

## 1. STUDIU DOCUMENTAR REFERITOR LA NOTIUNILE DE BAZA PENTRU MASURAREA MARIMILOR NECESARE PENTRU REALIZAREA SERVICIULUI DE AUDIT TERMOENERGETIC

### 1.1. Generalitati

Descrierea din punct de vedere cantitativ a fenomenelor, a caracteristicilor si proprietatilor corpurilor din lumea inconjuratoare se face cu ajutorul unor *marimi*. Pentru cunoasterea valorilor acestor marimi se apeleaza la masuratori.

Domeniul care se ocupa de masurarea marimilor se numeste *metrologie*.

Operatia de *masurare* consta in compararea cantitativa a marimii de masurat (necunoscuta) cu o marime cunoscuta, de aceeaasi natura.

Cantitatea supusa operatiei de masurare se numeste *masurand*, iar rezultatul masurarii se numeste *valoare masurata*.

Ansamblul operatiilor efectuate pentru realizarea unei masuratori reprezinta *metoda de masurare*.

Instrumentul care realizeaza masuratoarea (conversia masurandului intr-o valoare masurata, perceptibila operatorului) se numeste *aparat de masura*.

Ansamblul aparatelor de masura, a componentelor de prelucrare, indicare, stocare si transmisie a marimilor catre alte sisteme formeaza *sistemul de masura*.

### 1.2. Metode de masurare

**Clasificarea metodelor de masurare dupa modalitatea de comparare a masurandului cu etalonul:**

- **Metoda comparatiei simple:** masurandul se compara direct cu etalonul, prin intermediul unui dispozitiv de comparare
- **Metoda compararii prin permutare (Gauss):** compararea se face prin doua masuratori succesive, la care masurandul si etalonul se permuta intre ele
- **Metoda compararii prin substitutie (Borda):** compararea se face in doua etape, prin introducerea unei marimi suplimentare cunoscute (denumita tara). Marimea suplimentara se compara pe rând cu masurandul si cu etalonul
- **Metoda diferentiala:** se determina diferenta dintre masurand si un etalon fix, prin compararea directa a celor doua marimi
- **Metoda de zero** (caz particular al metodei diferentiale): se ajusteaza un etalon variabil pâna când diferenta fata de masurand este nula
- **Metoda de aditionare:** compararea se face cu mai multe etaloane (egale sau diferite) a caror valoare se insumeaza astfel încât sa rezulte masurandul
- **Metoda de raport:** compararea se face cu ajutorul unui dispozitiv de raport.

**Clasificarea metodelor de masurare dupa marimea sesizata:**

- **Metode directe:** se masoara direct marimea dorita
- **Metode indirecte:** marimea masurata se obtine indirect, prin masurarea altei marimi (intermediare) de care aceasta depinde.

### Clasificarea metodelor de masurare dupa legatura cu masurandul:

- *Metode cu contact*: aparatul de masura intra in contact direct cu masurandul
- *Metode fara contact*: aparatul nu intra in contact direct cu masurandul.

### 1.3. Lanțul de măsurare

**Lantul de masurare** cuprinde ansamblul componentelor sistemului de masura, prezentate in ordinea in care acestea sunt parcurse de semnalul de masura.

Lantul de masura se alege in functie de complexitatea operatiilor efectuate si de componentele utilizate pentru realizarea acestora (figura 1.1).

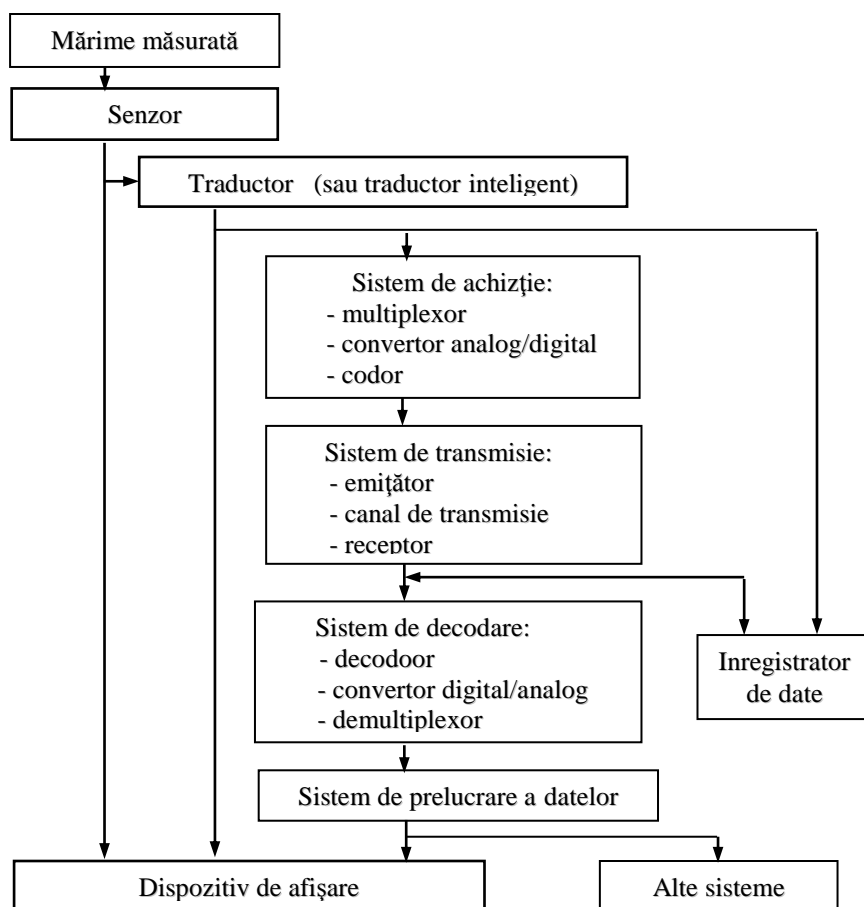


Fig.1.1 Lantul de măsură - variante

#### 1.3.1. Senzorul

Senzorul reprezinta elementul care sesizeaza o marime fizica. Sesizarea marimii se poate face:

- *continuu*: pentru masurarea continua a marimii
- *punctual*: pentru masurarea punctuala a marimii (verificarea atingerii de limite)
- *discontinuu (in trepte)*: prin utilizarea mai multor senzori punctuali se obtin valori discontinue (in trepte) din intervalul de masura.

Marimea de iesire a senzorului este un semnal analogic nestandardizat care depinde de masurand dupa o functie oarecare.

### 1.3.2. Traductorul

Traductorul convertește semnalul preluat de la senzor într-un alt semnal analogic sau într-un semnal digital. Relatia de legatura dintre valoarea semnalului de intrare si de iesire este data de functia de transfer a traductorului. Semnalul de iesire are valori standardizate.

Exemple de semnale analogice standardizate: electrice (in curent: 4 ... 20 mA; in tensiune: 0...5 V; 0...10 V; -10...+10 V), pneumatice (20 ... 100 kPa), mecanice, hidraulice etc.

Exemple de semnale digitale standardizate: sub forma de impulsuri electrice (in curent: 4 sau 20 mA; in tensiune: 0 sau 10 V), numerice (binare).

In traductor se pot realiza câteva operatii de conditionare ale semnalului provenit de la senzor. In cazul semnalelor electrice, conditionarea poate consta in:

- *filtrare*: eliminarea zgomotelor din cadrul unui semnal, astfel încât sa se pastreze numai semnalul util
- *liniarizare*: transformarea functiei de transfer (relatia de legatura intre semnalul de intrare si de iesire) într-o functie de tip liniar
- *amplificare*: mărește puterea semnalului, astfel incat sa fie mai usor de transmis la distanta si mai puțin sensibil la paraziti
- *adaptarea impedanței*: la o valoare care sa permita transmitia semnalului la distanta cu pierderi minime de putere.

### OBSERVATIE:

Utilizarea termenilor de senzor si traductor nu este foarte stricta. Uneori, prin traductor se poate intelege ansamblul format din senzor si traductor (adica sesizarea masurandului si conversia acestuia într-o alta marime).

De obicei, atunci cand se face referire la:

- modalitatea de functionare a aparatului: se utilizeaza separat termenul de senzor si de traductor (pentru a evidentia componenta de sesizare a marimii)
- modalitatea de conversie a semnalului: se utilizeaza termenul de traductor pentru ansamblul senzor + traductor (tinand seama ca functia de baza a senzorului este tot aceea de a transforma un semnal).

### 1.3.3. Traductorul inteligent

Traductorul inteligent convertește semnalul preluat de la senzor într-un semnal **digital** si eventual într-un semnal analogic.

Inteligenta acestui tip de traductor consta in posibilitatea de a face pe langa conditionarea semnalului si câteva operatii suplimentare (care sunt indeplinite la traductorul clasic de catre sistemul de prelucrare a datelor), ca de exemplu:

- *autocalibrare*: verificarea si ajustarea etalonului aparatului prin compararea cu un etalon de precizie mai mare
- *autocorectie*: corectarea semnalului util, daca acesta este deteriorat datorita modificarii conditiilor de lucru ale aparatului
- *diagnoza senzorului*: verificarea functionarii senzorului si a traductorului

- *comunicarea la distanta*: introducerea unui dispozitiv care sa permita transmiterea semnalului la distanta (prin cablu, radio etc.).

#### 1.3.4. Sistemul de achizitie

Sistemul de achizitie preia semnalele provenite de la mai multe traductoare si le pregateste pentru a putea fi transmise la distanta. Principalele componente ale sistemului de achizitie sunt:

- **Multiplexorul**: permite utilizarea unei singure linii fizice pentru transmiterea mai multor mesaje - prin *esantionare in timp* (semnalele sunt intrerupte si trimise succesiv pe acelasi canal) sau prin *esantionare in spatiu* (semnalele sunt continui in timp, dar sunt modulate si frecventele sunt distribuite in mai multe canale)
- **Convertorul analog - digital**: converteste semnalele analogice in semnale digitale, daca este cazul;
- **Codorul**: modifica (codifica) semnalul pentru a-l proteja la erori datorate transmisiei. Fiecarui mesaj codificat i se asociaza un identificator (o cheie de codare), care este transmis odata cu acesta.

#### 1.3.5. Sistemul de transmisie

Transmitatorul asigura transmitia informatiilor (multiplexate si codate) la distanta. Acesta cuprinde:

- **Emitatorul** - preia semnalul si asigura propagarea la distanta;
- **Canalul de transmisie** - prin cablu, fibre optice, unde radio etc.;
- **Receptorul** - asigura captarea semnalului si extragerea informatiilor utile.

#### 1.3.6. Inregistratorul de date

Inregistratorul de date are rolul de a memora informatii pe un suport (de obicei electronic sau magnetic) si de a asigura, la cerere, transferul acestora catre sistemul de decodare.

#### 1.3.7. Sistemul de decodare

Realizeaza operatia inversa fata de sistemul de achizitie:

- **Decodorul**: decodifica semnalul si recalculeaza cheia de codare. In cazul in care cheia recalculata nu corespunde cu cheia transmisa, inseamna ca a aparut o eroare la transmiterea semnalului. In functie de tipul decodorului, eroarea de transmisie poate fi atenuata sau corectata
- **Convertorul digital/analog**: converteste semnalele digitale in semnale analogice, daca este cazul
- **Demultiplexorul**: permite separarea mesajele transmise.

#### 1.3.8. Sistemul de prelucrare a datelor

Sistemul de prelucrare a datelor realizeaza o serie de operatii suplimentare (care sunt indeplinite de traductorul inteligent, daca este utilizat): autocalibrare,

autocorecție (la modificarea condițiilor de lucru), diagnoza continuă a senzorului, comunicarea la distanță etc. – vezi capitolul 1.3.3.

### 1.3.9. Dispozitivul de afisare

Indicarea (afisarea) mărimii măsurate se poate face:

- analogic sau digital
- local sau la distanță
- pe suporturi și sub forme diferite:
  - pe hartie (grafic sau tabelar)
  - pe dispozitiv indicator analogic (cadran)
  - pe dispozitiv indicator numeric (numeric)
  - pe ecran (similar afisajului din camera de comandă, sub forma grafică, diagrame cu bare, tabele etc).

### 1.3.10. Alte sisteme

Sistemul de măsură poate transmite mărimea măsurată și către alte sisteme, ca de exemplu:

- *sistemul de automatizare*: care cuprinde echipamentele de automatizare (protecții, interblocări, bucle de reglaj etc.)
- *sistemul de urmărire*: care asigură afisarea informațiilor la diferite nivele ierarhice
- *sistemul de planificare și management*: care include componente legate de optimizarea exploatarei, managementul operațiilor de întreținere și planificare a reparațiilor etc.

Toate aceste sisteme sunt înglobate în *sistemul de conducere*.

## 1.4. Rezultatul măsurării

### 1.4.1. Erori (abateri) de măsură

Experimental se constată că repetarea măsurării unei mărimi în condiții identice nu conduce întotdeauna la același rezultat. Rezultatul măsurării (valoarea măsurată) este influențat de o serie de factori (imperfecțiunea mijlocului de măsurare, procesul de măsurare, mediul înconjurător, metoda de citire a rezultatelor, prelucrarea datelor etc). Toate aceste influențe se concretizează în erori (abateri) care afectează direct rezultatul măsurării.

Eroarea de măsură se definește ca diferența algebrică dintre valoarea măsurată ( $V_m$ ) și valoarea (conventional) adevărată a mărimii ( $V_{ca}$ ). Dat fiind că valoarea adevărată a mărimii nu poate fi cunoscută, nici erorile nu pot fi determinate cu exactitate.

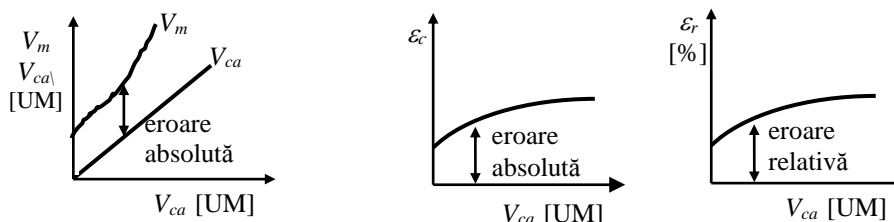
Eroarea se poate exprima în două feluri:

- **eroare absolută**: egală cu valoarea erorii de măsură, exprimată în unitatea de măsură a măsurandului (figura 1.2-a)

$$\varepsilon_a = V_m - V_{ca} \quad [\text{U.M. măsurand}] \quad (1.1)$$

- **eroare relativă**: raportul dintre valoarea erorii de măsură și valoarea conventional adevărată a măsurandului, exprimată în procente (figura 1.2-b).

$$\varepsilon_r = \frac{V_m - V_{ca}}{V_m} 100 \quad \text{i\%s} \quad (1.2)$$



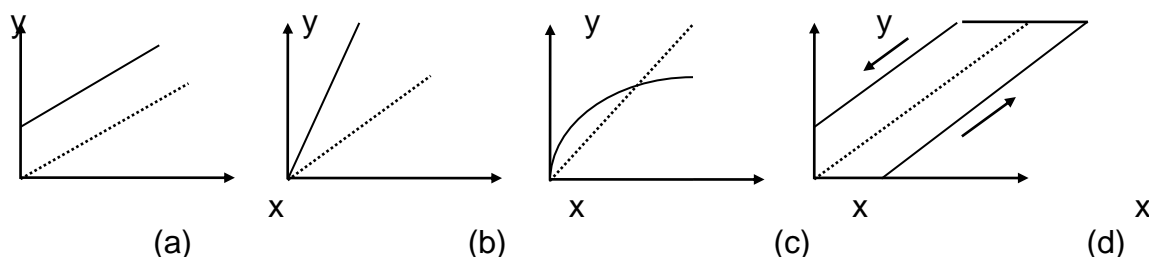
(a) eroarea absolută

(b) eroarea relativă

**Fig.1.2 Reprezentarea grafica a erorilor de masura**

### Clasificarea erorilor (abaterilor) în funcție de modalitatea de manifestare:

- *Erori (abateri) de decalaj* (fig.1.3-a): constante în intervalul de masura (independente de valoarea masurata).
- *Erori (abateri) de sensibilitate* (fig.1.3 - b): proportionale cu valoarea masurata
- *Erori (abateri) de liniaritate* (fig.1.3 - c): depind nelinier de valoarea masurata (reprezinta o caracteristica a functiei de transfer a aparatului)
- *Erori (abateri) de reversibilitate (histerezis)* (fig.1.3 - d): depind de sensul în care variaza masurandul (crescator sau descrescator) si sunt date de diferenta dintre valoarea masurandului obtinuta în sens crescator si descrescator

**Fig.1.3 Tipuri de erori:**

a - eroare de decalaj ; b - eroare de sensibilitate;  
c - eroare de liniaritate; d - eroare de histerezis;

### Clasificarea erorilor (abaterilor) în funcție de cauza apariției:

- *Erori (abateri) intamplatoare:*
  - se datoreaza variatiilor intamplatoare ale masurandului
  - influenta lor se manifesta în ambele sensuri (pot fi negative sau pozitive)
  - se evidentiaza prin masurari repetate
  - nu pot fi corectate, dar pot fi reduse prin masurari repetate
  - corespund conceptului de eroare de sensibilitate (figura 1.3 - b)
- *Erori (abateri) sistematice cunoscute:*
  - pot fi constante sau variabile în timpul procesului de masurare
  - apar în fiecare masuratoare si nu pot fi descoperite prin repetarea acestora
  - se evidentiaza cu alte aparate mai performante

- pot fi corectate (eliminate din rezultatul măsurătorii)
- corespund erorilor de decalaj (figura 1.3-a) și de histerezis (figura 1.3-d)
- *Erori (abatere) sistematice necunoscute:*
  - se datorează unor deranjamente de funcționare care nu pot fi localizate
  - mărimea și sensul lor nu pot fi stabilite
  - se pun în evidență cu alte aparate mai performante
  - nu pot fi corectate
  - corespund erorilor de liniaritate (figura 1.3 - c)

#### 1.4.2. Incertitudinea de măsură

*Incetitudinea de măsurare* reprezintă un estimator ce caracterizează intervalul de valori în care se situează valoarea unui măsurand. Aceasta reflectă lipsa posibilității de a determina valoarea exactă a măsurandului.

Incetitudinea de măsurare (notată  $U$ ) are două componente, corespunzătoare tipurilor de erori ce nu pot fi cunoscute (și care în consecință nu pot fi corectate): *componenta  $U_i$*  - corespunzătoare erorilor întâmplătoare - și *componenta  $U_j$*  - corespunzătoare erorilor sistematice necunoscute.

Componenta  $U_i$  se estimează prin metode statistice, în baza unui sir de mai multe măsurători. Dacă se utilizează o distribuție normală (Gauss – Laplace) a rezultatelor, valoarea  $U_i$  este dată de abaterea medie pătratică:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1.3)$$

Componenta  $U_j$  se estimează prin calcule statistice speciale sau prin alte mijloace decât analiza statistică.

*Observație:* Eroarea și incetitudinea de măsură reprezintă două concepte diferite. Rezultatul unei măsurători, după efectuarea corecțiilor, ar putea fi foarte aproape de valoarea adevărată (necunoscută). În acest caz, eroarea de măsură este nulă, dar incetitudinea de măsură este cea estimată prin calcule.

#### 1.4.3. Expriarea rezultatului măsurării

Rezultatul unei măsurători se consideră a fi complet numai dacă valoarea măsurată se corectează în funcție de erorile sistematice cunoscute și dacă i se asociază o incetitudine de măsură.

Dacă se consideră un sir de  $n$  măsurări (obținut prin repetarea aceleiași măsurători de  $n$  ori, în aceleși condiții), rezultatul măsurării ( $R$ ) se exprima astfel:

$$R = (\bar{x} + \varepsilon_{sc}) \pm U \quad (1.4)$$

unde:

$\bar{x}$  – valoarea medie sirului de  $n$  valori măsurate (prin repetarea măsurătorii):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.5)$$

$\varepsilon_{sc}$  – coeficient de corecție care include erorile sistematice cunoscute (erori de decalaj și erori de histerezis):

$$\varepsilon_{sc} = -\sum (A_{\text{decalaj}} + A_{\text{histerezis}}) \quad (1.6)$$

$U$  – incertitudinea de masurare corespunzătoare erorilor necorectabile:  
 erori intamplatoare ( $U_i$ ) si erori sistematice necunoscute ( $U_j$ )

Se demonstreaza ca daca se neglijeaza componenta  $U_j$  si se considera numai componenta  $U_i$ , aproximativ 68 % din masuratori dau rezultate in limitele:

$$R = (\bar{x} + \varepsilon_{sc}) \pm U_i \quad (1.7)$$

Pentru ca probabilitatea incidentei rezultatelor sa fie mai ridicata, trebuie considerat un interval mai larg al incertitudinii de masurare. Acesta se obtine prin multiplicarea  $U_i$  cu un coeficient de multiplicare  $k$ :

$$U = k \cdot U_i \quad (1.8)$$

De obicei,  $k$  are valori in intervalul 2 – 3. Pentru o distributie normala:  
 $k = 2$  defineste un interval de incredere avand un nivel de incredere de 95%  
 $k = 3$  defineste un interval de incredere avand un nivel de incredere de 99%

Prin nivel de incredere de 95% se intelege ca exista o probabilitate de 0,95 ca rezultatul masuratorii sa se afle in acest interval.

## 1.5. Principalii parametrii caracteristici ai aparatelor de masura

Parametrii caracteristici ai aparatelor de masura descriu relatia de legatura intre marimile de intrare  $X_i$  si marimile de iesire  $Y_i$ .

Pentru exemplificare se considera un termometru care masoara temperaturi cuprinse in intervalul  $X_{min} \dots X_{max} = 30 \dots 400 \text{ } ^\circ\text{C}$  si scoate la iesire un curent cu valori intre  $Y_{min} \dots Y_{max} = 4 \dots 20 \text{ mA}$ .

- **DOMENIUL DE MASURA** = ansamblul valorilor masurandului care pot fi masurate cu ajutorul aparatului

$$\text{Domeniul de masura} = X_{min} \dots X_{max} = 30 \dots 400 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.9)$$

Daca limita inferioara este zero, nu se specifica de obicei.

Se recomanda ca valorile normale de functionare sa se afle intr-un interval mai mic cu 40 - 60% decat domeniul de masura (pentru a putea masura si valori din afara regimului normal de functionare).

- **SCARA (INTERVALUL) DE MASURA** = modulul diferentei dintre cele doua limite care definesc domeniul de masura

$$\text{Intervalul de masura} = / X_{max} - X_{min} / = 400 - 30 = 370 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.10)$$

Un aparat de masura poate avea mai multe scari de masura (de exemplu multimetrul), caz in care acesta acopera mai multe domenii de masura.

- **CONSTANTA APARATULUI DE MASURA** = coeficientul cu care se multiplica indicatia de pe cadran pentru a obtine valoarea masurandului. Aparatele cu o scara de masura au o singura constanta, de obicei unitara. Aparatele cu scari multiple au cate o constanta pentru fiecare scara.



- **SENSIBILITATEA** = raportul dintre variația mării de ieșire și variația mării de intrare pentru o valoare anume a mării de intrare

$$\text{Sensibilitatea} = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (1.11)$$

- **PRAGUL DE SENSIBILITATE** = valoarea minimă a mării de măsurat care poate fi sesizată cu ajutorul aparatului

$$\text{prag de sensibilitate} = X_{\min} = 30 \quad (1.12)$$

- **REZOLUTIA** = cea mai mică modificare a mării de intrare care produce o modificare detectabilă a mării de ieșire

$$\Delta X_{\min} \Rightarrow \Delta Y \neq 0 \quad (1.13)$$

- **PRECIZIA** = capacitatea unui aparat de a indica valori cât mai apropiate de valoarea convențional adevărată a măsurandului
- **EROAREA** = diferența algebrică dintre valoarea măsurată și cea convențional adevărată (reprezintă opusul preciziei). Eroarea se poate exprima ca eroare absolută sau relativă (relațiile 1.1, 1.2).
- **CLASA DE PRECIZIE** = procentul cu care poate varia valoarea măsurată față de cea reală pentru domeniul de măsură al aparatului (din scala aparatului)

$$c = \frac{\varepsilon_a}{Y_{\max} - Y_{\min}} 100 = \frac{Y_m - Y_{ca}}{Y_{\max} - Y_{\min}} 100 \% \quad (1.14)$$

Clase de precizie uzuale: pentru masuratori în exploatare: 1,0 ; 1,5 ; 2,5 ; 4, iar pentru masuratori de laborator: 0,5 - 2

*Exemplu:* clasa de precizie de 1,5 arată că valoarea indicată poate să difere față de valoarea reală în limita de  $\pm 1,5\%$  din domeniul de măsură.

- **TIMPUL DE REACTIE (TIMPUL DE RASPUNS)** = timpul necesar mării de ieșire să reacționeze într-o limită prestabilită ca urmare a variației bruște a măsurandului.

## 1.6. Criterii pentru alegerea aparatelor de măsură

Pentru alegerea corectă a aparatului de măsură trebuie cunoscute câteva elemente, și anume:

### 1. Elemente generale, legate de proces:

- materialului din proces care se măsoară (lichid, lichid vâscos, solid, pudră etc.) și caracteristicile acestuia (conductivitatea, vâscozitatea, densitatea etc.)
- elemente legate de funcționarea procesului: temperaturi și presiuni normale de lucru, valori extreme, alte particularități
- elemente legate de componenta din proces: rolul în instalație, materialul și dimensiunile acesteia, spațiul disponibil pentru amplasarea senzorului.

## 2. Elemente particulare, legate de senzor/ traductor:

- dacă este necesară o măsurare continuă sau punctuală
- dacă poate intra în contact direct cu procesul sau nu
- materialul din care este făcut
- fiabilitatea
- domeniul de măsură, precizia, sensibilitatea, timpul de reacție etc.

## 3. Costul senzorului:

Un cost inițial redus nu înseamnă neapărat că în timp acesta nu este compensat de o întreținere costisitoare sau de scăderea preciziei de măsură.

Si nu în ultimul rând, atunci când se găsesc mai multe variante aplicabile cazului respectiv, trebuie ținut seama de preferințele utilizatorului, de metodele cu care acesta este familiarizat, de posibilitatea obținerii pieselor de schimb.

## 1.7. Tendințe actuale în domeniul metrologiei

În ultimii ani, principiile de bază ale măsurării au rămas neschimbate.

Progresul tehnologic din domeniul aparatelor de măsură se referă la: miniaturizarea elementelor, precizie de măsură crescută, fiabilitate mai mare, calitate mai bună a materialelor utilizate, electronica mai performantă

Direcțiile care par a reprezenta viitorul senzorilor sunt: straturile subțiri, fibrele optice și semiconductorii.

În ceea ce privește traductoarele, cele pneumatice se află în declin. Traductoarele cele mai utilizate sunt la ora actuală cele electrice datorită electronicii performante cât și a posibilității de transmisie a datelor către sisteme computerizate. Dezvoltarea microprocesoarelor și a « inteligenței », ca urmare a penetrării masive a informaticii în acest domeniu, face ca semnalele digitale să castige din ce în ce mai mult teren în defavoarea celor analogice.