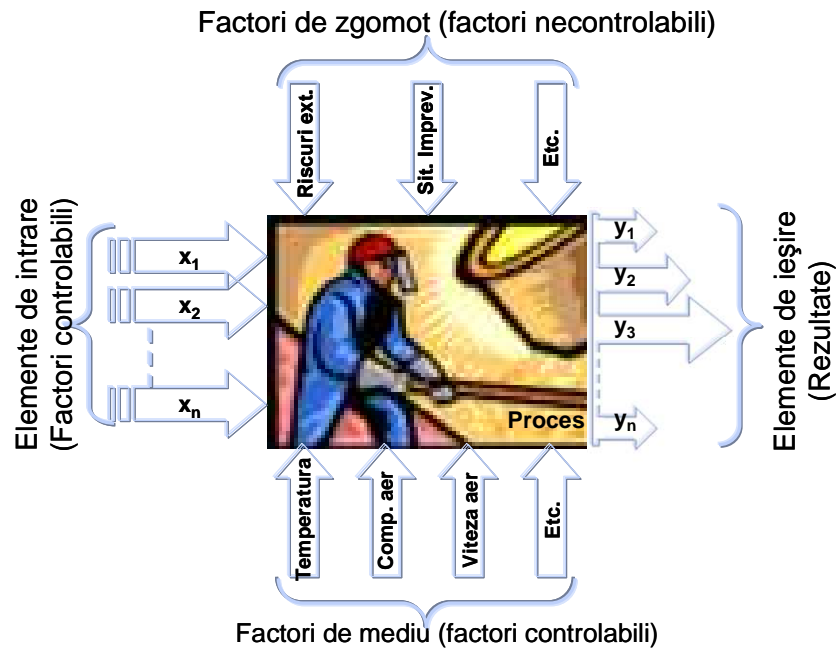


## Cîteva considerente despre PROIECTAREA EXPERIMENTELOR (DoE - Design of Experiments)

Să ne imaginăm un proces de producție – pornind de exemplu de la modelul “cutiei negre” în care are loc procesul:



Cum procese perfecte nu există, dacă ar trebui să identifică care factor contribuie (și în ce măsură) la variabilitatea unui proces, cum ar trebui să procedăm?

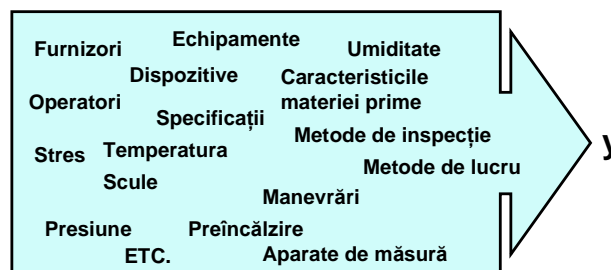
**Situația proiectată și planificată:**



**Situația reală:**



Exemple de diverse elemente de intrare ce pot varia:

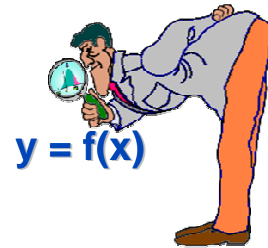


Care dintre variabilele de mai sus sunt cele de care depinde în cea mai mare măsură rezultatul procesului?

# Mzi plăcut, mzi bine, mzi repede

Putem folosi un model matematic pentru a defini procesul:  $y = f(x_i)$ , unde:

- $i = 1 \dots n$
- $y$  – rezultatul procesului sau unul din rezultatele procesului (variabilă dependentă)
- $x_i$  – element de intrare (variabilă independentă), factor controlabil
- $f$  – funcție ce trebuie identificată, pentru a putea ține sub control rezultatele proceselor, ce depind într-un anumit mod de elementele ce intră în procesul de transformare (individual și în anumite combinații).



Iar pentru a găsi diferite rezultate, provenite din varierea elementelor de intrare și a combinațiilor posibile ale acestora, putem folosi o serie de experimente succesive, ale căror să le analizăm și interpretăm ulterior, în vederea modelării matematice a procesului și determinării funcției  $f$ .

Proiectarea experimentelor (DoE – Design of Experiments) este o metodă statistică experimentală analitică, statistică, structurată, sistematică, standardizată, riguroasă, de investigare a unui proces sau a unui sistem, produs, serviciu, dezvoltată pornind de la activitatea de cercetare științifică, în scopul de a identifica și cuantifica mai simplu și mai rapid principalele efecte ale elementelor de intrare (considerate cauze) asupra rezultatelor procesului, precum și interdependențele dintre elementele de intrare.

DoE urmărește astfel obținerea și analiza datelor experimentale cantitative necesare pentru determinarea relației dintre factorii ( $x$ ) ce influențează un proces și rezultatele respectivului proces ( $y$ ), printr-o abordare care aplică principii și tehnici statistice ce asigură generarea și susținerea de concluzii valide și consistente pe baza numărului minim de date necesare, ceea ce implică un consum minim de resurse (bani, timp etc.). De obicei, necesită utilizarea de instrumente de analiză statistică, pentru analiza și interpretarea datelor colectate (ANOVA, analiza de corelare, analiza de regresie), ceea ce face utilă achiziționarea de programe speciale de calcul (Minitab sau alte programe de analize statistice), deși pentru cei cu cunoștințe de statistică se pot utiliza niște pagini de lucru în Excel.

Juran povestea într-una din cărțile sale că un mare amator de băutură din America s-a dus la doctor deoarece nu se simțea prea bine dimineața, după sesiunile prelungite de degustare din fiecare seară. Doctorul l-a sfătuit pe pacient să abordeze problema în mod științific – să culegă și să analizeze date, pentru a găsi cauza neplăcerii, pe care, dacă o va elimina, va însemna că a rezolvat problema. Așa că, în loc de tratamentul simptomelor descrise, doctorul i-a dat pacientului o fișă de înregistrare a datelor, cerându-i ca în fiecare seară să schimbe ceva din programul obișnuit, să completeze dimineața fișa cu datele observate și să revină peste o săptămână cu fișa completată, pentru a analiza împreună situația și a găsi cauza problemei.

## Exemplu – fișă de date

### PROIECT DE EXPERIMENTE

**ZIUA**

**DATE DE INTRARE**

**REZULTATE**

**LUNI**

**MARȚI**

**MIERCURI**

**JOI**

**VINERI**

**SÂMBĂȚĂ**

**DUMINICĂ**

**Concluzii**

## Măi plăcut, măi bine, măi repede

Ce părere aveți despre acest experiment?

ZIUA	DATE DE INTRARE	REZULTATE
LUNI	Scotch și gheață	Mahmur din seara
MARȚI	Gin și gheață	Mahmur dimineața
MIERCURI	Vodcă și gheață	Mahmur dimineața
JOI	Whiskey și gheață	Mahmur dimineața
VINERI	Vin și gheață	Mahmur dimineața
SÂMBĂȚĂ	Brandy și gheață	Mahmur dimineața
DUMINICĂ	Rom și gheață	Mahmur dimineața

**Concluzia pacientului:**  
"De ce să mă mai duc la doctor? Nu mai am nevoie de alte date. Este clar că în fiecare zi se repetă un singur element, care determină deci rezultatul similar obținut – gheața. De mâine voi elimina gheața și totul va fi bine!"

Exemplul dat de Juran evidențiază că proiectarea experimentelor are la bază un set de criterii minime pentru un bun experiment:

- Trebuie testate teoriile / ideile / cauzele / soluțiile aflate în discuție la un moment dat, fără a fi complicate prin introducerea unor variabile externe necontrolabile, dar alegând **variabile relevante pentru situația analizată**
- Trebuie selectate **variabilele semnificative**, chiar dacă nu s-au formulat teorii asupra lor
- Experimentul trebuie să fie **eficient** – din punct de vedere economic, social etc., în raport cu eforturile implicate
- Trebuie să furnizeze **rezultate acceptabile** (cu un **grad de incertitudine cunoscut și acceptat**).

Există multe tipuri de experimente ce pot fi proiectate, dintre care se pot aminti:

- Experimente de tip "încercare – eroare" (se fac modificări aleatorii ale unei variabile independente)
- Experimente monofactoriale (se variază o singură variabilă independentă și se mențin constante toate celelalte)
- Experimente factoriale
  - Experimente factoriale întregi:  $N = n^x$  (se evaluează toate combinațiile posibile ale nivelurilor valorilor variabilelor independente)
  - Experimente factoriale fracționate (parțiale – se evaluează doar o parte din posibilele combinații)
    - Experimente ortogonale (Taguchi)
    - Experimente cu toate variabilele având doar 2 niveluri
    - Experimente în care fiecare variabilă are număr diferit de niveluri
    - Experimente cu toate variabilele având 3 sau 4 niveluri
    - Teste pentru a determina prezența interacțiunilor între variabile
    - Experimente pentru studiul interacțiunii dintre variabile
    - Etc.



DoE se poate aplica în orice sector industrial, dar fiind un instrument relativ sofisticat, în producție este mai des întâlnit în electronică, industria auto, industria farmaceutică, producția de aparate de măsură analitice etc. Pe măsură ce abordările Six Sigma și Lean Six Sigma se extind

## Măi plăcut, măi bine, măi repede

În organizațiile din toată lumea, DoE devine din ce în ce mai cunoscută și aplicată.

DoE se poate aplica atât în producție, cât și în cazul proceselor suport dintr-o organizație de producție, atunci când:

- Procesul este inadecvat proiectat sau nu poate fi bine controlat
- Trebuie introduse modificări în proces, iar riscul este foarte mare
- Procesul este foarte complex și depinde de multe variabile, unele dificil de controlat
- Trebuie introduse noi produse în fabricație
- La rezolvarea problemelor nu se poate ajunge la un consens în luarea deciziei pentru selectarea soluției celei mai adecvate.

Spre deosebire de cercetarea științifică, unde se fac experimente factoriale complete, proiectarea experimentelor (DoE) propusă de Taguchi este simplificată și se bazează pe experimente factoriale parțiale, care permit culegerea de date experimentale prin modificarea doar a unora dintre variabile și prin selectarea câtorva niveluri relevante ale valorilor acestora (minim 2 niveluri, de obicei se preferă 3 niveluri, arareori se consideră 4 niveluri – 3, 4 sau mai multe niveluri se utilizează doar pentru variabile continue care se influențează reciproc).

Modul de lucru pentru proiectarea experimentelor constă într-o serie de faze succesive: (1) Identificarea procesului, fenomenului sau problemei studiate; (2) Proiectarea experimentelor; (3) Realizarea experimentelor și (4) Interpretarea rezultatelor obținute.

Cel mai simplu tip de plan de experimente este experimentul ortogonal (sau canonic) – cu 2 sau 3 factori și 2 sau 3 niveluri, cunoscute și sub numele de “**Pătratul latin**” (2 x 2) sau “**Pătratul greco – latin**” (3 x 2).

Taguchi considera că planurile simple, ce folosesc planurile ortogonale, se aplică pentru peste 60% dintre problemele studiate.

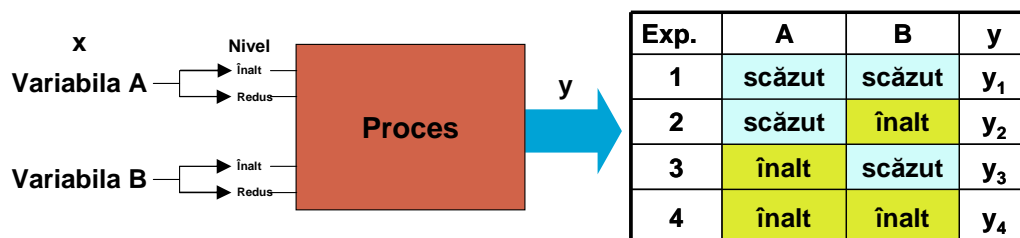
Cel mai simplu tip de experiment este experimentul 2 x 2 (pătratul latin). Dacă avem 2 tipuri de materiale și 2 metode de prelucrare posibile, pentru a identifica cea mai avantajoasă combinație se poate construi următorul plan de experimente:

PROCES	MATERIAL	X	Y
	<b>A</b>	<b>AX</b>	<b>AY</b>
	<b>B</b>	<b>BX</b>	<b>BY</b>

Numărul de experimente  $N=2^n$ , unde  $n$  este numărul de variabile. Dacă avem 2 variabile și 2 niveluri, vom avea 4 experimente de făcut. Planul de experimente va descrie un pătrat.

Dacă avem 3 variabile și pentru fiecare considerăm 2 niveluri, atunci număr de experimente este 8, iar planul de experimente va descrie un cub.

Să considerăm un experiment 2 x 2 (cu 2 variabile independente – A și B și 2 niveluri pentru fiecare). Obiectivul experimentului poate fi separarea la nivelul rezultatului a efectului variabilei A, a efectului variabilei B și a efectului interacțiunii dintre A și B (AB), cu un anumit nivel al erorii experimentale. Pentru fiecare variabilă se aleg 2 niveluri ale valorilor pentru A și B (de exemplu, nivel înalt și nivel redus). Planul de experimente va fi următorul:



## *Mai plăcut, mai bine, mai repede*

---

Indiferent cât de simplu poate fi un plan de experimente, nu trebuie uitat că nu toate problemele necesită pentru a fi rezolvate cunoștințe avansate de statistică. Pentru unele probleme sunt suficiente cele 7 instrumente tradiționale ale calității. Unii specialiști susțin că DoE se aplică pentru maxim 1 – 2% dintre toate problemele identificabile la un moment dat.

Proiectarea experimentelor necesită multe resurse: cunoștințe avansate de statistică, mai ales atunci când procesul depinde de multe variabile și trebuie folosite metode pentru înțelegerea datelor complexe (tehnici de eșantionare, metode factoriale, teste statistice etc.), culegerea unui număr destul de mare de date experimentale – adică timp și resurse, dar și motivarea tuturor celor implicați.

Pentru a putea aplica eficient metoda de proiectare a experimentelor, există mai multe căi posibile, care nu se exclud reciproc:

- Includerea în echipa de rezolvare a problemei a unei persoane cu cunoștințe avansate de statistică (fie un colaborator sau un consultant extern, fie un specialist intern)
- Specializarea unor persoane din interiorul organizației în diferite metode statistice
- Crearea și utilizarea unui soft specializat pentru analiza și interpretarea datelor
- Pentru familiarizarea cu metoda proiectării experimentelor este nevoie de minim 3 zile; un curs care să pregătească specialiștii interni în proiectarea experimentelor poate dura între 2 și 6 săptămâni pînă la 2 ani (în funcție de nivelul de pregătire urmărit), iar statistica acoperă o bună parte din această perioadă.