	83965	75403	18002	45068	54257	18085	92625
	40747	03084	07734	88940	88722	85717	73810	79866
15	42237	59122	92855	62097	81276	06318	81607	00565

Exemplul:

Dintr-un **lot** de **N = 400** piese trebuie extras un **eșantion** de **n = 12** piese

- se alege un număr la întâmplare care va servi ca punct de plecare și se extrag numerele în sensul fixat dinainte (stânga – dreapta, sus – jos etc).

- se vor numerota piesele de la 1 la 400 sau se consideră numerele succesive specificate pe etichetele pieselor (de exemplu dacă prima piesă are numărul de pe etichetă 523, piesa cu numărul 43 va fi 527 + 43 = 570).

- se alege la întâmplare numărul care se găsește în coloana 4 rândul 7 din tabelul de numere întâmplătoare (aleatoare), și anume 71329.

- piesa numărul 1 a eșantionului (sau 523) va fi deci piesa numărul 7 din lot.

- se vor considera ultimele 3 cifre, adică 329 sau se pot reține în mod egal primele 3 cifre, adică 713 (se iau în considerare 3 cifre pentru că ordinul de mărime al lotului este de ordinul sutelor, N = 400)

- se vor citi pe aceeași coloană numerele de același ordin de mărime (3 cifre) până când se găsesc 12 numere egale cu numerele asociate pieselor sau celor de pe etichete (care se găsesc între 1 și 400 sau 527 și 927).

- adică se vor căuta numerele care se vor asocia celor 12 piese din eșantion astfel:

Numărul piesei din eșantion	**Numărul din tabel**	**Numărul de pe piesă**	**Numărul de pe etichetă**	**Numărul piesei din lot egal cu rîndul din tabel**
1	329	7	534	7
2	330	...	...	...
3	331	...	...	...
... ...	... ...	... ...	... ...	... ...
10	338	...	...	...
11	339	...	...	...
12	340	...	...	...

2. Pe bază de **start întâmplător (aleator) și pas constant**

Exemplul 1:

- trebuie extrase un număr de **n = 5** piese/oră (**N = 60**)
- **rația de prelevare** (**fracția de sondaj**) este 1/12
- se alege un număr între 1 și 12, de exemplu 4
- **pasul constant de prelevare** p = N/n = 60/5 = 12
- se fixează următoarele minute pentru prelevare:

- minutul 4 → piesa 1 din eșantion;
- minutul 16 (4 + 12) → piesa 2 din eșantion;
- minutul 28 (16 + 12) → piesa 3 din eșantion;
- minutul 40 (28 + 12) → piesa 4 din eșantion;
- minutul 52 (40 + 12) → piesa 5 din eșantion.

Exemplul 2:

- trebuie extrase un **eșantion** de **n = 5** piese dintr-un **lot N = 100** piese

- **rația de prelevare** (**fracția de sondaj**) este 1/20

- se alege un număr între 1 și 12, de exemplu 7

- **pasul constant de prelevare** p = N/n = 100/5 = 20

- se prelevează următoarele piese din **lot**, care vor constitui **eșantionul**:

- 7 → piesa 1 din eșantion
- 27 (7 + 20) → piesa 2 din eșantion;
- 47 (27 + 20) → piesa 3 din eșantion;
- 67 (47 + 20) → piesa 4 din eșantion;
- 87 (67 + 20) → piesa 5 din eșantion.

3. Prin **extragere oarbă** când e posibilă amestecarea elementelor

b) Sondajul dirijat

- ***Sondajul dirijat*** se efectuează după un **criteriu prestabilit** pentru eliminarea diverselor influenţe perturbatoare.
- Se aplică în cazul în care **unităţile statistice sunt sub formă distinctă sau pot fi aşezate/depozitate într-un anumit mod**.
- Se alege un anumit pas "**p**" prelevându-se unităţile statistice **p+1, p+2,…,p+n.**

c) Sondajul mixt

- ***Sondajul mixt*** reduce dezavantajele primelor două tipuri de sondaj.
- Se aplică loturilor care pot fi **stratificate**, efectuând asupra acestora un **sondaj dirijat**.
- Fiecărui **strat** i se aplică apoi un **sondaj pur aleator**.
- Eşantionul final se obţine prin **cumularea eşantioanelor extrase din fiecare strat**.

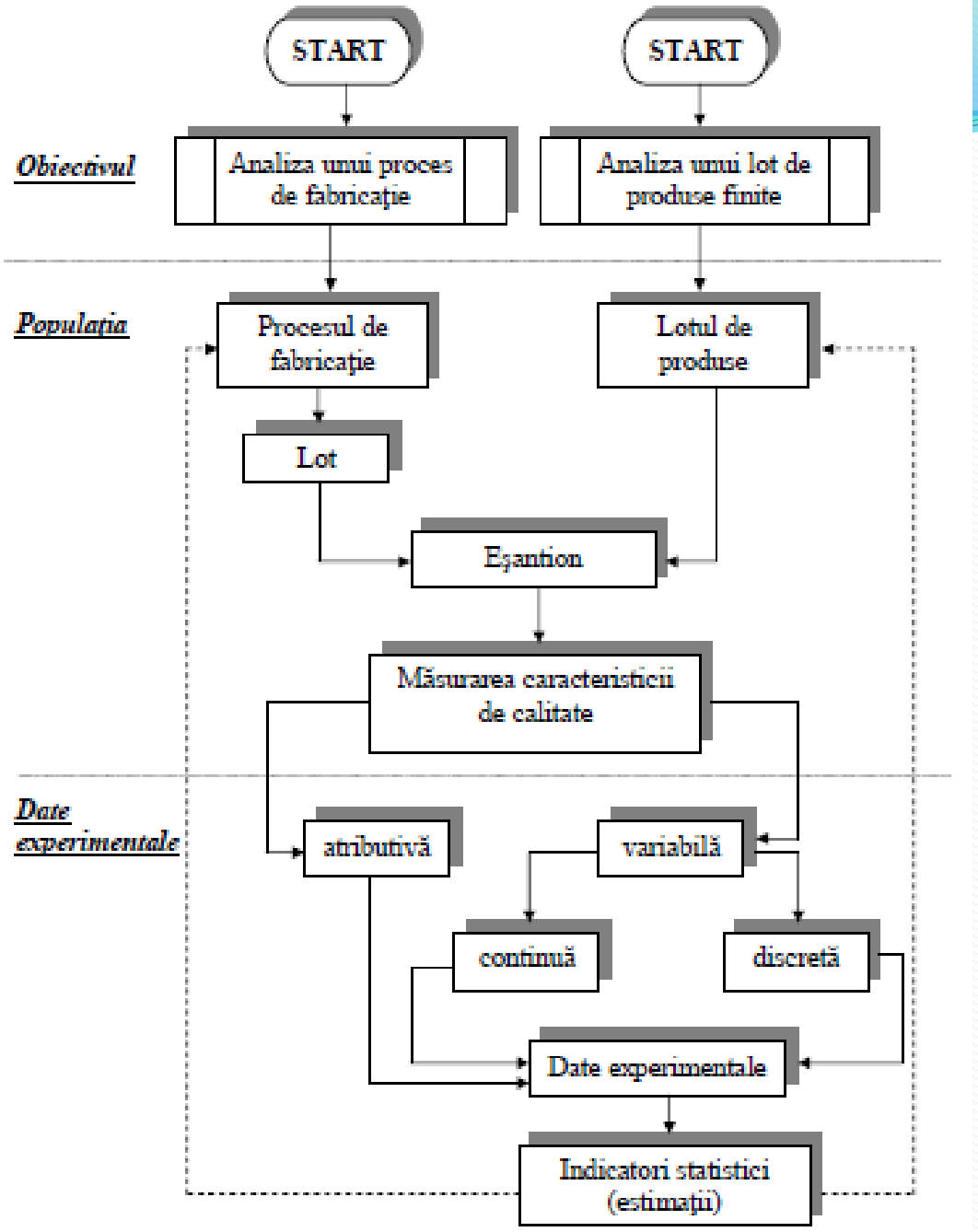


Fig. 4.20 Relaţia populaţie, eşantion, date experimentale

4.6.2 Repartiții de sondaj (empirice)

- Fie o **variabilă aleatoare X** cu densitatea de probabilitate f(x) şi funcţia de repartiţie F(x).
- Fie $X_1,X_2,\ldots,X_n$ un **eşantion** prelevat din **populaţia statistică** caracterizată de repartiţia variabilei aleatoare X.
- **Fiecare X_i** ; i=1,..,n este la rândul ei o **variabilă aleatoare de aceeaşi natură cu X**.
- Valoarea observată efectiv în momentul efectuării experimentului (măsurătorii) este x_i.
- O condiţie esenţială este ca pe lângă **caracterul aleator şi reprezentativitate**, **eşantioanele** să fie **independente**.
- **Condiţia de independenţă** este satisfăcută dacă modul de obţinere a valorii x_i este independent de modul de obţinere a valorilor x_{i-1},x_{i+1} sau a oricărei alte valori din şirul valorilor observate.

Similar cu cele prezentate anterior la paragrafele referitoare la variabile aleatoare respectiv repartiţii statistice se defineşte **repartiţia de sondaj (empirică)** ca find **relaţia dintre valorile variabilei aleatoare ordonate corespunzătoare eşantionului** şi **frecvenţele de apariţie absolute sau relative ale acestora**.

$$X:\begin{pmatrix} x_1, x_2, \ldots, x_n \\ a_1, a_2, \ldots, a_n \end{pmatrix} \quad \text{sau} \quad X:\begin{pmatrix} x_1, x_2, \ldots, x_n \\ f_1, f_2, \ldots, f_n \end{pmatrix} \qquad (4.76)$$

unde a_i – frecvenţa absolută, f_i – fecvenţa relativă

Analiza repartiţiilor de sondaj (empirice) se face prin întocmirea de tabele, reprezentări grafice şi determinarea indicatorilor statistici.

a) Tabele

- Datele primare pot fi prezentate sub formă tabelară, valorile fiind înscrise în ordine aleatoare.

- Prin ordonarea în şir crescător se obţine tabelul valorilor ordonate, şirul numindu-se şi **șir statistic**.

b) Intervale de grupare, frecvenţe absolute, relative, cumulate

- Un alt mod de prezentare a şirului statistic este tabelând valorile distincte şi corespunzător numărul de apariţii al lor.

- Dacă considerăm gruparea în **“k” intervale disjuncte**, numărul unităţilor cu aceeaşi valoare aparţinând aceluiaşi interval reprezintă **frecvenţa absolută**.

Există relaţiile (vezi § **2.2.2 Histograma,** relațiile (2.1), (2.2) și (2.3)):

Frecvența absolută: $\sum_{i=1}^{k} a_i = n$

Frecvența relativă: $f_i = \frac{a_i}{n}$

$$\sum_{i=1}^{k} f_i = 1$$

Dacă se doreşte să se exprime **numărul total de unităţi statistice până la o anumită valoare** se utilizează **frecvenţa cumulată F absolută sau relativă**.

Pentru **determinarea mărimii intervalelor de grupare** este recomandabil să se respecte următoarele reguli:

- mărimea intervalelor să fie în general egală (cu excepţia celor extreme care pot avea valori diferite), şi cel puţin 1,5 ori intervalul admisibil de rotunjire.

- limitele claselor trebuie astfel alese încât orice valoare din şirul statistic să aparţină fără echivoc unei clase.

- la stabilirea limitelor claselor trebuie să se ţină cont de exactitatea cu care se pot obţine măsurările.

Numărul de clase poate fi stabilit astfel (vezi **§ 2.2.2 Histograma,** relațiile (2.5), (2.6), (2.7) și (2.8)):

$$k=1+3,322 \log n$$

Sau utilizând relaţia lui H.A.Sturges, unde a este mărimea intervaluli de grupare:

$$a = \frac{x_{max} - x_{min}}{1+3,322 \log n}$$

Sau utilizând relaţia H.Mann şi A. Wald, pentru n > 100

$$k = 4\left[\frac{1}{4}(n-1)\right]^{\frac{1}{5}}$$

Sau utilizând relaţia simplă

$$k = \sqrt{n}$$

De obicei se adoptă k = 10 pentru n < 250, iar pentru n < 25 gruparea în clase nu prezintă interes.

✓***Observaţii***:

- ✓ Frecvenţele rezultate prin gruparea în clase sunt cele ce corespund mediei fiecărui interval.
- ✓ Considerând a şi b limitele unei clase, atunci o valoare x aparţinând intervalului [a , b] trebuie să satisfacă inegalitatea a≤ x < b.

c) Reprezentări grafice

Cele mai frecvent utilizate reprezentări grafice sunt histogramele de repartiţie a frecvenţelor (absolute sau cumulate), diagramele cu bare sau bastonaşe, poligoanele de frecvenţă (absolută sau cumulată).

Poligonul de frecvenţă absolută se obţine unind valorile centrale ale intervalului de grupare utilizând histograma frecvenţelor absolute iar poligonul repartiţiei (ogiva lui Galton) se obţine în acelaşi mod utilizând histograma frecvenţelor relative (Fig. 4.21).

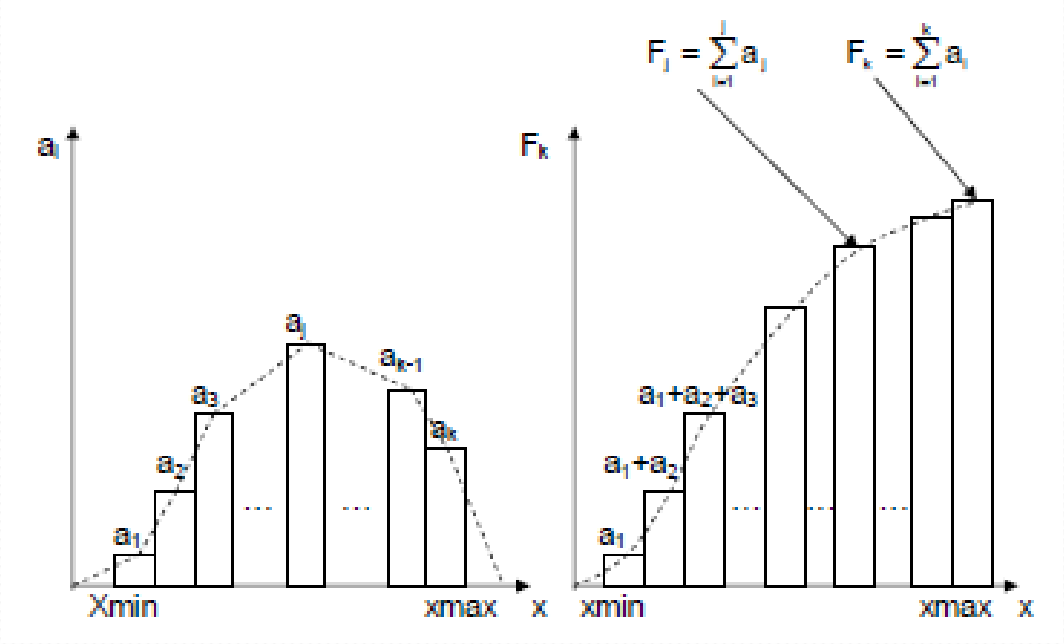


Fig. 4.21 Histograma şi poligonul frecvenţelor absolute respectiv Histograma frecvenţelor cumulate şi poligonul repartiţiei

d) Indicatori statistici

d1) Indicatori de poziţie (localizare)

- Media aritmetică:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (4.77)$$

sau dacă x_i i=1,..,m se repetă cu frecvenţele absolute a_i i=1,..,m (f_i – frecvenţele relative)

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{m} a_i x_i = \sum_{i=1}^{m} x_i f_i \qquad (4.78)$$

- Media geometrică:

$$M_G = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} x_i} \qquad (4.79)$$

- Media armonică:

$$M_A = \frac{n}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{x_i}} \qquad (4.80)$$

- Media pătratică:

$$M_P = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2}{n}} \qquad (4.81)$$

- Mediana:

$$\left.\begin{array}{l} Me = X_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \;;\; n = 2k+1 \text{ (nr. impar de valori)} \\ Me = \dfrac{X_{\left(\frac{n}{2}\right)} + X_{\left(\frac{n}{2}+1\right)}}{2} \;;\; n = 2k \text{ (nr. par de valori)} \end{array}\right\} \qquad (4.82)$$

- Modă (mod,modul) – valoarea corespunzătoare celei mai mari frecvenţe (valoarea maximă a caracteristicii).

- pentru repartiţiile unimodale aproape simetrice:

$$\left|\bar{x} - Me\right| = \frac{\left|\bar{x} - Mo\right|}{3} \qquad (4.83)$$

✓ ***Observaţii*:**

- ✓ x şi M_P sunt influenţate de valorile mari ale şirului statistic
- ✓ M_G şi M_A sunt influenţate de valorile mici ale şirului statistic
- ✓ între valorile medii există relaţia:

$$M_A < M_G < \overline{x} < M_P \qquad (4.84)$$

- ✓ Me nu este influenţată de valorile extreme

d2) Indicatori de variație

- Dispersia:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2 \qquad (4.85)$$

sau pentru x_i; i = 1,...,m grupate cu frecvenţele absolute a_i și f_i – frecvenţa relativă:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{m} a_i\left(x_i - \bar{x}\right)^2 = \sum_{i=1}^{m} f_i\left(x_i - \bar{x}\right)^2 \qquad (4.86)$$

- Dispersia corectată
(estimarea dispersiei unei populaţii statistice cu ajutorul unui eşantion):

$$s^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2 \qquad (4.87)$$

- Abaterea medie pătratică:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i - \bar{x}^2} \qquad (4.88)$$

sau

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{m}a_i(x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{m}a_i x_i^{\,2} - \bar{x}^2} =$$

$$= \sqrt{\sum_{i=1}^{m}f_i(x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m}f_i x_i^{\,2} - \bar{x}^2} \qquad (4.89)$$

- Abaterea medie pătratică corectată
(numită şi standard dacă se ia în raport cu $\bar{x}$)

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}^2\right)} \qquad (4.90)$$

- Amplitudinea:

$$R = x_{max} - x_{min} \qquad (4.91)$$

- Coeficientul de variaţie:

$$C_V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad \text{sau} \quad C_V = \frac{s}{\bar{x}} \qquad (4.92)$$

✓***Observaţii***:

✓ suma algebrică a abaterilor faţă de x este egală cu 0

✓ suma abaterilor pătratice este minimă atunci când este calculată în raport cu $\bar{x}$

d2) Momente

- Momentul absolut de ordin k (k > 1)

$$m_k' = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i^k \qquad (4.93)$$

✓***Observaţii***:

$$\left.\begin{aligned} m_1' &= \bar{x} \\ m_2' &= M_P^2 \end{aligned}\right\} \qquad (4.94)$$

- Momentul centrat de ordin k (k > 1) în raport cu $\bar{x}$

$$m_k = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \qquad (4.95)$$

sau

$$m_k = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{m} a_i (x_i - \bar{x})^k = \sum_{i=1}^{m} f_i (x_i - \bar{x})^k \qquad (4.96)$$

✓***Observaţii*:**

$$\left.\begin{aligned} m_1 &= 0 \\ m_2 &= m_2' - m_1' = \sigma^2 \\ m_3 &= m_3' - 3m_1'm_2' + 2m_1'^3 \end{aligned}\right\} \qquad (4.97)$$

$$\left.\begin{aligned} m_2' &= m_2' - \frac{1}{12}\delta^2 \\ m_4' &= m_4' - \frac{1}{2}\delta m_2' + \frac{7}{240}\delta^4 \end{aligned}\right\} \qquad (4.98)$$

Relaţiile (4.98) reprezintă corecţia momentelor (corecţia Sheppard) datorată neuniformităţii datelor în interiorul claselor (δ - amplitudinea intervalului de grupare).

d2) Indicatori pentru asimetrie și aplatizare

- coeficientul de asimetrie:

$$\gamma_1 = \sqrt{\beta_1} = \frac{m_3}{\sigma^3} \qquad (4.99)$$

- coeficientul de boltire:

$$\beta_2 = \frac{m_4}{m_2^{\,2}} = \frac{m_4}{\sigma^4} \qquad (4.100)$$

- excesul:

$$E = \beta_2 - 3 = \frac{m_4}{\sigma^4} \qquad (4.101)$$

4.6.3 Metode de estimare a indicatorilor (parametrilor) statistici

- Populaţiile statistice se pot caracteriza prin **legea repartiţiei teoretice** sau prin **valorile indicatorilor (parametrilor) statistici**.

- În cazul în care se cunoaşte legea repartiţiei, dată printr-o anumită funcţie (densitatea de probabilitate sau funcţia de repartiţie) atunci repartiţia se consideră ***specificată*** dacă anumiţi parametri sunt necunoscuţi sau ***complet specificată*** dacă toţi parametrii sunt cunoscuţi.

- **Scopul estimării** este de **a determina indicatorii statistici (parametri) ai populaţiei statistice** pe baza datelor obţinute prin **analiza eşantionului**.

- Pe de altă parte trebuie aleasă acea estimaţie care se apropie cel mai mult de valorile adevărate ale parametrilor necunoscuţi.

- S-a arătat anterior că valoarea observată efectiv în momentul experimentului (**estimatorul**) este **o variabilă aleatoare** dependentă de **eşantion**.

- **Estimatorul** poate fi **punctual** dacă estimarea se face printr-o valoare izolată sau poate fi **cu interval de încredere** când acest interval include cu o anumită probabilitate valoarea adevărată a parametrului (indicatorului statistic).

- Fie δ valoarea unui parametru al unei populaţii statistice.

- Fie **$\hat{E}(x_1,x_2,\ldots x_n)$ valoarea *estimatorului punctual*** determinat pe baza **eşantionului "n" $(x_1,x_2,\ldots,x_n)$.**

- Dacă **estimatorul $\hat{E}$** converge în probabilitate spre δ conform relaţiei (4.102) atunci **$\hat{E}(x_1,x_2,\ldots,x_n)$** este un ***estimator consistent*** a lui δ.

$$\lim_{n\to\infty} \hat{E}\left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right) = \delta \qquad (4.102)$$

Dacă ***estimatorul $\hat{E}$*** îndeplineşte condiţiile date de relaţia (4.103) atunci este un ***estimator deplasat (corect sau consistent deplasat)*** al lui δ.

$$\left.\begin{aligned} &M\left[\hat{E}\left(x_1,x_2,\ldots,x_n\right)\right]=\delta+B(n)\\ &\lim_{n\to\infty} D\left[\hat{E}\left(x_1,x_2,\ldots,x_n\right)\right]=0\\ &\lim_{n\to\infty} B(n)=0 \end{aligned}\right\} \qquad (4.103)$$

Dacă ***estimatorul $\hat{E}$*** îndeplineşte condiţiile date de relaţia (4.104) atunci este un ***estimator absolut corect (nedeplasat sau consistent nedeplasat)*** al lui δ.

$$\left.\begin{aligned} &M\left[\hat{E}\left(x_1,x_2,\ldots,x_n\right)\right]=\delta\\ &\lim_{n\to\infty} D\left[\hat{E}\left(x_1,x_2,\ldots,x_n\right)\right]=0 \end{aligned}\right\} \qquad (4.104)$$

Dacă ***estimatorul Ê este absolut corect*** şi în plus **are dispersia minimă** conform relaţiei (4.105) atunci este un ***estimator eficient***.

$$D\left[\hat{E}\left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right)\right] = \frac{1}{n \cdot M\left[\left(\frac{\partial \ln f\left(x, \delta\right)}{\partial \delta}\right)^2\right]} \qquad (4.105)$$

Estimaţiile sunt ***suficiente (exhaustive)*** dacă se foloseşte întreaga informaţie cu privire la **eşantion**.

Estimaţiile trebuie să fie ***obiective***, să fie ***funcţie de toate datele eşantionului***, să fie ***uşor de calculat*** şi ***relativ insensibile la variaţiile datorate sondajului.***

4.6.3.1 Metoda momentelor (Karl Pearson)

- Este uşor de aplicat şi constă în **egalarea momentelor teoretice** ale repartiţiei F(x,θ) **cu momentele empirice** calculate pe baza **eşantionului**.

- θ este un parametru necunoscut care poate fi un vector $\theta=(\theta_1,\theta_2,\ldots)$.

- Se obţine un sistem de ecuaţii care furnizează estimaţiile vectorului necunoscut: $\hat{\theta}=\left(\hat{\theta}_1,\hat{\theta}_2,\ldots\right)$

4.6.3.2 Metoda verosimilității maxime (Ronald A. Fisher)

- Fie o populaţie statistică la care se cunoaşte legea de repartiţie dată prin prin funcţia densitate de probabilitate, depinzând de parametrii θ_i.

- Fie un **eşantion** de volum “n” având valorile observate x_i, i=1,..,n.

Metoda constă în rezolvarea sistemului de ecuaţii dat de relaţia (4.106).

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \theta} = 0 \;\; ; \;\; L = \prod_{i=1}^{n} f(x_i;\theta) \qquad (4.106)$$

a) Estimatorul mediei teoretice (media eşantionului)

$$M[\bar{x}] = \mu \qquad (4.107)$$

✓ ***Observaţii*:**

✓ **media aritmetică a eşantionului** este un ***estimator nedeplasat*** al **mediei teoretice**.

- ✓ dacă **estimarea** se face prin **mai multe eşantioane de volume diferite** n_i, i = 1,..,m, se obţine **estimarea punctuală** care reprezintă **media generală** adică **media mediilor eşantioanelor.**

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{m} n_i \bar{x}_i \qquad (4.108)$$

unde: $n = \sum_{i=1}^{m} n_i$

- ✓ **dispersia mediei eşantionului** este:

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{\sigma^2}{n} \qquad (4.109)$$

b) Estimatorul momentului teoretic iniţial de ordin k (k > 1)

$$M\left[m_k'\right] = \mu_k' \qquad (4.110)$$

unde: $m_k' = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i^k$

✓*Observaţie*:

✓ m_k' este un ***estimator absolut corect*** al lui μ_k'

c) Estimatorul dispersiei

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2 = m_2 \qquad (4.111)$$

✓*Observaţii:*

✓ m_2 este ***estimatorul*** momentului centrat de ordinul 2

✓ **media dispersiei eşantionului**

$$M[m_2] = \frac{n-1}{n}\sigma^2 \qquad (4.112)$$

✓ **dispersia *estimatorului dispersiei***

$$D[m_2] = M\left\{\left(m_2 - M[m_2]\right)^2\right\} \qquad (4.113)$$

✓ Relaţiile (4.112) şi (4.113) arată că m_2 exprimat prin relaţia (4.111) este un ***estimator deplasat***.

d) Estimatorul dispersiei corectate

$$s^2 = \frac{n}{n-1}m_2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2 \qquad (4.114)$$

✓Observaţii:

✓ **media dispersiei corectate** a **eşantionului** este:

$$M\left[s^2\right] = \sigma^2 \qquad (4.115)$$

$$\lim_{n\to\infty} D\left[s^2\right] = 0 \qquad (4.116)$$

✓ **Estimaţia** dată de relaţia (4.114) având în vedere şi relaţia (4.116) este ***absolut corectă însă nu este eficientă***.

✓ **Estimarea dispersiei corectate** pentru "m" eşantioane de volume diferite n_i, i = 1,...,m se face prin ***media ponderată*** a **dispersiilor corectate** a **eşantioanelor**.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{m}(n_i - 1)s_i^2}{\sum_{i=1}^{m}(n_i - 1)} \qquad (4.117)$$

e) Estimatorul abaterii standard

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2} \qquad (4.118)$$

*f) Estimatorul abaterii standard a **eşantionului***

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2} \qquad (4.119)$$

✓***Observaţie:***

✓ **Estimatorii sunt deplasaţi**.

4.6.3.3 Metoda celor mai mici pătrate (Gauss – Legendre)

Metoda se aplică în ***estimaţia liniară a parametrilor*** repartiţiilor statistice.

Modelul liniar consideră ***datele*** ca fiind ***independente şi repartizate cu dispersie constantă faţă de valorile medii***, acestea din urmă fiind **funcţii liniare de parametrii necunoscuţi**.

4.6.3.4 Metoda intervalelor de încredere

Având în vedere că ***estimatorii*** obţinuţi din datele **eşantionului** sunt **variabile aleatoare** se pune ***problema determinării gradului de încredere al estimaţiei***.

Acest lucru se relizează prin ***determinarea exactităţii estimării prin probabilitatea sa***.

Exprimarea probabilităţii se face relativ la un ***interval*** numit ***interval de încredere***.

$$P(x_1 < X < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx \qquad (4.120)$$

Fie δ **valoarea adevărată a unui indicator statistic** (parametru) a cărui **estimaţie** este $\hat{\delta}$

Considerând o valoare "ε" care poate fi determinată pentru o anumită probabilitate "β" numită ***nivel de încredere*** se pot scrie relaţiile:

$$\left.\begin{array}{l} P\left(\hat{\delta}-\varepsilon<\delta<\hat{\delta}+\varepsilon\right)=\beta \\ \text{sau} \\ P\left(\left|\hat{\delta}-\delta\right|<\varepsilon\right)=\beta \end{array}\right\} \qquad (4.121)$$

Intervalul $\left(\hat{\delta}-\varepsilon\ ,\ \hat{\delta}+\varepsilon\right)$ se numește ***interval de încredere***

Intervalul complementar intervalului de încredere se numeşte ***interval critic***.

Probabilitatea ca ***indicatorul estimat*** să aparţină ***intervalului critic*** se numeşte ***nivel de semnificaţie sau risc*** α **= 1-**β.

Intervalele de încredere pot fi:

- ***interval cu risc unilateral la stânga***:

$$P\left(\delta < \delta_i\right) = \alpha \qquad (4.122)$$

- ***interval cu risc unilateral la dreapta***:

$$P\left(\delta > \delta_i\right) = \alpha \qquad (4.123)$$

- ***interval cu risc bilateral asimetric***:

$$P\left(\delta > \delta_2\right) = P\left(\delta < \delta_1\right) = \frac{\alpha}{2} \qquad (4.124)$$

- ***interval cu risc bilateral simetric***:

$$\left.\begin{aligned} P\left(\delta > \delta_{sup}\right) &= \alpha_{sup} \\ P\left(\delta < \delta_{inf}\right) &= \alpha_{inf} \\ \alpha_{inf} + \alpha_{sup} &= \alpha \end{aligned}\right\} \qquad (4.125)$$

Cazuri particulare:

a. Estimarea intervalului de încredere pentru media teoretică a unei distribuţii normale la care dispersia este cunoscută.

- Fie X : N (μ , σ^2) o **variabilă aleatoare repartizată normal** cu σ **cunoscut.**
- Fie "n" un **eşantion** extras din populaţia statistică.
- Se doreşte estimarea mediei teoretice μ pe baza unui ***risc*** α = 0,05 pentru un ***interval cu risc bilateral simetric*** ($\beta = 1-\alpha$ = 95%).
- Prin eşantionare se obţine ***estimatorul*** $\bar{x}$ – media eşantionului care conform celor prezentate anterior are o distribuţie normală N (μ , $\sigma^2/n^{1/2}$).

- se determină **variabila aleatoare abatere redusă**:

$$z = \frac{\mu - \bar{x}}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \qquad (4.126)$$

unde z – este repartizată normal N (0,1)

- pentru P = 95% din tabelele distribuţiei normale rezultă intervalul (-1,96 ; +1,96).

$$P(-1{,}96 < z < 1{,}96) = 95\% \qquad (4.127)$$

- rezultă **intervalul de încredere** pentru media teoretică:

$$\left.\begin{aligned} &\bar{x} = 1{,}96\frac{\sigma}{\sqrt{n}} < z < \bar{x} + 1{,}96\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \\ &\text{sau} \\ &\mu = \bar{x} \pm 1{,}96\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \end{aligned}\right\} \qquad (4.128)$$

- Conform relaţiilor (4.122), (1.123), (4.124), (4.125) pot fi de asemenea construite intervalele se încredere corespunzătoare.

- În cazul general:

$$\mu = \bar{x} \pm z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \qquad (4.129)$$

b) Estimarea intervalului de încredere pentru media teoretică a unei distribuţii normale la care dispersia este necunoscută:

- Fie X : N (μ , σ^2) o **variabilă aleatoare repartizată normal** cu σ **neconoscut**.

- Fie "n" un **eşantion** cu estimaţiile $\bar{x}$ şi s.

- se determină **variabila aleatoare abatere redusă**:

$$t = \frac{\mu - \bar{x}}{\sqrt{\frac{s^2}{n}}} \qquad (4.130)$$

- variabila aleatoare $\mu - \bar{x}$ are o repartiţie normală
- variabila aleatoare s^2 are o repartiţie χ^2
- variabila aleatoare "t" o repartiţie Student cu $\nu = n-1$ grade de libertate
- similar cu cele prezentate anterior rezultă pentru media teoretică:

$$\left.\begin{aligned} &\bar{x} - t_{\nu,\frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{\nu,\frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}} \\ &\text{sau} \\ &\mu = \bar{x} \pm t_{\nu,\frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}} \end{aligned}\right\} \qquad (4.131)$$

c) *Estimarea intervalului de încredere pentru dispersia unei distribuţii normale cu μ şi σ necunoscuţi.*

- Fie X : N (μ , σ^2) o **variabilă aleatoare repartizată normal cu μ şi σ necunoscuţi**

- Fie "s" ***estimatorul corectat*** al **dispersiei eşantionului**.

- Variabila aleatoare dată de relaţia (4.132) are o repartiţie χ^2 cu ν = n-1 grade de libertate

$$\chi^2_{\nu} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^2 \qquad (4.132)$$

- Pentru un ***risc α*** se poate scrie relaţia:

$$P\left(\chi^2_{\nu,\frac{\alpha}{2}} < \chi^2_{\nu} < \chi^2_{\nu,1-\frac{\alpha}{2}} \right) = 1 - \alpha = \beta \qquad (4.133)$$

- Rezultă ***intervalul de încredere bilateral simetric***:

$$\frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{\nu,\frac{\alpha}{2}}} < \sigma^2 < \frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{\nu,1-\frac{\alpha}{2}}} \qquad (4.134)$$

d) Estimarea intervalului de încredere pentru parametrul "p" al repartiţiei binomiale

- Fie "n" un **eşantion de volum mare astfel încât repartiţia binomială să poată fi aproximată cu repartiţia normală**, atunci se poate scrie relaţia:

$$z = \frac{\bar{x} - np}{\sqrt{np(1-p)}} \qquad (4.135)$$

- Rezultă intervalul de încredere pentru "p":

$$\frac{\bar{x}}{n} - z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} < p < \frac{\bar{x}}{n} + z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} \qquad (4.136)$$

unde "p_0"este fracţiunea defectivă a eşantionului

e) Estimarea intervalului de încredere pentru parametrul "λ" al repartiţiei Poisson

- Fie "n" un **eşantion de volum mare astfel încât repartiţia Poisson să poată fi aproximată cu repartiţia normală,** atunci rezultă intervalul de încredere pentru parametrul λ:

$$\bar{x} - z_{\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{\bar{x}}{n}} < \lambda < \bar{x} + z_{\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{\bar{x}}{n}} \qquad (4.137)$$

4.7 Teste statistice

- **Obiectivul principal în analiza şi controlul calităţii** este **luarea de decizii pe baza unor rezultate obţinute prin eşantionare**.

- Prin **eşantionare repetată** se obţin evident rezultate diferite, generându-se astfel o **incertitudine**.

- Problema care se pune este **elaborarea unor reguli** pe baza cărora decizia să se ia astfel încât **concluzia corectă să fie dată cu o probabilitate suficient de mare**.

- Practic **luarea unei decizii** constă în ***adoptarea sau respingerea unei ipoteze statistice***.

- ***Ipoteza statistică*** este **o supoziţie** (sau **o incertitudine**) asupra faptului că **valorile obţinute prin sondaj estimează parametrii populaţiei statistice**, respectiv **dacă repartiţia de sondaj concordă cu repartiţia teoretică propusă.**

- ***Verificarea ipotezelor statistice*** (adoptarea sau respingerea unei ipoteze statistice) se face cu ajutorul unor ***teste statistice***.

Testele statistice pot fi:

- ***cu caracter general*** (**verifică ipotezele asupra populaţiei statistice** din care s-au extras eşantioanele)

- ***parametrice*** (**verifică ipotezele** referitoare la **parametrii necunoscuţi ai populaţiilor statistice** pe baza **estimaţiilor eşantioanelor**).

Având în vedere că ipotezele statistice se fac asupra populaţiei statistice iar deciziile se iau pe baza eşantioanelor vor apare **erori** (sau **decizia va fi luată cu un anumit risc**).

Ipoteza iniţială (sau nulă) se notează cu H_0 iar **ipotezele alternative** (sau **contrare**) cu H_1, H_2,….

Dacă ipoteza H_0 este adevărată dar se respinge pe baza eşantionului, atunci se spune că se produce o ***eroare de genul* 1 (α),** iar **dacă H_0 se acceptă, în realitate fiind falsă** se spune că se produce **o *eroare de genul* 2 (β)**

$$\alpha = P\{\text{respinge } H_0 \mid H_0 \text{ adevărată}\}$$

$$\beta = P\{\text{acceptă } H_0 \mid H_0 \text{ falsă}\} \qquad (4.138)$$

Deciziile posibile sunt prezentate în tabelul 4.8

Tab. 4.8 Deciziile ce pot fi luate la testarea ipotezelor statistice

Decizie	**H_0 adevărată**	**H_0 falsă**
H_0 - acceptată	Decizie corectă $P = 1 - \alpha$	Eroare (risc) de genul 2 β
H_0 - respinsă	Eroare (risc) de genul 1 α	Decizie corectă $\pi = 1 - \beta$

Probabilitatea $\pi = 1 - \beta$ de a respinge ipoteza H_0 când aceasta este falsă se numeşte ***puterea testului***.

Alegerea *puterii testului* trebuie făcută cu precauţie întrucât în realitate ea **nu este independentă de nivelul de semnificaţie α**.

O creştere a *puterii testului* poate duce la o diminuare a puterii de discriminare a testului.

- Dacă se testează ipoteza nulă H_0 cu alternativa H_1 cu ajutorul unei funcţii discriminante (sau statistică “u”) se defineşte pentru ”α” adoptat un ***interval de acceptare*** U numit şi ***regiune de acceptare*** conform relaţiei (4.139).

- ***Regiunea complementară*** se numeşte ***regiune critică***.

- ***Regiunea de acceptare*** (***sau cea critică***) nu este unic determinată, putând exista mai multe teste pentru verificarea ipotezei nule H_0.

- Se numeşte ***”cel mai puternic test”*** acela pentru care ***se face cea mai mică eroare de genul 2***.

- Acest ***test*** se bazează pe ***”cea mai bună regiune critică”*** care se obţine atunci când relaţia (4.140) este minimă

$$P\left(u \in U \middle| H_0\right) = 1 - \alpha \qquad (4.139)$$

$$P\left(u \in nonU \middle| H_1\right) = \beta \qquad (4.140)$$

În controlul statistic al calităţii **"α"** reprezintă ***riscul producătorului (riscul de a i se respinge loturi de calitate corespunzătoare C_1)***, iar **"β"** reprezintă ***riscul beneficiarului (riscul de a accepta loturi de calitate necorespunzătoare C_2)***.

Prin ***trasarea unei curbe ce reprezintă valoarea probabilităţii de acceptare în funcţie de valoarea adevărată se poate determina efectul luării deciziei pe baza eşantionării***.

Această curbă numită şi **curbă de eficacitate sau operativă (CO)** arată că nu există o curbă ideală care să ducă la o delimitare clară a domeniilor de acceptare, ca în figura 4.22

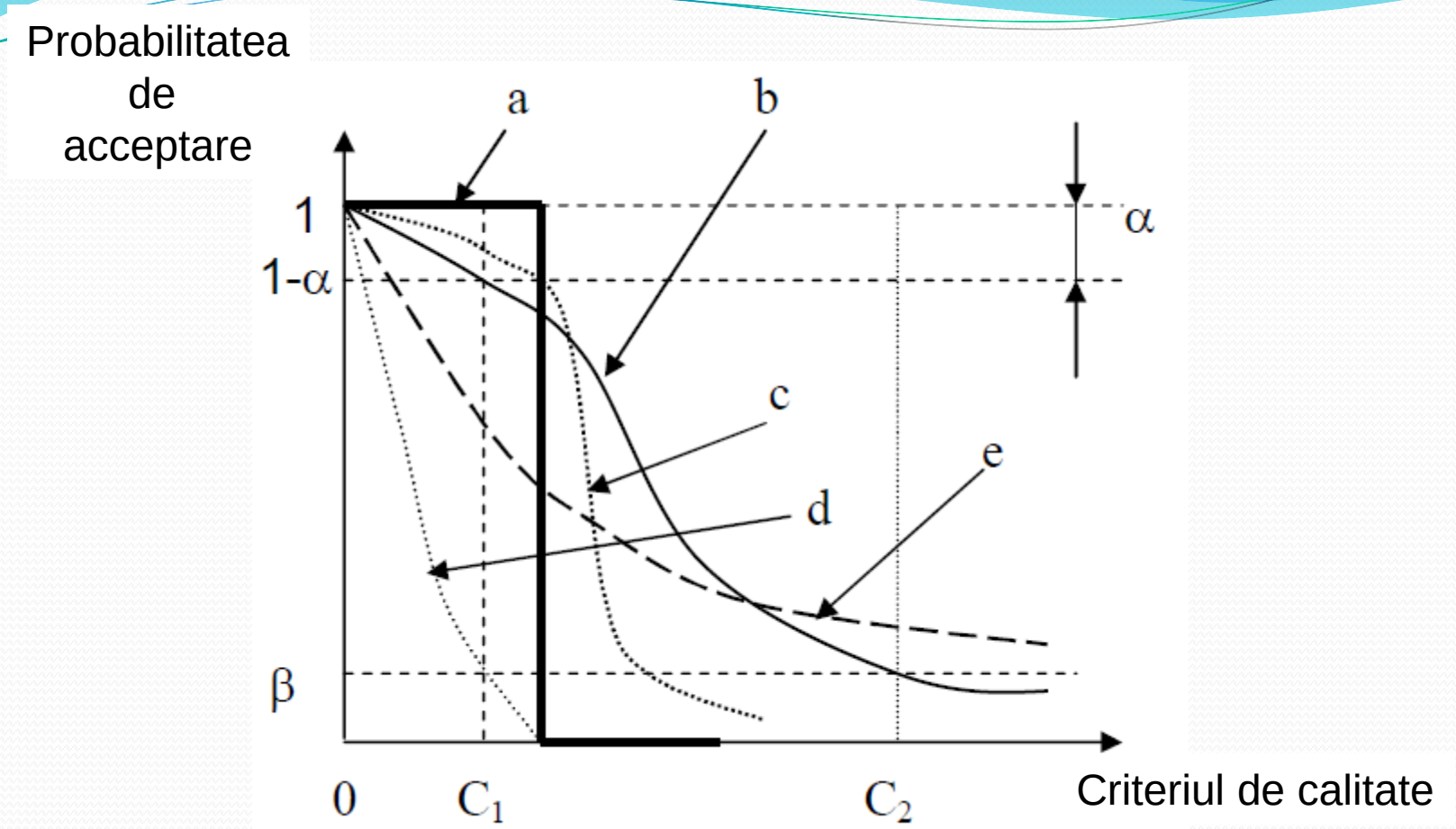


Fig. 4.22 Curbele operative (de eficacitate) referitoare la teste statistice
a) CO ideală
b) CO pentru n<<N
c) CO pentru n<N
d) CO cu număr de acceptare "0" şi "n_d" mare
e) CO cu număr de acceptare "0" şi "$n_e > n_d$"

Pentru **aplicarea testelor *asupra ipotezelor statistice*** trebuie urmate în general câteva etape:

- **formularea ipotezei nule şi a celei alternative.**
- **extragerea unui eşantion şi determinare parametrilor sondajului.**
- **construirea funcţiei discriminante.**
- **stabilirea nivelului de semnificaţie şi stabilirea regulii de decizie de acceptare sau respingere a ipotezei statistice.**

Există **două moduri de a construi testele statistice**.

Primul mod presupune utilizarea unui **eşantion de volum fixat**, iar cel de-al doilea presupune folosirea unui **volum aleator al eşantionului** (acesta din urmă constituie obiectul analizei secvenţiale).

Pentru a se putea extinde rezultatele obţinute prin analiza eşantionului asupra populaţiei statistice, este necesar ca în prealabil să se facă anumite verificări prin intermediul unor teste statistice specifice.

Cele mai importante teste sunt:

- **Teste pentru detectarea caracterului aleator a datelor eşantionului.**
- **Teste pentru detectarea şi eliminarea valorilor aberante.**
- **Teste pentru determinarea concordanţei dintre repartiţia analizată şi o repartiţie teoretică.**

4.7.1 Teste pentru detectarea caracterului aleator a datelor eşantionului

Datele obţinute prin eşantionare *trebuie în mod obligatoriu să aibe un caracter aleator* întrucât acestea **influenţează asupra exactităţii determinării valorilor tipice de localizare şi împrăştiere**.

În mod practic **este mai uşor se testeze caracterul nealeator al datelor**, **urmărindu-se prin testele aplicate *prezenţa de valori extreme, existenţa unor tendinţe, prezenţa de variaţii periodice respectiv existenţa discontinuităţilor***.

a. Testul diferenţelor succesive (R.L.Young, Von Neumann)

Pentru **detectarea caracterului nealeator** se foloseşte statistica:

$$\delta^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n-1}\left(x_{i+1} - x_i\right)^2 \qquad (4.141)$$

cu proprietăţile:

$$\left.\begin{aligned} M\left[\frac{\delta^2}{2}\right] &= \sigma^2 \\ \lim_{n\to\infty} D\left[\frac{\delta^2}{2}\right] &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad (4.142)$$

- Conform relaţiei (4.141) $\delta^2/2$ este un ***estimator nedeplasat*** al **dispersiei** unei populaţii normale $N(\mu;\sigma^2)$.
- Statistica $\delta^2/2$ este numită şi ***media pătratică a diferenţelor succesive***.
- Von Neumann a propus pentru testarea caracterului nealeator statistica:

$$M = \frac{\delta^2}{s^2} \qquad (4.143)$$

- Valorile critice superioare şi inferioare ale statisticii M sunt date în tabelul 4.9 funcţie de nivelul de semnificaţie α:

Tab. 4.9 Valorile critice pentru testul diferenţelor succesive

n	$V_{inf,\alpha=0,05}$	$V_{inf,\alpha=0,01}$	$V_{sup,\alpha=0,05}$	$V_{sup,\alpha=0,05}$
4	0,78	0,63	3,22	2,37
5	0,82	0,54	3,18	3,46
6	0,89	0,56	3,11	3,44
7	0,94	0,61	3,06	3,39
8	0,98	0,66	3,02	3,34
9	1,02	0,71	2,98	3,29
10	1,06	0,75	2,94	3,25
11	1,10	0,79	2,90	3,21
12	1,13	0,83	2,87	3,17
15	1,21	0,92	2,79	3,08
20	1,30	1,04	2,70	2,96
25	1,37	1,13	2,63	2,87

Decizia se ia astfel, dacă :

$$\left.\begin{array}{c} M_{calculat} \le V_{inf,n,\alpha} \\ \text{sau} \\ M_{calculat} \ge V_{sup,n,\alpha} \end{array}\right\} \qquad (4.144)$$

atunci datele eşantionului **au un caracter nealeator**, iar pentru:

$$V_{inf,n,\alpha} < M_{calculat} < V_{sup,n,\alpha} \qquad (4.145)$$

caracterul nealeator se respinge.

Exemplu: Iliescu & Vodă (1977), pg. 82

Un lot format din 16 scule aşchietoare este supus unor încercări de durabilitate. În tabelul următor sunt date durabilităţile obţinute (în minute) precum şi elementele de calcul necesare

Nr. crt.	**Durabilitatea (minute)** x_i	**Diferenţele succesive** $(x_{i+1} - x_i)$	**Diferenţele faţă de medie** $(x_i - \overline{x})$	$(x_{i+1} - x_i)^2$	$(x_i - \overline{x})^2$
1	7,16	+ 4,18	- 7,86	17,4724	61,7736
2	11,34	- 6,29	- 3,68	39,5641	13,5424
3	5,05	+ 7,15	- 9,97	2,1025	99,4009
4	6,50	+ 7,76	- 8,52	60,2176	72,5904
5	14,26	- 4,86	- 0,76	23,6196	0,5776
6	9,40	- 2,20	- 5,62	4,8400	31,5844
7	7,20	+ 4,98	- 7,82	24,8004	61,1524
8	12,18	+ 5,36	- 2,84	28,7296	8,0656
9	17,54	- 1,44	+ 2,52	2,0736	6,3504
10	16,10	+ 6,96	+ 1,08	48,4416	1,1664

...continuare tabel

Nr. crt.	Durabilitatea (minute) x_i	Diferențele succesive $(x_{i+1} - x_i)$	Diferențele față de medie $(x_i - \bar{x})$	$(x_{i+1} - x_i)^2$	$(x_i - \bar{x})^2$
11	23,06	- 1,78	+ 8,04	3,1684	64,6416
12	21,28	+ 9,16	+ 6,26	83,9056	39,1876
13	30,44	- 14,14	+ 15,42	199,9396	237,7764
14	16,30	+ 1,72	+ 1,28	2,9534	1,6384
15	18,02	+ 6,56	+ 3,00	43,0336	9,0000
16	24,58	-	+ 9,55	-	91,3936

$$\bar{x} = 15,02\,;\ \sum_{i=1}^{16}\left(x_i - \bar{x}\right)^2 = 799,8477\,;\ \delta^2 = \frac{1}{15}\sum_{i=1}^{15}\left(x_{i+1} - x_i\right)^2 = 38,991;\ s^2 = 53,3231$$

$$M_{calculat} = \frac{38,9911}{53,3231} \cong 0,7312$$

$$M_{calculat} \le V_{16\,;\,0,05} \cong 1,22$$

Rezultă că seria statistică prezintă un caracter nealeator

Experimentatorul poate suspecta factul că **eșantionul** este contaminat de **valori extreme (aberante),** de exemplu x_3 = 5,05, care diferă suficient de mult față de restul valorilor.

Practic aceasta înseamnă că au avut loc anumite ”căderi timpurii” ale sculelor care s-au rupt mult înaintea limitei normale de uzură

4.7.2 Teste pentru detectarea și eliminarea valorilor aberante

În unele cazuri **în şirul datelor** obţinute prin **eşantionare pot apare valori care nu fac parte în mod natural din acesta**.

Cauzele care pot duce la apariţia unor astfel de valori sunt în principal **datorate aparaturii de măsurare şi control, greşelilor operatorilor, erori de înregistrare** etc.

Problema care se pune constă în:

- ✓ **recunoaşterea valorilor aberante**
- ✓ **stabilirea oportunităţii eliminării valorilor aberante**
- ✓ **eliminarea valorilor aberante**

Majoritatea testelor fiind bazate pe repartiţia normală este recomandabil ca atunci **când normalitatea a fost respinsă prin teste specifice să se încerce detectarea şi eliminarea valorilor aberante dacă acestea există**.

a. Testul Charlier

Este un **test expeditiv cu putere redusă** în cazul **eşantioanelor de volum redus**.

Conform acestui test se consideră ca fiind **valori aberante** (şi deci trebuie eliminate) **toate valorile aflate aflate în afara intervalului** $[\bar{x} - cs\,;\, \bar{x} + cs]$ în care **"c" este funcţie de volumul eşantionului**.

- se calculează probabilitatea:

$$P\left(\left|\frac{\bar{x}-\mu}{\sigma} \le c\right|\right) = \frac{n-1}{n} \qquad (4.146)$$

- valoarea lui "c rezultă" din tabelele repartiţiei normale sau poate fi determinată din Fig. 4.23.

- **testul se reia** până când **nu mai există valori aberante**.

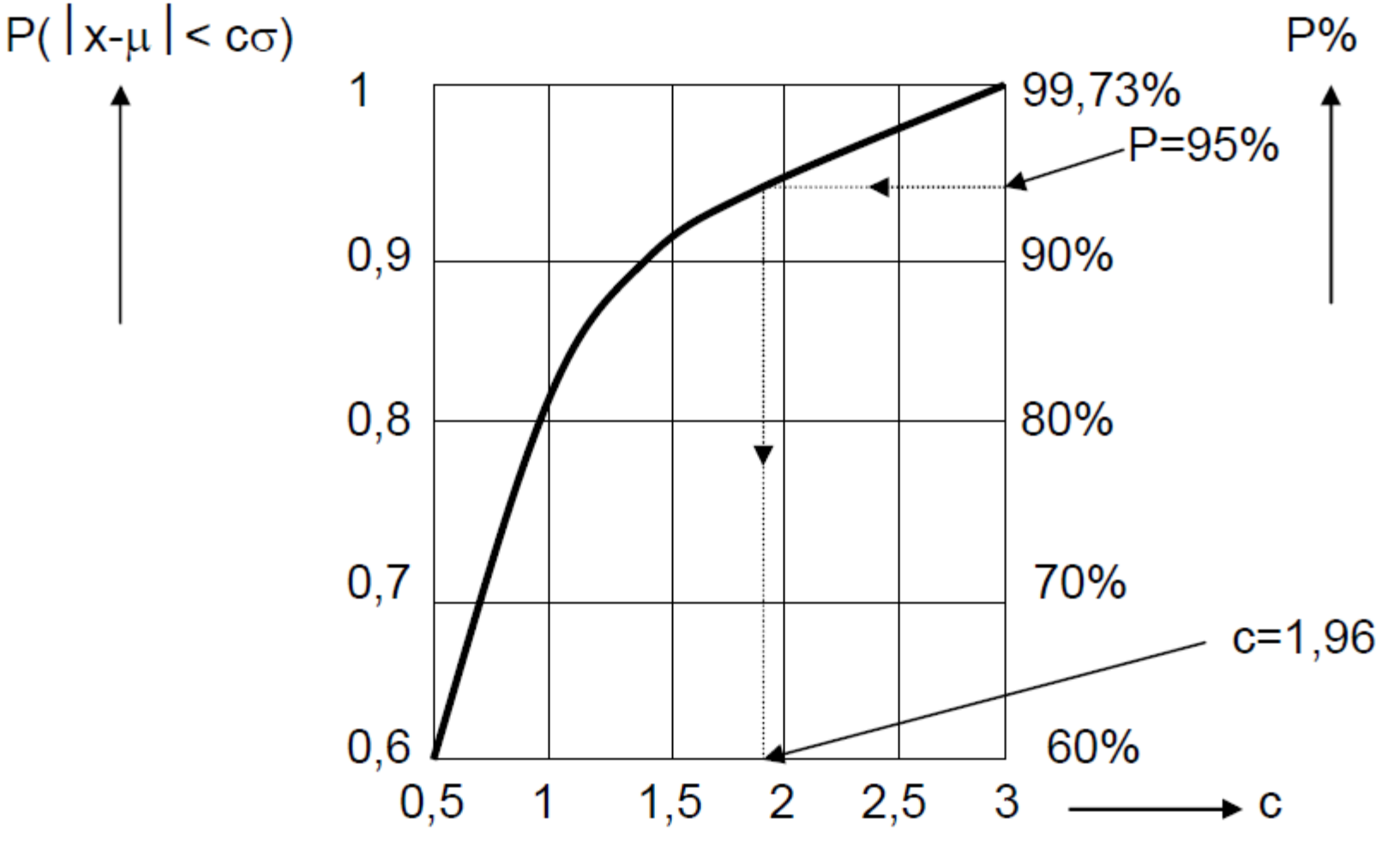


Fig. 4.23 Valorile lui “c” pentru testul Charlier

b. Testul Grubbs-Smirnov

- se ordonează crescător şirul statistic obţinut prin eşantionare:

$$x_1 \leq x_2 \leq \ldots \leq x_n$$

- dacă $x_1 = x_{min}$ se suspectează a fi **aberantă** se calculează statistica:

$$v_{calculat,\,inf} = \frac{\bar{x} - x_1}{s} \qquad (4.147)$$

- dacă $\nu_{calculat,inf} > \nu_{critic}(n,\alpha)$ atunci conform tabelului 4.10 valoarea x_1 se elimină iar dacă $\nu_{calculat,inf} \leq \nu_{critic}(n,\alpha)$ atunci x_1 se păstrează.

- presupunând că valoarea x_1 a fost aberantă şi a fost eliminată, se suspectează $x_n = x_{max}$ ca fiind aberantă, calculându-se statistica:

$$v_{calculat,\,sup} = \frac{x_n - \bar{x}'}{s'} \qquad (4.148)$$

Unde:

$$\left.\begin{aligned} \bar{x}' &= \frac{1}{n-1}\sum_{i=2}^{n} x_i \\ s' &= \sqrt{\frac{1}{n-2}\sum_{i=2}^{n}\left(\bar{x}-x_i\right)^2} \end{aligned}\right\} \qquad (4.149)$$

- dacă $\nu_{calculat,sup} > \nu_{critic}(n,\alpha)$ atunci valoarea x_n **se elimină ca fiind aberantă** iar dacă $\nu_{calculat,sup} \leq \nu_{critic}(n,\alpha)$ atunci valoarea x_n se menţine în şirul statistic.

- testul se continuă (suspectând x_2 respectiv x_{n-1} ca fiind aberante, etc) **până când nu se mai elimină nici o valoare**

Tab. 4.10 Valorile $\nu_{critic}(n,\alpha)$ pentru testul Grubbs-Smirnov

n\α	0,05	0.025	n\α	0,05	0.025	n\α	0,05	0,025	n\α	0,05	0,025
3	1,15	1,15	**9**	2,11	2,21	**15**	2,41	2,55	**21**	2,58	2,73
4	1,46	1,48	**10**	2,18	2,29	**16**	2,44	2,59	**22**	2,60	2,76
5	1,67	1,71	**11**	2,23	2,36	**17**	2,47	2,62	**23**	2,62	2,78
6	1,82	1,89	**12**	2,29	2,41	**18**	2,50	2,65	**25**	2,66	2,82
7	1,94	2,02	**13**	2,33	2,46	**19**	2,53	2,68	**30**	2,75	2,91
8	2,03	2,13	**14**	2,37	2,51	**20**	2,56	2,71	**40**	2,87	3,04

c. Testul Dixon

Este un test expeditiv, având la bază **teoria statisticilor de ordine**.

Eliminarea valorilor aberante se face prin compararea unor rapoarte bazate pe diferenţele valorilor din şirul statistic ordonate crescător şi valorile critice din tabelul 4.11 (extras).

Se calculează statisticile:

$$\left.\begin{aligned}
r_{10} &= \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1} \quad \text{pentru} \quad n \in \{3,\ 4,\ldots,7\} \\
r_{11} &= \frac{x_2 - x_1}{x_{n-1} - x_1} \quad \text{pentru} \quad n \in \{8,\ 9,\ 10\} \\
r_{21} &= \frac{x_3 - x_1}{x_{n-1} - x_1} \quad \text{pentru} \quad n \in \{11,\ 12,\ 13\} \\
r_{22} &= \frac{x_3 - x_1}{x_{n-2} - x_1} \quad \text{pentru} \quad n \in \{14,\ldots 30\}
\end{aligned}\right\} \qquad (4.150)$$

Decizia de acceptare că valoarea x_1 este aberantă se ia dacă este îndeplinită condiţia:

$$r_{calculat} > r_{critic}(n,\alpha) \qquad (4.151)$$

Tab. 4.11 Valorile critice $r_{critic}(n,\alpha)$ pentru testul Dixon

r_{ij}	n	α = 0,01	α =0,05
r_{10}	3	0.941	0,988
	4	0,765	0,889
	6	0,560	0,698
r_{11}	8	0,554	0,683
	10	0,477	0,597
r_{21}	11	0,576	0,679
	12	0,546	0,642
	13	0,521	0,615
r_{22}	14	0,546	0,641
	15	0,525	0,616
	29	0,381	0,463
	30	0,376	0,457

Exemplu:

Din verificarea temperaturii de declanșare a unor termostate reglate la 300 °C se obține următorul șir de valori:

280,3 ; 299,9 ; 309,1 ; 300,0 ; 309,3 ; 306,9 ; 305,0 ; 304,9 ; 299,4 ; 286,7 ; 288,6 ; 304,7 ; 294,0 ; 208,8 ; 301,1 ; 286,1 ; 301,7 ; 288,8 ; 315,4 ; 319,1 ; 316,3 ; 293,3 ; 304,9

Să se verifice dacă există valori aberante și dacă este cazul să se elimine aceste valori utilizînd Testele Charlier, Grubbs-Smirnov și Dixon.

a. Testul Charlier

- se ordonează şirul crescător (opțional)

- se calculează: $\bar{x} = 296,7 \; ; \; s = 21,68$

- se determină: $P\left(\frac{\bar{x} - \mu}{\sigma} \leq c \right) = \frac{n-1}{n} = \frac{23-1}{23} = 0,95$

- din figura 4.32 $\rightarrow$ c =1,96

- se construiește intervalul: $\left[\bar{x} - cs \; ; \; \bar{x} + cs \right] = \left[254,20 \; ; \; 339,19 \right]$

- rezultă că **valoarea** 208,8 este **aberantă și trebuie eliminată**:

b. Testul Grubbs-Smirnov

- se ordonează şirul crescător: $x_1 \le x_2 \le \ldots \le x_n$

- se calculează: $\bar{x} = 296,7 \; ; \; s = 21,68$

- se suspectează $x_1 = x_{min} = 208,8$ ca fiind aberantă:

- se calculează: $v_{calculat,\,inf} = \dfrac{\bar{x} - x_1}{s} = \dfrac{296,7 - 208,8}{21,68} = 4,054$

- din tabelul 4.10 $\rightarrow \nu_{critic}(23 \; ; \; 0,05) = 2,62$

- rezultă $\nu_{calculat,inf} > \nu_{critic}(n,\alpha) \rightarrow 4,054 > 2,62$ și deci **valoarea** 208,8 este **aberantă și trebuie eliminată**

- se suspectează $x_n = x_{max} = 319,1$ ca fiind aberantă:

- se calculează, conform relațiilor (4.149): $\bar{x}' = \ldots \; ; \; s' = \ldots$

- se calculează: $v_{calculat,\,sup} = \dfrac{x_n - \bar{x}'}{s'} = \ldots$

- din tabelul 4.10 $\rightarrow \nu_{critic}(22 \; ; \; 0,05) = 2,60$

- dacă $\nu_{calculat,sup} > \nu_{critic}$ (22 ; 0,05) = 2,60 atunci valoarea x_n **se elimină ca fiind aberantă** iar dacă $\nu_{calculat,sup} \leq \nu_{critic}$ (22 ; 0,05) atunci valoarea x_n se menţine în şirul statistic.

- testul se continuă (suspectând x_2 respectiv x_{n-1} ca fiind aberante, etc) **până când nu se mai elimină nicio valoare**

c. Testul Dixon

- se ordonează şirul crescător: $x_1 \leq x_2 \leq \ldots \leq x_n$

- se suspectează $x_1 = x_{min} = 208,8$ ca fiind aberantă

- pentru că n = 23, se va calcula statistica r_{22} utilizând tabelul următor, rezultat din ordonarea crescătoare a șirului

x_1	x_2	x_3	x_4	.....	x_{n-2}	x_{n-1}	x_n
208,8	280,3	286,1	286,7		315,4	316,3	319,1

- se calculează $r_{22} = \frac{x_3 - x_1}{x_{n-2} - x_1} = \frac{286,1 - 208,8}{315,4 - 208,8} = \frac{77,3}{106,6} \cong 0,73$

- din tabelul 4.11 rezultă $r_{critic}(23;0,01) = 0,46$

- $r_{22calculat} \cong 0,73 > r_{critic}(23;0,01) = 0,46$

- și deci **valoarea** 208,8 este **aberantă și trebuie eliminată**

- după eliminare, se ordonează şirul descrescător: $x_1 \geq x_2 \geq \ldots \geq x_n$

- se suspectează $x_1 = x_{max} = 319,1$ ca fiind aberantă

- pentru că n = 23, se va calcula statistica r_{22} utilizând tabelul următor, rezultat din ordonarea descrescătoare a șirului

	x_n	x_{n-1}	x_{n-2}	.....	x_3	x_2	x_1
~~x_1~~	x_2	x_3	x_4	.....	x_{n-2}	x_{n-1}	x_n
~~**208,8**~~	280,3	286,1	286,7		315,4	316,3	319,1

- se calculează $r_{22} = \dfrac{x_3 - x_1}{x_{n-2} - x_1} = \dfrac{315,4 - 319,1}{286,7 - 319,1} = \dfrac{-3,7}{-32,4} = 0,11 < 0,46$

- și deci **valoarea** 319,1 **nu este aberantă și nu trebuie eliminată**

4.7.3 Teste de concordanță

a. Testul χ^2 (Pearson)

Se utilizează pentru **testarea ipotezei că repartiţia experimentală a datelor unui eşantion corespunde unei repartiţii cunoscute**.

Dacă testarea concordanţei se face relativ la **repartiţia normală**, atunci ipoteza nulă este $H_0: X \in N(\mu, \sigma^2)$, iar ipoteza alternativă este $H_1: X \notin N(\mu, \sigma^2)$.

Funcţia discriminantă este:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(a_i - np_i)^2}{n} \qquad (4.152)$$

unde: n – volumul eşantionului ($n \geq 50$)
a_i – frecvenţa absolută a clasei i
p_i – probabilitatea teoretică a clasei i

- se stabileşte numărul de clase astfel încât să fie aproximativ egale (P% aproximativ egală în fiecare clasă) cu excepţia primei şi ultimei clase care pot fi infinite; $np_i \geq 5$.

- se calculează $\overline{x}$ şi s.

- se calculează p_i cu ajutorul funcţiei Laplace:

$$\left.\begin{aligned} p_i &= F(z_i) - F(z_{i-1}) = F\left(\frac{x_i - \overline{x}}{s}\right) - F\left(\frac{x_{i-1} - \overline{x}}{s}\right) \\ p_1 &= F(z_1) - F(-\infty) = F\left(\frac{x_1 - \overline{x}}{s}\right) \\ p_k &= F(+\infty) - F(z_k) = 1 - F\left(\frac{x_k - \overline{x}}{s}\right) \end{aligned}\right\} \qquad (4.153)$$

- se alege nivelul de semnificaţie α
- se calculează numărul gradelor de libertate $\nu = k - 3$ pentru repartiţia χ^2
- se calculează valoare $\chi^2_{calculat}$:

$$\chi^2_{calculat} = \sum_{i=1}^{k} \frac{(a_i - np_i)^2}{n} \qquad (4.154)$$

⇒ Decizia de acceptare a ipoteze H_0 se face atunci când $\chi^2_{calculat} < \chi^2_{\nu,\alpha}$

⇒ Testul poate fi aplicat şi pentru verificarea concordanţei cu o repartiţie discretă (Bernoulli sau Poisson).

b. Testul Kolmogorov – Smirnov (KS)

Este un test care verifică concordanţa dintre o repartiţie teoretică F(x) (normală, Poisson sau Bernoulli) şi una experimentală $F_n(x)$ pe cale analitică sau grafică.

Funcţia discriminantă este:

$$\Delta = F_n(x) - F(x) \qquad (4.155)$$

- se ordonează şirul statistic în ordine crescătoare
- se alege nivelul de semnificaţie α
- se stabileşte valoarea maximă a lui Δ:

$$\Delta_{max} = \max\left|F_n(x) - F(x)\right| \qquad (4.156)$$

- criteriul de acceptare a concordanţei (acceptarea ipotezei H_0) este conform lui Moțoiu (1994) este:

$$\Delta_{max} < \Delta_{critic}(n,\alpha) \qquad (4.157)$$

➡ valorile lui $\Delta_{critic}(n,\alpha)$ sunt date în tabelul 4.12

Tab. 4.12 Valorile $\Delta_{critic}(n,\alpha)$ pentru testul Kolmogorov-Smirnov

n	α = 0,20	α = 0,15	α = 0,10	α = 0,05	α = 0,01
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418

- criteriul de acceptare a concordanţei (acceptarea ipotezei H_0) este conform lui Panaite & Munteanu (1982) este:

$$\Delta_{max} < \frac{\lambda}{\sqrt{n}} \qquad (4.158)$$

unde λ se obţine din tabelele funcţiei $K(\lambda)$, adoptând un nivel de semnificaţie α, iar "n" este volumul eşantionului.

$$P\left(\Delta_{max} \leq \frac{\lambda}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha = K(\lambda) \qquad (4.159)$$

de exemplu pentru:

$$\alpha = 0.01 \Rightarrow K(\lambda) = 0,99 \Rightarrow \lambda = 1,63$$

$$\alpha = 0,05 \Rightarrow K(\lambda) = 0,95 \Rightarrow \lambda = 1,36$$

$$\alpha = 0,10 \Rightarrow K(\lambda) = 0,90 \Rightarrow \lambda = 1,23$$

c. Testul Massey

Este un test care provine din modificarea testului KS pentru eşantioane de volum redus $n \in [8,32]$.

Ipoteza nulă este $H_0: X \in N(\mu,\sigma^2)$ şi ipoteza alternativă $H_1: X \notin N(\mu,\sigma^2)$.

- se ordonează valorile şirului statistic în ordine crescătoare
- se determină parametrii $\overline{x}$ şi s
- se normează valorile variabilei y_i şi se determină frecvenţa cumulată a fiecărei valori y_i:

$$\left.\begin{aligned} y_i &= \frac{x_i - \overline{x}}{s} \\ F_n(y_i) &= \sum_{i=1}^{i} f_i \end{aligned}\right\} \qquad (4.160)$$

unde f_i este frecvenţa relativă a valorii y_i

- se calculează funcţia teoretică $F(y_i)$ cu ajutorul funcţiei Laplace
- se determină diferenţele:

$$\Delta = \left| F_n(y_i) - F(y_i) \right| \qquad (4.161)$$

- se alege valoarea superioară $\Delta_{sup} = \sup \Delta$, dacă $\Delta_{sup} < \Delta_{critic}(n,\alpha)$ atunci se acceptă ipoteza H_0.

➡ valorile $\Delta_{critic}(n,\alpha)$ sunt date în tabelul 4.13

Tab. 4.13 Valorile $\Delta_{critic}(n,\alpha)$ pentru testul Massey

n	α = 0,05	α = 0,10	n	α = 0,05	α = 0,10
8	0,140	0,163	**20**	0,117	0,133
9	0,134	0,158	**21**	0,115	0,131
10	0,130	0,156	**22**	0,113	0,129
11	0,129	0,155	**23**	0,112	0,128
12	0,128	0,154	**24**	0,110	0,126
13	0,128	0,153	**25**	0,109	0,124
14	0,128	0,151	**26**	0,108	0,121
15	0,127	0,148	**27**	0,107	0,120
16	0,126	0,144	**28**	0,105	0,118
17	0,124	0,142	**29**	0,104	0,116
18	0,122	0,138	**30**	0,102	0,114
19	0,120	0,136	**32**	0,099	0,111

d. Testul Cramer – von Mises

Este un test la care se verifică concordanţa dintre o repartiţie teoretică F(x) şi una experimentală.

Ipoteza nulă este $H_0: X \in F(x)$ pentru toţi x cu alternativa $H_1: X \notin F(x)$ pentru cel puţin un x.

- se ordonează şirul statistic crescător
- se calculează statistica:

$$C = \frac{1}{12n} + \sum_{i=1}^{n}\left[F(x_i) - \frac{2i-1}{2n}\right]^n \qquad (4.162)$$

- ipoteza H_0 se acceptă dacă este îndeplinită condiţia:

$$C_{calculat} \leq C_{critic}(n,\alpha) \qquad (4.163)$$

Valorile $C_{critic}(n,\alpha)$ au fost aproximate astfel încât să nu depindă de “n”.

Cele mai uzuale valori sunt C(0,99)=0,743 ; C(0,95)=0,461 ; C(0,90)=0,347

Exemplu: Iliescu & Vodă (1977), pg. 71

Se efectuează măsurători asupra diametrului interior nefinisat al unor piese cilindrice, obținându-se următoarele valori (în cm):

0,40 ; 0,48 ; 0,59 ; 0,60 ; 0,70 ; 0,55 ; 0,34 ; 0,20 ; 0,50 ; 0,38

Se face ipoteza că **repartiția teoretică** ar fi o **repartiție uniformă** :

$$F(x) = x; \quad 0 < x < 1$$

Calculele sunt sintetizate în următorul tabel:

i	x_i	$F(x_i)$	$F(x_i) - \frac{2i-1}{2n}$	$\left[F(x_i) - \frac{2i-1}{2n}\right]^2$
1	0,20	0,20	0,15	0,0225
2	0,34	0,34	0,19	0,0361
3	0,38	0,38	0,13	0,0169
4	0,40	0,40	0,05	0,0025
5	0,48	0,48	0,03	0,0009
6	0,50	0,50	-0,05	0,0025
7	0,55	0,55	-0,10	0,0100
8	0,59	0,59	-0,16	0,0256
9	0,60	0,60	-0,25	0,0625
10	0,70	0,70	-0,25	0,0626
Σ	-	-	-	0,2420

$$C_{calculat} = \frac{1}{120} + 0,2420 = 0,2503 \quad C_{calculat} < C(0,95) = 0,461 \Rightarrow$$ ipoteza H_0 se acceptă

e. Testul Wilcoxon

Este un test care verifică egalitatea a două distribuţii nenormale.

Testul se aplică repartiţiilor simetrice care au un număr egal de observaţii şi diferă numai prin valoarea medie.

Ipoteza nulă este $H_0: \mu_1 = \mu_2$ cu alternativă $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

- discriminarea se face evaluând:
  $|\Sigma$ rangurilor pozitive$| = |\Sigma$ rangurilor negative$|$

- se ordonează seriile pe două coloane paralele, într-o coloană separată trecându-se rezultatele inclusiv semnul diferenţei.

Şirul de date A	Şirul de date B	A-B	Rang	Rang cu semn

- se acordă rangurilor semnele (+) sau (-) funcţie de diferenţele observate

- se determină Σ rangurilor pozitive şi Σ rangurilor negative

- se stabileşte nivelul de semnificaţie α

Decizia de respingere a ipotezei nule H_0 se ia atunci când se îndeplineşte condiţia $W_{calculat} \leq W_{critic}(n,\alpha)$, în care $W_{calculat}$ este suma rangurilor cu cea mai mică valoare

Valorile critice sunt date în tabelul 4.14 (extras).

Tab. 4.14 Valorile $W_{critic}(n,\alpha)$ pentru testul Wilcoxon

n	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,02$	$\alpha = 0,01$
6	0	-	-
7	2	0	-
8	4	2	0
9	6	3	2
10	8	5	3
11	11	7	5
20	52	43	38
21	59	49	43
22	66	56	49
23	73	62	55
24	81	69	61
25	89	77	68

4.7.4 Teste pentru verificarea normalității

- Repartiţia normală $N(\mu,\sigma^2)$ este frecvent întâlnită în modelarea caracteristicilor de calitate.
- **Testele pentru verificarea normalităţii** fac parte din **categoria testelor de concordanţă**.
- Faţă de testele prezentate în § 4.7.3, **au avantajul că se pot aplica la eşantioane de volum redus** şi **pot discrimina mai bine o repartiţie normală de una simetrică oarecare**.
- Pentru toate aceste teste ipoteza nulă este $H_0: X \in N(\mu,\sigma^2)$ cu altenativa $H_1: X \notin N(\mu,\sigma^2)$.

a. Testul Lilliefors

- se calculează valorile: $\bar{x}\,;\, s\,;\, z_i = \dfrac{x_i - \bar{x}}{s}$

- se ordonează valorile zi calculându-se $F_0(z_i)$ (cu ajutorul funcţiei Laplace) respectiv $F_n(z_i)$, funcţia empirică de repartiţie:

$$F_n(z_i) = \begin{cases} 0 & , \text{pentru } i < 0 \\ \dfrac{1}{n} & , \text{pentru } 1 \le i \le n\text{-}1 \\ 1 & , \text{pentru } i \ge n \end{cases} \qquad (4.164)$$

- se calculează diferenţa maximă

$$\Delta_{max} = \max \left| F_0(z_i) - F_n(z_i) \right| \qquad (4.165)$$

➢ ipoteza H_0 se acceptă dacă este îndeplinită condiţia $\Delta_{max} \leq \Delta_{critic}(n,\alpha)$.

valorile $\Delta_{critic}(n,\alpha)$ sunt date în tabelul 4.15 (extras)

Tab. 4.15 Valorile $\Delta_{critic}(n,\alpha)$ pentru testul Lilliefors (extras)

n	α = 0,05	α = 0,01	n	α = 0,05	α = 0,01
4	0,381	0,417	**12**	0,242	0,275
5	0,337	0,405	**13**	0,234	0,268
6	0,319	0,364	**14**	0,227	0,261
7	0,300	0,348	**15**	0,220	0,257
8	0,285	0,331	**20**	0,190	0,231
9	0,271	0,311	**25**	0,173	0,200
10	0,258	0,294	**30**	0,161	0,187
11	0,249	0,284	**>30**	$0,886n^{-1/2}$	$1,031n^{-1/2}$

Exemplu: Iliescu & Vodă (1977), pg. 73

Se studiază caracteristica de durabilitate (X) a unui burghiu elicoidal cu Φ 6 mm cu miez îngroșat. Datele experimentale (în minute) precum și calculele necesare aplicării testului Lilliefors sunt date în următorul tabel.

	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	z_i	$F_0(z_i)$	$F_n(z_i)$	$\Delta = \lvert F_0(z_i) - F_n(z_i) \rvert$
1	16,10	-10,55	111,3025	-1,5158	0,065	0,071	0,006
2	19,18	-7,47	55,8009	-1,0732	0,142	0,143	0,001
3	19,25	-7,40	54,7600	-1,0632	0,144	0,214	0,070
4	22,44	-4,21	17,7421	-0,6408	0,273	0,286	0,013
5	22,58	-4,07	16,5649	-0,5847	0,283	0,357	0,074
6	23,20	-3,45	11,9025	-0,4956	0,320	0,428	0,108
7	24,58	-2,07	4,2849	-0,2974	0,383	0,500	0,117
8	26,50	-0,15	0,0225	-0,0215	0,492	0,571	0,079
9	27,22	0,57	0,3294	0,0818	0,533	0,643	0,110
10	30,26	3,61	13,0321	0,5186	0,730	0,714	0,016
11	32,18	5,53	30,5809	0,7945	0,787	0,786	0,001
12	33,58	6,93	48,0249	0,9956	0,830	0,857	0,027
13	36,58	9,93	98,6049	1,4627	0,923	0,928	0,005
14	39,56	12,91	166,6681	1,8548	0,968	1,000	0,032
Σ	373,12						

$\bar{x} = 26,65 \; ; \; s \cong 6,96$

$\Delta_{max} = 0,117 < \Delta_{14\,;\,0,05} = 0,227$ ⇒ Se acceptă ipoteza normalității

b. Testul Shapiro - Wilk

Este un test bazat pe statisticile de ordine, folosit pentru verificarea normalităţii eşantioanelor de volum redus $n \in [3,50]$

- se ordonează şirul statistic crescător
- se calculează $\overline{x}$ şi s^2
- se calculează expresia:

$$b = a_n\left(x_n - x_1\right) + a_{n-1}\left(x_{n-1} - x_2\right) + \ldots + a_{n-k+1}\left(x_{n-k+1} - x_k\right) \quad (4.166)$$

unde k = n/2 pentru n-par, k = (n-1)/2 pentru n-impar

- se calculează statistica:

$$SW_{calculat} = \frac{b^2}{s^2} \quad (4.167)$$

Decizia de acceptare a ipotezei H_0 se ia atunci când se îndeplineşte condiţia $SW_{calculat} \geq SW_{critic}(n,\alpha)$.

Valorile a_{n-k+1} ; k=1,2,…n(n-1)/4 şi $SW_{critic}(n,\alpha)$ sunt tabelate

Testul Shapiro-Wilk pentru verificarea normalităţi, Coeficienţii a_{n-k+1}

i \ n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	-
1	0,7071	0,7071	0,6872	0,6646	0,6431	0,6233	0,6052	0,5888	0,5739	-
2	-	0	0,1677	0,2413	0,2806	0,3031	0,3164	0,3244	0,3291	-
3	-	-	-	0	0,0875	0,1401	0,1743	0,1976	0,2141	-
4	-	-	-	-	-	0	0,0561	0,0947	0,1224	-
5	-	-	-	-	-	-	-	0	0,0399	-

i \ n	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0,5601	0,5475	0,5359	0,5251	0,5150	0,5056	0,4968	0,4886	0,4808	0,4734
2	0,3315	0,3325	0,3325	0,3318	0,3306	0,3290	0,3273	0,3253	0,3232	0,3211
3	0,2260	0,2347	0,2412	0,2460	0,2495	0,2521	0,2540	0,2553	0,2561	0,2565
4	0,1429	0,1586	0,1707	0,1802	0,1878	0,1939	0,1988	0,2027	0,2059	0,2085
5	0,0695	0,0922	0,1099	0,1240	0,1353	0,1447	0,1524	0,1587	0,1641	0,1686
6	0	0,0303	0,0539	0,0727	0,0880	0,1005	0,1109	0,1137	0,1271	0,1334
7	-	-	0	0,0240	0,0433	0,0593	0,0725	0,0837	0,0932	0,1013
8	-	-	-	-	0	0,0196	0,0359	0,0496	0,0612	0,0711
9	-	-	-	-	-	-	0	0,0163	0,0303	0,0422
10	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,0140

i \ n	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,4643	0,4590	0,4542	0,4493	0,4450	0,4407	0,4366	0,4328	0,4291	0,4254
2	0,3185	0,3156	0,3126	0,3098	0,3069	0,3043	0,3018	0,2992	0,2968	0,2944
3	0,2578	0,2571	0,2563	0,2554	0,2543	0,2533	0,2522	0,2510	0,2499	0,2487
4	0,2119	0,2131	0,2139	0,2145	0,2148	0,2151	0,2152	0,2151	0,2150	0,2148
5	0,1736	0,1764	0,1787	0,1807	0,1822	0,1836	0,1848	0,1857	0,1864	0,1870
6	0,1339	0,1443	0,1480	0,1512	0,1539	0,1563	0,1584	0,1601	0,1616	0,1630
7	0,1092	0,1150	0,1201	0,1245	0,1283	0,1316	0,1346	0,1372	0,1395	0,1415
8	0,0804	0,0878	0,0941	0,0997	0,1046	0,1089	0,1128	0,1162	0,1192	0,1219
9	0,0530	0,0618	0,0696	0,0764	0,0823	0,0876	0,0923	0,0965	0,1002	0,1036
10	0,0263	0,0368	0,0459	0,0539	0,0610	0,0672	0,0728	0,0778	0,0822	0,0862
11	0	0,0122	0,0228	0,0321	0,0403	0,0476	0,0540	0,0598	0,0650	0,0697
12	-	-	0	0,0107	0,0200	0,0284	0,0358	0,0424	0,0483	0,0537
13	-	-	-	-	0	0,0094	0,0178	0,0253	0,0320	0,0381
14	-	-	-	-	-	-	0	0,0084	0,0159	0,0227
15	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,0076

i \ n	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1	0,4220	0,4188	0,4156	0,4127	0,4096	0,4068	0,4040	0,4015	0,3989	0,3964
2	0,2921	0,2898	0,2876	0,2854	0,2834	0,2813	0,2794	0,2774	0,2755	0,2737
3	0,2475	0,2463	0,2451	0,2439	0,2427	0,2415	0,2403	0,2391	0,2380	0,2368
4	0,2145	0,2141	0,2137	0,2132	0,2127	0,2121	0,2116	0,2110	0,2101	0,2098
5	0,1874	0,1878	0,1880	0,1882	0,1883	0,1883	0,1883	0,1881	0,1880	0,1878
6	0,1641	0,1651	0,1660	0,1667	0,1673	0,1678	0,1683	0,1686	0,1689	0,1691
7	0,1433	0,1449	0,1463	0,1475	0,1487	0,1496	0,1505	0,1513	0,1520	0,1526
8	0,1243	0,1265	0,1284	0,1301	0,1317	0,1331	0,1344	0,1356	0,1366	0,1376
9	0,1066	0,1093	0,1118	0,1140	0,1160	0,1179	0,1196	0,1211	0,1225	0,1237
10	0,0899	0,0931	0,0961	0,0988	0,1013	0,1036	0,1056	0,1075	0,1092	0,1108
11	0,0739	0,0777	0,0812	0,0844	0,0873	0,0900	0,0924	0,0947	0,0967	0,0986
12	0,0585	0,0629	0,0669	0,0706	0,0739	0,0770	0,0798	0,0824	0,0848	0,0870
13	0,0435	0,0485	0,0530	0,0572	0,0610	0,0645	0,0677	0,0706	0,0733	0,0759
14	0,0289	0,0344	0,0395	0,0441	0,0484	0,0523	0,0559	0,0592	0,0622	0,0651
15	0,0144	0,0206	0,0262	0,0314	0,0361	0,0404	0,0444	0,0481	0,0515	0,0546
16	0	0,0068	0,0131	0,0187	0,0239	0,0287	0,0331	0,0372	0,0409	0,0444
17	-	-	0	0,0062	0,0119	0,0172	0,0220	0,0264	0,0305	0,0343
18	-	-	-	-	0	0,0057	0,0110	0,0158	0,0203	0,0244
19	-	-	-	-	-	-	0	0,0053	0,0101	0,0146
20	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,0049

Testul Shapiro-Wilk pentru verificarea normalităţi, Coeficienţii a_{n-k+1} (continuare)

i \ n	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	0,3940	0,3917	0,3894	0,3872	0,3850	0,3830	0,3808	0,3789	0,3770	0,3751
2	0,2719	0,2701	0,2684	0,2667	0,2651	0,2635	0,2620	0,2604	0,2589	0,2574
3	0,2357	0,2345	0,2334	0,2323	0,2313	0,2302	0,2291	0,2281	0,2271	0,2260
4	0,2091	0,2085	0,2078	0,2072	0,2065	0,2058	0,2052	0,2045	0,2038	0,2032
5	0,1876	0,1874	0,1871	0,1868	0,1865	0,1862	0,1859	0,1855	0,1851	0,1847
6	0,1693	0,1694	0,1695	0,1695	0,1695	0,1695	0,1695	0,1693	0,1692	0,1691
7	0,1531	0,1535	0,1539	0,1542	0,1541	0,1548	0,1550	0,1551	0,1553	0,1554
8	0,1384	0,1392	0,1398	0,1405	0,1410	0,1415	0,1420	0,1423	0,1427	0,1430
9	0,1249	0,1259	0,1269	0,1278	0,1286	0,1293	0,1300	0,1306	0,1312	0,1317
10	0,1123	0,1136	0,1149	0,1160	0,1170	0,1180	0,1189	0,1197	0,1205	0,1212
11	0,1004	0,1020	0,1035	0,1049	0,1062	0,1073	0,1085	0,1095	0,1105	0,1113
12	0,0891	0,0909	0,0927	0,0943	0,0959	0,0972	0,0986	0,0998	0,1010	0,1020
13	0,0782	0,0804	0,0824	0,0842	0,0860	0,0876	0,0892	0,0906	0,0919	0,0932
14	0,0677	0,0701	0,0724	0,0745	0,0765	0,0783	0,0801	0,0818	0,0832	0,0846
15	0,0575	0,0602	0,0628	0,0651	0,0673	0,0694	0,0713	0,0731	0,0748	0,0764
16	0,0476	0,0506	0,0534	0,0560	0,0584	0,0607	0,0628	0,0648	0,0667	0,0685
17	0,0379	0,0411	0,0442	0,0471	0,0497	0,0522	0,0546	0,0568	0,0588	0,0608
18	0,0283	0,0318	0,0352	0,0383	0,0412	0,0439	0,0465	0,0489	0,0511	0,0532
19	0,0188	0,0227	0,0263	0,0296	0,0328	0,0357	0,0385	0,0411	0,0436	0,0459
20	0,0094	0,0136	0,0175	0,0211	0,0245	0,0277	0,0307	0,0335	0,0361	0,0386
21	0	0,0045	0,0087	0,0126	0,0163	0,0197	0,0229	0,0259	0,0288	0,0314
22	-	-	0	0,0042	0,0081	0,0118	0,0153	0,0185	0,0215	0,0244
23	-	-	-	-	0	0,0039	0,0076	0,0111	0,0143	0,0174
24	-	-	-	-	-	-	-	0,0037	0,0071	0,0104
25	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,0035

Testul Shapiro-Wilk pentru verificarea normalităţii, Statistica $SW_{n,\alpha}$

n \ α	0,01	0,02	0,05	0,10	0,50	0,90	0,95	0,98	0,99
3	0,753	0,756	0,767	0,789	0,959	0,998	0,999	1,000	1,000
4	0,687	0,707	0,748	0,792	0,935	0,987	0,992	0,996	0,997
5	0,686	0,715	0,762	0,806	0,927	0,979	0,986	0,991	0,993
6	0,713	0,743	0,788	0,826	0,927	0,974	0,981	0,986	0,989
7	0,730	0,760	0,803	0,838	0,928	0,972	0,979	0,985	0,988
8	0,749	0,778	0,818	0,851	0,932	0,972	0,978	0,984	0,987
9	0,764	0,791	0,829	0,859	0,935	0,972	0,978	0,984	0,986
10	0,781	0,806	0,842	0,869	0,938	0,972	0,978	0,983	0,986
11	0,792	0,817	0,850	0,876	0,940	0,973	0,979	0,984	0,986
12	0,805	0,828	,0859	0,883	0,943	0,973	0,979	0,984	0,986
13	0,814	0,837	0,866	0,889	0,945	0,974	0,979	0,984	0,986
14	0,825	0,846	0,874	0,895	0,947	0,975	0,980	0,984	0,986
15	0,835	0,855	0,881	0,901	0,950	0,975	0,980	0,984	0,987
16	0,844	0,863	0,887	0,906	0,952	0,976	0,981	0,985	0,987
17	0,851	0,869	0,892	0,910	0,954	0,977	0,981	0,985	0,987
18	0,858	0,874	0,897	0,914	0,956	0,978	0,982	0,986	0,988
19	0,863	0,879	0,901	0,917	0,957	0,978	0,982	0,986	0,988
20	0,868	0,884	0,905	0,920	0,959	0,979	0,983	0,986	0,988
21	0,873	0,888	0,908	0,923	0,960	0,980	0,983	0,987	0,988
22	0,878	0,892	0,911	0,926	0,961	0,980	0,984	0,987	0,989
23	0,881	0,895	0,914	0,928	0,962	0,981	0,984	0,987	0,989
24	0,884	0,898	0,916	0,930	0,963	0,981	0,984	0,987	0,989
25	0,888	0,901	0,918	0,931	0,964	0,981	0,985	0,988	0,989
26	0,891	0,904	0,920	0,933	0,965	0,982	0,985	0,988	0,989

n \ α	0,01	0,02	0,05	0,10	0,50	0,90	0,95	0,98	0,99
27	0,894	0,906	0,923	0,935	0,965	0,982	0,985	0,988	0,990
28	0,896	0,908	0,924	0,936	0,966	0,982	0,985	0,988	0,990
29	0,898	0,910	0,926	0,937	0,966	0,982	0,985	0,988	0,990
30	0,900	0,912	0,927	0,939	0,967	0,983	0,985	0,988	0,990
31	0,902	0,914	0,929	0,940	0,967	0,983	0,986	0,988	0,990
32	0,904	0,915	0,930	0,941	0,968	0,983	0,986	0,988	0,990
33	0,906	0,917	0,931	0,942	0,968	0,983	0,986	0,989	0,990
34	0,908	0,919	0,933	0,943	0,969	0,983	0,986	0,989	0,990
35	0,910	0,920	0,934	0,944	0,969	0,984	0,986	0,989	0,990
36	0,912	0,922	0,935	0,945	0,970	0,984	0,986	0,989	0,990
37	0,914	0,924	0,936	0,946	0,970	0,984	0,987	0,989	0,990
38	0,916	0,925	0,938	0,947	0,971	0,984	0,987	0,989	0,990
39	0,917	0,927	0,939	0,948	0,971	0,984	0,987	0,989	0,991
40	0,919	0,928	0,940	0,949	0,972	0,985	0,987	0,989	0,991
41	0,920	0,928	0,941	0,950	0,972	0,985	0,987	0,989	0,991
42	0,922	0,930	0,942	0,951	0,972	0,985	0,987	0,989	0,991
43	0,923	0,932	0,943	0,951	0,973	0,985	0,988	0,990	0,991
44	0,924	0,933	0,944	0,952	0,973	0,985	0,987	0,990	0,991
45	0,926	0,934	0,945	0,953	0,973	0,985	0,987	0,990	0,991
46	0,927	0,935	0,945	0,953	0,974	0,985	0,988	0,990	0,991
47	0,928	0,936	0,946	0,954	0,974	0,985	0,988	0,990	0,991
48	0,929	0,937	0,974	0,954	0,974	0,985	0,988	0,990	0,991
49	0,929	0,937	0,947	0,955	0,974	0,985	0,988	0,990	0,991
50	0,930	0,938	0,947	0,955	0,974	0,985	0,988	0,990	0,991

c. Testul D´Agostino

Este un test construit pentru eşantioane de volum moderat $n \geq 50$

- se ordonează şirul statistic crescător
- se calculează expresiile:

$$\left.\begin{aligned} T &= \sum_{i=1}^{n}\left[i-\frac{1}{2}(n+1)\right]x_i = \sum_{i=1}^{n} i\,x_i - \frac{n(n+1)}{2}\bar{x} \\ s_1 &= \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i-\bar{x}\right)^2\right]^{1/2} \\ D &= \frac{T}{n^2 s_1} \end{aligned}\right\} \quad (4.168)$$

- se calculează statistica:

$$Y_{calculat} = \frac{D - 0,282095}{0,029986}\sqrt{n} \qquad (4.169)$$

Decizia de acceptare a ipotezei H0 se ia atunci când se îndeplineşte condiţia: $Y_{critic}(n,\alpha/2) \leq Y_{calculat} \leq Y_{critic}(n,1-\alpha/2)$.

Valorile critice pentru testul D`Agostino sunt date în tabelul 4.16

Tab. 4.16 Valorile critice pentru testul D`Agostino

n	α = 0,05		α = 0,02	
	$Y_{critic}(n;0,025)$	$Y_{critic}(n;0975)$	$Y_{critic}(n;0,010)$	$Y_{critic}(n;0,990)$
50	-2,757	1,038	-3,442	1,140
60	-2,699	1,115	-3,360	1,236
70	-2,652	1,176	-3,293	1,312
80	-2,613	1,226	-3,237	1,374
90	-2,580	1,260	-3,100	1,426
100	-2,552	1,303	-3,050	1,470
150	-2,452	1,423	-3,009	1,623
200	-2,391	1,496	-2,992	1,715
250	-2,348	1,545	-2,861	1,779
300	-2,316	1,528	-2,816	1,826

Exemplu: Iliescu & Vodă (1977), pg. 78

În tabelul următor se dau valorile în procente și frecvența lor de apariție în cadrul unui experiment efectuat în scopul stabilirii unei toleranțe superioare pentru oxidul de sodiu lavabil

$(Na_2O)_L$ %	0,03	0,06	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	
Frecvența	1	1	3	4	8	9	10	
$(Na_2O)_L$ %	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,22
Frecvența	7	7	6	4	3	3	3	1

Se construiește un tabel în care se va calcula statistica $\sum_{i=1}^{n} i\,x_i$,unde n = 70

Se obține succesiv:

$$\frac{1}{2}(n+1)n = 2485\,;\ \bar{x} = 0{,}13742\,;\ \frac{1}{2}(n+1)n\bar{x} \cong 341{,}4887$$

$$s_1 \cong 0{,}033\,;\ \sqrt{70} \cong 8{,}365\,;\ \sum_{i=1}^{70} ix_i = 387{,}26\,;\ T = 387{,}2600 - 341{,}4887 = 45{,}7713$$

$$D = \frac{45{,}7713}{4900 \cdot 0{,}033} = 0{,}28306$$

$$Y_{calculat} = \frac{0{,}28306 - 0{,}28203}{0{,}02998} \cdot 8{,}366 \cong 0{,}27247$$

Din tabelul 4.15 rezultă: $Y_{70\,;\,0{,}025} = -2{,}652$; $Y_{70\,;\,0{,}9755} = -1{,}176$

Cum $-2{,}652 < 0{,}27247 < -1{,}176$ Se acceptă ipoteza normalității

4.7.5 Teste parametrice

Testele parametrice verifică ipotezele statistice care privesc **valorile necunoscute ale parametrilor unei repartiţii statistice**.

a. Testul ipotezei egalităţii cu valoarea medie a unei repartiţii normale cu dispersia cunoscută (Testul z)

Fie o populaţie statistică cu o caracteristică de calitate repartizată normal $N(\mu,\sigma^2)$, cu μ **(media teoretică) necunoscută** şi σ **(dispersia) cunoscută**.

Ipoteza nulă este $H_0:\mu=\mu_0$ cu alternativa $H_1:\mu\neq\mu_0$, unde μ_0 - valoare dată.

- se determină pentru eşantionul de volum “n”, media experimentală $\bar{x}$
- se adoptă nivelul de semnificaţie α
- funcţia discriminantă este:

$$z = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \qquad (4.170)$$

- se construieşte un interval de acceptare bilateral $[-z_{\alpha/2};+z_{\alpha/2}]$ cu valorile $\pm z_{\alpha/2}$ extrase din tabelele distribuţiei normale, definit de relaţia:

$$P\left(-z_{\frac{\alpha}{2}} \leq \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \leq +z_{\frac{\alpha}{2}}\right) \qquad (4.171)$$

- se calculează $z_{calculat}$ conform relaţiei (4.170)

⇨ Decizia de acceptare a ipotezei H_0 se ia atunci când $-z_{\alpha/2} < z_{calculat} <_{+z\alpha/2}$

✓ Observații:

✓ stabilirea lui α are ca scop determinarea probabilităţii P = 1 - α cu care se doreşte să se precizeze valoarea medie (probabilitatea deciziei).

- se fixează deci valoarea erorii de genul 1.
- în acelaşi timp i se asociază eroarea de genul 2, β.
- perechile de valori (μ_0,1-α) şi (μ_1,β) determină curbele de eficacitate (operative).

✓ stabilirea volumului eşantionului se face calculând valoarea d=μ-μ_0/σ şi căutând în tabelele de valori ale curbelor operative, valoarea lui ”n” funcţie de probabilitatea P = β pentru un anumit nivel de semnificaţie α.

✓ se pot aplica şi teste unilaterale astfel:

- pentru $H_0:\mu=\mu_0$;$H_1:\mu_1>\mu_0$

$$P\left(\frac{\bar{x}-\mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}\le z_\alpha\right)=1-\alpha \qquad (4.172)$$

dacă $z\in(-\infty,+z_\alpha)$ → se acceptă H_0 cu semnificaţia α

- pentru $H_0:\mu=\mu_0$;$H_1:\mu_1<\mu_0$

$$P\left(\frac{\bar{x}-\mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}>-z_\alpha\right)=1-\alpha \qquad (4.173)$$

dacă $z\in[-z\alpha,+\infty)$ → se acceptă H_0 cu semnificaţia α.

b. Testul ipotezei egalităţii cu valoarea medie a unei repartiţii normale cu dispersia necunoscută (Testul Student)

- funcţia discriminantă este:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \qquad (4.174)$$

- se calculează $d=x-\mu_0/\sigma$,şise aleg riscurile α şi β.
- se determină mărimea eşantionului “n” şi se calculează $\bar{x}$ şi s.
- se calculează $\nu=n-1$ numărul gradelor de libertate al repartiţiei Student.
- se calculează $t_{calculat}$ conform relaţiei (4.174)

- Decizia de respingere a ipotezei H_0 se face când $|t_{calculat}| > t_{\nu,\alpha/2}$.
- Intervalul de acceptare a ipotezei H_0 este $(-t_{\nu,\alpha/2};+t_{\nu,\alpha/2})$.
- Valorile $t_{\nu,\alpha/2}$ sunt tabelate.

✓ Observații:

- ✓ pentru $H_0:\mu=\mu_0$ cu alternativa $H_1:\mu<\mu_0$ decizia de respingere a ipotezei nule se ia când se îndeplineşte condiţia $t_{calculat} < -t_{\nu,\alpha}$.
  - Intervalul de acceptare a ipotezei H_0 este $(-t\nu,\alpha,+\infty)$.
- ✓ pentru $H_0:\mu=\mu_0$ cu alternativa $H_1:\mu>\mu_0$ decizia de respingere a ipotezei H_0 se ia când $t_{calculat} > t_{\nu,\alpha}$.
  - H_0 se acceptă dacă $t_{calculat} \in (-\infty, t_{\nu,\alpha})$

c. Testul ipotezei egalităţii cu dispersia unei repartiţii normale (Testul χ^2)

- funcţia discriminantă este:

$$\chi^2 = \frac{(n-1)^2}{\sigma_0^2} \qquad (4.175)$$

- se determină $\lambda=\sigma_1/\sigma_0$ unde σ_1 este ecartul admis pentru s.
- se aleg riscurile α şi β.
- se alege din tabelele curbelor operative volumul eşantionului funcţie de α şi β.
- se determină numărul gradelor de libertate ν=n-1 pentru repartiţia χ^2 .
- se calculează $\chi^2_{calculat}$ conform relaţiei (4.175).

Ipoteza H_0 se acceptă când se îndeplineşte condiţia: $\chi^2_{\nu,1-\alpha/2} \leq \chi^2_{calculat} \leq \chi^2_{\nu,\alpha}$

Valorile $\chi^2_{\nu,1-\alpha/2}$ şi $\chi^2_{\nu,\alpha.}$ sunt tabelate.

✓ Observații:

✓ pentru $H_0:\sigma^2=\sigma_0^2$ cu alternativa $H_1:\sigma^2>\sigma_0^2$, decizia de acceptare a ipotezei H_0 se ia când $\chi^2_{calculat} < \chi^2_{\nu,\alpha}$

- Intervalul de acceptare este $(-\infty,\chi^2_{\nu,\alpha})$

✓ pentru $H_0:\sigma^2=\sigma_0^2$ cu alternativa $H_1:\sigma^2<\sigma_0^2$ decizia de acceptare se ia când $\chi^2_{calculat} \geq \chi^2_{\nu,1-\alpha}$.

- Intervalul de acceptare este $(\chi^2_{\nu,1-\alpha},+\infty)$

d. Testul ipotezei egalităţii valorilor medii a două repartiţii normale cu dispersiile egale de valoare necunoscută (Testul Student)

Ipoteza nulă este $H_0: \mu_x = \mu_y$ cu alternativa $H_1: \mu_x \neq \mu_y$

- funcţia discriminantă este:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_x}(x_i - \bar{x})^2 + \sum_{i=1}^{n_y}(y_i - \bar{y})^2}{n_x + n_y - 2}}} \qquad (4.176)$$

unde $\bar{x}$ şi $\bar{y}$ sunt valorile medii ale eşantioanelor de volum n_x respectiv n_y

- se adoptă pentru simplificare $n_x = n_y = n$.
- se aleg riscurile α şi β.
- se determină valoarea lui “n” din tabelele curbelor operative funcţie de α şi β.

- se consideră volumul eşantionului $n_0=(n+1)/2$.
- se determină numărul gradelor de libertate $\nu = \nu_x+\nu_y = n_x+n_y-2$ pentru repartiţia Student.
- se calculează valoarea $t_{calculat}$ conform relaţiei (4.176)

⇒ Decizia de acceptare a ipotezei H_0 pentru specificaţie bilaterală se ia atunci când $-t_{\nu,\alpha/2} < t_{calculat} < t_{\nu,\alpha/2}$ sau $|t_{calculat}| < t_{\nu,\alpha/2}$.

⇒ Valorile $\pm t_{\nu,\alpha/2}$ se iau din tabelele repartiţiei Student

✓ Observații:

- ✓ pentru H_0:$\mu_x=\mu_y$ cu alternativa H_1:$\mu_x>\mu_y$ decizia de acceptare a ipotezei H_0 se ia când $t_{calculat} \leq t_{\nu,\alpha}$
- ✓ pentru H0:$\mu_x=\mu_y$ cu alternativa H_1:$\mu_x<\mu_y$ decizia de acceptare a ipotezei H_0 se ia când $t_{calculat} > -t_{\nu,\alpha}$

$$P\left(|t| \le t_{v,\frac{\alpha}{2}}\right) = \frac{\alpha}{2}$$

Nivel de semnificaţie pentru testul bilateral									
ν \ α	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,002	0,001	0,0001
1	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	318,309	638,619	6366,19
2	0,816	1,866	2,920	4,303	6,965	9,925	22,327	31,958	99,992
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,214	12,924	28,000
4	0,741	1,533	3,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610	15,544
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,893	6,869	11,178
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959	9,082
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,785	5,408	7,855
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501	5,041	7,120
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781	6,591
10	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144	4,587	6,211
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025	4,437	5,921
12	0,695	1,356	1,782	0,179	2,681	3,055	3,930	4,318	5,694
13	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852	4,221	5,513
14	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787	4,140	5,363
15	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733	4,073	5,239
16	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686	4,015	5,134
17	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646	3,965	5,044
18	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,610	3,922	4,966
19	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579	3,883	4,897
20	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552	3,850	4,837
21	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527	3,819	4,784
22	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505	3,792	4,736
ν \ α	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001	0,0005	$5x10^{-5}$
Nivel de semnificaţie pentru testul unilateral									

Nivel de semnificaţie pentru testul bilateral									
ν \ α	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,002	0,001	0,0001
23	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,485	3,767	4,693
24	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467	3,745	4,654
25	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,450	3,725	4,619
26	0,684	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,435	3,707	4,587
27	0,684	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,421	3,690	4,558
28	0,683	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,408	3,674	4,530
29	0,683	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,396	3,659	4,506
30	0,683	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,385	3,646	4,482
35	0,682	1,306	1,690	2,030	2,438	2,724	3,340	3,591	4,389
40	0,681	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,307	3,551	4,321
45	0,680	1,301	1,679	2,014	2,412	2,690	3,281	3,520	4,269
50	0,679	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	3,261	3,496	4,228
60	0,679	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,232	3,460	4,169
70	0,678	1,294	1,667	1,994	2,381	2,648	3,211	3,435	4,127
80	0,678	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639	3,195	3,416	4,096
90	0,677	1,291	1,662	1,987	2,368	2,632	3,183	3,402	4,072
100	0,677	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	3,174	3,390	4,053
120	0,677	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,160	3,373	4,025
200	0,676	1,286	1,653	1,972	2,345	2,601	3,131	3,340	3,970
500	0,675	1,283	1,648	1,965	2,334	2,586	3,107	3,310	3,922
1000	0,675	1,282	1,646	1,962	2,330	2,581	3,098	3,300	3,906
∞	0,675	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,090	3,290	3,891
ν \ α	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001	0,0005	$5x10^{-5}$
Nivel de semnificaţie pentru testul unilateral									

$$P\left(t > t_{v,\alpha}\right) = \alpha$$

e. Testul ipotezei egalităţii valorilor medii a două repartiţii normale cu dispersiile necunoscute şi nu neapărat egale (Testul Student)

- funcţia discriminantă este:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n_x} + \frac{s_y^2}{n_y}}} \qquad (4.177)$$

- se determină numărul gradelor de libertate pentru repartiţia Student:

$$v = \frac{\left(\frac{s_x^2}{n_x} + \frac{s_y^2}{n_y}\right)}{\frac{s_x^2}{n_x(n_x+1)} + \frac{s_y^2}{n_y(n_y+1)}} \qquad (4.178)$$

- se adoptă pentru simplificare $n_x=n_y=n$.
- se alege riscul α, volumul eşantionul alegându-se după experienţă.
- se calculează $t_{calculat}$ conform relaţiei (4.177)

Decizia de acceptare a ipotezei H_0 pentru nivelul de semnificaţie α şi specificaţie bilaterală se ia când $|t_{calculat}| < t_{\nu,\alpha/2}$

✓ Observație:

✓ Deciziile pentru specificaţiile unilaterale se iau similar cu cele prezentate anterior.

f. Testul ipotezei egalităţii dispersiilor a două repartiţii normale (Testul Fisher-Snedecor)

Ipoteza nulă este $H_0:\sigma_x^2=\sigma_y^2$ cu alternativa $H_1:\sigma_x^2\neq\sigma_y^2$

- funcţia discriminantă este:

$$F=\frac{s_x^2}{s_y^2} \qquad (4.179)$$

- se determină s_x şi s_y corespunzătoare celor două eşantioane n_x,n_y.
- pentru simplificare se adoptă $n_x=n_y=n$.
- se calculează numărul gradelor de libertate $\nu_1=n_x-1$ şi $\nu_2=n_y-1$ ale repartiţiilor χ^2 folosite la generarea variabilei aleatoare F

- se determină valoarea $\lambda=\sigma_x/\sigma_y$ de respingere a ipotezei nule.
- se aleg riscurile α şi β.
- se determină volumul eşantionului "n" funcţie de α şi β din tabelele curbelor operative.
- se calculează $F_{calculat}$ conform relaţiei (4.179).

Decizia de acceptare a ipotezei H_0 se ia când se îndeplineşte condiţia:
$1/F_{\alpha/2,\nu1,\nu2} \leq F_{calculat} \leq F_{\alpha/2,\nu1,\nu2}$

✓ Observații:

- ✓ pentru $H_0:\sigma_x^2=\sigma_y^2$ cu alternativa $H_1:\sigma_x^2\neq\sigma_y^2$ se acceptă ipoteza nulă atunci când este îndeplinită condiţia $F_{calculat} < F_{\nu1,\nu2,\alpha}$.
- ✓ Valorile $F_{\nu,\alpha}$ se găsesc în tabelele repartiţiei F.

$$P\left(F > F_{\alpha,v_1,v_2}\right) = 0{,}10$$

v_2 \ v_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	39,90	49,50	53,60	55,80	57,20	58,20	58,90	54,90	59,90
2	8,53	9,00	9,16	9,24	9,29	9,33	9,35	9,37	9,38
3	5,54	5,46	5,39	5,34	5,31	5,28	5,27	5,25	5,24
4	4,54	4,32	4,19	4,11	4,05	4,01	3,98	3,95	3,94
5	4,06	3,78	3,62	3,52	3,45	3,40	3,37	3,34	3,32
6	3,78	3,46	3,29	3,18	3,11	3,05	3,01	2,98	2,96
7	3,59	3,26	3,07	2,96	2,88	2,82	2,78	2,75	2,72
8	3,46	3,11	2,92	2,81	2,73	2,67	2,62	2,59	2,56
9	3,36	3,01	2,81	2,69	2,61	2,55	2,51	2,47	2,44
10	3,28	2,92	2,73	2,61	2,52	2,46	2,41	2,38	2,35
11	3,23	2,86	2,66	2,54	2,45	2,39	2,34	2,30	2,27
12	3,18	2,81	2,61	2,48	2,39	2,33	2,28	2,24	2,21
13	3,14	2,76	2,56	2,43	2,35	2,28	2,23	2,20	2,16
14	3,10	2,73	2,52	2,39	2,31	2,24	2,19	2,15	2,12
15	3,07	2,70	2,49	2,36	2,27	2,21	2,16	2,12	2,09
16	3,05	2,67	2,46	2,33	2,24	2,18	2,13	2,09	2,06
17	3,03	2,64	2,44	2,31	2,22	2,15	2,10	2,06	2,03
18	3,31	2,62	2,42	2,29	2,20	2,13	2,08	2,04	2,00
19	2,99	2,61	2,40	2,27	2,18	2,11	2,06	2,02	1,98
20	2,97	2,59	2,38	2,25	2,16	2,09	2,04	2,00	1,96
22	2,95	2,56	2,35	2,22	2,13	2,06	2,01	1,97	1,93
24	2,93	2,54	2,33	2,19	2,10	2,04	1,98	1,94	1,91
26	2,91	2,52	2,31	2,17	2,08	2,01	1,96	1,92	1,88
28	2,89	2,50	2,29	2,16	2,06	2,00	1,94	1,90	1,87
30	2,88	2,49	2,28	2,14	2,05	1,98	1,93	1,88	1,85
40	2,84	2,44	2,23	2,09	2,00	1,93	1,87	1,83	1,79
50	2,81	2,41	2,20	2,06	1,97	1,90	1,84	1,80	1,76
60	2,79	2,39	2,18	2,04	1,95	1,87	1,82	1,77	1,74
80	2,77	2,37	2,15	2,02	1,92	1,85	1,79	1,75	1,71
100	2,76	2,36	2,14	2,00	1,91	1,83	1,78	1,73	1,70
200	2,73	2,33	2,11	1,97	1,88	1,80	1,75	1,70	1,66
500	2,72	2,31	2,10	1,96	1,86	1,79	1,73	1,68	1,64
∞	2,71	2,30	2,08	1,94	1,85	1,77	1,72	1,67	1,63

v_2 \ v_1	10	15	20	30	50	100	200	500	∞
1	60,02	61,20	61,70	62,30	62,70	63,00	63,20	63.30	63.30
2	9,39	9,42	9,44	9,46	9,47	9,48	9,49	9,49	9,49
3	5,23	5,20	5,18	5,17	5,15	5,14	5,14	5,14	5,13
4	3,92	3,87	3,84	3,82	3,80	3,78	3,77	3,76	3,76
5	3,30	3,24	3,21	3,17	3,15	3,13	3,12	3,11	3,10
6	2,94	2,87	2,84	2,80	2,77	2,75	2,73	2,73	2,72
7	2,70	2,63	2,59	2,56	2,52	2,50	2,48	2,48	2,47
8	2,54	2,46	2,42	2,38	2,35	2,32	2,31	2,30	2,29
9	2,42	2,34	2,30	2,25	2,22	2,19	2,17	2,17	2,16
10	2,32	2,24	2,20	2,16	2,12	2,09	2,07	2,06	2,06
11	2,25	2,17	2,12	2,08	2,04	2,00	1,99	1,98	1,97
12	2,19	2,10	2,06	2,01	1,97	1,94	1,92	1,91	1,90
13	2,14	2,05	2,01	1,96	1,92	1,88	1,86	1,85	1,85
14	2,10	2,01	1,96	1,91	1,87	1,83	1,82	1,80	1,80
15	2,06	1,97	1,92	1,87	1,83	1,79	1,77	1,76	1,76
16	2,03	1,94	1,89	1,84	1,79	1,76	1,74	1,73	1,72
17	2,00	1,91	1,86	1,81	1,76	1,73	1,71	1,69	1,69
18	1,98	1,89	1,84	1,78	1,74	1,70	1,68	1,67	1,66
19	1,96	1,86	1,81	1,76	1,71	1,67	1,65	1,64	1,63
20	1,94	1,84	1,79	1,74	1,69	1,65	1,63	1,62	1,61
22	1,90	1,81	1,76	1,70	1,65	1,61	1,59	1,58	1,57
24	1,88	1,78	1,73	1,67	1,62	1,58	1,56	1,54	1,53
26	1,86	1,76	1,71	1,65	1,59	1,55	1,53	1,51	1,50
28	1,84	1,74	1,69	1,63	1,57	1,53	1,50	1,49	1,48
30	1,82	1,72	1,67	1,61	1,55	1,51	1,48	1,47	1,46
40	1,76	1,66	1,61	1,54	1,48	1,43	1,41	1,39	1,38
50	1,73	1,63	1,57	1,50	1,44	1,39	1,36	1,34	1,33
60	1,71	1,60	1,54	1,48	1,41	1,36	1,33	1,31	1,29
80	1,68	1,57	1,51	1,44	1,38	1,32	1,28	1,26	1,24
100	1,66	1,56	1,49	1,42	1,35	1,29	1,26	1,23	1,21
200	1,63	1,52	1,46	1,38	1,31	1,24	1,20	1,17	1,14
500	1,61	1,50	1,44	1,36	1,28	1,21	1,16	1,12	1,09
∞	1,60	1,49	1,42	1,34	1,26	1,18	1,13	1,08	1,00

g. Testul ipotezei egalităţii mai multor dispersii a unor repartiţii normale (Testul Cochran)

Ipoteza nulă este $H_0:\sigma_1^2=\sigma_2^2=\ldots=\sigma_k^2$

- funcţia discriminantă este:

$$q=\frac{\max\limits_{i\in[1,k]} s^2}{\sum\limits_{i=1}^{k} s_i^2} \qquad (4.180)$$

- se determină $s_1^2,s_2^2,\ldots s_k^2$ stabilite pe eşantioane egale $n_1=n_2=\ldots=n_k=n$.
- se calculează $q_{calculat}$ conform relaţiei (4.180).

Decizia de acceptare a ipotezei H_0 se ia când $q_{calculat} \le q_{critic}(k,\nu,\alpha)$.

Valorile q_{critic} sunt tabelate, cu P = 5% pentru “k” estimaţii independente fiecare bazate pe ν=n-1 observaţii.

Testul Cochran pentru egalitatea dispersiilor , Statistica $q_{k,\nu,0,95}$

k \ ν	1	2	3	4	5	6	7
2	0,9985	0,9750	0,9392	0,9057	0,8772	0,8534	0,8332
3	0,9669	0,8709	0,7977	0,7457	0,7071	0,6771	0,6530
4	0,9065	0,7679	0,6841	0,6287	0,5895	0,5598	0,5365
5	0,8412	0,6838	0,5981	0,5440	0,5063	0,4738	0,4564
6	0,7808	0,6161	0,5321	0,4803	0,4447	0,4184	0,3980
7	0,7271	0,5612	0,4800	0,4307	0,3974	0,3726	0,3535
8	0,6798	0,5157	0,4377	0,3910	0,3595	0,3362	0,3185
9	0,6835	0,4775	0,4027	0,3584	0,3286	0,3067	0,2901
10	0 ,6020	0,4450	0,3733	0,3311	0,3029	0,2823	0,2666
12	0,5410	0,3924	0,3264	0,2880	0,2624	0,2439	0,2299
15	0,4709	0,3346	0,2758	0,2419	0,2195	0,2034	0,1911
20	0,3894	0,2705	0,2205	0,2419	0,1735	0,1602	0,1501
24	0,3434	0,2354	0,1907	0,1656	0,1493	0,1374	0,1286
30	0,2929	0,1980	0,1593	0,1377	0,1237	0,1137	0,1061
40	0,2370	0,1576	0,1259	0,1082	0,0968	0,0887	0,0827
60	0,1737	0,1131	0,0895	0,0765	0,0682	0,0623	0,0583
120	0,0998	0,0632	0,0495	0,0419	0,0371	0,0337	0,0312
∞	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

k \ ν	8	9	10	16	36	144	∞
2	0,8159	0,8010	0,7880	0,7341	0,6602	0,5813	0,5000
3	0,6333	0,6167	0,6025	0,5466	0,4748	0,4031	0,3333
4	0,5175	0,5017	0,4884	0,4366	0,3720	0,3093	0,2500
5	0,4387	0,4241	0,4118	0,3645	0,3066	0,2513	0,2000
6	0,3817	0,3682	0,3568	0,3135	0,2612	0,2119	0,1667
7	0,3384	0,3259	0,3154	0,2756	0,2278	0,1833	0,1429
8	0,3043	0,2926	0,2829	0,2462	0,2022	0,1616	0,1250
9	0,2768	0,2659	0,2568	0,2226	0,1820	0,1446	0,1411
10	0,2541	0,2439	0,2353	0,2032	0,1655	0,1308	0,1000
12	0,2187	0,2098	0,2020	0,1737	0,1403	0,1100	0,0833
15	0,1815	0,1736	0,1671	0,1429	0,1144	0,0889	0,0667
20	0,1422	0,1357	0,1303	0,1108	0,0879	0,0675	0,0500
24	0,1216	0,1160	0,1113	0,0942	0,0743	0,0567	0,0417
30	0,1002	0,0958	0,0921	0,0771	0,0604	0,0457	0,0333
40	0,0780	0,0745	0,0713	0,0595	0,0462	0,0347	0,0250
60	0,0552	0,0520	0,0497	0,0411	0,0316	0,0234	0,0167
120	0,0292	0,0279	0,0266	0,0218	0,0165	0,0120	0,0083
∞	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

h. Testul ipotezei egalităţii mediilor unor repartiţii normale (Testul Abbe)

Ipoteza nulă este $H_0: \mu_1=\mu_2=\ldots\mu_k$ cu alternativa $H_1: |\mu_{i+1}-\mu_i|>0$, $\forall$ i = 1,2,…k-1, toate repartiţiile normale având aceeaşi dispersie σ^2

- funcţia discriminantă este:

$$A = \frac{1}{2}\frac{\sum_{i=1}^{k-1}\left(\bar{x}_{i+1}-\bar{x}_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{k}\left(\bar{x}_i-\bar{\mu}\right)^2} \quad \text{unde} \quad \bar{\mu}=\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\bar{x}_i \qquad (4.181)$$

$\bar{x}_i$ se calculează pentru acelaşi număr de date $\forall$ i=1,2,…k-1, adică eşantioanele sunt de acelaşi volum “n”.

- se alege riscul α
- se calculează $A_{calculat}$ conform relaţiei (4.181)

Decizia de acceptare a ipotezei H_0 se ia atunci când $A_{calculat} > A_{critic}(k,\alpha)$.

Valorile $A_{critic}(k,\alpha)$ sunt tabelate.

Testul Abbe pentru egalitatea mediilor, Statistica $A_{k,1-\alpha}$

k \ 1-α	0,999	0,99	0,95	k \ 1-α	0,999	0,99	0,95
4	0,2949	0,3128	0,3902	32	0,4963	0,6089	0,7177
5	0,2080	0,2690	0,4102	33	0,5027	0,6141	0,7216
6	0,1817	0,2808	0,4454	34	0,5090	0,6193	0,7256
7	0,1818	0,3070	0,4680	35	0,5150	0,6212	0,7292
8	0,2018	0,3314	0,4912	36	0,5208	0,6240	0,7328
9	0,2210	0,3511	0,5121	37	0,5265	0,6337	0,7363
10	0,2108	0,3759	0,5311	38	0,5319	0,6381	0,7396
11	0,2598	0,3975	0,5482	39	0,5373	0,6425	0,7429
12	0,2778	0,4140	0,5638	40	0,5425	0,6467	0,7461
13	0,2919	0,4309	0,5778	41	0,5475	0,6508	0,7491
14	0,3112	0,4466	0,5908	42	0,5524	0,6548	0,7521
15	0,3266	0,6411	0,6027	43	0,5571	0,6587	0,7550
16	0,3113	0,4746	0,6137	44	0,5616	0,6622	0,7576
17	0,3552	0,4872	0,6237	45	0,5660	0,6659	0,7603
18	0,3684	0,4989	0,6330	46	0,5701	0,6693	0,7628
19	0,3809	0,5200	0,6417	47	0,5743	0,6727	0,7653
20	0,3926	0,5203	0,6498	48	0,5781	0,6757	0,7676
21	0,4037	0,5301	0,6574	49	0,5817	0,6787	0,7698
22	0,4142	0,5393	0,6615	50	0,5853	0,6814	0,7718
23	0,4241	0,5479	0,6713	51	0,5887	0,6842	0,7739
24	0,4334	0,5562	0,6776	52	0,5922	0,6869	0,7759
25	0,4423	0,5639	0,6836	53	0,5955	0,6896	0,7779
26	0,4509	0,5713	0,6893	54	0,5889	0,6924	0,7799
27	0,4591	0,5781	0,6916	55	0,6020	0,6949	0,7817
28	0,4670	0,5850	0,6996	56	0,2051	0,6974	0,7836
29	0,4718	0,5915	0,7016	57	0,6083	0,6999	0,7853
30	0,4822	0,5975	0,7091	58	0,6111	0,7024	0,7872
31	0,4895	0,6034	0,7436	59	0,6145	0,7049	0,7891
				60	0,6171	0,7071	0,7906

✓ Observații generale:

- ✓ **Testele** la care **ipoteza specifică valorile unor parametrii necunoscuţi** se mai numesc şi ***teste ale ipotezei simple***.
- ✓ **Testele** care **verifică dacă două repartiţii au parametrii de valori egale** se mai numesc ***teste ale ipotezei duble***.
- ✓ **Testele** la care **ipotezele se fac asupra valorii medii** sunt ***teste pentru verificarea stabilităţii centrării*.**
- ✓ Testele la care **ipotezele se fac asupra dispersiilor** se numesc ***teste pentru verificare stabilităţii preciziei***.
- ✓ **Testele** la care **se verifică ipotezele referitoare la parametrii comuni ai mai multor repartiţii** se mai numesc ***teste de omogenitate*.**

CAPITOLUL V

CONTROLUL STATISTIC DE RECEPȚIE ȘI AL PROCESELOR

5.1 Consideraţii generale privind controlul statistic de recepţie şi controlul statistic al procesului

Controlul statistic se realizează prin diferite metode având ca scop obţinerea informaţiilor asupra unui **lot de produse** sau **a stării procesului de fabricaţie** prin ***control 100%*** sau ***eşantionare***.

Funcţie de ***natura caracteristicii de calitate care se controlează***, metodele de control sunt:

- ***Metode de control prin atribute***, la care caracteristicile de calitate sunt clasificate în corespunzător/necorespunzător după cum se încadrează sau nu în specificaţii.

- ***Metode de control prin măsurare***, la care se analizează valorile caracteristicii de calitate obţinute prin măsurare.

Funcţie de ***stadiul de execuţie al lotului de produse***, controlul statistic este:

- ***Control statistic de recepţie***, aplicat asupra ***loturilor complet executate***, având ca scop **luarea deciziilor referitoare la admitere, respingere sau sortare/resortare**.

- ***Control statistic al procesului***, aplicat asupra ***loturilor în curs de fabricare,*** având ca scop **luarea deciziilor referitoare la procesul de fabricaţie**.

O comparaţie între controlul statistic de recepţie şi cel al procesului este redată în figura 5.1, adaptare după Moțoiu (1994)).

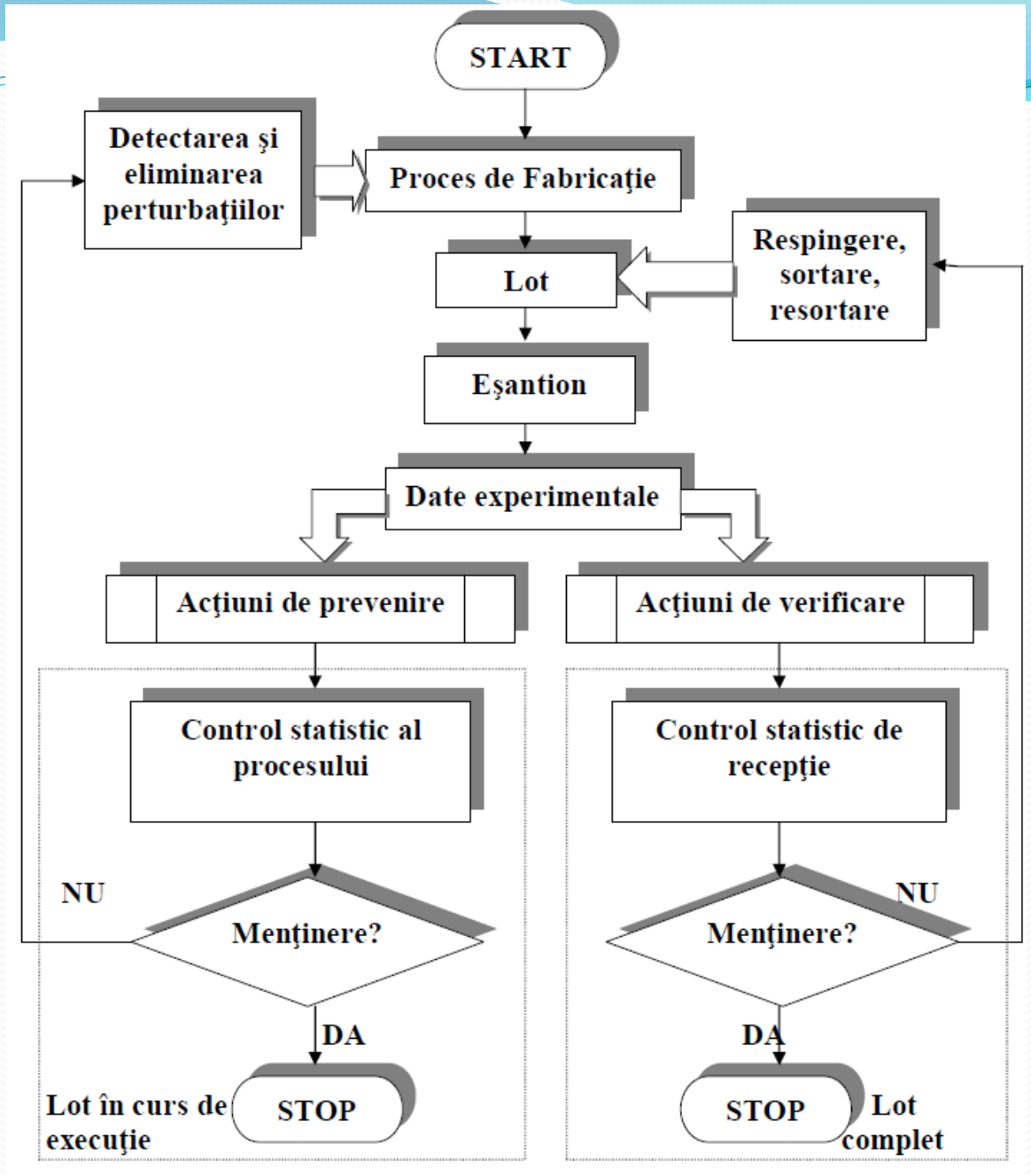


Fig. 5.1 Deciziile şi acţiunile funcţie de momentul eşantionării

✓ Observații generale:

- ✓ **Controlul 100%** nu exclude prelucrarea statistică a datelor obţinute prin verificare/constatare, de asemenea ea conduce la acţiuni asupra procesului de fabricaţie respectiv asupra produsului (nu numai asupra lotului din care s-a extras eşantionul).

- ✓ **Controlul statistic al procesului** permite furnizorului (executantului) stabilirea limitelor de control inferioară LCI şi superioară LCS, acest lucru realizându-se prin eşantionare periodică şi succesivă asupra lotului de produse. În acest mod, ***furnizorul are o imagine în timp asupra fabricării lotului de produse*** (**aspect diacron al fabricaţiei**).

- ✓ **Controlul final şi beneficiarul au însă o o imagine diferită**, şi anume ***ca şi când lotul de produse ar fi realizat deodată în condiţii identice de realizare*** (**aspectul sincron al fabricaţiei**), fiind interesaţi ca nivelul neconformităţilor să nu depăşească AQL (nivelul de calitate aceptabil)

- ✓ **Controlul statistic de recepţie şi al procesului** se aplică ***numai la procese stabile statistic.***

- ✓ **Stabilitatea statistică** presupune că **toate cauzele speciale au fost îndepărtate, singurele influenţe fiind date de cauzele comune.**

- ✓ De obicei toleranţele procesului sunt specificate, însă atunci ***când nu sunt specificate, controlul statistic se efectuează în baza toleranţelor naturale*** (corespunde situaţiei de analiză a **stabilităţii statistice** a procesului).

Principalele metode de control statistic de recepţie şi control statistic al procesului sunt prezentate în figura 5.2 (Moțoiu, 1994)

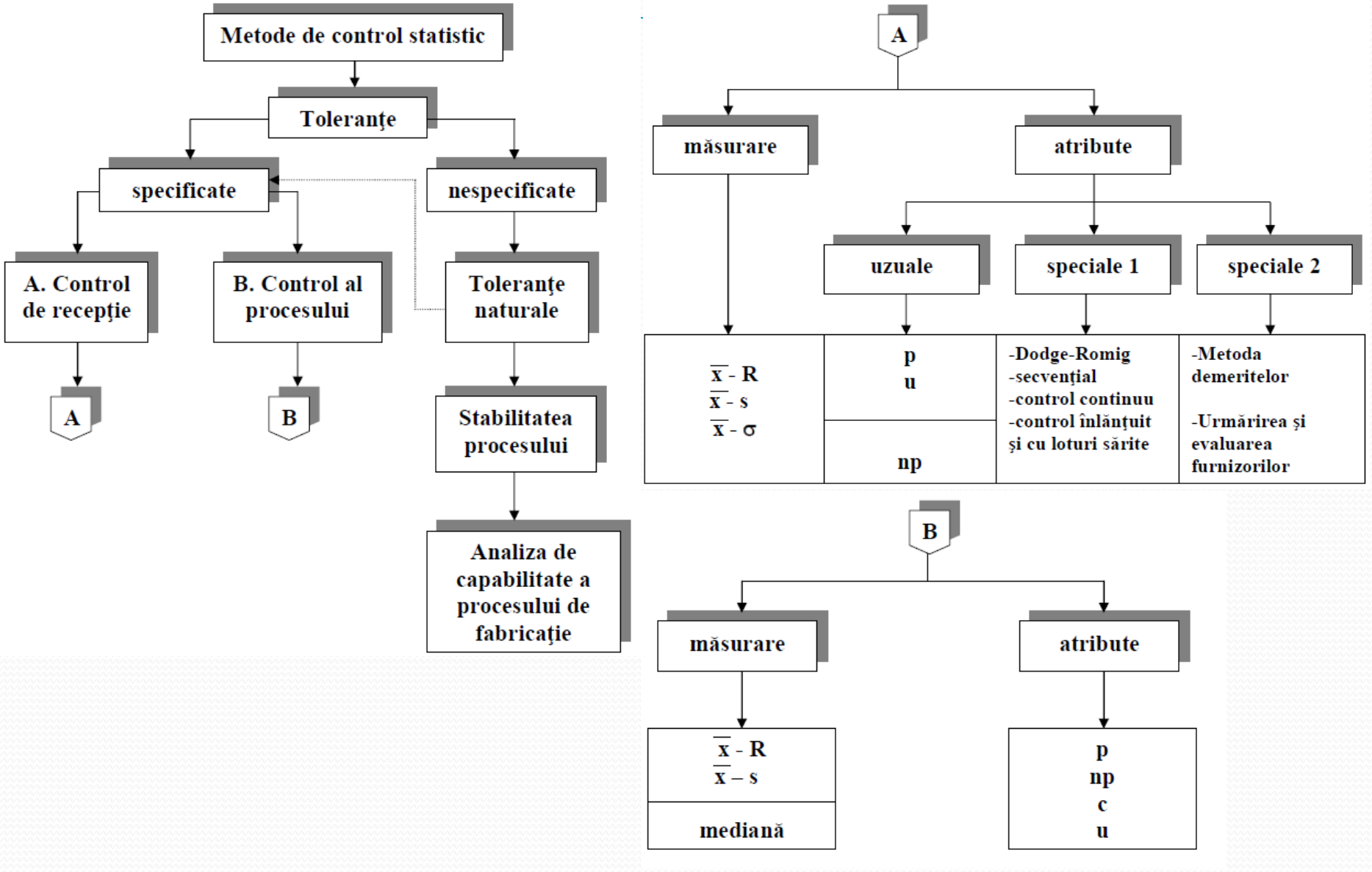


Fig. 5.2 Metode de control statistic

Funcţie de ***volumul produselor controlate***, controlul statistic este:

- ***Control 100% sau bucată cu bucată***, aplicat întregului volumul al producției. Este de obicei aplicabil producției de serie mică sau de unicate unde condițiile tehnice impuse suntdeosebit de stricte.

- ***Control prin eșantionare,*** aplicat numai asupra unor părți ale producției (loturi).

Avantajele ***controlului prin eșantionare*** se pot aprecia prin diverse criterii economice, spre exemplu comparând costul asociat acestuia cu cel asociat ***controlului 100%*** (Kifor & Oprean, 2002)

Se notează:

N – volumul lotului (populația statistică)

n – volumul eșantionului

P – fracțiunea defectivă a lotului (proporția de produse necorespunzătoare)

C – costurile datorate nedepistării produselor defecte la recepția lotului

C_u – costurile de control a unei piese (costul unitar)

- **Costul controlului 100%** se determină cu relația (5.1):

$$C_{100\%} = N \cdot C_u \qquad (5.1)$$

- **Costul controlului prin eșantionare** se determină cu relația (5.2):

$$C_e = (n \cdot C_u) + (N - n) \cdot P \cdot C \qquad (5.2)$$

La limită, atunci când $C_{100\%} \approx C_e$, se poate identifica (determina) un punct de echilibru cu relația (5.3):

$$N \cdot C_u \approx (n \cdot C_u) + (N - n) \cdot P \cdot C \qquad (5.3)$$

Fracțiunea defectivă critică este dată în relația 5.4

$$P_{critic} = \frac{C_u}{C} \qquad (5.4)$$

✓ Dacă $P < P_{critic}$, atunci costul cel mai redus se obține aplicând ***metodele de control statistic prin eșantionare***.

✓ Dacă $P > P_{critic}$, atunci mai ieftin este ***controlul 100%***

5.2 Controlul statistic de recepţie

- De mare importanţă pentru luarea unor decizii corecte asupra lotului de produse supus controlului statistic de recepţie este ***prelevarea corectă a eşantionului*** (procedurile sunt date în STAS 6085-86).

- Sinteza elementelor necesare efectuării eşantionării pentru recepţia loturilor se dă sub forma **planurilor de control** ce conţin ***riscurile furnizorului, riscul beneficiarului, nivelul calităţii producţiei şi criteriile de decizie.***

- Practic, ***controlul prin eşantionare reprezintă o formă a testării ipotezelor statistice,*** **prin aplicarea planurilor de control statistic decizându-se dacă lotul de produse poate fi acceptat sau respins**.

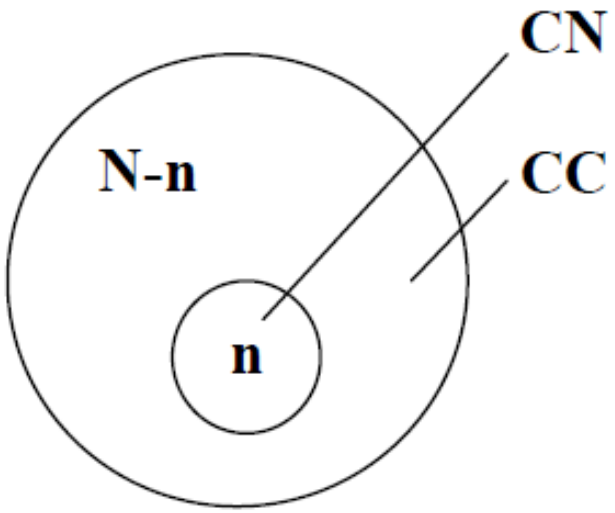
- Din punct de vedere probabilistic orice lot de produse conţine o ***proporţie de produse defecte (necorespunzătoare)*** numită ***fracţiune defectivă***.

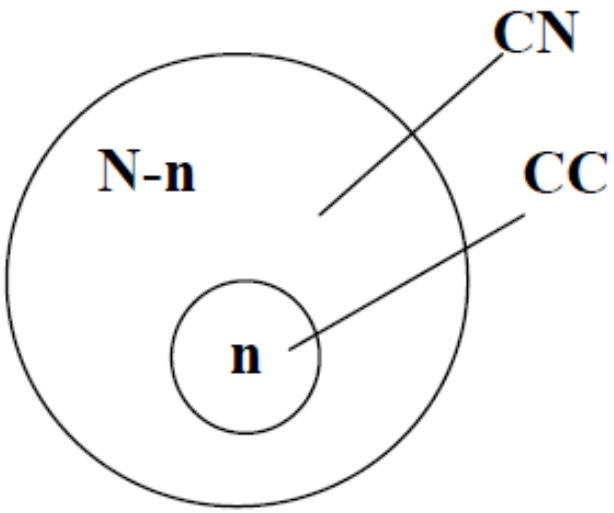
Scopul controlului statistic de recepţie este de a determina ***dacă această fracţiune defectivă nu depăşeşte o anumită valoare critică***.

Ipoteza nulă este $H_0: p \leq p_0$ (**acceptare**) cu alternativa $H_1: p > p_0$ (**respingere**), unde p_0 este ***nivelul critic al fracţiunii defective*** determinat pe baze economice.

Prin aplicarea controlului statistic de recepţie se poate ajunge la **două feluri de decizii eronate**:

- **respingerea unui lot corespunzător**, eroarea comisă notată α se numeşte **eroare de genul 1 sau risc al furnizorului**.(fig ura 5.3)
- **acceptarea unui lot necorespunzător**, eroarea comisă notată β se numeşte **eroare de genul 2 sau risc al beneficiarului**.(figura 5.3)





Eroare de genul 1 (riscul furnizorului) **Eroare de genul 2 (riscul beneficiarului)**

n – volumul eşantionului
N – volumul lotului
CC – calitate corespunzătoare
CN – calitate necorespunzătoare

Fig. 5.3 Erorile posibile la aplicarea controlului statistic de recepţie

5.2.1 Caracteristica operativă a planurilor de control statistic

Caracteristica operativă (CO) reprezintă corespondenţa dintre ***fracţiunea defectivă*** (p) şi ***probabilitatea acceptării loturilor de produse*** (P_a).

CO poate fi descrisă prin funcția dată în relația (5.5) care exprimă ***probabilitatea de acceptare a lotului*** ce conține o ***fracțiune defectivă*** p = D/N, expresia grafică constiuind-o ***Curba caracteristicii operative.***

$$P(a) = f(p) \qquad (5.5)$$

Se consideră nivelul p_0 al ***fracțiunii defective*** pentru care dacă controlul s-ar efectua integral și fără erori, ***loturile cu*** $p \leq p_0$ ***ar fi acceptate cu certitudine*** iar ***cele cu*** $p > p_0$ ***ar fi respinse cu certitudine***.

Acest caz se consideră unul **ideal**, iar ***Curba caracteristicii operative ideale*** este prezentată în figura 5.4

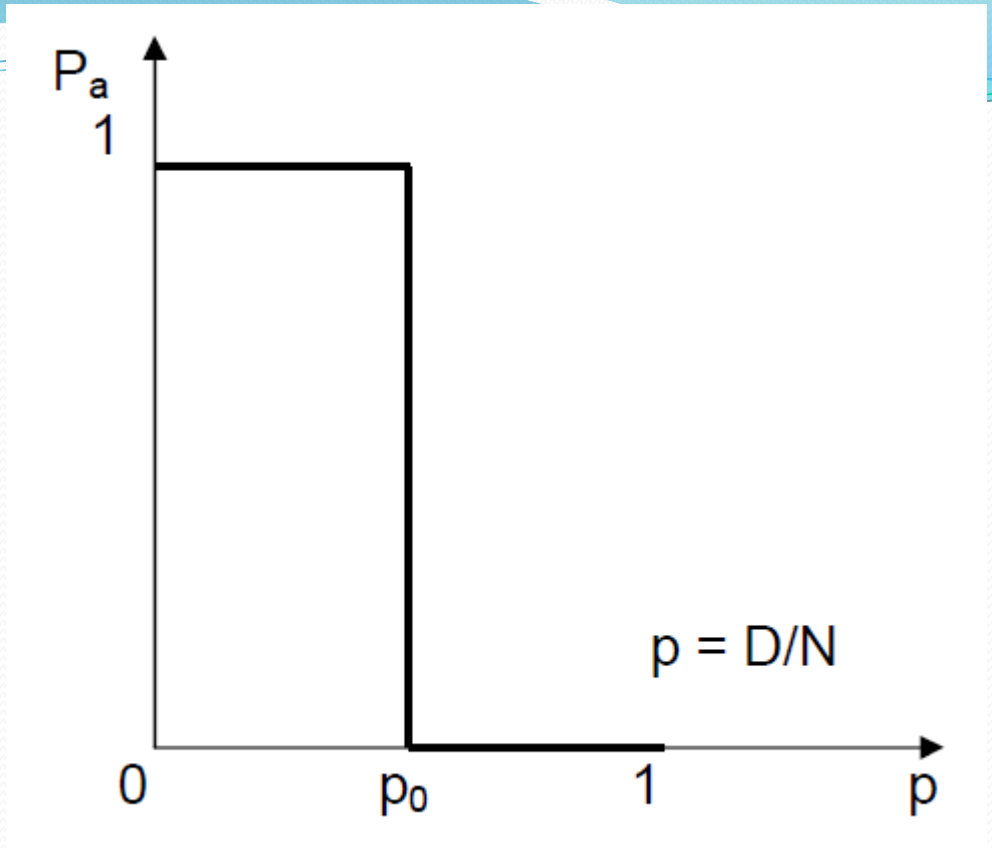


Fig. 5.4 Curba CO în formă ideală

În realitate, datorită erorilor de reprezentativitate se comit erori de decizie comensurate probabilistic prin riscurile α și β

Cu cât are loc îndepărtarea de p = 0 (***fracțiune defectivă 0*** = **calitate perfectă**) spre p = 1 (***fracțiune defectivă 100%*** = **calitate nulă**) , are loc înrăutățirea calității.

Până la p_0 se consideră faptul că calitate are un totuși nivel acceptabil ceea ce conduce la acceptarea lotului.

Curba Caracteristicii operative reale arată că în realitate loturi de calitate acceptabilă ($p \leq p_0$) pot fi totuși respinse, iar loturi necorespunzătoare ($p > p_0$) vor fi acceptate.

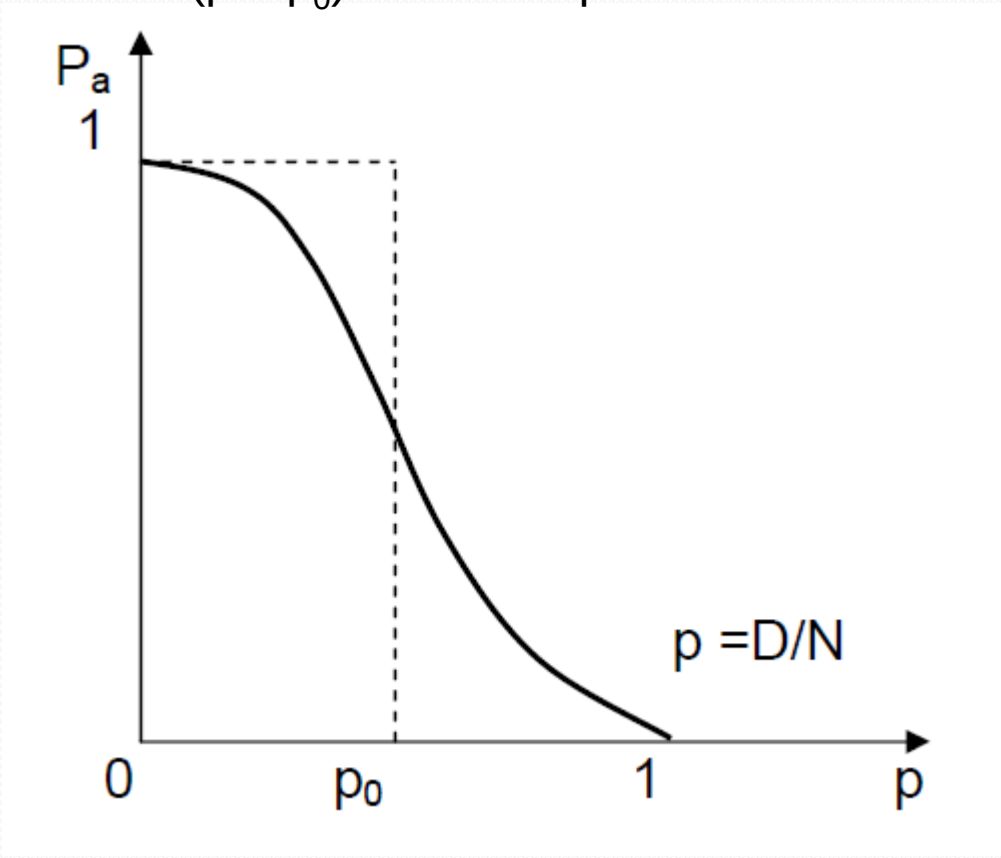


Fig. 5.5 Curba CO în formă reală

Curba caracteristicii operative este prezentată în figura 5.6, iar corespondenţa dintre ***P% de apariţie a erorilor de decizie*** şi ***fracţiunea de defectivă*** în tabelul 5.1.

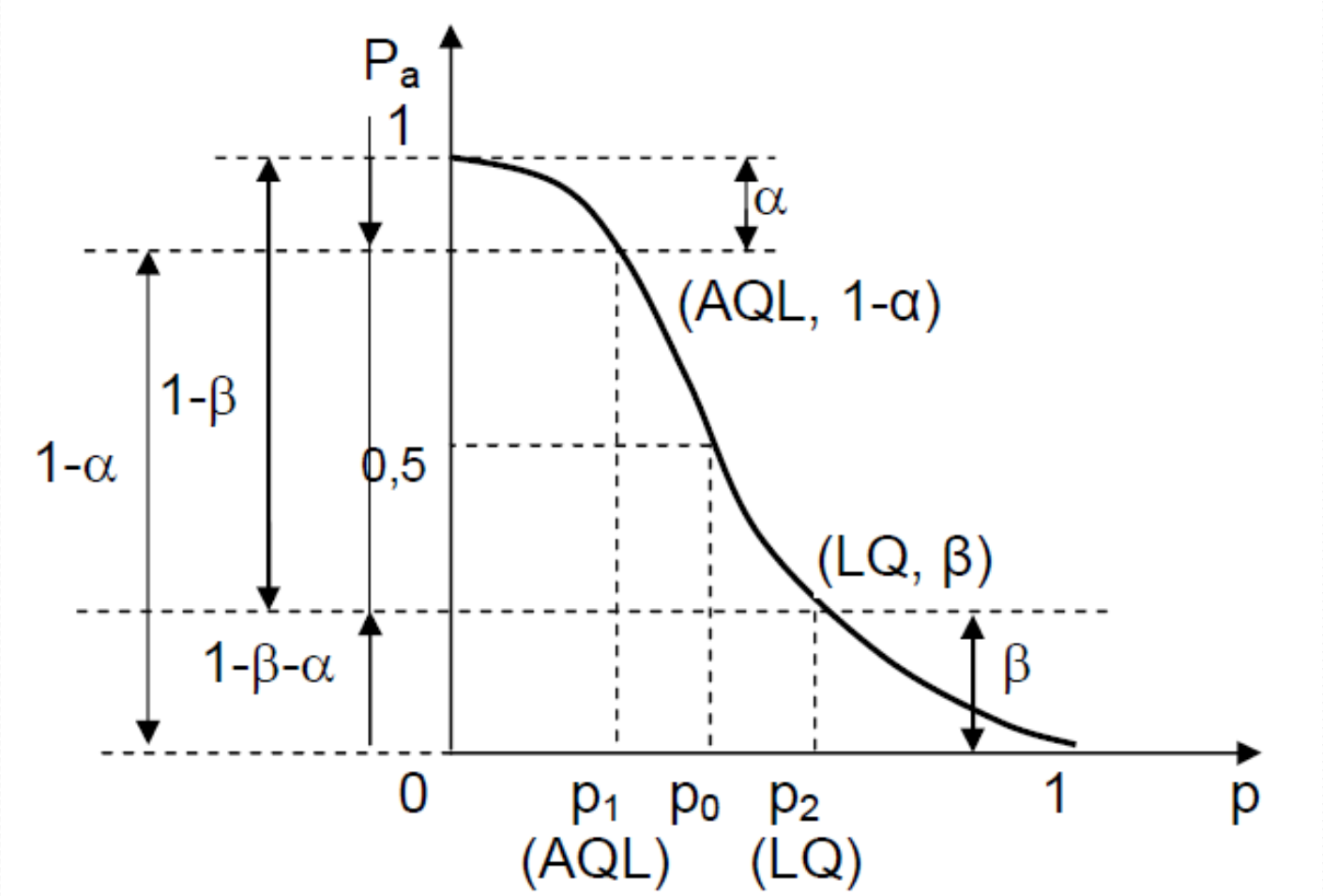


Fig. 5.6 Curba CO şi mărimile specifice controlului statistic de recepţie

În jurul valorii p_0 există o **zonă de interferență** în care **deciziile sunt echivalente**, însă pe măsura îndepărtării dinspre p_0 spre 0 sau dinspre p_0 spre 1, ***probabilitatea respingerii unui lot corespunzător*** respectiv a ***acceptării unui lot necorespunzător***, scade.

Loturile corespunzătoare ($p \leq p_1$) ***se acceptă cu o probabilitate mare*** ($P_a = 1-\alpha$), însă datorită erorilor de reprezentativitate (eșantionare) vor fi și **loturi corespunzătoare** ***respinse nejustificat cu o probabilitate*** (α) ***mică***.

Loturile necorespunzătoare ($p \geq p_2$) ***sunt respinse cu o probabilitate mare*** ($Pa = 1-\beta$) mare, dar sunt și **loturi necorespunzătoare** care ***sunt acceptate cu o probabilitate*** (β) ***mică***.

Atunci când loturile au ***fracțiunea defectivă*** cuprinsă între p_1 și p_2, acestea ***sunt respinse cu o probabilitate*** $P_a = 1-\beta-\alpha$, probabilitate care descrește pe măsură ce are loc îndepărtarea din p_1 spre p_2,adică pe măsura înrăutățirii calității

Tab 3.1 Corespondenţa dintre p şi P_a

Domeniul	Domeniul de acceptare	Domeniul de indiferenţă	Domeniul de respingere
Fracţiunea defectivă (p)	0 p_1 (AQL)	p_2 (LQ)	1
Probabilitatea de acceptare (P_a)	$1 \leq P_a \leq 1-\alpha$	$1-\alpha < P_a < \beta$	$\beta \leq P_a \leq 0$

Fracţiunea defectivă p_1 este ***fracţiunea defectivă maximă*** pentru care **lotul se acceptă** (***probabilitatea de acceptare este foarte mare***, ***cel puţin*** $1-\alpha$) şi se mai numeşte ***fracţiune defectivă acceptată*** sau ***Nivel de Calitate Acceptabil*** **AQL (Acceptable Quality Level).**

Fracţiunea defectivă p_2 este ***fracţiunea defectivă minimă*** pentru care **lotul se respinge** (***probabilitatea de acceptare de beneficiar este foarte mică, cel mult*** β) şi se mai numeşte ***fracţiune defectivă tolerată*** sau ***Nivel de Calitate Limită*** **LQ (Limited Quality).**

Fracţiunea defectivă p_0 cu $P_a(p_0) = 0,5$ se numeşte ***fracţiune defectivă probabilă.***

- Mărimile p_1, p_2, α și β care ***materializează cerințele controlului statistic prin eșantionare*** se stabilesc de furnizor și beneficiar de comun acord.

- Aceste mărimi ***se stabilesc în mod diferit*** în ***funcție de fiecare produs în parte***.

- Între aceste mărimi există evident relațiile:

$$1 > 1-\alpha > 0{,}5 > \beta > 0 \qquad (5.6)$$

$$0 < p_1 < p_2 < 1 \qquad (5.7)$$

$$p_2 - p_1 > \frac{1}{N} \qquad (5.8)$$

Calitatea medie după control – AOQ (Accepted Outgoing Quality) este un **indicator al eficienţei unui plan de control** şi reprezintă ***calitatea medie a producţiei livrate după controlul unui număr de loturi***.

Prin aplicarea controlului vor rezulta evident **loturi acceptate** şi **loturi respinse**, ***produsele defecte*** ale acestora din urmă înlocuindu-se cu ***produse corespunzătoare***.

Dacă eşantionul (în cazul unui lot acceptat) s-a reintrodus în lot ***fără înlocuirea produselor defecte,*** **Calitatea medie după control – AOQ** va fi:

$$AOQ = pP_a \qquad (5.8)$$

Dacă ***produsele defecte au fost înlocuite,*** **Calitatea medie după control – AOQ** va fi:

$$AOQ = pP_a\left(1 - \frac{n}{N}\right) \qquad (5.9)$$

unde: n – volumul eşantionului, N – volumul lotului

Analiza evoluţiei **indicatorului AOQ** conduce la concluzia că se produce o stabilizare a sa în timp.

Indicatorul corespunzător este **limita calităţii medii după control AOQL** şi reprezintă **valoarea maximă alui AOQ** fiind ***cel mai scăzut nivel al calităţii medii acceptabile:***

$$AOQL = \max_{0<p<1}(AOQ) \qquad (5.10)$$

În această ordine de idei, **Nivelul de calitate acceptabil AQL (Acceptable Quality Level)** reprezintă ***procentul maxim de produse defecte*** sau ***numărul maxim de defecte la suta de unităţi de produs*** pentru care **lotul se consideră acceptabil** din punct de vedere al **calităţii medii a producţiei**.

Standardul STAS 3160-84 recomandă ca stabilirea valorii AQL ***să se facă de comun acord de către furnizor şi beneficiar şi să fie înscrisă în contractele comerciale***.

O primă abordare a **nivelului AQL** se bazează pe **gradul de gravitate a defectelor.** STAS 3160/84 recomandă:

- pentru defecte critice **AQL** : 0 - 0,4%
- pentru defecte principale **AQL** : 0,4 - 1%
- pentru defecte secundare **AQL** : 1,5 - 4%
- pentru defecte minore **AQL** : 4 - 10%

Dacă produsele prezintă **defecte de gravităţi diferite nivelul AQL** se stabileşte pentru fiecare tip de defect în parte.

În cazul în care există un **număr mare de caracteristici de calitate**, şi s-a stabilit pentru fiecare **nivelul AQL** respectiv ***numărul de defecte admisibil*** A_i, atunci se pot determina **Nivelul global** AQL_{global} și **Nivelul global al numărului de defecte** A_{global}

- ✓ **Nivelul global AQL_{global}** se calculează ca fiind *media geometrică* a **nivelurilor individuale AQL_i** conform relaţiei (5.11)

- ✓ **Nivelul global al numărului de defecte A_{global}** se calculează ca fiind *media pătratică* a **valorilor individuale A_i** conform relaţiei (5.12).

$$AQL_{global} = \sqrt[n]{AQL_1 \cdot AQL_2 \cdot \ldots \cdot AQL_n} \qquad (5.11)$$

$$A_{global} = \sqrt{\frac{A_1^2 + A_2^2 + \ldots + A_n^2}{n}} \qquad (5.12)$$

⇨ O a doua abordare a **nivelului AQL** se bazează pe ***procentul mediu de defecte stabilizat*** p.

⇨ Se recomandă o valoare iniţială **AQL** = $0{,}8\,\bar{p}$

5.2.2 Planuri de control atributive

Există mai multe tipuri de control statistic prin atribute. Formele prezentate în STAS 3160/1-84 corespund cu standardul american MIL STD 105D preluate ulterior şi în ISO 3951.

a. Planul de control simplu

Funcţie de numărul eşantioanelor controlate (k), planurile de control atributive sunt simple (k=1), duble ($k \leq 2$), multiple ($k \leq 7$) şi pot fi diferenţiate funcţie de gradul de severitate al controlului (normal, sever, redus).

Schema planului de control simplu este prezentată în figura 5.7, iar aplicarea controlului propriu-zis se face conform schemei din figura 5.8.

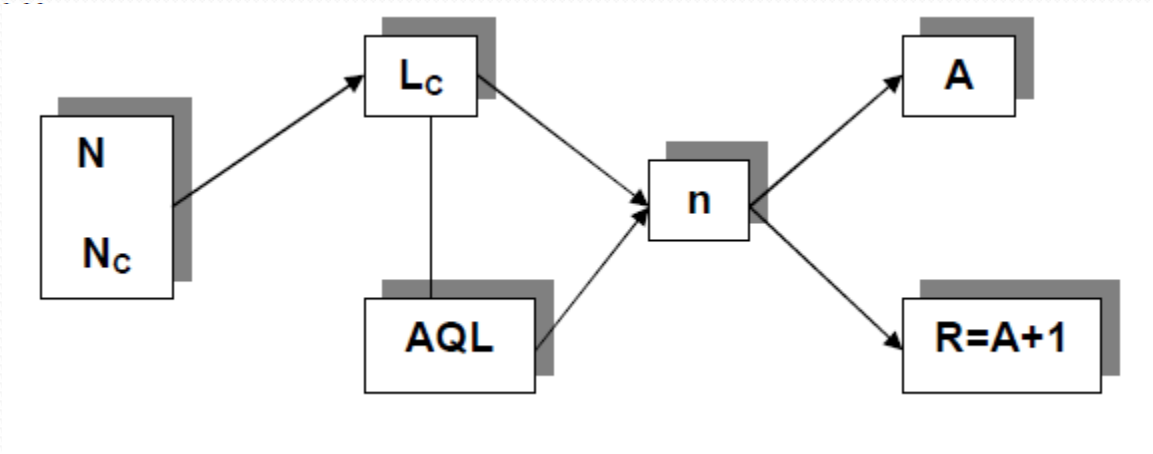


Fig. 5.7 Schema planului de control atributiv simplu

Unde:

N – volumul lotului
N_C – niveluri de control funcţie de gradul de severitate impus: normal, sever, sau redus (I, II, III - normale, S_1, S_2, S_3, S_4 – speciale)
L_C – litera de cod
AQL – nivelul de calitate acceptabil
A – numărul maxim de produse necorespunzătoare pentru care lotul se acceptă
R – numărul minim de produse corespunzătoare pentru care lotul se respinge

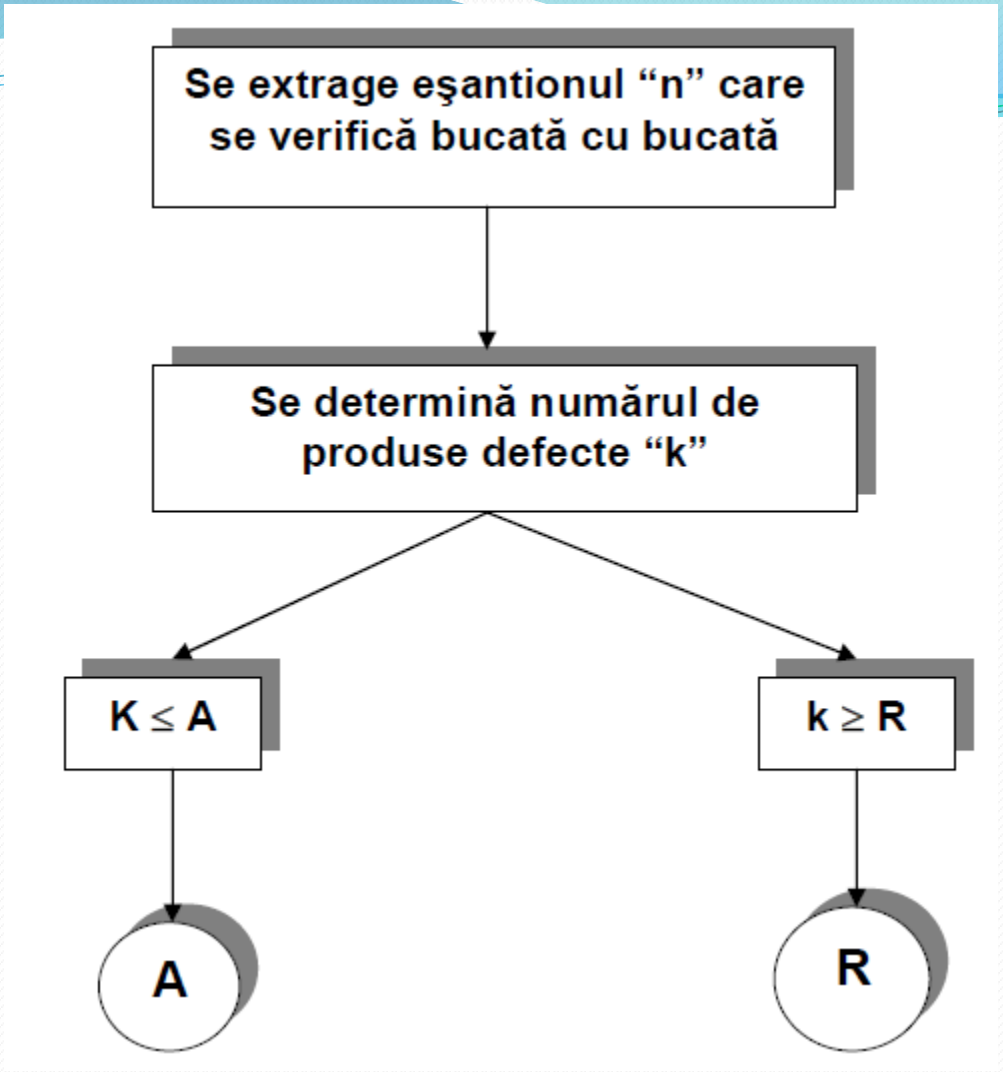


Fig. 5.8 Procedeul de utilizare a unui plan de control atributiv simplu

Unde:

A – codul pentru decizia de **acceptare** a lotului

R – codul pentru decizia de **respingere** a lotului

- Ipoteza nulă este $H_0: p \leq p_1$ cu alternativa $H_1: p \geq p_2$.

- Mărimile α, β, p_1, p_2 fiind fixate și cunoscând ”N”, volumului lotului, se poate determina **volumul** “n” al eşantionului precum şi **numărul maxim de produse defecte** din eşantion care condiţionează acceptarea **A** (care se mai numeşte şi număr de acceptare) .

$$0 \leq \mathbf{A} < n < N \qquad (5.13)$$

- Notând cu “D” ***numărul de produse defecte*** din lotul de volum “N” (G = N - D ***produse corespunzătoare***), prin eşantionare se obţine un volum de “n” produse care se controlează bucată cu bucată fără a fi reintroduse în lot.

- Probabilitatea ca să obţinem în “n” extrageri “d” ***produse defecte*** (g = n - d ***produse corespunzătoare***) este dată de relaţia (5.14) corespunzătoare **repartiţiei hipergeometrice**:

$$p(n,d) = \frac{C_D^d C_{N-D}^{n-d}}{C_N^n} \qquad (5.14)$$

Pentru eşantioane foarte mari **modelul repartiţiei hipergeometrice poate fi aproximat prin modelul binomial** (în ipoteza că după verificare fiecare produs se reintroduce în lot) conform relaţiei (5.135):

$$\lim_{n\to\infty} p(n,d) = C_n^d p^d (1-p)^{n-d} \qquad (5.135)$$

Probabilitatea de acceptare este:

$$P_a(n,d) = \sum_{d=0}^{A} C_n^d p^d (1-p)^{n-d} \qquad (5.136)$$

✓ Observaţii:

✓ Atunci când produsele defecte au frecvenţă de apariţie relativ mică ($p \le 0{,}1$) şi $n \ge 30$ (astfel încât $n/N \le 0{,}05$) **modelul hipergeometric se aproximează prin modelul Poisson**:

$$p(n,d) = \frac{(np)^d}{d!} e^{-np} \qquad (5.137)$$

✓ Probabilitatea de acceptare este:

$$P_a = \sum_{d=0}^{A} \frac{(np)^d}{d!} e^{-np} \qquad (5.138)$$

Determinarea parametrilor planului de control simplu atributiv (n, A) se poate face prin rezolvarea sistemului de ecuaţii dat de relaţia (5.139) sau prin utilizarea repartiţiei χ^2 conform relaţiei (5.140).

$$\begin{cases} \sum_{d=0}^{A} \frac{(np_1)}{d!} e^{-np_1} = 1-\alpha \\ \sum_{d=0}^{A} \frac{(np_2)^d}{d!} e^{-np_2} = \beta \end{cases} \qquad (5.139)$$

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{\chi^2_{[\beta;2(A+1)]}}{2p_2} \le n \le \dfrac{\chi^2_{[1-\alpha;2(A+1)]}}{2p_1} \\ \chi^2_{[\beta;2(A+1)]} \cong \dfrac{p_2}{p_1} \chi^2_{[1-\alpha;2(A+1)]} \end{array}\right\} \qquad (5.140)$$

În mod practic pentru determinarea lui ”n” şi ”A” se procedează astfel:

- se calculează raportul $r = p_2/p_1$
- din tabelele repartiţiei χ^2 se determină valorile aproximative pentru $\chi^2_{[\beta;2(A+1)]}$ şi $\chi^2_{[1-\alpha;2(A+1)]}$ astfel încât raportul lor să fie egal cu r
- se citeşte numărul gradelor de libertate pentru repartiţia $\chi 2$, $\nu=2(A+1) \Rightarrow A=\nu/2-1$
- se determină volumul eşantionului cu relaţia $n=(n_1+n_2)/2$; n_1 şi n_2 fiind obţinuţi prin raporturile $\chi^2_{[\beta;2(A+1)]} / 2p_2$ respectiv $\chi^2_{[1-\alpha;2(A+1)]} / 2p_1$

Repartiţia χ^2 $P\left(\chi^2 > \chi^2_{\nu,\alpha}\right) = \alpha$

ν \ α	0,995	0,99	0,98	0,975	0,95	0,90	0,80	0,75
1	$0,0^4 39$	$0,0^3 157$	$0,0^3 628$	$0,0^3 982$	0,003	0,0158	0,0642	0,102
2	0,0100	0,0201	0,0404	0,0506	0,103	0,211	0,446	0,575
3	0,0717	0,115	0,185	0,216	0,352	0,584	1,005	1,213
4	0,207	0,297	0,429	0,484	0,711	1,064	1,649	1,923
5	0,412	0,554	0,752	0,831	1,145	1,610	2,343	2,675
6	0,676	0,872	1,134	1,237	1,635	2,204	3,070	3,455
7	0,989	1,239	1,564	1,690	2,167	2,833	3,822	4,255
8	1,344	1,646	2,032	2,180	2,733	3,490	4,594	5,071
9	1,735	2,088	2,532	2,700	3,325	4,168	4,380	5,899
10	2,156	2,558	3,059	3,247	3,940	4,865	6,179	6,737
11	2,603	3,053	3,609	3,816	4,575	5,578	6,989	7,584
12	3,074	3,571	4,178	4,404	5,226	6,304	7,807	8,438
13	3,565	4,107	4,765	5,009	5,892	7,042	8,634	9,299
14	4,075	4,660	5,368	5,629	6,571	7,790	9,467	10,165
15	4,601	5,229	5,985	6,262	7,261	8,547	10,307	11,036
16	5,142	5,812	6,614	6,908	7,962	9,312	11,152	11,912
17	5,697	6,408	7,255	7,564	8,672	10,085	12,002	12,792
18	6,265	7,015	7,906	8,231	9,390	10,865	12,857	13,675
19	6,844	7,633	8,567	8,907	10,117	11,651	13,716	14,562
20	7,434	8,260	9,237	9,591	10,851	12,443	14,578	15,452
21	8,034	8,897	9,915	10,283	11,591	13,240	15,445	16,344
22	8,643	9,542	10,600	10,982	12,338	14,041	16,314	17,240
23	9,620	10,196	11,293	11,688	13,091	14,848	17,187	18,137
24	9,886	10,856	11,992	12,401	13,848	15,659	18,062	19,037
25	10,520	11,524	12,697	13,120	14,611	16,473	18,940	19,039
26	11,160	12,198	13,409	13,844	15,379	17,292	19,820	20,843
27	11,808	12,879	14,125	14,573	16,151	18,114	20,703	21,749
28	12,461	13,565	14,847	15,308	16,928	18,939	21,588	22,657
29	13,121	14,256	15,574	16,047	17,708	19,768	22,475	23,567
30	13,787	14,953	16,306	16,791	18,493	20,559	23,364	24,478

ν \ α	0,70	0,50	0,30	0,25	0,20	0,10	0,005	0,025
1	0,148	0,455	1,074	1,323	1,642	2,706	3,841	5,024
2	0,713	1,386	2,408	2,773	3,219	4,605	5,991	7,378
3	1,424	2,366	3,665	4,108	4,642	6,251	7,815	9,348
4	2,195	3,357	4,878	5,385	5,989	7,779	9,488	11,143
5	3,000	4,351	6,064	6,626	7,289	9,236	11,070	12,832
6	3,828	5,348	7,231	7,841	8,558	10,645	12,592	14,449
7	4,671	6,346	8,383	9,037	9,803	12,017	14,067	16,013
8	5,527	7,344	9,524	10,219	11,030	13,362	15,507	17,535
9	6,393	8,343	10,656	11,389	12,242	14,684	16,919	19,023
10	7,267	9,342	11,781	12,549	13,442	15,987	18,307	20,483
11	8,148	10,341	12,899	13,701	14,631	17,275	19,675	21,920
12	9,034	11,340	14,011	14,845	15,812	18,549	21,026	23,337
13	9,926	12,340	15,119	15,984	16,985	19,812	22,362	24,736
14	10,821	13,339	16,222	17,117	18,151	21,064	23,685	26,119
15	11,721	14,339	17,322	18,245	19,311	22,307	24,996	27,488
16	12,624	15,338	18,418	19,369	20,465	23,542	26,296	28,845
17	13,531	16,338	19,511	20,489	21,615	24,769	27,587	30,191
18	14,440	17,338	20,601	21,605	22,760	25,989	28,869	31,526
19	15,352	18,338	21,689	22,718	23,900	27,204	30,144	32,852
20	16,266	19,337	22,775	23,828	25,038	28,412	31,410	34,170
21	17,182	20,337	23,858	24,935	26,171	29,615	32,671	35,479
22	18,101	21,337	24,939	26,039	27,301	30,813	33,924	36,781
23	19,021	22,337	26,018	27,141	28,429	32,007	35,172	38,076
24	19,943	23,337	27,096	28,241	29,553	33,196	36,415	39,364
25	20,867	24,337	28,172	29,339	30,675	34,382	37,652	40,646
26	21,792	25,336	29,246	30,434	31,795	35,563	38,885	41,923
27	22,719	26,336	30,319	31,528	32,912	36,741	40,113	43,194
28	23,647	27,336	31,391	32,620	34,027	37,916	41,337	44,461
29	24,577	28,336	32,461	33,711	35,139	39,087	42,557	45,722
30	25,508	29,336	33,530	34,800	36,250	40,256	43,773	46,979

b. Planul de control dublu

Schema planului de control dublu (conform STAS 3160/1-84) este prezentată în figura 5.9, iar aplicarea controlului propriu-zis se face conform schemei din figura 5.10.

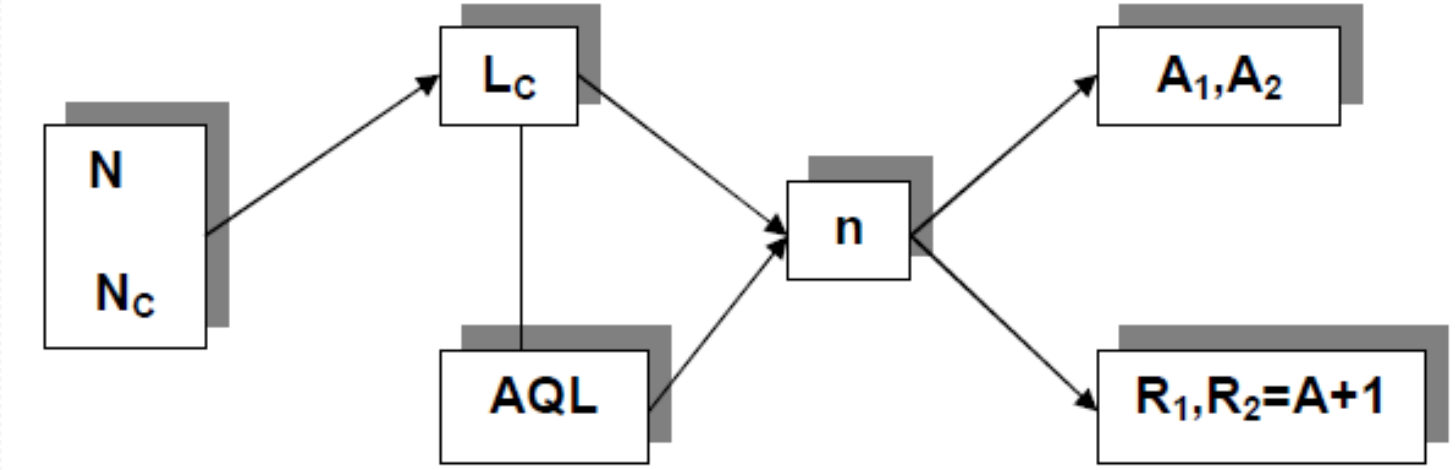


Fig. 5.9 Schema planului de control atributiv dublu

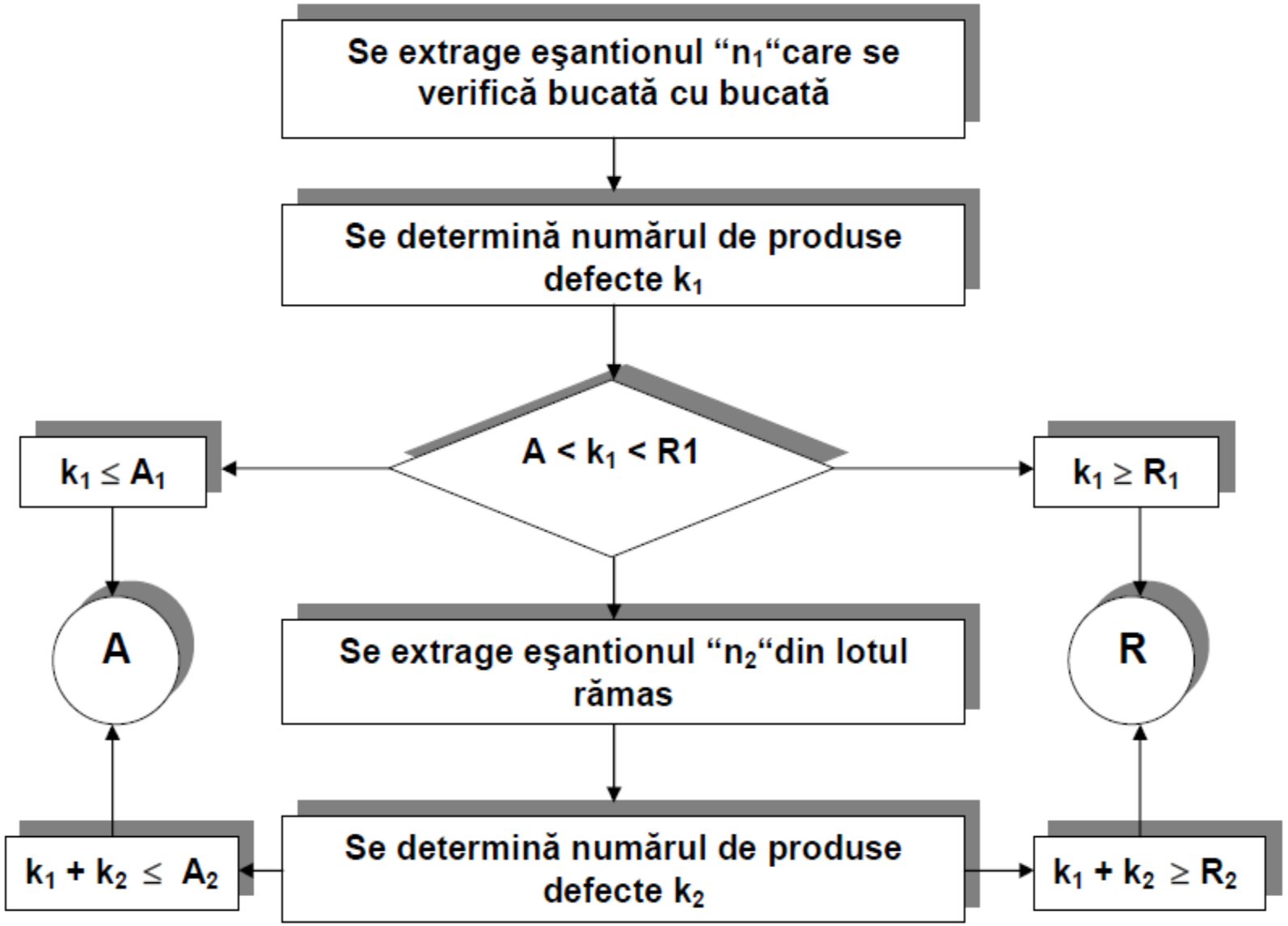


Fig. 5.10 Procedeul de utilizare a unui plan de control atributiv dublu

c. Planul de control multiplu

Planul de control multiplu atributiv este similar planului dublu cu observaţia că $k \leq 7$, iar efectivele eşantioanelor sunt egale $n_1=n_2=\ldots=n_7$

d. Planul de control secvențial

În etapa iniţială numărul şi volumul eşantioanelor nu sunt cunoscute, acestea se adoptă funcţie de calitatea efectivă a lotului.

Se consideră ipoteza nulă $H_0 : p \leq p_1$ cu alternativa $H_1 : p \geq p_2$ cele trei decizii posibile se bazează pe raportul de verosimilitate propus de A. Wald:

$$\left.\begin{array}{ll} \dfrac{p_{2,n}}{p_{1,n}} \leq \dfrac{\beta}{1-\alpha} & \Leftrightarrow \text{ acceptarea lotului} \\ \dfrac{p_{2,n}}{p_{1,n}} \geq \dfrac{1-\beta}{\alpha} & \Leftrightarrow \text{ respingerea lotului} \\ \dfrac{\beta}{1-\alpha} < \dfrac{p_{2,n}}{p_{1,n}} < \dfrac{1-\beta}{\alpha} & \Leftrightarrow \text{continuarea controlului} \end{array}\right\} \quad (5.141)$$

Unde:

- $p_{1,n}$ este probabilitatea ca eşantionul de volum “n” să conţină “d” produse defecte, dacă lotul conţine D_1 produse defecte adică $p \leq p_1$

- $p_{2,n}$ este probabilitatea ca eşantionul de volum “n” să conţină “d” produse defecte, dacă lotul conţine D_2 produse defecte adică $p \geq p_2$

✓ Observații:

✓ pentru uşurinţa calculelor şi luarea mai rapidă a deciziilor se calculează **numerele specifice de rebuturi** $d = A_n$ **pentru *condiţia de acceptare*** şi $d = R_n$ ***pentru cea de respingere*** cu relaţiile:

$$\left.\begin{aligned} A_n &= \rho n + h_1 \;\; ; \;\; h_1 < 0 \\ R_n &= \rho n + h_2 \end{aligned}\right\} \qquad (5.141)$$

Unde: $\rho=f(p_1,p_2)$; $h_1=f(\alpha,\beta,p_1,p_2)$; $h_2=f(\alpha,\beta,p_1,p_2)$

✓ dacă $d \leq A_n$ **lotul se acceptă**, dacă $d \geq R_n$ **lotul se respinge** iar dacă $A_n < d < R_n$ ***se continuă controlul***.

e. Planuri cu cifră de acceptare zero A=0

Planurile cu cifră de acceptare zero au apărut ca o ***necesitate de natură psihologică*** pentru ca **probabilitatea de acceptare a loturilor să fie mare**, furnizorul fiind practic **obligat să ofere produse de calitate superioară celei prevăzute prin AQL**. În România se aplică prin STAS 12898-90 şi se bazează pe planurile C=0 din SUA

f. Planuri de eşantionare continuă (CSP – Continuous Sampling Plan)

Se aplică ***pentru un flux continuu de produse*** şi presupune acceptarea sau respingerea prin verificarea bucată cu bucată alternând verificarea 100% cu eşantionarea funcţie de calitatea observată.

5.2.3 Planuri de control prin măsurare

Aplicarea controlului prin măsurare are la bază ***ipoteza că valorile caracteristicii de calitate sunt repartizate normal sau aproximativ normal*** . Procedurile de urmat sunt descrise în STAS 3160/3-84

Cunoscând legea de repartiţie şi ***fiind fixate limitele câmpului de toleranţă (valorile limită specificate),*** Ls, TS, LSS – limita specificată superioară, respectiv Li, TI, LSI – limita specificată inferioară ***se pot determina probabilităţile ca aceste limite să nu fie depăşite, probabilitate egală cu fracţiunea defectivă p reprezentată de aria haşurată din figura 5.11***.

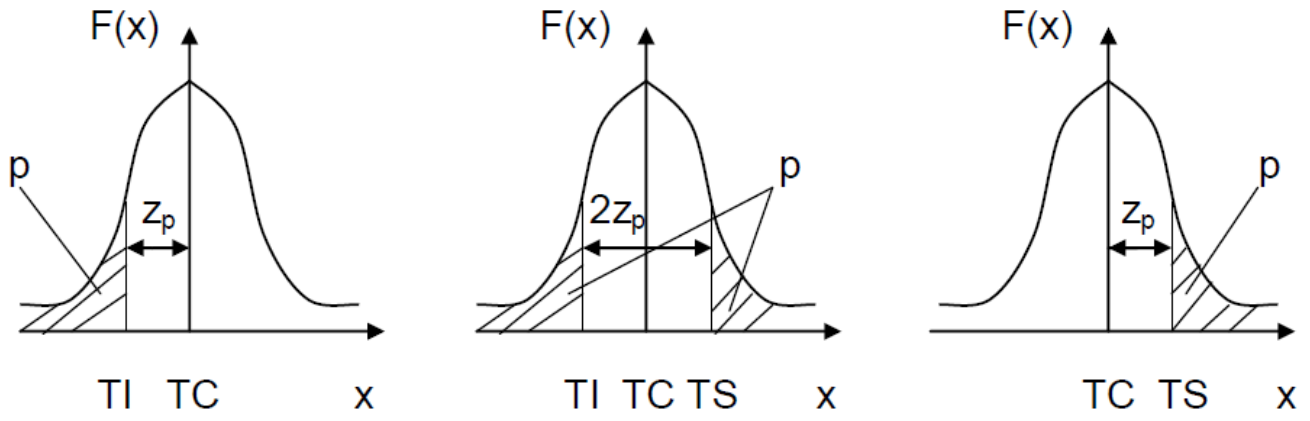


Fig. 5.11 Fracţiunile defective aferente limitelor inferioară, superioară, bilaterale

Utilizând pentru determinarea fracţiunii defective funcţia Laplace Φ(z), atunci se obţin valorile probabile ale lui p:

$$p = \frac{1}{2} - \Phi\left(z_{p_{i,s}}\right) \qquad (5.142)$$

$$\text{unde } z_{p_i} = \frac{TI - \mu}{\sigma} \quad ; \quad z_{p_s} = \frac{TS - \mu}{\sigma}$$

- ✓ atunci când caracteristica de calitate este limitată inferior respectiv superior

$$p = 1 - 2 \cdot \Phi\left(z_p\right) \qquad (5.143)$$

$$\text{unde } z_p = \frac{ITS}{2} = \frac{TS - TI}{2}$$

- ✓ atunci când caracteristica de calitate este cuprinsă între TI şi TS, (ITS/2=(TS-TI)/2 reprezentând jumătatea câmpului de toleranţă.

Verificarea ipotezei nule H_0:$p \le p_1$ cu alternativa H_1: $p \ge p_2$ devine echivalentă cu verificarea ipotezei H_0: $z_p \ge z_{p1}$ cu alternativa H_1: $z_p \le z_{p2}$

a. Planul de control simplu prin măsurare

Pentru aceste planuri, ***la baza deciziei stau rezultatele măsurărilor $x_1,x_2,\ldots,x_n$ efectuate asupra unui eşantion de volum "n" fixat funcţie de cerinţele furnizorului şi/sau beneficiarului***.

În cazul în care σ nu se cunoaşte atunci parametrii μ şi σ se estimează prin $\overline{x}$ şi s. În mod corespunzător pentru z_{pI} şi z_{pS} se consideră estimaţiile $h_S=(TS-\overline{x})/s$ şi $h_I=(TI-\overline{x})/s$ care la rândul lor pot fi considerate variabile normale. Ipoteza nulă devine H_0: $h \geq k$ şi în acest caz lotul se acceptă, cu alternativa H_1: $h < k$, caz în care lotul se respinge.

Volumul eşantionului "n" şi factorul(constanta) de acceptare "k" se pot calcula din condiţiile $P_a(p_1)=1-\alpha$ respectiv $P_a(p_2)=\beta$.

- pentru caracteristica de calitate limitată superior:

  - condiţia de acceptare: $\overline{x} + ks \leq TS$
  - condiţia de respingere: $\overline{x} + ks > TS$

- pentru caracteristica de calitate limitată inferior:

  - condiţia de acceptare: $\overline{x} - ks \geq TS$
  - condiţia de respingere: $x - ks < TS$

- pentru caracteristica de calitate dublu limitată:

  - condiţia de acceptare: $LCI \leq \overline{x} \leq LCS$ unde $LCI=TI+ks$, $LCS=TS-ks$
  - condiţia de respingere: $\overline{x} < LCI$ sau $\overline{x} > LCS$

✓ Observaţii:

- ✓ relaţii similare se obţin în cazul când σ se cunoaşte din cazuri anterioare
- ✓ în acelaşi mod ca la planurile atributive se pot utiliza planuri de control prin măsurare duble, secvenţiale

Planurile de control prin măsurare utilizate în STAS 3160/3-84 se bazează pe schema din figura 5.12 şi respectă regulile generale stabilite pentru controlul atributiv de recepţie.

Cea mai utilizată este metoda $\bar{x}$ – s cazurile principale fiind aTunci când limitele superioare şi inferioare au acelaşi AQL, respectiv când au valori AQL diferite:

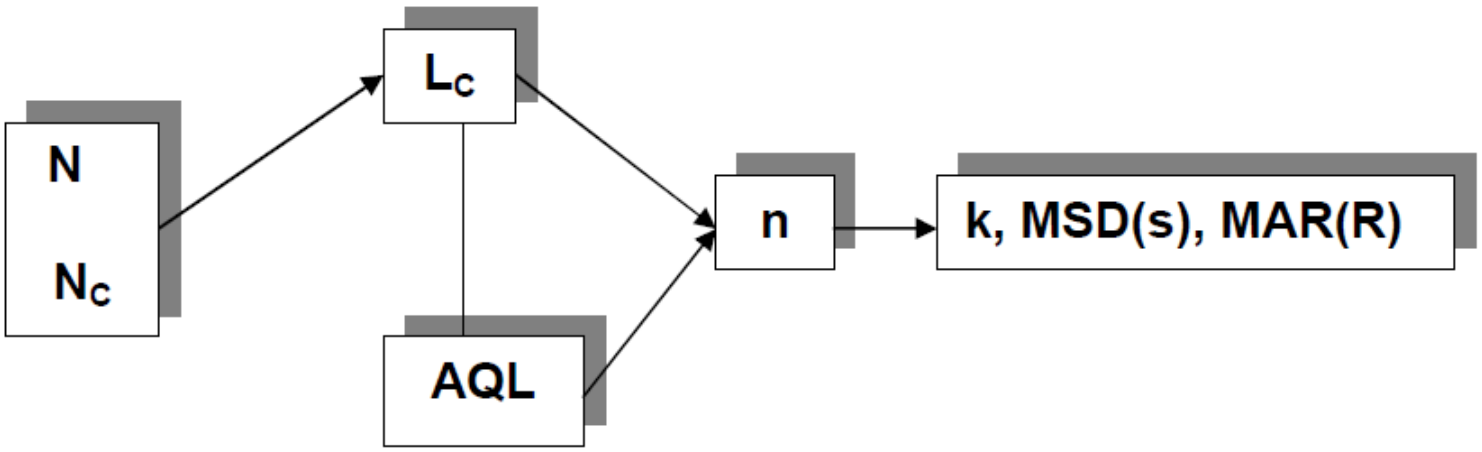


Fig. 5.12 Schema generală de determinare a caracteristicilor planului de control prin măsurare

a1) Cazul $AQL_{TS}=AQL_{TI}$

- se stabileşte k din tabelele standardului STAS 3160/3-84
- se determină $\bar{x}$ şi s
- se verifică, după caz, îndeplinirea uneia sau a ambelor condiţii cu statisticile de decizie Q_S şi Q_I

Conform figurii 5.13 se figurează punctul E(x,s) a cărui coordonate reprezintă eşantionul.

Dacă punctul se află în zona de acceptare atunci evident lotul se acceptă, în caz contrar lotul se respinge.

$$\left.\begin{aligned} Q_S &= \frac{TS-\bar{x}}{s} \geq k \\ Q_I &= \frac{\bar{x}-TI}{s} \geq k \end{aligned}\right\} \qquad (5.144)$$

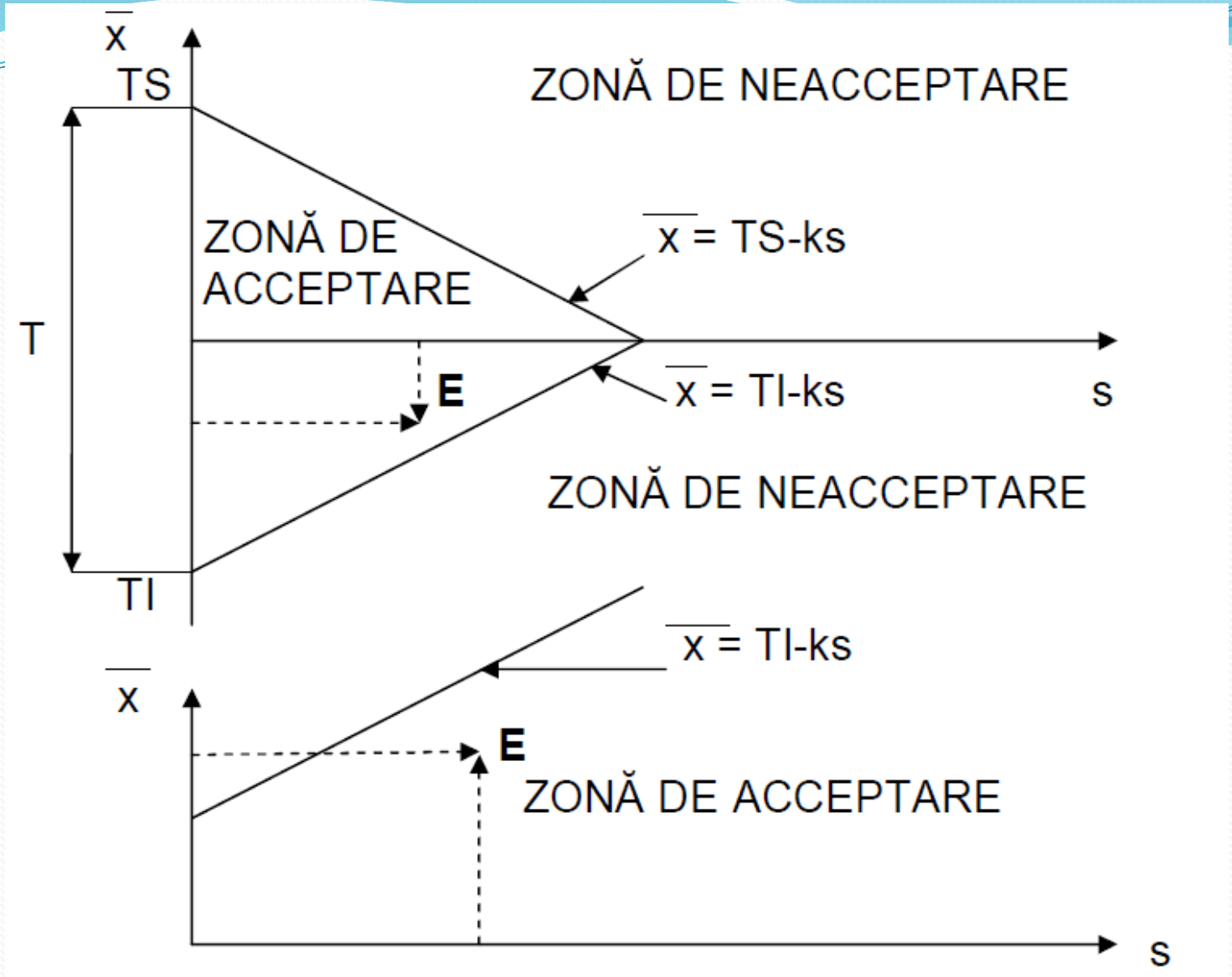


Fig 5.13 Metoda grafică dacă $AQL_{TS}=AQL_{TI}$ cu limitare bilaterală şi unilaterală

a2) Cazul $AQL_{TS} \neq AQL_{TI}$

- se calculează s, σ, sau R funcţie de metoda aleasă
- se verifică în prima fază, după caz condiţiile:

$$\left.\begin{array}{l} \sigma \,;\, s \le MSD \\ R \le MAR \end{array}\right\} \qquad (5.145)$$

unde:
MSD – abaterea medie pătratică maximă,
MAR – amplitudinea medie maximă

- se calculează, după caz valorile:

$$\left.\begin{array}{l} \bar{x}_{norm} = \dfrac{\bar{x} - TI}{TS - TI} \;\; ; \;\; s_{norm} = \dfrac{s}{TS - TI} \\ \sigma_{norm} = \dfrac{\sigma}{TS - TI} \;\; ; \;\; R_{norm} = \dfrac{R}{TS - TI} \end{array}\right\} \qquad (5.146)$$

- se verifică pe graficul de acceptare corespunzător din standard ca în figura 5.14

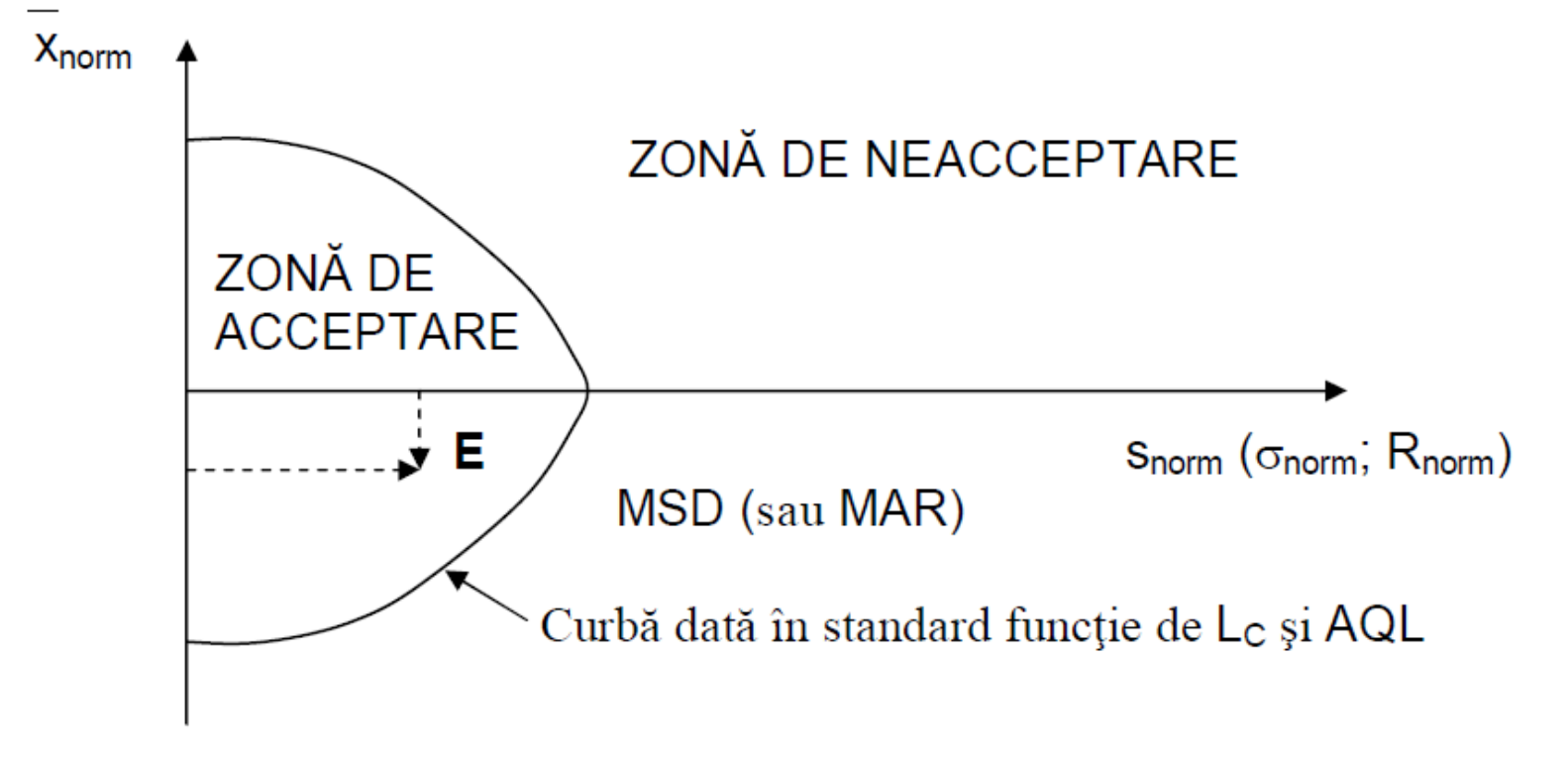


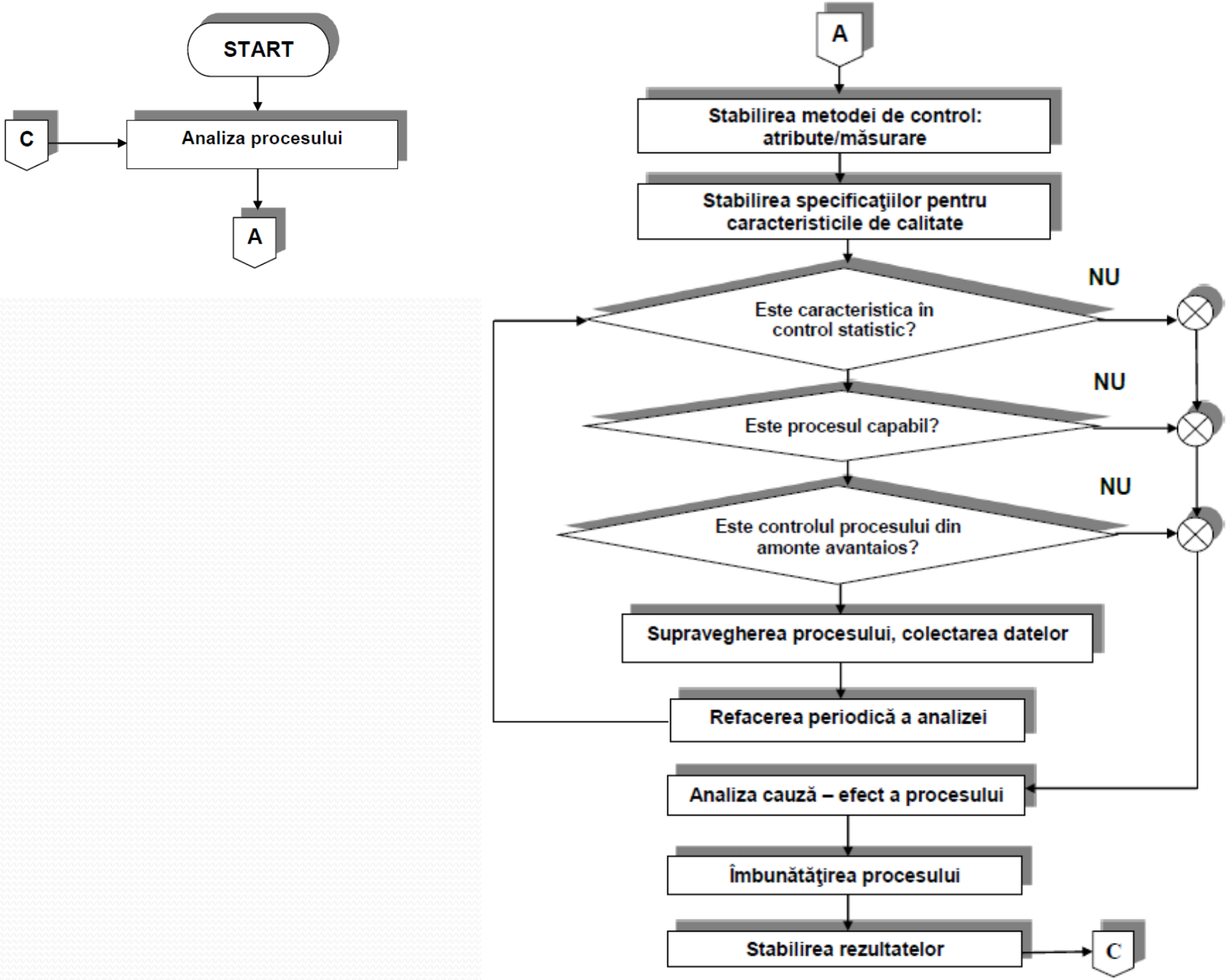
Fig 5.14 Metoda grafică dacă $AQL_{TS} \neq AQL_{TI}$

5.3 Controlul statistic al procesului

Controlul statistic al procesului se desfăşoară în principal în trei faze:

- colectarea datelor şi înscrierea lor într-o diagramă,
- stabilirea limitelor de control şi supraveghere pe baza datelor din proces sau pe baza specificaţiilor,
- identificarea cauzelor speciale de variaţie şi aplicarea corecţiilor locale,
- evaluarea capabilităţii, identificarea cauzelor comune şi reducerea variabilităţii prin măsuri de corecţie asupra sistemului

Repetarea în mod permanent a acestor faze duce la o îmbunătăţire permanentă a procesului conform schemei din figura 5.15


START
C
Analiza procesului
A
A
Stabilirea metodei de control: atribute/măsurare
Stabilirea specificaţiilor pentru caracteristicile de calitate
Este caracteristica în control statistic?
NU
Este procesul capabil?
NU
Este controlul procesului din amonte avantaios?
NU
Supravegherea procesului, colectarea datelor
Refacerea periodică a analizei
Analiza cauză – efect a procesului
Îmbunătăţirea procesului
Stabilirea rezultatelor
C

Bibliografie orientativă:

Baron,T., *Calitate şi fiabilitate*. (1988). Bucureşti: Editura Tehnică.

Cănănoiu,N., ş.a., (1998). *Sisteme de asigurare a calităţii*. Iaşi: Editura Junimea.

Ciobanu,M., ş.a., (1999). *Ingineria calităţii*. Bucureşti: Editura Printech

Ciurea S., Drăgulănescu N., (1996). *Managementul calităţii totale.* Bucureşti: Ed. Economică.

Deaconescu, T., (1998) *Bazele ingineriei calităţii*. Brașov: Ed. Universităţii Transilvania Braşov.

Drăgulănescu, I. M., Niculescu, C, (2000). *Managementul calităţii.* Bucureşti: Ed. Niculescu.

Iliescu, D. V., Vodă, V. Gh., (1977). *Statistică și Toleranţe*. Bucureşti: Editura Tehnică.

Isaic-Maniu, A., Vodă, V. H., *Manualul calităţii, (*1998). Bucureşti: Editura Economică.

Juran, J.M., Gryna, F.M. jr., (1972). *Calitatea produselor*. Bucureşti: Editura Tehnică.

Juran, J.M., (1989). *Juran on Ledership for Quality*. New-York: The Free Press.

Juran, J.M., (1992) *Juran on Quality by Design.* New-York: The Free Press.

Juran,J.M., ş.a., (1992). *Quality Planning and Analysis*. Singapore: Mc.Graw-Hill, Inc.

Juran, J.M., (2000). *Planificarea calităţii*. Bucureşti: Editura Teora.

Juran, J. M., Godfrey, A. B., (1999). *Juran's quality handbook*. 5th ed. New York: McGraw-Hill, Inc.

Mitonneau, H., 1998). *O nouă orientare în managementul calităţii. Şapte instrumente noi*. Bucureşti: Editura Tehnică.

Morar, Gh., (2002). *Managementul calităţii produselor industriale*. Cluj-Napoca: Ed. Risoprint.

Montgomery, D.C., (1991). *Design and analysis of experiments*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Montgomery, D. C., (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*. 6th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc

Moţoiu, R., (1994). *Ingineria Calităţii*. Bucureşti. Editura Chiminform Data.

Niculescu, 0., Verboncu, I., (1997). *Management.*, Bucureşti: Editura Economică.

Oakland, J. S., (2003). *Statistical Process Control* 5th ed. Burlington MA: Butterworth-Heinemann

Olaru, M., (1995). *Managementul calităţii*. Bucureşti: Editura Economică.

Olaru M. (coord.). (1999). *Managementul calităţii. Concepte şi principii de bază.* Bucureşti*:* Editura ASE.

Olaru M. (coord.), (1999). *Managementul calităţii. Tehnici şi instrumente,* Bucureşti: Editura ASE.

Olaru M., Isaic-Maniu Al., ș.a, (2000). *Tehnici şi instrumente utilizate în managementul calităţii.* Bucureşti: Editura Economică.

Oprean, C., Kifor, C. V., & Suciu, O., (2005). *Managementul integrat al calității.* Sibiu: Ed. Universitatii "Lucian Blaga" din Sibiu.

Panaite, V., Munteanu, R., (1982). *Control statistic şi fiabilitate* Bucureşti: E.D.P.

Park, S.H., Lee, M.J,. & Chung, M.Y. (1999). *Theory and Practice of Six Sigma*. Seoul: Publishing Division of Korean Standards Association.

Pruteanu,O., ş.a., (1998) *Managementul Calităţii Totale*. Iaşi: Editura Junimea.

Pugna, A. P., (2003). *Metode Matematice de Analiză a Calităţii, Partea I.* Timişoara: Editura Solness.

Pugna, A. P., Potra, S., (2015). *Controlul și Asigurarea Calității. Ghid de redactare a Documentelor Calității.* Timişoara: Editura Solness.

Pyzdek, T., Keller,. (2003). The *Six Sigma Handbook, A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels.* 3rd ed. New York: McGraw-Hill, Inc.

Pyzdek, T., Keller,. (2013). *The Handbook for Quality Management A Complete Guide to Operational Excellence* 2nd ed. New-York: Mc.Graw-Hill, Inc.

Rusu, C., (2002). *Bazele managementului calităţii*. Cluj-Napoca: Editura Dacia.

Stanciu, L., (2003). *Managementul calităţii totale.* Bucureşti: Ed. Cartea Universitară.

Taguchi, G., Chowdhury, S., & Wu, Y., (2005). *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.

Trandafir, M., Antonescu, V., (1999) *Calitatea - Metode şi tehnici de lucru. Analiză, evaluare, control.* Bucureşti: Editura Sylvi.

Teodoru, T., (1995). *Asigurarea calităţii*. Bucureşti: Editura Tribuna Economică.