

Gabriela Lichiardopol • Manuela Buse • Iuliana Mustață

Maria Rădoi • Daniela Burdușel • Dorina Dragomir

Floarea Irimia • Florina Pișleagă • Irina Raț • Aurelia Văduva

filierea tehnologică • profil **TEHNIC**

domenii de pregătire de bază:

MECANICĂ, ELECTRIC, ELECTROMECHANICĂ

Măsurări tehnice



Programa școlară aprobată de

Ministerul
Educației,
Cercetării,
Tineretului
și Sportului

Manual pentru clasa a IX-a

Editor: Costin DIACONESCU
Redactor: Gabriela NIȚĂ
Corector: Aura GÎGĂ
Tehnoredactor: Banu GHEORGHE
Copertă: Valeriu STIHI

Editat și distribuit de Editura CD PRESS
București, str. Logofăt Tăutu nr. 67, sector 3
Cod 031212
Tel.: 021.337.37.17, 021.337.37.27, 021.337.37.37
Fax: 021.337.37.57
e-mail: office@cdpress.ro
www.cdpress.ro

Comenzi:
@ comenzi@cdpress.ro
☎ 021.337.37.37
🌐 www.cdpress.ro

©Copyright CD PRESS, 2011

Copierea sau reproducerea textelor și a imaginilor din această lucrare este permisă numai cu acordul scris al editurii.

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
Măsurări tehnice : manual pentru clasa a IX-a / Gabriela Lichiardopol,
Manuela Bușe, Iuliana Mustăță... –
București : CD PRESS, 2011
Bibliogr.
ISBN 978-606-528-113-4

I. Lichiardopol, Gabriela
II. Bușe, Manuela
III. Mustăță, Iuliana

531.7(075.356)

Manualul este realizat în conformitate cu programa școlară aprobată prin
Ordinul Ministerului Educației, Cercetării și Inovării nr. 4857 din 31.08.2009.

Editura CD PRESS este recunoscută de Consiliul Național al Cercetării Științifice din Învățământul Superior (CNCSIS).
www.cncsis.ro

CAPITOLUL 1

MĂRIMI FIZICE ȘI UNITĂȚI DE MĂSURĂ

1.1. MĂRIMI FIZICE

Orice corp din natură se caracterizează prin mai multe proprietăți. Dintre acestea, unele sunt măsurabile (de exemplu, masa corpului), altele nu sunt măsurabile (de exemplu, aspectul corpului).

Mărimea reprezintă un atribut al unui fenomen, al unui corp sau al unei substanțe și poate fi diferențiat calitativ și determinat cantitativ.

Din punct de vedere calitativ, deosebim mărimi care descriu proprietăți diferite: lungimea, forța, temperatura, tensiunea electrică etc. Din punct de vedere cantitativ, o mărime care caracterizează un obiect sau un fenomen poate fi exprimată printr-o anumită valoare numerică (cantitate), stabilită prin măsurare.

Termenul de *mărime* se poate referi la o mărime în sens general (lungime, masă, temperatură, forță, presiune etc.) sau la o mărime particulară (lungimea unui cablu, temperatura dintr-o încăpere, presiunea gazului dintr-un recipient etc.).

Proprietățile măsurabile ale corpurilor se numesc *mărimi fizice*. Ansamblul mărimilor fizice între care există relații definite se numește *sistem de mărimi*.

Clasificarea mărimilor fizice se poate face după mai multe criterii:

- ▶ După modul în care sunt definite în sistemul de mărimi din care fac parte:
 - *mărimi fundamentale*, admise prin convenție ca fiind independente funcțional de celelalte mărimi într-un sistem de mărimi;
 - *mărimi derivate*, definite ca funcție de mărimile fundamentale într-un sistem de mărimi.
- ▶ După natura lor, pot fi grupate în:
 - *mărimi geometrice* (lungime, unghi, arie, volum);
 - *mărimi mecanice* (timp, masă, forță, presiune, lucru mecanic etc.);
 - *mărimi termice* (temperatură, energie termică etc.);
 - *mărimi electrice* (rezistență, capacitate, intensitatea curentului electric, tensiune etc.);
 - *mărimi optice* (intensitate luminoasă, flux luminos etc.);
 - *mărimi acustice* (frecvența sunetului etc.).
- ▶ După modul de obținere a energiei de măsurare:
 - *mărimi active* (generatoare) – livrează cantitatea de energie necesară efectuării măsurării (de exemplu: tensiunea electrică, intensitatea curentului electric);
 - *mărimi pasive* (parametrice) – nu pot furniza energia necesară măsurării și, în acest caz, este necesară o sursă exterioară de energie (de exemplu, timpul).
- ▶ După reprezentarea matematică:
 - *mărimi scalare*, caracterizate complet printr-un număr real (de exemplu: masa, timpul, volumul);
 - *mărimi vectoriale*, caracterizate complet prin modul, direcție, sens, punct de aplicație (de exemplu, viteza, forța, accelerația).

1.2. UNITĂȚI DE MĂSURĂ

Pentru a determina cantitativ o mărime, aceasta trebuie comparată cu o valoare a ei, denumită *unitate de măsură*. Unitatea de măsură este o mărime particulară, definită și adoptată prin convenție, cu care sunt comparate alte mărimi de aceeași natură pentru exprimarea valorilor în raport cu acea mărime. Tot prin convenție, unităților de măsură le sunt atribuite denumiri și simboluri.

Simbolul unei unități de măsură este semnul convențional care o desemnează. De exemplu, **m** este simbolul metruului, **A** este simbolul amperului.

Determinarea valorică a mărimilor fizice reprezintă obiectul de studiu al metrologiei.

Metrologia – denumită și știința măsurării – are ca obiect de studiu totalitatea aspectelor teoretice și practice referitoare la măsurări, indiferent de precizia acestora și de domeniul științific, tehnic sau economic în care se efectuează. Metrologia definește unitățile de măsură acceptate pe plan internațional și le realizează fizic prin metode științifice.

Odată cu impunerea metrologiei ca știință, s-a dezvoltat, perfecționat și modernizat limbajul ei specific, cel al unităților de măsură, care a devenit în timp un limbaj universal, utilizat în aproape toate statele lumii.

1.3. SISTEMUL INTERNAȚIONAL DE UNITĂȚI

Ansamblul unităților de măsură definite pentru un sistem dat de mărimi fizice formează un *sistem de unități de măsură*. În prezent, în majoritatea statelor lumii este utilizat **Sistemul Internațional de Unități**, cu prescurtarea internațională **SI**, adoptat la a XI-a Conferință Generală de Măsură și Greutăți, care s-a desfășurat la Sèvres, Franța, în anul 1960. În țara noastră, acest sistem a devenit unic legal și obligatoriu din august 1961.

Sistemul Internațional de Unități cuprinde:

- șapte unități fundamentale (tabelul 1.1);
- unități derivate, incluzând și două unități suplimentare, conform standardului român SR ISO 1000:1995, identic cu Standardul Internațional ISO 1000:1992.

Tabelul 1.1. Unități fundamentale în SI

Nr. crt.	MĂRIMI FUNDAMENTALE	UNITĂȚI FUNDAMENTALE ÎN SI	
		Denumire	Simbol
1.	lungimea	metru	m
2.	masa	kilogram	kg
3.	timpul	secundă	s
4.	intensitatea curentului electric	amper	A
5.	temperatura termodinamică	kelvin	K
6.	intensitatea luminoasă	candelă	cd
7.	cantitatea de substanță	mol	mol

Așa cum rezultă din tabelul 1.1, SI cuprinde șapte unități de măsură fundamentale: metru, kilogram, secundă, amper, kelvin, candelă, mol.

Unitatea de măsură fundamentală este unitatea de măsură a unei mărimi fundamentale într-un sistem de mărimi. Într-un sistem de unități, pentru fiecare mărime fundamentală există o singură unitate de măsură fundamentală. De exemplu, pentru lungime există o singură unitate de măsură în SI: metru. Celelalte unități de măsură utilizate pentru lungime (inch, mila marină, mila terestră etc.) nu fac parte din SI, dar sunt admise pentru a fi utilizate în unele domenii.

Relația care se stabilește între mărimi fizice se menține și între unitățile de măsură corespunzătoare.

Unitățile derivate sunt exprimate algebric în funcție de unitățile fundamentale sau în funcție de alte unități derivate (tabelul 1.2.). Simbolurile lor utilizează semnele matematice de înmulțire și împărțire. De exemplu, unitatea de măsură a vitezei în SI este metru pe secundă, care se simbolizează m/s ; unitatea de măsură a volumului este metru cub, care se simbolizează m^3 .

Pentru unele unități derivate, există denumiri și simboluri speciale. De exemplu, unitatea de măsură a forței este newtonul, care se simbolizează **N**; unitatea de măsură a sarcinii electrice este coulombul, care se simbolizează **C**.

Tabelul 1.2. Unități derivate în SI

Nr. crt.	MĂRIMEA DERIVATĂ	UNITATEA DERIVATĂ ÎN SI		
		Denumire	Simbol	Expresia unității în funcție de unități SI fundamentale și unități SI derivate
1.	unghi plan	radian	rad	$1 \text{ rad} = 1 \text{ m/m} = 1$
2.	unghi solid	steradian	sr	$1 \text{ sr} = 1 \text{ m}^2/\text{m}^2 = 1$
3.	arie	metru pătrat	m^2	
4.	volum	metru cub	m^3	
5.	viteza	metru pe secundă	m/s	
6.	acelerație	metru pe secundă la pătrat	m/s^2	
7.	densitate	kilogram pe metru cub	kg/m^3	
8.	forță	newton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot m/s^2$
9.	presiune	pascal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
10.	energie, lucru mecanic, cantitate de căldură	joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot m$
11.	putere, flux radiant	watt	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$
12.	sarcină electrică, cantitate de electricitate	coulomb	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot s$
13.	tensiune, potențial electric, diferență de potențial, tensiune electromotoare	volt	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ W/A}$
14.	capacitate electrică	farad	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$
15.	rezistență electrică	ohm	Ω	$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$

Unitățile de măsură pentru unghiul plan și unghiul solid – radianul și steradianul – sunt denumite *unități suplimentare*. Sunt unități derivate cu dimensiunea unu și au denumiri și simboluri speciale.

OBSERVAȚII

1. Denumirile tuturor unităților se scriu cu literă minusculă (cu excepția cazului în care se află la începutul propoziției sau în titlu): metru, kilogram, amper, newton.
2. Simbolurile unităților de măsură se scriu cu literă minusculă (candela – cd, mol – mol, secunda – s), cu excepția celor care provin de la nume proprii: (amper – A, newton – N, volt – V, coulomb – C).
3. Pluralul denumirilor unităților de măsură se formează respectând regulile gramaticale din limba română (metru – metri, ohm – ohmi).

1.4. MULTIPLI ȘI SUBMULTIPLI

În practică, pentru exprimarea valorilor unor mărimi fizice, se utilizează multiplii și submultiplii unităților de măsură. Aceștia permit evitarea utilizării unor valori numerice foarte mari sau foarte mici. De exemplu, pentru exprimarea distanței dintre două orașe nu se utilizează metrul, ci multiplul acestuia – kilometrul, iar pentru exprimarea grosimii unei table de oțel se folosește un submultiplu al metrului – milimetrul sau centimetrul.

Formarea multiplilor și a submultiplilor unităților de măsură se realizează prin utilizarea prefixelor specificate în tabelul 1.3. Denumirile prefixelor de formare a multiplilor și a submultiplilor se atașează denumirii unei unități de măsură, iar un prefix-simbol se atașează direct simbolului acestei unități. Unitățile de măsură astfel formate se numesc „multipli și submultipli ai unităților din Sistemul Internațional”. Aceste prefixe pot fi aplicate teoretic tuturor unităților de măsură, chiar dacă în practică sunt utilizate numai o parte dintre multiplii și submultiplii astfel formați.

Tabelul 1.3. Formarea multiplilor și a submultiplilor unităților de măsură

FACTOR DE MULTIPLICARE	PREFIX	
	DENUMIRE	SIMBOL
10^{24}	yotta	Y
10^{21}	zetta	Z
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h
10	deca	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a
10^{-21}	zepto	z
10^{-24}	yocto	y

OBSERVAȚII

- Simbolurile prefixelor yotta – Y, zetta – Z, exa – E, peta – P, tera – T, giga – G, mega – M se scriu cu majusculă, în timp ce toate celelalte prefixe se scriu cu literă mică.
- Între prefix și simbolul unității nu se lasă spațiu liber (kW, MHz).
- Între valoarea numerică și simbolul unității se lasă un spațiu liber, cu excepția expresiei valorii unghiului ($v = 140 \text{ m/s}$; $\alpha = 90^\circ$).

De exemplu, aplicând prefixele pentru unitatea de măsură a intensității curentului electric – amperul, simbol A –, se obțin multiplii și submultiplii menționați în tabelul 1.4. Dintre aceștia, în practică, în diferite domenii ale tehnicii, se recomandă utilizarea următoarelor unități: kA, mA, μ A, nA și pA.

Tabelul 1.4. Multiplii și submultiplii amperului

Multiplii amperului			Submultiplii amperului		
Denumirea unității	Simbolul unității	Valoare	Denumirea unității	Simbolul unității	Valoare
yottaamper	YA	$YA = 10^{24} \text{ A}$	deciamper	dA	$dA = 10^{-1} \text{ A}$
zettaamper	ZA	$ZA = 10^{21} \text{ A}$	centiamper	cA	$cA = 10^{-2} \text{ A}$
exaamper	EA	$EA = 10^{18} \text{ A}$	milliamper	mA	$mA = 10^{-3} \text{ A}$
petaamper	PA	$PA = 10^{15} \text{ A}$	microamper	μ A	$\mu A = 10^{-6} \text{ A}$
teraamper	TA	$TA = 10^{12} \text{ A}$	nanoamper	nA	$nA = 10^{-9} \text{ A}$
gigaamper	GA	$GA = 10^9 \text{ A}$	picoamper	pA	$pA = 10^{-12} \text{ A}$
megaamper	MA	$MA = 10^6 \text{ A}$	femtoamper	fA	$fA = 10^{-15} \text{ A}$
kiloamper	kA	$kA = 10^3 \text{ A}$	attoamper	aA	$aA = 10^{-18} \text{ A}$
hectoamper	hA	$hA = 10^2 \text{ A}$	zeptoamper	zA	$zA = 10^{-21} \text{ A}$
decaamper	daA	$daA = 10 \text{ A}$	yoctoamper	yA	$yA = 10^{-24} \text{ A}$

Exemple de transformări

1. $0,015 \text{ m} = ? \mu\text{m}$
 $0,015 \text{ m} = 0,015 \times 10^6 \mu\text{m} \Rightarrow 0,015 \text{ m} = 15\,000 \mu\text{m}$
2. $1\,600 \text{ nC} = \dots \text{ mC}$
 $1\,600 \text{ nC} = 1\,600 \times 10^{-6} \text{ mC} \Rightarrow 1\,600 \text{ nC} = 0,0016 \text{ mC}$
3. $1,6 \text{ GHz} = \dots \text{ MHz}$
 $1,6 \text{ GHz} = 1,6 \times 10^3 \text{ MHz} \Rightarrow 1,6 \text{ GHz} = 1\,600 \text{ MHz}$

Aplicații

- ❶ Enumeră unitățile de măsură fundamentale pe care se bazează SI.
- ❷ Definiște noțiunile de mărime fizică fundamentală și mărime fizică derivată.
- ❸ Pentru fiecare unitate de măsură fundamentală, precizează mărimea fizică pe care o măsoară.
- ❹ Enumeră două dintre criteriile de clasificare a mărimilor fizice.
- ❺ Denumeste patru mărimi derivate pe care le-ai studiat la fizică; precizează, pentru fiecare mărime în parte, unitatea de măsură în SI.
- ❻ Pentru unghiul plan și unghiul solid, denumește unitățile de măsură și scrie-le simbolurile.
- ❼ Enumeră prefixele de formare a multiplilor și a submultiplilor unităților de măsură.
- ❽ Pentru fiecare prefix de formare a multiplilor și a submultiplilor unităților de măsură, precizează factorul de multiplicare corespunzător.
- ❾ Formează multiplii metrului.
- ❿ Formează submultiplii newtonului.

LUCRAȚI INDIVIDUAL!

I. Alege litera corespunzătoare variantei corecte de răspuns.

1. Unitatea de măsură a masei în S.I. este:
a) gramul; **b)** kilogramul; **c)** molul; **d)** newtonul.
2. În Sistemul Internațional, kelvinul este:
a) unitate de măsură fundamentală; **b)** mărime fizică fundamentală;
c) mărime fizică derivată; **d)** unitate de măsură derivată.

3. Unitatea de măsură a lungimii în S.I. este:

a) gramul; b) metrul; c) țolul; d) candela.

4. În Sistemul Internațional, amperul este:

a) unitate de măsură fundamentală; b) mărime fizică fundamentală;
c) unitate de măsură derivată; d) mărime fizică derivată.

II. În coloana A sunt indicate mărimi fizice fundamentale, iar în coloana B, unități de măsură fundamentale. Scrie asocierile corecte dintre cifrele din coloana A și literele corespunzătoare din coloana B.

A. Mărime fizică	B. Unitate de măsură fundamentală
1. masă	a. amper
2. lungime	b. candelă
3. timp	c. kelvin
4. temperatură	d. kilogram
5. intensitate luminoasă	e. metru
	f. secundă

III. Definește următoarele concepte specifice metrologiei: mărime, unitate de măsură, simbol al unității de măsură, sistem de unități.

IV. Completează spațiile libere cu răspunsul corect:

- a) Metrul este unitatea fundamentală de măsură pentru ...
 b) În Sistemul Internațional de Unități, unitatea de măsură a ... este candela.
 c) Unitatea de măsură fundamentală pentru ... este secunda.
 d) Știința care se ocupă cu studiul măsurilor, al unităților de măsură și al mijloacelor de măsurare se numește ...

FIȘĂ DE LUCRU 1

I. a) Asociază, utilizând săgeți, mărimile fizice din coloana A cu unitățile de măsură corespunzătoare din coloana B.

b) Pentru fiecare unitate de măsură indicată în coloana B, scrie în coloana C simbolul corespunzător.

A. Mărime fizică	B. Unitate de măsură	C. Simbol al unității de măsură
masa	amper	
timpul	kelvin	
temperatura termodinamică	kilogram	
cantitatea de substanță	metru	
intensitatea curentului electric	mol	
	secundă	

II. a) Completează lista celor șapte mărimi fizice fundamentale.

Lungimea, intensitatea curentului electric, masa, temperatura termodinamică

b) În coloana A din tabelul următor sunt enumerate 11 mărimi fizice. Utilizând tabelele 1.1 și 1.2, scrie în coloana B denumirea unității de măsură, iar în coloana C, simbolul acesteia. În coloana D a aceluiași tabel transcrie numai unitățile de măsură derivate.

A. Mărime fizică	B. Denumire unitate de măsură	C. Simbol unitate de măsură	D. Unitate de măsură derivată
arie			
densitate			
energie			
forță			
masă			
presiune			
putere			
timp			
viteză			
volum			

FIȘĂ DE LUCRU 2

1. Scrie denumirile multiplilor și ale submultiplilor unităților de măsură simbolizate mai jos.
- a) mm; ... d) GΩ; ...
 b) pA; ... e) MHz ...
 c) μC; ... f) daN ...
2. Scrie simbolurile unităților de măsură de mai jos, utilizând prefixele învățate pentru formarea multiplilor și a submultiplilor.
- a) micrometru ... d) picofarad ...
 b) nanocoulomb ... e) kilonewton ...
 c) gigawatt ... f) megahertz ...
3. Stabilește legătura dintre prefixele de formare a multiplilor și a submultiplilor unităților de măsură indicate în coloana A și factorii de multiplicare corespunzători indicați în coloana B.

A. Prefix de formare a multiplilor și a submultiplilor unităților de măsură	B. Factor de multiplicare
1. m	a. 10^{-12}
2. p	b. 10^{-6}
3. μ	c. 10^{-3}
4. G	d. 10
5. M	e. 10^6
	f. 10^9

4. Efectuează transformările:

- a) $0,03 \text{ A} = \dots \text{ mA}$
 b) $0,012 \text{ μm} = \dots \text{ pm}$
 c) $2000 \text{ Ω} = \dots \text{ KΩ}$
 d) $1200 \text{ GHz} = \dots \text{ MHz}$
 e) $0,035 \text{ nC} = \dots \text{ pC}$
 f) $65 \text{ daN} = \dots \text{ N}$

TEST DE EVALUARE

SUBIECTUL 1

I. Pentru fiecare dintre cerințele de mai jos (1-5) scrie litera corespunzătoare răspunsului corect.

- Este mărime fizică fundamentală:
 - presiunea;
 - forța;
 - masa;
 - viteza.
- Unitatea de măsură a vitezei în SI este:
 - kg;
 - m/s;
 - Pa;
 - m/s².
- Este formată din unități de măsură fundamentale următoarea grupă:
 - kg; m; K; A;
 - kg; N; K; A;
 - Pa; m; K; A;
 - N; m; kg; °C.
- Unitatea de măsură simbolizată **nm** se citește:
 - micrometru;
 - nanometru;
 - picometru;
 - attometru.
- Este mărime derivată în SI:
 - intensitatea curentului electric;
 - masa;
 - forța;
 - intensitatea luminoasă.

II. În coloana A sunt indicate prefixe pentru formarea multiplilor și a submultiplilor unităților de măsură din SI, iar în coloana B sunt indicați factori de multiplicare. Scrie asocierile corecte dintre cifrele din coloana A și literele corespunzătoare din coloana B.

A. Prefix	B. Factor de multiplicare
1. mili	a. 10 ⁻¹²
2. pico	b. 10 ⁻⁹
3. kilo	c. 10 ⁻³
4. deca	d. 10
5. mega	e. 10 ³
	f. 10 ⁶

III. Transcrie litera corespunzătoare fiecărui enunț și notează în dreptul ei litera A, dacă apreciezi că enunțul este adevărat, sau litera F, dacă apreciezi că enunțul este fals.

- Există o singură unitate de măsură în SI pentru fiecare mărime fundamentală.
- Unitatea de măsură fundamentală pentru masă este gramul.
- Simbolul picoamperului este pA.
- Presiunea este o mărime fizică derivată.
- Unitatea de măsură pentru intensitatea luminoasă este amperul.

SUBIECTUL 2

I. Scrie informația corectă care completează spațiile libere:

- Mărimile ... sunt independente funcțional de celelalte mărimi într-un sistem dat.
- Simbolul unei unități de măsură este semnul ... care o desemnează.
- Secunda este unitatea de măsură fundamentală pentru ...

II. Enumeră unitățile de măsură fundamentale din SI.

SUBIECTUL 3

I. Clasifică mărimile fizice după reprezentarea lor matematică.

II. Efectuează transformările:

- 50 km = ... m;
- 12 μm = ... mm;
- 0,35 A = ... mA;
- 500 nF = ... pF;
- 200 MHz = ... GHz;
- 135 N = ... daN.

CAPITOLUL 2

PROCESUL DE MĂSURARE ȘI COMPONENTELE SALE

2.1. PROCESUL DE MĂSURARE

Nevoia de a determina și de a controla valorile unor mărimi se manifestă azi în toate domeniile de activitate din industrie, medicină, agricultură, meteorologie, în servicii și protecția mediului. De exemplu:

- în industrie, se determină dimensiunile, abaterile, masele unor produse, parametrii unor procese tehnologice (fig. 2.1) etc.;
- în agricultură, se măsoară umiditatea, temperatura și compoziția solului;
- în medicină, se măsoară temperatura corpului uman, presiunea arterială, activitatea creierului, a inimii etc.;
- în gospodăriile noastre, există aparate care măsoară consumul de apă potabilă, de gaze, de energie electrică etc.



Fig. 2.1. Măsurări în domeniul industrial

Procesul de măsurare reprezintă ansamblul de operații care au ca scop determinarea valorii unei mărimi.

Prin măsurare, se stabilește, pe cale experimentală, raportul numeric dintre mărimea de măsurat și o valoare oarecare a acesteia, luată ca unitate de măsură. Acest raport numeric care este stabilit în mod practic în procesul de măsurare și care reprezintă valoarea numerică a mărimii care se măsoară se numește **rezultatul măsurării**.

Valoarea unei mărimi se exprimă sub forma produsului dintre un număr determinat prin măsurare (valoare numerică) și unitatea de măsură aleasă pentru acea mărime:

$$M = V \cdot U_m, \text{ unde:}$$

M – valoarea mărimii;

V – valoarea numerică, obținută prin măsurare;

U_m – unitatea de măsură.

Valoarea unei mărimi furnizate de un mijloc de măsurare se mai numește, în limbaj metrologic, **indicație**.

Exemplu: Valoarea masei unui corp se poate exprima sub forma $m = 50 \text{ kg}$, în care 50 este valoarea numerică măsurată.

OBSERVAȚII

- Rezultatul măsurării trebuie să includă și unitatea de măsură; exprimarea $m = 50$ este incompletă.
- Valoarea unei mărimi poate fi pozitivă, negativă sau nulă.
- Valoarea aceleiași mărimi poate fi exprimată în mai multe moduri; pentru exemplul de mai sus, aceeași valoare poate fi exprimată sub forma $m = 0,05 \text{ t}$ sau $m = 5000 \text{ dag}$.
- Mărimea fizică nu se modifică (masa piesei rămâne aceeași), doar valoarea ei numerică poate fi diferită, în funcție de unitățile de măsură alese.

2.2. COMPONENTELE PROCESULUI DE MĂSURARE

Pentru a efectua o măsurare sunt necesare următoarele elemente, care reprezintă componentele procesului de măsurare:

- **măsurandul** (ce se măsoară?)
- **mijlocul de măsurare** (cu ce se măsoară?)
- **metoda de măsurare** (cum se măsoară?)

Un obiect se caracterizează, în general, prin mai multe mărimi. De exemplu, o piesă de tip arbore se caracterizează prin masă, greutate, densitate, lungime, conductivitate termică, conductivitate electrică etc. Dintre acestea, mărimea care este supusă măsurării într-un proces de măsurare se numește **măsurand**. Conform SR 13251, „Vocabular internațional de termeni fundamentali și generali în metrologie”, măsurandul este definit ca „mărime particulară supusă măsurării”.

În concordanță cu mărimea supusă măsurării, se alege mijlocul de măsurare.

Mijlocul de măsurare este un termen generic care desemnează mijlocul tehnic utilizat pentru obținerea, prelucrarea, transmiterea și stocarea informației de măsurare. Ruleta, balanța, dinamometrul, rugozimetrul, microscopul de atelier – toate sunt mijloace de măsurare. Mijlocul de măsurare determină cantitativ valoarea unei mărimi care se măsoară într-un proces industrial, instalație tehnică, laborator sau atelier.

Sucesiunea logică a operațiilor practice pe care le implică măsurarea și totalitatea relațiilor teoretice utilizate pentru determinarea valorii unei mărimi reprezintă **metoda de măsurare**.

La baza măsurării se află o lege sau un fenomen fizic care reprezintă baza științifică a măsurării și se numește **principiul de măsurare**. De exemplu, măsurarea temperaturii cu termometrul cu lichid se bazează pe variația volumului lichidului termometric proporțional cu variația temperaturii.

Pot constitui factori perturbatori pentru procesul de măsurare:

- prezența câmpurilor magnetice exterioare (cel terestru sau cel creat de conductoare electrice parcurse de curenți);
- câmpul de temperatură în care este utilizat aparatul;
- variația umidității și presiunii mediului ambiant;
- pregătirea operatorului;
- defectarea mijlocului de măsurare etc.

2.2.1. MIJLOACE DE MĂSURARE

Mijloacele tehnice cu ajutorul cărora se obțin informațiile de măsurare se numesc **mijloace de măsurare**. Pentru prelucrarea semnalelor provenite de la măsurand (purătorul mărimii care se măsoară), mijloacele de măsurare au o structură specifică, adaptată scopului, naturii semnalului de intrare și preciziei cerute operației de măsurare.

Orice mijloc de măsurare poate fi reprezentat ca o cutie neagră (fig. 2.2) în care se vehiculează un semnal energetic purtător al informației de măsurare, numit **semnal metrologic**.

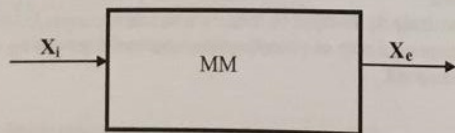


Fig. 2.2. Reprezentarea simbolică a unui mijloc de măsurare:
MM – mijloc de măsurare; X_i – mărime de intrare; X_e – mărime de ieșire.

Măsurandul livrează mijlocului de măsurare o informație care reprezintă **semnalul de intrare**. Acesta este prelucrat de către mijlocul de măsurare și este transmis la ieșire sub forma unui semnal, numit **semnal de ieșire**. Semnalul de intrare și semnalul de ieșire se numesc **semnale de măsurare**.

Mărimea (semnalul) de intrare poate fi deplasare liniară, deplasare unghiulară, temperatură, forță, presiune etc., iar mărimea (semnalul) de ieșire poate fi deplasare liniară sau unghiulară, curent electric, tensiune electrică etc.

► Clasificarea mijloacelor de măsurare

Poate fi făcută după mai multe criterii:

⇒ **După modul de redare a valorii măsurate**, mijloacele de măsurare pot fi:

- **analogice**, la care valoarea măsurată se stabilește prin aprecierea poziției unui indice față de o scară gradată, prin alăturarea sau prin suprapunerea a două scări gradate sau prin stocarea sub forma unei înregistrări grafice; de cele mai multe ori, indicarea se realizează prin deplasarea unui indice în fața unei scări gradate (fig. 2.3.a);
- **digitale**, la care valoarea este afișată numeric, pe un dispozitiv de afișare; afișarea rezultatului măsurării este sub forma unei succesiuni de cifre care reprezintă valoarea numerică a mărimii măsurate (fig. 2.3.b).

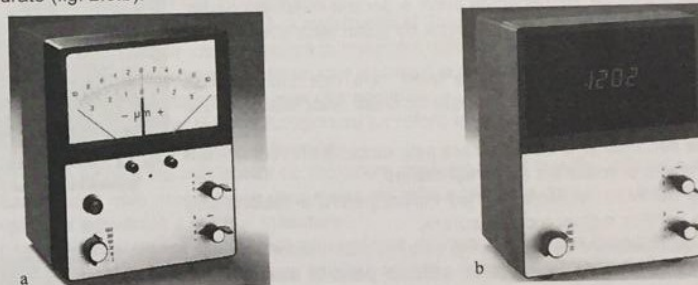


Fig. 2.3. Mijloace pentru măsurarea lungimii: a. – analogic; b. – digital.

Utilizarea mijloacelor de măsurare digitale are ca principale **avantaje**:

- creșterea preciziei de măsurare prin eliminarea erorilor de citire;
- creșterea vitezei de citire;
- posibilitatea citirii de la distanță a rezultatului măsurării;
- posibilitatea înregistrării automate a rezultatelor;
- funcționarea independentă de solicitări mecanice (șocuri și vibrații).

⇒ **După complexitate**, mijloacele de măsurare se împart în:

- **măsurii**, care materializează unitatea de măsură a unei mărimi sau mai mulți multipli ori submultipli ai acesteia; realizarea măsurilor este posibilă numai pentru anumite mărimi fizice: lungime, unghi, masă, volum etc.

Exemple de măsurii: rigla gradată, calibrele (fig. 2.4), calele unghiulare, cilindrii gradați.

- **aparate**, care realizează cel puțin o conversie a măsurandului (transformare dintr-o mărime fizică în alta); aparatele de măsurat cu o structură simplă și compactă care realizează un număr minim de conversii ale măsurandului se numesc, în mod obișnuit, **instrumente de măsurat** (șubler, balanță, alcoolmetru); în figura 2.5. este prezentat un aparat portabil pentru măsurarea rugozității, la care valorile de măsurare sunt în același timp afișate și înregistrate pe suport de hârtie.



Fig. 2.4. Calibru-potcoavă

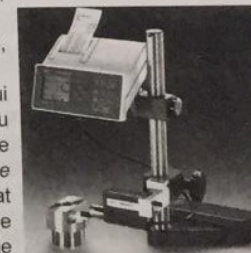


Fig. 2.5. Aparat pentru măsurarea rugozității

– *sisteme de măsurare*, formate dintr-un ansamblu de mijloace de măsurare și alte echipamente, reunite pentru efectuarea unor măsurări specifice. Sunt prevăzute cu posibilități de automatizare a măsurărilor, prelucrare a rezultatelor, înregistrare etc. Operațiile se desfășoară pe baza unui program (software de măsurare) gestionat de procesor. Un sistem de măsurare instalat permanent într-un loc se numește *instalație de măsurare*.

⇨ **După precizia de măsurare**, se clasifică în:

- *mijloace de măsurare de lucru*, utilizate în măsurări curente, necesare în practică;
- *mijloace de măsurare etalon*, destinate definirii, realizării, conservării sau reproducerii unei unități de măsură sau uneia sau a mai multor valori ale unei mărimi pentru a servi ca referință.

După destinația metrologică, **etalioanele** se clasifică în:

- *etalioane internaționale*, recunoscute printr-un acord internațional pentru a fi utilizate ca bază pentru atribuirea de valori altor etaloane ale mărimii considerate; etaloanele internaționale sunt păstrate la Biroul Internațional de Măsuri și Greutăți;
- *etalioane naționale*, recunoscute printr-o decizie națională pentru a fi utilizate ca bază pentru atribuirea de valori altor etaloane ale mărimii considerate;
- *etalioane primare*, recunoscute a avea cele mai înalte calități metrologice și a căror valoare este atribuită altor etaloane ale aceleiași mărimi (fig. 2.6);
- *etalioane secundare*, a căror valoare este atribuită prin comparație cu etaloanele primare ale acelorași mărimi;
- *etalioane de lucru*, utilizate în mod curent pentru a etalona sau pentru a verifica mijloace de măsurare.

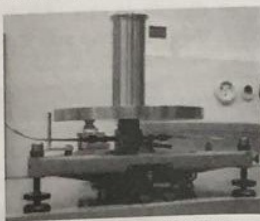


Fig. 2.6. Etalonul național de presiune – manometru cu piston și greutate

Mijloacele de măsurare de lucru (care servesc măsurărilor curente) au diferite exactități instrumentale, de la exactități scăzute până la exactități foarte înalte. Transmiterea unității de măsură către mijloacele de măsurare cu exactitate scăzută poate fi făcută prin compararea acestora cu etaloane secundare de ordin inferior. Mijloacele de măsurare cu exactități mai ridicate trebuie să fie comparate cu etaloane secundare de ordin corespunzător mai înalt. În sfârșit, mijloacele de măsurare de cea mai înaltă exactitate pot fi etalonate, de regulă, numai în raport cu etalonul primar.

Transmiterea unei unități de măsură se face pe scheletul sistemului ierarhizat al etaloanelor unității respective – primar, secundar de ordinul I, secundar de ordinul II etc. –, mijloacele de lucru fiind racordate la acest sistem de etaloane în funcție de exactitatea lor. Reprezentarea grafică a ierarhizării etaloanelor și a mijloacelor de măsurare de lucru, indicând – pentru fiecare categorie de mijloace de măsurare – etaloanele cu care trebuie comparate, precum și metodele corespunzătoare de comparație, reprezintă schema de transmitere a unității de măsură a mărimii fizice respective. Principiul unei scheme de transmitere a unității de măsură este ilustrat în figura 2.7.

În principiu, se poate întocmi o schemă de transmitere a unității pentru fiecare mărime fizică.

Posibilitatea de a raporta caracteristicile metrologice ale unui mijloc de măsurare prin lanțul de etalonări, conform schemei de transmitere a unității, până la etalonul primar, se numește *trasabilitate*. Se afirmă că o etalonare este trasabilă la etalonul primar atunci când ea este corelată, prin etalonări intermediare, cu etalonul primar al mărimii respective.

Din punctul de vedere al complexității, etaloanele pot fi *măsurări* (de exemplu, etalonul de masă de 1 kg), *aparate de măsurat* (de exemplu, manometru cu piston și greutate – fig. 2.6.) sau *sisteme de măsurare*.

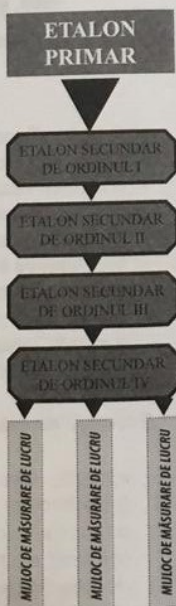


Fig. 2.7. Principiul unei scheme de transmitere a unității de măsură

Alegerea mijlocului de măsurare într-un proces de măsurare se face în funcție de:

- destinație (natura semnalului de intrare);
- caracteristicile funcționale (modul în care se realizează dependența dintre mărimea de intrare și mărimea de ieșire);
- caracteristicile constructive (robustețe, capacitatea de încărcare la suprasarcină, protecția la factorii de mediu, protecția anticorozivă etc.);
- caracteristicile metrologice (justețe, sensibilitate, fidelitate etc.);
- durata de funcționare;
- condițiile de instalare;
- condițiile mediului de lucru;
- condițiile de verificare metrologică ș.a.

► Caracteristici ale mijloacelor de măsurare

Particularitățile unui mijloc de măsurare, care-l deosebesc și-l apreciază în raport cu celelalte, reprezintă caracteristicile acestuia. Acestea pot fi:

- *caracteristici tehnice*, care se referă la construcția și funcționarea mijlocului de măsurare;
- *caracteristici metrologice*, care se referă la rezultatul măsurării.

Principalele caracteristici tehnice de construcție se referă la dimensiunile, greutatea, forma mijlocului de măsurare, materialele utilizate pentru execuția acestuia.

Principalele caracteristici tehnice de funcționare se referă la principiul de funcționare și la influența factorilor de mediu asupra rezultatelor măsurării.

Caracteristicile tehnice ale mijloacelor de măsurare analogice sunt stabilite prin acte normative.

- **Exactitatea** este proprietatea unui mijloc de măsurare de a da valori cât mai apropiate de valoarea adevărată a mărimii măsurate.
- **Clasa de exactitate**, simbolizată prin indicele de clasă, *c*, este o caracteristică comună tuturor mijloacelor de măsurare care satisfac anumite condiții metrologice și permite estimarea erorii limită de măsurare. Valorile indicelui de clasă sunt standardizate.
- **Eroarea limită de măsurare** reprezintă valoarea maximă posibilă pentru eroarea mijlocului de măsurare, garantându-se că, pentru întreg intervalul de măsurare, erorile sunt mai mici sau cel mult egale cu aceasta (eroarea limită).
- **Fidelitatea (repetabilitatea)** este proprietatea unui mijloc de măsurare de a furniza indicații foarte apropiate între ele la măsurarea repetată a aceleiași măsurand, în aceleași condiții de măsurare. Aceste condiții includ: aceeași metodă, același observator, același loc, aceleași condiții de mediu (temperatură, presiune, umiditate), repetarea măsurărilor la intervale scurte de timp.
- **Sensibilitatea** reprezintă raportul dintre variația mărimii de ieșire (ΔX_e) observate și variația mărimii de intrare (ΔX_i) care a determinat-o.

$$S = \frac{\Delta X_e}{\Delta X_i}$$

La mijloacele de măsurare analogice, sensibilitatea se exprimă în unități de deplasare a dispozitivului mobil pe unități de măsură a mărimii măsurate (de exemplu, mm/mA ; mm/V).

Inversul sensibilității se numește *constanta aparatului* $C = \frac{1}{S}$.

Exemplu: Un termometru care măsoară temperaturi între -20°C și $+100^\circ\text{C}$ și are o scară gradată cu 60 de diviziuni are o sensibilitate de $0,5$ diviziuni/ $^\circ\text{C}$ și o constantă de $2^\circ\text{C}/\text{diviziune}$. Variația mărimii de ieșire ΔX_e poate fi de 60 de diviziuni, iar variația mărimii de intrare ΔX_i poate fi de: $+100^\circ\text{C} - (-20^\circ\text{C}) = +100^\circ\text{C} + 20^\circ\text{C} = 120^\circ\text{C}$.

Sensibilitatea $S = \frac{60 \text{ div}}{120^\circ\text{C}} = 0,5 \text{ div}/^\circ\text{C}$, iar constanta $C = \frac{1}{0,5} = 2^\circ\text{C}/\text{diviziune}$.

- **Caracteristica de măsurare** reprezintă dependența dintre mărimea de ieșire și mărimea de intrare în regim experimental.

- **Caracteristica nominală** reprezintă dependența dintre mărimea de ieșire și mărimea de intrare în stare de regim.
- **Capacitatea de suprasarcină (supraîncărcare)** este proprietatea unui mijloc de măsurare de a suporta valori ale măsurandului care depășesc intervalul de măsurare, fără să-și modifice performanțele funcționale.
- **Rezoluția** reprezintă cea mai mică variație a măsurandului care produce o variație perceptibilă a semnalului de ieșire.
- **Stabilitatea** este proprietatea unui mijloc de măsurare de a-și menține constante caracteristicile metrologice în decursul timpului.
- **Fiabilitatea metrologică** este caracteristica aparatului de a funcționa fără defecte.

Elementele de indicație ale mijloacelor de măsurare sunt precizate în figura 2.8 și se definesc după cum urmează:

- **Scară gradată:** ansamblu ordonat de repere, împreună cu numerele asociate, care, alături de indice, permit determinarea valorii mărimii măsurate.

Scările aparatelor indicatoare pot fi clasificate după mai multe criterii.

□ După formă:

- scări liniare orizontale sau verticale;
- scări sectoriale, dacă arcul scării are până la 180° inclusiv;
- scări circulare, dacă arcul scării are peste 180°.

□ După felul distribuției reperelor:

- scări uniforme (valoarea diviziunii este constantă pe toată lungimea scării);
- scări neuniforme (valoarea și lungimea diviziunii sunt variabile).

□ După poziția reperului zero:

- scări unilaterale (cu una dintre limite zero);
- scări bilaterale (cu repere de ambele părți ale reperului zero);
- scări fără reper zero.

- **Reper:** semn care delimitează diviziunile, cu formă de liniuțe cu diferite lungimi; cifrele se execută numai în dreptul reperelor lungi, ele fiind scrise vertical în cazul scăriilor fixe și dispuse pe direcția reperului indicator la scările mobile. Reperul poate fi scurt (nenumărat), mijlociu (nenumărat) sau lung (numerotat).
- **Diviziune:** parte a unei scări cuprinse între două repere succesive oarecare.
- **Lungimea unei diviziuni:** distanța dintre două repere consecutive ale scării, exprimată în unități de lungime.
- **Valoarea unei diviziuni:** valoarea mărimii măsurate între două repere succesive, exprimată în unitățile marcate pe scară.
- **Indice:** element fix sau mobil al unui dispozitiv de afișare, a cărui poziție în raport cu reperele scării permite să citească valoarea indicată. Indicele poate fi ac indicator, spot luminos sau peniță de înregistrare.
- **Cadran:** suport material pe care se aplică scara gradată, precum și simbolurile și prescripțiile necesare pentru utilizarea aparatului.
- **Limitele scării gradate:** valoarea maximă (limita superioară de măsurare) și valoarea minimă (limita inferioară de măsurare) corespunzătoare reperelor extreme ale scării gradate.
- **Domeniu nominal:** domeniu de indicație ale unui mijloc de măsurare, exprimat prin limitele sale inferioară și superioară.

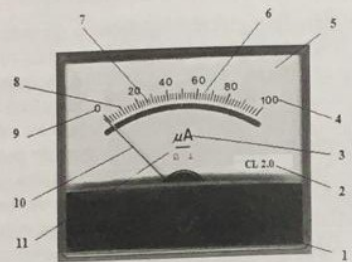


Fig. 2.8. Elemente de indicație ale mijloacelor de măsurare analogice (ampermetre): 1 – carcasă; 2 – indicele de clasă; 3 – simbolul unității de măsură (μA); 4 – limita superioară de măsurare (100 μA); 5 – cadran; 6 – scară gradată; 7 – diviziune; 8 – reper; 9 – limita inferioară de măsurare (0 μA); 10 – ac indicator; 11 – informații referitoare la principiul și poziția de funcționare.

- **Interval de măsurare:** modulul diferenței dintre două limite ale unui domeniu nominal.

Pentru mijlocul de măsurare din figura 2.8 (ampermetru), intervalul de măsurare este de 100 μA , valoarea diviziunii este de 2 μA (100 $\mu\text{A}/50$ repere).

Elementele enumerate mai sus caracterizează un mijloc de măsurare analogic. Pentru un mijloc de măsurare digital, valoarea măsurată este indicată sub forma unui șir de numere (fig. 2.9) care apare pe un ecran de afișare.



Fig. 2.9. Elemente de indicație pentru un mijloc de măsurare digital (termometru): 1 – ecran (display); 2 – simbolul unității de măsură; 3 – valoarea numerică măsurată.

2.2.2. METODE DE MĂSURARE

Metoda de măsurare reprezintă unul dintre elementele procesului de măsurare, alături de măsurand și de mijlocul de măsurare.

Metoda de măsurare reprezintă succesiunea operațiilor executate pentru determinarea valorii unei mărimi, utilizând un anumit mijloc de măsurare.

Alegerea metodei de măsurare depinde de mai mulți factori:

- precizia impusă măsurării;
- natura măsurandului;
- productivitatea procesului de măsurare;
- caracteristicile mijlocului de măsurare;
- costul operației;
- nivelul de calificare al personalului etc.

Clasificarea metodelor de măsurare se poate realiza după mai multe criterii:

□ După modul de obținere a rezultatului măsurării:

- **metode directe**, prin care rezultatul măsurării se obține nemijlocit, prin citirea directă pe mijlocul de măsurare.

Exemplu: măsurarea temperaturii cu termometrul, măsurarea unghiului cu raportorul.

- **metode indirecte**, prin care valoarea unei mărimi se obține prin intermediul altor mărimi, măsurate direct, de care este legată printr-o relație cunoscută.

Exemplu: măsurarea volumului unui corp cilindric, prin măsurarea directă a diametrului (D) și a

$$\text{înălțimii } (H) \text{ și aplicarea relației de calcul } V = \pi \frac{D^2}{4} \cdot H.$$

□ După poziția mijlocului de măsurare față de măsurand:

- **metode de măsurare cu contact**, prin care suprafața activă a mijlocului de măsurare vine în contact cu suprafața obiectului purtător al mărimii care se măsoară.

Exemplu: măsurarea diametrului unei piese cu șublerul, măsurarea dimensiunilor exterioare utilizând traductorul inductiv (fig. 2.10.a).

- **metode de măsurare fără contact**, prin care suprafața activă a mijlocului de măsurare nu atinge suprafața obiectului purtător al mărimii care se măsoară.

Exemplu: măsurarea diametrului unei piese prin metode optice, cu microscopul de atelier; măsurarea excentricității utilizând traductoare pneumatice (fig. 2.10.b).

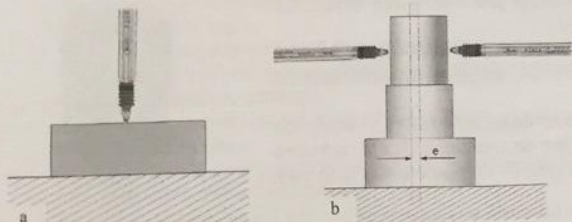


Fig. 2.10. Metode de măsurare:
a. - cu contact; b. - fără contact.

□ După modul de indicare a rezultatului măsurării:

- metode de măsurare analogice, care realizează indicarea continuă a mărimii măsurate; de cele mai multe ori, indicarea se realizează prin deplasarea unui ac indicator în fața unei scări gradate.

Exemplu: la măsurarea intensității curentului cu un ampermetru analogic, valoarea numerică a intensității este dată de poziția acului indicator față de o scară gradată circulară.

- metode de măsurare digitale (fig. 2.11), la care valoarea măsurată este afișată sub formă numerică (digitală), realizând o măsurare discretă, la intervale de timp foarte mici.

□ După precizia măsurării:

- metode tehnice, care se aplică în mod obișnuit în producție, în care nu se determină eroarea de măsurare, dar se ține cont de ea, deoarece mijloacele de măsurare au erori limită cunoscute;

- metode de laborator, care țin cont de erorile de măsurare, prin măsurarea repetată a aceleiași mărimi și calcularea valorii medii a acestora, fiind, deci, mai precise.

2.3. ERORI DE MĂSURARE

Orice măsurare a unei mărimi fizice, oricât de bine ar fi efectuată, are ca rezultat o valoare a măsurandului diferită față de valoarea sa reală. Această diferență dintre valoarea măsurată și valoarea adevărată a mărimii măsurate se numește **eroare** și este cauzată de factori obiectivi și subiectivi implicați în procesul de măsurare.

Cu cât eroarea de măsurare este mai mică, cu atât măsurarea este mai exactă.

- **Valoarea reală** X a mărimii măsurate este o valoare care nu se poate măsura în mod practic fără erori și reprezintă o valoare ideală de măsurare.
- **Valoarea de referință** X_0 este cea obținută cu aparatele cele mai precise (aparate etalon).
- **Valoarea măsurată** X_m este cea măsurată cu aparatele (mijloacele) pe care le avem la dispoziție.

Clasificarea erorilor de măsurare se face după mai multe criterii.

■ După modul de exprimare:

- **Eroarea absolută** reprezintă diferența dintre valoarea măsurată și valoarea de referință.

$\varepsilon = X_m - X_0$; se exprimă în aceeași unitate de măsură ca și X_m și X_0 . Poate fi pozitivă (dacă $X_m > X_0$), negativă (dacă $X_m < X_0$) sau nulă (dacă $X_m = X_0$).

Exemplu: Tensiunea măsurată la bornele unei rezistențe, utilizând un voltmetru, are valoarea de 5 V. Măsurând aceeași tensiune cu voltmetrul etalon, se obține valoarea de 6 V. În acest caz, eroarea absolută va fi: $\varepsilon = 5 \text{ V} - 6 \text{ V} = -1 \text{ V}$.

Eroarea absolută cu semn schimbat se numește **corecție**, se notează cu C și se calculează cu relația: $C = -(X_m - X_0) = -\Delta X$.

Dacă adăugăm corecția la rezultatul măsurării, se obține valoarea reală a mărimii: $X = X_m - \Delta X$

- **Eroarea relativă** se calculează cu relația:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{X_0} \cdot 100 = \frac{X_m - X_0}{X_0} \cdot 100$$

Nu are unități dimensionale (este adimensională) și se exprimă în procente [%].

■ După regimul mărimii de măsurat:

- **Eroarea statică** reprezintă eroarea de măsurare care rezultă la un regim staționar constant al mărimii de măsurat.

- **Eroarea dinamică** este eroarea de măsurare care rezultă la un regim variabil al mărimii de măsurat. Eroarea dinamică depinde atât de caracteristicile mijloacelor și ale metodelor de măsurare utilizate, cât și de natura variațiilor mărimii de măsurat.

■ După caracterul apariției în măsurările repetate:

- **Erorile sistematice** sunt erorile care se repetă la fiecare măsurare executată cu același aparat și cu aceeași metodă de măsurare, în aceleași condiții de mediu, sau variază în mod determinabil odată cu modificarea condițiilor de măsurare. Aceste erori se datorează unor cauze bine determinate; se produc întotdeauna în același sens, au valoarea constantă în mărime și semn sau variabilă după o lege bine determinată și pot fi eliminate prin aplicarea unor corecții. Erorile sistematice pot fi, la rândul lor, obiective sau subiective.

a) **erorile sistematice obiective** pot fi:

- **erori de aparat** (instrumentale), datorate unor caracteristici constructive ale aparatelor, incorectei etalonării, uzurii; limitele lor de variație sunt cunoscute din specificațiile tehnice date de furnizorul aparatului și sunt, prin urmare, cel mai ușor de evaluat de către operator;

- **erori de metodă**, cauzate de principiile pe care se bazează metoda de măsurare, de simplificările introduse în procesul măsurării sau de relațiile empirice utilizate în calculul acestora; ele apar, mai ales, la metodele indirecte de măsurare;

- **erori produse de factori externi** (erori de influență), care sunt deosebit de dificil de evaluat prin calcule, deoarece nu întotdeauna pot fi cunoscute cauzele și legile de variație în timp a condițiilor de mediu (temperatura, presiunea, umiditatea, câmpuri magnetice, radiații etc.); pentru eliminarea lor se impune asigurarea condițiilor de mediu cerute de producător pentru instalația de măsurat.

b) **erori sistematice subiective** (de operator), provenind din modul subiectiv în care operatorul apreciază anumite efecte (coincidențe de repere la citirea rezultatelor, intensități luminoase etc.) și care țin de gradul său de oboseală, de starea sa psihică sau de anumite deficiențe ale organelor de percepție ale operatorului.

- **Erorile aleatoare** (întâmplătoare) sunt erorile care au valori și semne diferite într-o succesiune de măsurători efectuate în aceleași condiții. Ele nu sunt controlabile și pot proveni din fluctuațiile accidentale ale condițiilor de mediu, ale atenției operatorului uman sau ale dispozitivului de măsurare.

- **Erorile grosolane** (greșelile) constau în abateri foarte mari, cu probabilitate mică de apariție și produc denaturări puternice ale rezultatelor măsurătorilor. Aceste erori sunt cauzate de alegerea greșită a metodei sau a mijloacelor de măsurare, de neatenția în timpul măsurării și al calculelor.

Aplicații

- 1) Definește noțiunea de proces de măsurare.
- 2) Enumeră componentele procesului de măsurare.
- 3) Dă exemple de mijloace de măsurare utilizate la orele de instruire practică.
- 4) Denumeste mijlocul de măsurare utilizat pentru măsurarea consumului de energie electrică.
- 5) Clasifică mijloacele de măsurare după modul de redare a valorii măsurate.
- 6) Precizează care sunt criteriile de selectare a mijlocului de măsurare utilizat pentru determinarea valorii unei mărimi.
- 7) Enumeră caracteristicile metrologice ale mijloacelor de măsurare.
- 8) Enumeră caracteristicile constructive ale mijloacelor de măsurare.
- 9) Explică noțiunea de metodă de măsurare.
- 10) Clasifică metodele de măsurare după precizia măsurării.

LUCRAȚI INDIVIDUAL!

1. Transcrie litera corespunzătoare fiecărui enunț și stabilește valoarea de adevăr a fiecărei propoziții. Atribuie valoarea **1** pentru propozițiile adevărate și valoarea **0** pentru propozițiile false.
 - a) Măsurarea este o operație practică, experimentală.
 - b) Componentele procesului de măsurare sunt măsurandul și metoda de măsurare.
 - c) Mărimea care este supusă măsurării într-un proces de măsurare se numește măsurand.
 - d) Temperatura, lungimea, presiunea pot reprezenta măsurandzi în unele procese de măsurare.
 - e) Mediul de lucru nu influențează rezultatul măsurării.
2. Scrie, pe caiet, informația corectă care completează spațiile libere din enunțurile de mai jos.
 - a) Mijloacele ... cu ajutorul cărora se obțin informațiile de măsurare se numesc mijloace de măsurare.
 - b) Succesiunea logică a operațiilor practice pe care le implică măsurarea și totalitatea relațiilor teoretice utilizate pentru determinarea valorii unei mărimi reprezintă ... de măsurare.
 - c) Valoarea unei mărimi se exprimă sub forma produsului dintre ... determinat prin măsurare și unitatea de măsură aleasă pentru acea mărime.
 - d) La baza măsurării se află o lege sau un fenomen fizic, care se numește ... de măsurare.
 - e) Cele mai precise mijloace de măsurare sunt ...
 - f) Eroarea absolută cu semn schimbat se numește ...
 - g) Eroarea statică rezultă la un regim ... al mărimii de măsurat.
 - h) Corecția este adăugată la rezultatul măsurării pentru a obține valoarea ...
 - i) Diferența dintre valoarea măsurată și valoarea de referință se numește eroare ...
 - j) Erorile de metodă apar, mai ales, la metodele ... de măsurare.
3. Desenează, pe caiet, o scară liniară și uniformă cu 20 de diviziuni, având valoarea diviziunii de 0,5 Pa, limita inferioară de măsurare 0 și apoi numeroteaz-o. Care este limita superioară de măsurare?
4. Care este intervalul de măsurare al unui termometru care are domeniul nominal de măsurare cuprins între $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$?

LUCRAȚI ÎN ECHEPE!

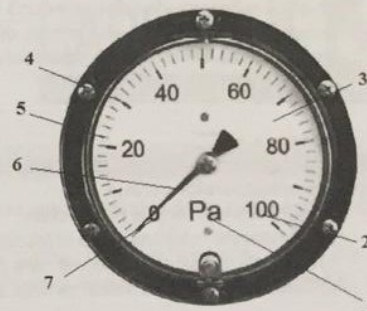
Formați echipe alcătuite din câte trei elevi.

- Măsurați cu ruleta dimensiunile sălii de clasă, apoi calculați suprafața totală și volumul.
- Comparați rezultatele obținute cu cele ale celorlalte echipe.
- Identificați cauzele diferențelor dintre rezultatele obținute.

FIȘĂ DE LUCRU 1

Pentru mijlocul de măsurare a cărui scară gradată este reprezentată în figura alăturată, răspunde cerințelor.

- a) Identifică elementele numerotate.
- b) Denumeste mărimea pe care o măsoară.
- c) Precizează care sunt limitele de măsurare și cât este intervalul de măsurare.
- d) Stabilește care este valoarea unei diviziuni.



FIȘĂ DE LUCRU 2

Lungimea unei coli de hârtie măsurată cu o riglă foarte exactă este $X_0 = 296\text{ mm}$, iar măsurată cu o riglă obișnuită, este $X_m = 299\text{ mm}$.

Determină eroarea absolută și cea relativă a măsurării.

TEST DE EVALUARE

SUBIECTUL 1

I. Pentru fiecare dintre cerințele de mai jos scrie litera corespunzătoare răspunsului corect.

1. Fidelitatea reprezintă pentru un mijloc de măsurare:
 - a) caracteristica tehnică; b) caracteristica metrologică; c) metoda de măsurare; d) măsurandul.
2. Măsurarea lungimii unei piese cu șublerul este o metodă de măsurare:
 - a) directă; b) indirectă; c) de etalonare; d) fără contact.
3. Semnele trasate pe cadranele mijloacelor de măsurare analogice care au formă de liniuțe cu diferite lungimi se numesc:
 - a) diviziuni; b) repere; c) indici; d) limite de măsurare.
4. Valoarea diviziunii unui voltmetru poate fi exprimată în:
 - a) metru; b) amper; c) volt; d) watt.
5. Intervalul de măsurare al unui termometru care are domeniul de măsurare de la $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ la $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ este de:
 - a) $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$; b) $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$; c) $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$; d) $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$.

II. Transcrie litera corespunzătoare fiecărui enunț (a, b, c, d, e) și notează în dreptul ei litera A, dacă apreciezi că enunțul este adevărat, sau litera F, dacă apreciezi că enunțul este fals.

- a) Valoarea unei mărimi poate fi pozitivă, negativă sau nulă.
- b) Mijloacele de măsurare etalon sunt utilizate în măsurări curente, necesare în practică.
- c) Sensibilitatea este proprietatea unui mijloc de măsurare de a da valori cât mai apropiate de valoarea adevărată a mărimii măsurate.
- d) Rezultatul măsurării cu mijloace de măsurare digitale este obținut prin aprecierea poziției unui indice în raport cu reperele unei scări gradate.
- e) Etaloanele naționale sunt comparate periodic cu etaloanele internaționale păstrate la Biroul Internațional de Măsuri și Greutăți.

== SUBIECTUL 2 ==

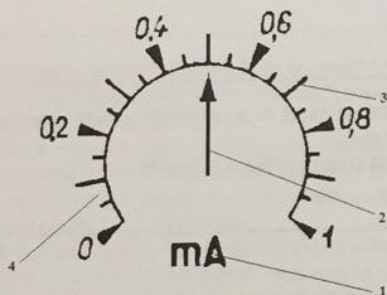
Răspunde următoarelor cerințe:

1. Clasifică mijloacele de măsurare după complexitate.
2. Enumeră componentele unui proces de măsurare.
3. Precizează trei dintre factorii care stau la baza alegerii unui mijloc de măsurare într-un proces de măsurare.

== SUBIECTUL 3 ==

Pentru mijlocul de măsurare a cărui scară gradată este reprezentată în figura de mai jos, răspunde următoarelor cerințe:

- a) Identifică elementele numerotate.
- b) Denumeste mărimea fizică măsurată și unitatea de măsură a acesteia în SI.
- c) Precizează valoarea maximă care poate fi măsurată.
- d) Stabilește care este valoarea unei diviziuni.



CAPITOLUL 3

MĂSURAREA MĂRIMILOR GEOMETRICE

3.1. MĂSURAREA ȘI CONTROLUL DIMENSIUNILOR LINIARE

Lungimea este una dintre cele șapte mărimi fizice fundamentale. Unitatea de măsură pentru lungime în SI este metrul, simbol **m**.

Metrul este definit ca „lungimea drumului parcurs de lumină, în vid, în timpul de $1/299\,792\,458$ dintr-o secundă”, definiție adoptată la cea de-a XVII-a Conferință Generală de Măsuri și Greutăți, care s-a desfășurat în 1983.

Rețineți! – Viteza luminii în vid este de $299\,792\,458$ m/s.

Dintre multiplii și submultiplii metrului, cei mai utilizați sunt: kilometrul (Km), centimetrul (cm), milimetrul (mm), micrometrul (μ), nanometrul (nm) și femtometrul (fm). În afara SI, pentru măsurarea lungimii se folosesc unitățile de lungime specificate în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1. Unități de măsură pentru lungime

Denumirea unității de măsură	Simbol	Valoarea exprimată în metri
inch (tol)	in	1 in = 0,0254 m
foot (picior)	ft	1 ft = 0,3048 m
yard	yd	1 yd = 0,914399 m
milă marină	Mm	1 milă marină = 1,852 m
ångström	Å	1 Å = 10^{-10} m

Măsurarea este procesul sau operația experimentală prin care se determină valoarea unei mărimi date, cu ajutorul unui mijloc de măsurare și în anumite condiții, în raport cu o unitate de măsură. De cele mai multe ori, măsurarea propriu-zisă are un caracter cantitativ și se termină odată cu determinarea valorii unei mărimi.

Controlul cuprinde atât operația de măsurare, cât și procesul de comparare a valorii măsurate cu o valoare de referință. Prin control se stabilește dacă valoarea măsurii de măsurat corespunde condițiilor inițiale impuse mărimii determinate. Prin **verificare** se poate stabili dacă valoarea determinată corespunde valorii sau valorilor impuse (de exemplu: verificarea cu calibre limitative stabilește dacă piesele verificate sunt corespunzătoare dimensional sau sunt rebuturi).

Mijloacele tehnice utilizate pentru obținerea, transmiterea, prelucrarea și stocarea unor informații de măsurare a lungimii se numesc *mijloace de măsurare a lungimilor*.

După complexitate, mijloacele pentru măsurarea lungimii se împart în:

- măsurii de lungime (ex.: rigle, lere, calibre etc.);
- instrumente și aparate de măsurat lungimi (ex.: șublere, micrometre, comparatoare, microscopice etc.);
- mașini și instalații de măsurat lungimi (ex.: mașina de măsurat în trei coordonate, interferometrul cu laser etc.).

OBSERVAȚIE

Termenul de **lungime** este utilizat pentru a desemna toate dimensiunile unui corp: lungime, lățime, înălțime, grosime, adâncime, rază, diametru.

3.1.1. MĂSURI DE LUNGIME

Măsurile de lungime sunt mijloace de măsurare care materializează unitatea de măsură, multiplii și/ sau submultiplii lungimii. Se pot **clasifica** astfel:

- *măsurile de lungime terminale*, care materializează distanța dintre două suprafețe de măsurare (ex.: cală plan-paralele, leră, calibrul);
- *măsurile de lungime cu repere*, care materializează lungimi între două sau mai multe repere ale unei scări gradate (ex.: riglă, ruletă);
- *măsurile de lungime mixte*, care materializează distanța cuprinsă între o suprafață de măsurare și axele unor repere (ex.: ruletă de măsurat cu un capăt terminal, miră, panglică topografică).

Măsurile de lungime terminale au ca suprafețe de măsurare suprafețele lor extreme și, spre deosebire de măsurile cu repere, nu au scară gradată.

Măsurile de lungime mixte au ca suprafață de măsurare una dintre suprafețele extreme și au scară gradată.

Cala plan-paralelă este măsura de lungime terminală cu valoare unică, determinată de distanța dintre două suprafețe opuse, plane și paralele, cu proprietăți de aderare, numite suprafețe de măsurare. Valoarea pe care o materializează (distanța dintre suprafețele de măsurare) este inscripționată pe fiecare cală în parte. În figura 3.1. a, valoarea materializată (notată 1) este de 50 mm; cu 2 este notată una dintre suprafețele de măsurare.

Calele plan-paralele se execută din oțel, din carburi metalice sau din sticlă și au formă de paralelipiped dreptunghic. Suprafețele de măsurare sunt supuse unei prelucrări de superfinisare (lepuire), executată cu material abraziv, astfel încât rugozitatea acestora să fie de 0,012 μm , iar abaterile de la planitate să fie minime.

Calele se livrează în truse de cale și sunt utilizate în trenuri sau blocuri de cale, pentru a materializa diferite valori ale mărimii măsurate. Lungimea blocului de cale este egală cu suma lungimilor calelor componente.

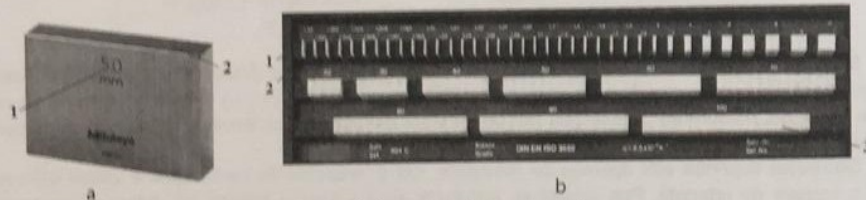


Fig. 3.1. Cală plan-paralelă (a) și trusă de cale (b)

În figura 3.1.b. este prezentată o trusă de cale: 1 – cea mai mică cală materializează valoarea de 1,000 mm; 2 – următoarea cală materializează valoarea de 1,001 mm; 3 – cea mai mare cală materializează valoarea de 100 mm.

Calele plan-paralele sunt utilizate pentru verificarea și reglarea altor mijloace de măsurare a lungimii (șublerul, micrometrul, comparatoarele etc.), pentru reglarea și verificarea sculelor și a dispozitivelor utilizate la mașinile-unelte.

Lera de grosime, numită și *calibrul de interstiții* sau *șpion*, este o măsură de lungime terminală cu valoare unică în formă de lamelă metalică flexibilă, prevăzută cu două suprafețe plan-paralele. Dimensiunea caracteristică o reprezintă grosimea lamelei, care poate avea valori cuprinse între 0,03 mm și 1 mm. Lerele se livrează în truse formate din mai multe bucăți, prinse într-o teacă de protecție (fig. 3.2.).

Lera este utilizată pentru măsurarea spațiilor mici dintre două piese conjugate, a abaterilor de la rectilitate sau planitate a muchiilor, respectiv a suprafețelor.

Calibrul este o măsură de lungime terminală cu valoare unică sau cu valori multiple; este prevăzută cu suprafețe de măsurare cilindrice, sferice sau plan-paralele.

După destinație, calibrele se împart în:

- *calibre de reglare*, utilizate pentru reglarea indicațiilor mijloacelor de măsurare;
- *calibre etalon*, utilizate pentru reglarea mașinilor de măsurat lungimi;
- *calibre limitative*, prevăzute cu două părți cu dimensiuni corespunzătoare dimensiunilor limită (maximă și minimă) ale pieselor supuse verificării; cele două părți sunt inscripționate cu T sau GO (trece), respectiv NT sau NOGO (nu trece) (fig. 3.3.).

Pentru verificarea arborilor se folosesc calibre-inele sau potcoavă, iar pentru verificarea alezajelor se folosesc calibre-tampon.

Suprafețele de măsurare ale calibrelor pot fi *lise* sau *filetate* (pentru verificarea filetelor).

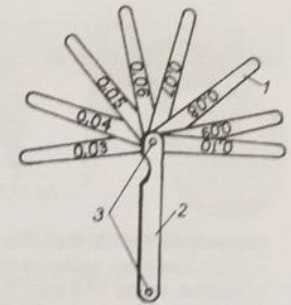


Fig. 3.2. Lere de grosime: 1 – lamelă metalică flexibilă (leră); 2 – teacă de protecție; 3 – șuruburi de prindere.

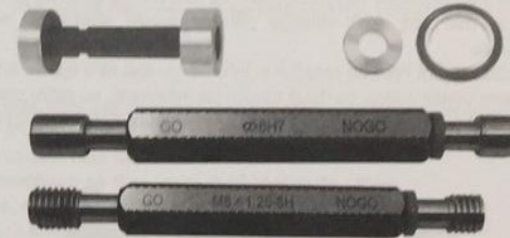


Fig. 3.3. Calibre

Rigla de măsurat este măsura de lungime cu repere utilizată în măsurări curente; poate fi în formă de bandă metalică flexibilă sau în formă de prismă dreaptă, rigidă.

Ruleta de măsurat este măsura de lungime cu repere, cu valori multiple, constituită din bandă de metal sau din țesătură textilă, cu sau fără inserție metalică.

3.1.2. INSTRUMENTE ȘI APARATE DE MĂSURĂ

Cele mai cunoscute instrumente utilizate pentru măsurarea lungimilor sunt: șublerul, micrometrul și comparatorul.

■ Șublerul

Șublerul este constituit, în principal, dintr-o riglă gradată și un subansamblu care poate culisa de-a lungul riglei gradate, numit *cursor* (fig. 3.4.). Cursorul este prevăzută cu un dispozitiv de citire a indicațiilor cu vernier, cu cadran (fig. 3.4.a) sau cu dispozitiv digital (fig. 3.4.b). Vernierul este o scară gradată suplimentară care mărește precizia de măsurare cu șublerul. Valoarea diviziunii vernierului este egală cu precizia de măsurare (pentru șublerul analogice). Rigla este, de obicei, gradată în milimetri (unele firme produc șublerul cu rigle gradate atât în milimetri, cât și în inch), cu valoarea diviziunii de 1 mm. Șublerul este prevăzută cu suprafețe de măsurare solidare cu rigla, respectiv cu cursorul, numite *ciocuri de măsurare*.

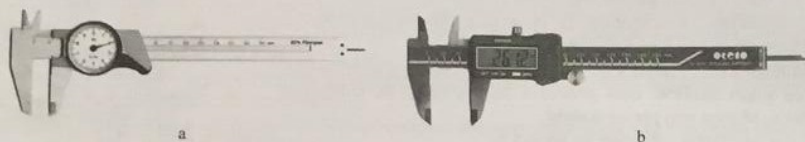


Fig. 3.4. Tipuri de șublere: a. - șubler cu cadran; b. - șubler digital.

Șublerele se clasifică după mai multe criterii:

➤ După destinație, șublerele pot fi: de exterior și interior, de adâncime și de trasaj.

În practică, se mai utilizează și diferite tipuri de șublere speciale: șublere pentru roți dințate (pentru măsurarea grosimii dinților roților dințate), șublere pentru canale (pentru măsurarea dimensiunilor canalelor), șublere de sudură (pentru măsurarea grosimii cordonului de sudură) etc.

➤ După limita superioară de măsurare L:

L = 150, 200, 300, 500, 800, 1.000, 1.500 și 2.000 mm.

➤ După valoarea diviziunii vernierului:

a) șublere cu valoarea diviziunii vernierului de 0,1 mm (10 diviziuni pe vernier);

b) șublere cu valoarea diviziunii vernierului de 0,05 mm (20 de diviziuni pe vernier);

c) șublere cu valoarea diviziunii vernierului de 0,02 mm (50 de diviziuni pe vernier);

Rețineți! - Valorile de mai sus sunt valabile pentru șublere analogice, numai acestea fiind standardizate.

Cele mai utilizate șublere sunt cele de exterior și interior, cu sau fără tijă de adâncime. Acestea se execută în diferite variante constructive: cu două ciocuri de măsurare, cu patru ciocuri, cu două ciocuri normale pentru exterior. În figura 3.5. sunt prezentate tipuri de suprafețe care pot fi măsurate cu acest tip de șubler.



Fig. 3.5. Tipuri de suprafețe care pot fi măsurate cu șublerul:
a. - suprafețe exterioare; b. - suprafețe interioare; c. - grosimi; d. - adâncimi; e. - gătuiri.

Părțile componente ale șublerului analogic de interior, de exterior și de adâncime sunt prezentate în figura 3.6.

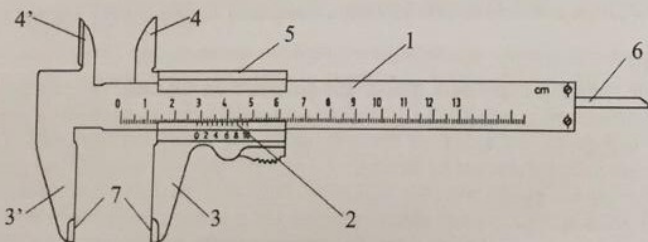


Fig. 3.6. Șubler de exterior, interior și adâncime: 1 - riglă; 2 - vernier; 3, 3' - ciocuri de exterior; 4, 4' - ciocuri de interior; 5 - cursor; 6 - tijă de adâncime; 7 - suprafețele de măsurare ale ciocurilor de exterior.

Șublerele cu precizia de 0,05 mm și, mai ales, cele de 0,02 mm sunt prevăzute cu un cursor suplimentar cu care se poate efectua o deplasare fină până la realizarea contactului corect dintre șubler și suprafața piesei.

Materialele utilizate pentru confecționarea șublerelelor sunt oțelurile de scule sau oțelurile inox.

Rugozitatea suprafeței de măsurare la ciocurile lungi este:

- $R_a = 0,4 \mu\text{m}$, la șublerele cu valoarea diviziunii de 0,1 mm și 0,05 mm;

- $R_a = 0,2 \mu\text{m}$, la șublerele cu valoarea diviziunii de 0,02 mm.

Măsurarea unei dimensiuni cu ajutorul șublerului analogic se realizează astfel:

- se aduc suprafețele de măsurare ale șublerului în contact cu piesa;
- se imobilizează subansamblul mobil cu ajutorul șurubului de fixare;
- se citește pe riglă numărul de milimetri aflat în stânga sau în dreptul reperului zero al vernierului;
- se caută pe vernier reperul care este în prelungirea unui reper de pe riglă;
- numărul de diviziuni corespunzător reperului de pe vernier se înmulțește cu valoarea diviziunii;
- valoarea măsurată este suma dintre numărul întreg de mm și produsul calculat mai sus.

În figura 3.7 este prezentat un exemplu de măsurare cu șublerul analogic. Vernierul are 50 de diviziuni și precizia șublerului este de 0,02 mm. Numărul întreg de mm citit pe riglă este 30; pe vernier, numărul reperului în prelungirea unui reper de pe riglă este 12. Valoarea măsurată este:

$$L = 30 \text{ mm} + 12 \cdot 0,02 \text{ mm} = 30,24 \text{ mm}$$

■ Micrometrul

Este un mijloc de măsurare a lungimii bazat pe folosirea unui mecanism șurub-piuliță care transformă mișcarea de rotație a unui șurub cu pas fin, numit șurub micrometric, într-o deplasare liniară a tijei. Pasul șurubului micrometric este de 0,5 mm sau de 1 mm.

Clasificarea micrometrelor se realizează după mai multe criterii:

➤ După destinație, micrometrele pot fi:

- de exterior (fig. 3.8.a.);
- de interior, tip vergea (fig. 3.8.b.) sau cu ciocuri;
- speciale: pentru roți dințate (fig. 3.8.c.), pentru filete, pentru țevi, pentru table, pentru sârme.

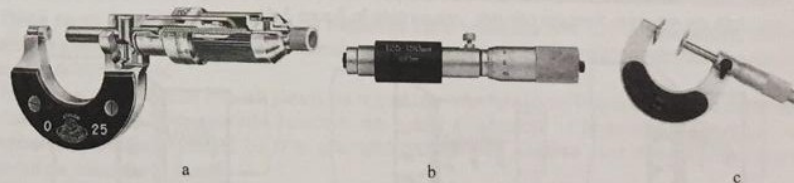


Fig. 3.8. Tipuri de micrometre

➤ După precizia de măsurare:

- micrometre de 0,01 mm;
- micrometre de 0,002 mm;
- micrometre de 0,001 mm.

➤ După varianta de afișare a rezultatului măsurării:

- digitale;
- analogice.

Cel mai utilizat tip de micrometru este cel de exterior și este format din următoarele părți componente: nicovală, tijă, braț cilindric gradat, tambur, potcoavă (fig. 3.9).

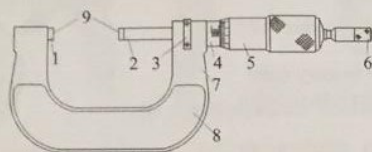


Fig. 3.9. Micrometru de exterior: 1 – nicovală; 2 – tijă; 3 – dispozitiv de blocare a tijei șurubului micrometric; 4 – bucuș gradat (braț cilindric gradat); 5 – tambur; 6 – dispozitiv de limitare a forței de măsurare; 7 – corp (nicovală); 8 – plăcuță izolatoare; 9 – suprafețe de măsurare.

În funcție de forma suprafețelor măsurate, se modifică construcția și forma suprafețelor de măsurare (a tijei și a nicovalei), așa cum se poate observa în figura 3.10.

Micrometrele de exterior se construiesc pentru următoarele limite de măsurare: 0 – 25 mm; 25 – 50 mm, ..., 475 – 500 mm.

Pe potcoava micrometrului sunt inscripționate intervalul de măsurare, precizia și temperatura optimă de lucru a micrometrului.

Pentru menținerea preciziei de măsurare, suprafețele de măsurare, numite și suprafețe active (capetele tijei, respectiv ale nicovalei) sunt durificate prin tratament termic sau prin placare cu materiale dure. Duritatea recomandabilă este de 60 HRC.

Pentru măsurare, se introduce piesa între cele două suprafețe de măsurare, sprijinind-o pe suprafața nicovalei. Se rotește șurubul micrometric până când suprafața de măsurare a tijei ia contact cu piesa, după care se continuă cu rotirea dispozitivului de limitare a apăsării.

Pe brațul cilindric se deosebesc două scări gradate, și anume:

- scara milimetrilor, cu diviziuni din milimetru în milimetru, numerotată din 5 în 5 mm;
- scara jumătăților de milimetru, cu diviziuni din milimetru în milimetru, nenumărată.

Pe întreaga circumferință tronconică a tamburului 5 din figura 3.9, sunt trasate 50 de diviziuni, la intervale egale, numerotate din 5 în 5, de la zero la 50.

La efectuarea măsurărilor cu micrometrul, se pot ivi trei situații de citire, în funcție de poziția tamburului față de reperele brațului cilindric, prezentate în figura 3.11.

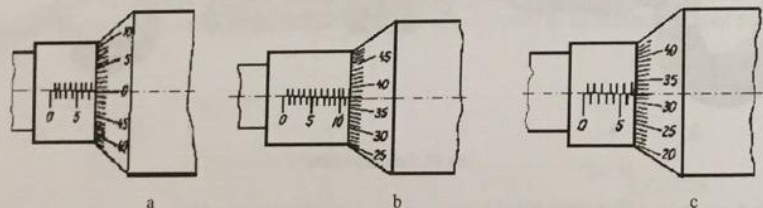


Fig. 3.11. Citirea micrometrului

a) tamburul este situat în dreptul unui reper de pe scara numerotată a brațului cilindric gradat (fig. 3.11.a.); în exemplul din figură, $L = 8$ mm;

b) tamburul este situat între un reper de pe scara numerotată și un reper de pe scara nenumărată a brațului cilindric gradat (fig. 3.11.b.); în acest caz, se adaugă la numărul întreg de mm citiți pe brațul cilindric valoarea obținută prin înmulțirea numărului de diviziuni de pe tambur cu valoarea diviziunii tamburului; în exemplul din figură, $L = 11$ mm + $0,38 \times 0,01$ mm = 11,38 mm;

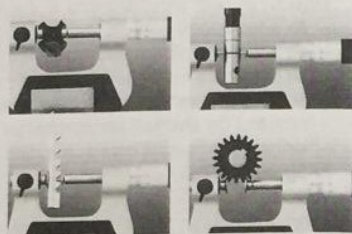


Fig. 3.10. Micrometre pentru măsurări exterioare

c) tamburul este situat între un reper de pe scara nenumărată și un reper de pe scara numerotată a brațului cilindric gradat (fig. 3.11.c.); în acest caz, se adaugă la numărul întreg de mm citiți pe brațul cilindric o jumătate de milimetru și valoarea obținută prin înmulțirea numărului de diviziuni de pe tambur cu valoarea diviziunii tamburului; în exemplul din figură, $L = 6$ mm + $0,5$ mm + $32 \times 0,01$ mm = 6,82 mm.

■ Comparatorul

Este utilizat pentru determinarea abaterii efective a dimensiunii măsurate, a abaterilor de formă geometrică și de poziție a suprafețelor, prin compararea dimensiunilor liniare ale piesei măsurate, în raport cu dimensiunea de comparație.

În afară de măsurarea abaterilor efective, comparatorul cu cadran servește la măsurători absolute ale unor dimensiuni mici sau ale unor deformații care nu depășesc limita de măsurare pe scara gradată.

Cele mai utilizate sunt comparatoarele mecanice cu valoarea diviziunii de 0,01 mm. Un astfel de comparator este prezentat în figura 3.12.

Măsurarea se face prin deplasarea tijei palpatorului cu cremalieră 1 și transmiterea mișcării la pinionul z_1 , apoi la roata dințată z_2 montată rigid pe același ax. Roata dințată z_2 angrenează cu pinionul z_3 , căruia îi transmite mișcarea de rotație; pe axul pinionului este fixat rigid acul indicator 2, care se rotește în fața scării gradate. Cursa moartă la mișcarea reversibilă a palpatorului cu cremalieră 1 este eliminată de roata dințată z_4 , pe al cărei arbore este fixat arcul spiral 3, care are rolul de a prelua jocul la flanc.

Pentru măsurare, comparatorul se fixează într-un suport (suport mecanic obișnuit, suport magnetic, dispozitive de control etc.). Reglarea la zero se realizează cu ajutorul unei cale plan-paralele sau al unui bloc de cale care materializează valoarea mărimii verificate.

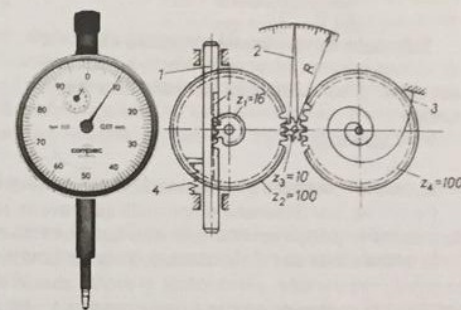


Fig. 3.12. Comparator mecanic

3.2. PRECIZIA DE PRELUCRARE. ABATERI ȘI TOLERANȚE

Orice piesă utilizată în construcția de mașini se caracterizează prin: formă geometrică, dimensiuni și abateri dimensionale, toleranțe la forma suprafețelor, toleranțe la poziția reciprocă a suprafețelor, toleranțe la dimensiuni.

Forma geometrică este impusă piesei, de regulă, de rolul funcțional în ansamblul sau subansamblul din care face parte. Dimensiunile rezultate din calcul și adoptate la proiectarea piesei se numesc **dimensiuni nominale** (notate cu N în exemplul de mai jos). Acestea sunt dimensiunile înscrise pe desenul de execuție al piesei.

Dimensiunile piesei obținute prin prelucrare și cunoscute prin măsurare se numesc **dimensiuni efective** (notate cu E în exemplul de mai jos). Imprecizia sistemelor de prelucrare conduce la apariția unor diferențe între dimensiunea nominală și dimensiunea efectivă. Această diferență se numește **abatere dimensională**.

Abaterea este diferența dintre o valoare oarecare și valoarea de referință a unei dimensiuni. Astfel, există:

- **abaterea efectivă** – diferența dintre dimensiunea efectivă și dimensiunea nominală.
 $A_{ef} = E - N$
- **abaterea limită superioară** – diferența dintre dimensiunea maximă și dimensiunea nominală.
 $A_s = L_{max} - N$

- **abaterea limită inferioară** – diferența dintre dimensiunea minimă și dimensiunea nominală.

$$A_i = L_{\min} - N$$

Exemplu: Notația $\Phi 45^{+0,010}_{-0,020}$ exprimă: diametrul nominal Φ este de 45 mm, abaterea superioară este de +0,010 mm, iar abaterea inferioară – 0,020 mm.

Toleranța se exprimă prin diferența dintre abaterea superioară și abaterea inferioară a unei dimensiuni (fig. 3.13).

Toleranța dimensională reprezintă intervalul de variație prescris dimensiunii efective, respectiv abaterea, și se calculează aplicând una dintre relațiile:

$$T = L_{\max} - L_{\min}$$

$$T = A_s - A_i$$

Exemplu: Toleranța dimensională din exemplul de mai sus este $T = +0,010 - (-0,020) = +0,030$ mm.

Pentru fiecare dimensiune nominală se prevede atât o gamă de toleranțe, cât și o gamă de abateri care definesc poziția acestor toleranțe față de limita zero.

În afara abaterilor dimensionale, în urma prelucrării apar și abateri de formă (de la rectilinitate, planitate, circularitate, cilindricitate și profil), abateri de orientare (de la paralelism, perpendicularitate, înclinare) și abateri de poziție (poziție nominală, concentricitate, coaxialitate, simetrie).

Toleranțele se prescriu în documentația tehnică numai dacă sunt indispensabile pentru asigurarea condițiilor de funcționare, de execuție, de interschimbabilitate etc.

Simbolurile toleranțelor de formă, poziție și orientare sunt specificate în **SR EN ISO 1101:2006, Specificații geometrice pentru produse. Tolerare geometrică** (tabelul 3.2).

Tabelul 3.2. Simbolurile caracteristicilor geometrice

Toleranțe	Caracteristici	Simbol
Forma	Rectilinitate	—
	Planeitate	□
	Circularitate	○
	Cilindricitate	⊗
	Profilul unei linii oarecare	∩
	Profilul unei suprafețe oarecare	∪
Oarecare	Paralelism	//
	Perpendicularitate	⊥
	Înclinare	∠
	Profilul unei linii oarecare	∩
	Profilul unei suprafețe oarecare	∪
Poziție	Poziție nominală	⊕
	Concentricitate (pentru centre)	⊙
	Coaxialitate (pentru axe)	⊗
	Simetrie	+
	Profilul unei linii oarecare	∩
	Profilul unei suprafețe oarecare	∪
Bătaie	Bătaie circulară	↗
	Bătaie totală	↗↘

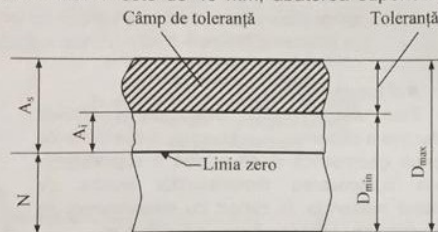


Fig. 3.13. Abateri dimensionale

Condițiile de toleranță sunt indicate într-un cadru dreptunghiular împărțit în două sau în mai multe căsuțe. Aceste căsuțe conțin:

- simbolul caracteristicii geometrice;
- valoarea toleranței în unitatea de măsură utilizată pentru cotă;
- litera care permite identificarea bazei de referință.

În figura 3.14 sunt date două exemple de notare a toleranțelor.

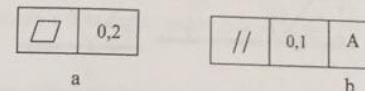


Fig. 3.14. Notarea toleranțelor:
a. – toleranța la planitate 0,2 mm;
b. – toleranța la paralelism 0,1 mm față de suprafața A.

Totalitatea condițiilor tehnice din desenul de execuție prevăzute de proiectant definesc precizia pentru piesă. Piesa din desenul de execuție definită prin dimensiunile nominale, abaterile dimensionale, de formă și de poziție ale suprafețelor reprezintă modelul geometric ideal. Realizarea în producție a acestui model este imposibilă, din cauza factorilor care însoțesc procesul de așchiere și al impreciziei sistemului tehnologic.

Gradul de concordanță dintre piesa obținută după prelucrare și piesa ideală din desenul de execuție definește **precizia de prelucrare**.

Precizia de prelucrare se stabilește prin măsurarea dimensiunilor și prin verificarea abaterilor de formă și poziție cu mijloace adecvate (șubler, micrometru, comparator etc.). Se consideră că o piesă este bună pentru asamblare dacă dimensiunile obținute prin măsurare (dimensiunile efective) se încadrează între dimensiunile maxime și minime prevăzute în desenul de execuție și dacă abaterile efective de formă și poziție a suprafețelor se încadrează în cele indicate în desen.

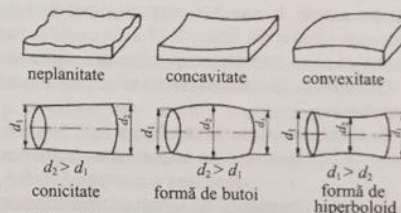


Fig. 3.15. Abateri macrogeometrice: a. – abateri de la planitate; b. – abateri de la circularitate.

Abaterile geometrice ale suprafețelor pot fi **macroabateri** sau **microabateri** (respectiv abateri macrogeometrice și abateri microgeometrice).

Abaterile macrogeometrice (fig. 3.15) sunt abaterile de înălțime mică și pas foarte mare. Astfel, pentru suprafețele plane, aceste abateri pot fi: **neplanitatea**, **convexitatea**, **concavitatea**, iar pentru suprafețele cilindrice, **conicitatea**, **forma de butoi**, **forma de hiperboloid**.

În figura 3.16 este dat un exemplu de înscriere pe desen a toleranței la circularitate.

Interpretare: în fiecare secțiune dreaptă, diametrul exterior al piesei trebuie să fie cuprins între două cercuri coplanare și concentrice, cu diferența radială de 0,1 mm.

Abaterile microgeometrice sunt microasperități (neregularități) care imprimă suprafeței un aspect rugos.

Rugozitatea este ansamblul neregularităților unei suprafețe și reflectă calitatea acesteia la nivel microgeometric. Se exprimă în micrometri și se poate aprecia cantitativ cu următorii parametri:

- abaterea medie aritmetică a neregularităților, R_a ;
- înălțimea medie a neregularităților, R_z ;
- înălțimea maximă a neregularităților, R_y .

Valorile numerice ale parametrilor R_a și R_z se găsesc în standarde.

Pentru înscrierea stării suprafeței pe desenele de execuție ale pieselor, se utilizează simbolul de bază din figura 3.17.a, format din două brațe inegale, înclinate la aproximativ 60° față de linia care reprezintă suprafața considerată a piesei.

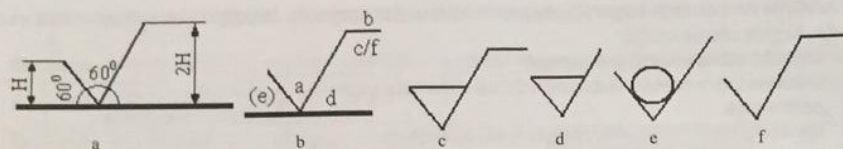


Fig. 3.17. Înscriserea stării suprafețelor

Când sunt necesare și alte prescripții în afară de valoarea rugozității, acestea se indică conform notațiilor din figura 3.17.b., astfel:

- a – valoarea rugozității precedată de simbolul corespunzător (R_a , R_z sau R_y);
- b – procedeul tehnologic utilizat (strunjit fin, călit, rectificat etc.);
- c – înălțimea undulației;
- d – tipul de neregularități ale suprafeței (de exemplu, paralele cu planul de proiecție a suprafeței pe care figurează simbolul sau perpendiculare pe acest plan);
- e – valoarea adaosului de prelucrare;
- f – valoarea rugozității diferite de R_a , precedată de notația corespunzătoare.

În cazul obligativității prelucrării suprafeței prin îndepărtare de material, simbolul arată ca în figura 3.17.c sau ca în figura 3.17.d., pentru situația în care urmează să se completeze linia orizontală cu alte prescripții. În cazul în care este interzisă prelucrarea suprafeței prin îndepărtare de material, se folosește notația din figura 3.17.e. În cazul în care nu există niciun fel de indicație referitoare la modul de prelucrare a suprafeței, se folosește simbolul din figura 3.17.f.

Observație: Simbolurile se trasează cu linie de aceeași grosime cu cea utilizată pe desenul respectiv pentru cote.

Exemplu: simbolurile din figura 3.18 înscrise pe un desen de execuție pe suprafețele unei piese se citesc astfel:
a. – rugozitatea suprafeței $R_a = 6,3 \mu\text{m}$, obținută prin așchiere; b. – rugozitatea suprafeței $R_a = 1,6 \mu\text{m}$, obținută prin strunjire fină.

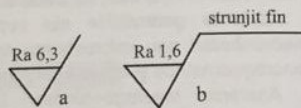


Fig. 3.18. Rugozitatea suprafețelor

3.3. MĂSURAREA ȘI CONTROLUL DIMENSIUNILOR UNGHIURILOR

Piesele utilizate în construcția de mașini pot avea suprafețe înclinate sub diferite unghiuri, ale căror valori sunt indicate pe desene.

Unghiul plan este format de două drepte concurente; el este definit ca raportul dintre lungimea arcului subîntins de unghi într-un cerc cu centrul în punctul de intersecție al dreptelor și raza cercului $\alpha = l/r$ (fig. 3.19).

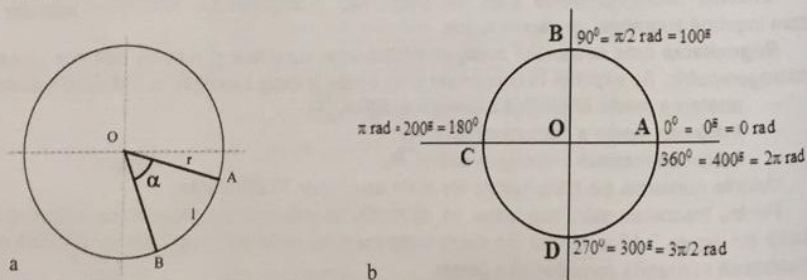


Fig. 3.19. Unghiul plan: a. – definire; b. – cercul unghiurilor plane.

În SI, unitatea de măsură pentru unghiul plan este radianul, simbol rad.

Radianul reprezintă unghiul plan având vârful în centrul unui cerc care subîntinde pe circumferință un arc a cărui lungime este egală cu raza cercului.

Pentru măsurarea unghiului plan, în afara SI sunt utilizate și alte unități de măsură:

– gradul sexagesimal, notat °:

$$1^\circ = \pi/180 \text{ rad}$$

Gradul sexagesimal are ca submultipli minutul sexagesimal (simbol ') și secunda sexagesimală (simbol '')

$$1^\circ = 60'; 1' = 60''$$

– gradul centesimal, numit și gon, notat °:

$$1^\circ = \pi/200 \text{ rad}$$

Gradul centesimal are ca submultipli minutul centesimal (simbol c) și secunda centesimală (simbol cc):

$$1^\circ = 100c; 1c = 100cc$$

Relația dintre cele trei unități de măsură pentru unghiul plan este pusă în evidență cu ajutorul cercului din figura 3.19.b.

Măsurarea și verificarea unghiurilor se realizează utilizând diverse mijloace de măsurare (fig. 3.20):

- cu măsurători unghiulare (cale unghiulare, echer, șabloane, calibre);
- cu instrumente și aparate pentru măsurarea directă a unghiurilor (raportoare, nivele, microscopie etc.);
- cu instrumente și aparate pentru măsurarea indirectă a unghiurilor prin metode trigonometrice (rigla de sinus, rigla de tangentă etc.).

Calele unghiulare sunt măsurători terminale pentru unghiuri și au formă de plăci prismatice triunghiulare cu un singur unghi activ sau de plăci prismatice dreptunghiulare cu toate unghiurile active (fig. 3.20.c). Acestea se utilizează pentru verificarea echerelor și a șabloanelor, pentru reglarea și verificarea raportoarelor, precum și pentru măsurarea unghiurilor de precizie mare la piese obișnuite.

Prin adăpare se pot forma blocuri de cale al căror unghi este egal cu suma unghiurilor calelor componente, folosind diferite accesorii pentru fixarea acestora.

Verificarea unghiurilor cu ajutorul calelor se face fie prin metoda fantei de lumină, fie prin metoda determinării abaterii la paralelism dintre suprafața piesei și suprafața de măsurare a calei. Dacă fanta de lumină dintre fața calei și suprafața piesei se formează la baza calei, atunci unghiul calei este mai mic decât unghiul piesei. Dacă fanta se formează la vârf, atunci unghiul calei este mai mare decât unghiul piesei.

Echerele sunt măsurători unghiulare cu valoare unică, utilizate la măsurarea, verificarea și trasarea unghiurilor exterioare și interioare.

Ele au două unghiuri active (interior și exterior) de 45°, 60°, 90°, 120°.

Cele mai des folosite sunt echerle cu unghiuri active de 90° (fig. 3.20.a.).

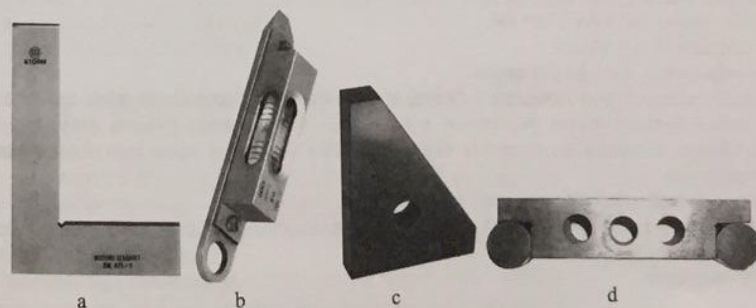


Fig. 3.20. Mijloace de măsurare și verificare pentru unghiuri: a. – echer; b. – nivelă; c. – cală unghiulară; d. – rigla de sinus.

Raportoarele sunt instrumente cu care se măsoară direct mărimea unghiului. După soluția constructivă, raportoarele pot fi:

- mecanice simple, cu scara gradată în 180 de diviziuni, cu valoarea de 1°;
- mecanice cu vernier, la care precizia de măsurare poate fi de 5' sau de 2';
- optice.

În domeniul industrial, cele mai utilizate raportoare sunt cele mecanice cu vernier.

În general, un raportor (fig. 3.21) se compune dintr-un sector gradat fix (1), pe care se montează o riglă (2), solidară cu vernierul (4), care se rotește în jurul unei articulații. Raportorul din figura 3.21 are scara gradată în 180 de diviziuni, cu valoarea diviziunii 1°, iar vernierul are 30 de diviziuni, cu valoarea diviziunii 2'.

Citirea valorii unghiului se realizează asemănător cu cea de la sublerul analogic: se citește numărul întreg de grade, pe sectorul (1), în stânga reperului zero de pe vernier și se adună cu numărul de minute, citit pe vernier, rezultat din înmulțirea numărului de ordine de pe vernier al unui reper care se află în prelungirea unui reper de pe sectorul (1), cu valoarea diviziunii vernierului (2).

Nivelele sunt utilizate pentru determinarea abaterilor de la poziția orizontală sau verticală, pentru reglarea la poziția orizontală sau sub un anumit unghi, pentru reglarea poziției mai multor suprafețe la același nivel.

Pe tubul de sticlă este trasată o scară gradată; când nivela este în poziție orizontală, bula de aer se află la mijlocul scării. Nivelele se execută cu valoarea diviziunii de la 4' la 1'.

Determinarea măsurii unghiului se face relativ la o suprafață de referință.

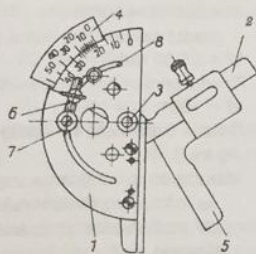


Fig. 3.21. Raportor mecanic cu vernier:
1 - semidis; 2 - riglă; 3 - articulație;
4 - vernier; 5 - riglă; 6, 7 - șuruburi.

3.4. MĂSURAREA ȘI CONTROLUL SUPRAFEȚELOR

Măsurarea suprafețelor vizează măsurarea cantitativă a suprafeței. Controlul suprafețelor vizează determinarea abaterilor macrogeometrice (abaterile) și microgeometrice (rugozitatea) ale suprafețelor pieselor și compararea acestora cu valorile impuse de rolul funcțional al pieselor.

Aria reprezintă valoarea numerică a unei suprafețe în SI și se exprimă în metru pătrat, simbol m². Cei mai utilizați multipli și submultipli ai metrului pătrat sunt kilometrul pătrat (km²), decimetrul pătrat (dm²), centimetrul pătrat (cm²) și milimetrul pătrat (mm²).

În afara SI, aria se poate exprima în:

- hectar, simbol ha; 1 ha = 10⁴ m²;
- ar, simbol a; 1 a = 10² m².

Pentru măsurarea ariei, se pot aplica:

- metoda indirectă, prin măsurarea directă a dimensiunilor și calcularea ariei, aplicând formula de calcul conform formei geometrice a suprafeței; aria se poate măsura indirect și în cazul suprafețelor compuse din suprafețe elementare, aria fiind suma ariilor suprafețelor elementare componente;
- metoda directă, prin utilizarea unor aparate numite planimetre.

Planimetrele sunt utilizate pentru măsurarea ariilor suprafețelor neregulate (hărți, planuri topografice, diagrame).

3.5. MĂSURAREA ȘI CONTROLUL VOLUMELOR

Volumul reprezintă proprietatea unui corp de a ocupa un loc în spațiu. Volumul este o mărime măsurabilă deoarece se poate determina cantitativ. În SI, unitatea folosită pentru măsurarea volumului este metrul cub (m³). Volumul ocupat de un lichid este numit **capacitate**. Pentru măsurarea capacității se mai folosește litrul (l), definit ca volumul ocupat de 1 kg de apă cu densitatea maximă (la 4 °C), în vid, la nivelul mării și la 45° latitudine. Relația dintre litru și metru cub este:

$$1 \text{ l} = 1,000028 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \approx 10^{-3} \text{ m}^3$$

Multiplii și submultiplii metrului cub și ai litrului sunt prezentați în tabelul 3.3.

Tabelul 3.3. Unități de volum și de capacitate

1 litru = 10 ⁻³ m ³							
Denumire	Simbol	Multipli și submultipli	Relații de echivalență	Denumire	Simbol	Multipli și submultipli	Relații de echivalență
metru cub	m ³	km ³	10 ⁹ m ³	litru	l	kl	10 ³ l
		hm ³	10 ⁶ m ³			hl	10 ² l
		dam ³	10 ³ m ³			dal	10 l
		m ³				l	
		dm ³	10 ⁻³ m ³			dl	10 ⁻¹ l
		cm ³	10 ⁻⁶ m ³			cl	10 ⁻² l
mm ³	10 ⁻⁹ m ³	ml	10 ⁻³ l				

Volumul este derivat din lungime, mărime fundamentală în SI.

Pentru corpurile solide cu forme regulate, volumul se poate determina cu ajutorul mijloacelor de măsurat lungimi, utilizând calculele din geometria în spațiu. Pentru unele corpuri cu forme neregulate, volumul se poate determina prin scufundare în lichidul din recipiente gradate.

Lichidele iau forma vaselor ce le conțin, astfel că volumul acestora se măsoară cu ușurință dacă se utilizează recipiente gradate. Pentru vase se definește capacitatea, ca volum de lichid conținut.

► Metode de măsurare a volumului

• Metode indirecte

- *Metoda geometrică* presupune utilizarea calculelor din geometria în spațiu. De exemplu, volumul piesei din figura 3.22 se poate calcula prin descompunerea în două corpuri uzuale: un paralelipiped și o prismă dreaptă. Dimensiunile a, b, c, d se determină cu mijloace de măsurare pentru lungimi.

Volumul total = Volum paralelipiped (V₁) + Volum prismă (V₂)

V₁ = abc - volumul paralelipipedului;

V₂ = 1/2 ab (d - c) - volumul prisme.

- *Metoda gravimetrică* aplică relația dintre densitate (ρ), masă (m) și volum (V):

$$V = m/\rho.$$

Masa se determină prin cântărire, iar valoarea densității se alege din tabele, în funcție de material.

• Metode de comparație

Se bazează pe compararea volumului de lichid care trebuie determinat cu o măsură etalon. Majoritatea mijloacelor de măsurare a volumului se bazează pe metoda de comparație.

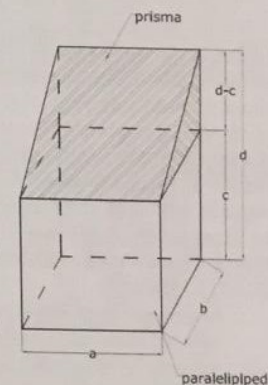


Fig. 3.22. Măsurarea volumului prin metode geometrice

► Mijloacele de măsurare a volumului lichidelor și a gazelor

a) **Măsurile din sticlă** (fig. 3.23) sunt mijloacele de măsurare cele mai utilizate pentru determinarea volumului lichidelor. În practica de laborator și în tehnica medicală se folosesc următoarele măsurii: baloane cotate, cilindri gradați, pipete, biurete, seringi și dozatoare de laborator, butiometre, fiole și eprubete.

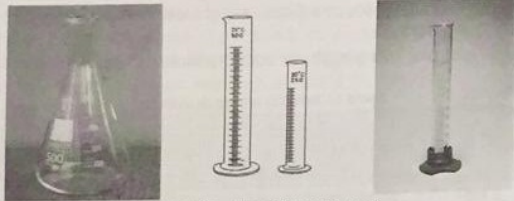


Fig. 3.23. Măsurile din sticlă pentru volume

- **Baloanele cotate** sunt vase pentru umplere, au fundul plat, gât lung și dop rotat. Pe gâtul balonului se marchează un semn circular care indică limita de umplere pentru volumul scris pe balon.
- **Cilindrii gradați** sunt vase pentru umplere mult mai puțin precise decât baloanele și de aceea se folosesc numai pentru măsurători aproximative. Aceștia au diverse capacități: de 10, 25, 100, 250 ml și mai mare. Pe suprafața lor sunt marcate volumul nominal și diviziuni ale acestuia.
- **Pipetele** (fig. 3.24) sunt vase pentru golire utilizate pentru măsurarea cantităților mici de lichid și pot fi de două categorii:
 - pipete fără gradații intermediare, cu care se poate măsura volumul înscris pe aceasta;
 - pipete cu gradații intermediare care pot măsura și volume mai mici decât cel înscris și care sunt gradate în mililitri și în fracțiuni de mililitru.

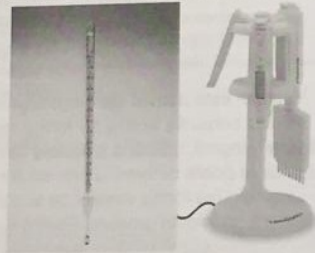


Fig. 3.24. Pipete

Pentru a măsura cu pipeta un anumit volum, se introduce vârful pipetei în lichid și se aspiră până când lichidul depășește gradația. Se astupă cu degetul arătător, umezit în prealabil, se șterge vârful pipetei cu hârtie de filtru și apoi se lasă să se scurgă lichidul până când marginea inferioară a meniscului este tangentă la semn. Se aduce apoi pipeta cu vârful atingând peretele interior al vasului în care urmează să se introducă lichidul măsurat și se lasă să se scurgă liber. După 15-20 secunde, se trage încet vârful de-a lungul vasului, fără a se sufla lichidul care a rămas. Pipetele au capacități de 1, 2, 5, 10, 20, 25, 50 și 100 ml.

- **Biuretele** (fig. 3.25) sunt utilizate în laborator pentru determinarea volumelor mici de lichid prin golire. Sunt alcătuite dintr-un tub gradat care la partea inferioară are un dispozitiv cu ajutorul căruia se poate închide sau regla curgerea lichidului.

• **Seringile** sunt destinate injectării de substanțe medicamentose în organisme vii. Seringile de unică folosință se execută din masă plastică.

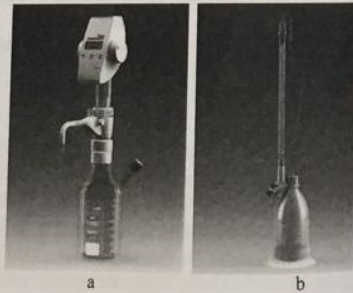


Fig. 3.25. Tipuri de biurete:
a. – biureta digitală; b – biureta Schilling.

- **Butiometrele** (fig. 3.26) sunt utilizate pentru stabilirea conținutului de grăsimi din produsele lactate.
- **Fiolele** (fig. 3.27) sunt utilizate în industria petrolieră și pot fi:
 - fiole gradate, utilizate pentru determinarea cantității de impurități din produsele petroliere, care se separă prin centrifugare;
 - fiole colectoare de apă, folosite pentru măsurarea cantității de apă din produsele petroliere.
- b) **Măsurile metalice** sunt utilizate pentru măsurarea capacității lichidelor alimentare, a alcoolului și a produselor petroliere.
- c) **Instalațiile pentru distribuirea carburanților** (fig. 3.28) se folosesc pe scară largă în industrie. Din această categorie fac parte:
 - cisternele auto, utilizate pentru transportul auto al lichidelor în vederea aprovizionării rezervoarelor fixe;
 - cisternele-vagon, utilizate pentru transportul lichidelor pe cale ferată, pentru aprovizionarea rezervoarelor fixe; din punct de vedere constructiv, sunt asemănătoare cisternelor auto;
 - rezervoarele, utilizate pentru depozitarea fluidelor; volumul acestora se determină prin calibrare la umplere și la golire sau prin metode geometrice.

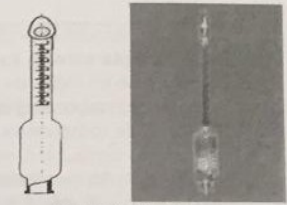


Fig. 3.26. Butiometre

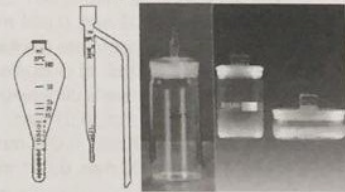


Fig. 3.27. Fiole

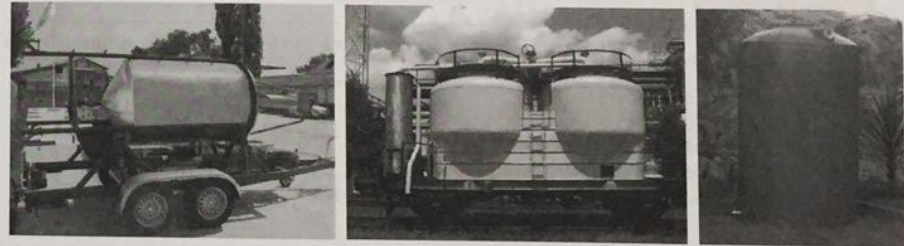


Fig. 3.28. Instalații pentru distribuirea carburanților

Aplicații

- 1 Definește unitatea de măsură a lungimii.
- 2 Clasifică mijloacele de măsurare a lungimii după complexitate.
- 3 Descrie celele plan-paralele.
- 4 Enumeră măsurile terminale pentru lungime.
- 5 Clasifică șublerile după destinație.
- 6 Clasifică micrometrele după destinație.
- 7 Definește noțiunile de dimensiune nominală, dimensiune efectivă, abatere superioară, abatere inferioară și toleranță.
- 8 Precizează care este scopul utilizării aparatelor comparatoare.
- 9 Enumeră principalele componente ale raportorului mecanic cu vernier.
- 10 Explică ce este vernierul.

LUCRAȚI INDIVIDUAL!

I. Alege varianta corectă de răspuns, indicând litera corespunzătoare.

- Șublerul este un mijloc de măsurare pentru:
 - masă; b) lungime; c) timp.
- Printre părțile componente ale șublerului se numără și:
 - nicovala; b) tamburul; c) vernierul.
- Precizia de măsurare a dimensiunilor cu șublerul analogic poate fi de:
 - 0,1 mm; 0,05 mm; 0,02 mm;
 - 0,01 mm; 0,02 mm; 0,001 mm;
 - 0,01 mm; 0,002 mm; 0,001 mm.
- Printre părțile componente ale micrometrului se numără și:
 - tamburul; b) cursorul; c) ciocurile de măsurare.
- Precizia de măsurare a dimensiunilor cu micrometrul poate fi de:
 - 0,2 mm; 0,05 mm; 0,01 mm;
 - 0,01 mm; 0,02 mm; 0,001 mm;
 - 0,01 mm; 0,002 mm; 0,001 mm.

II. Transcrie litera corespunzătoare fiecărui enunț și stabilește valoarea de adevăr a fiecărui enunț. Atribuie valoarea 1 pentru enunțurile adevărate și valoarea 0 pentru enunțurile false.

- Unitatea de măsură pentru volum, în SI, este litrul.
- Relația dintre unitatea de capacitate și volum este: $1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3$.
- Butirometrele sunt utilizate pentru determinarea volumelor mici de lichide prin golire.
- Volumul ocupat de un lichid este definit prin capacitate.
- Rezervoarele sunt utilizate pentru transportul lichidelor.

III. Scrie, pe caiet, informația corectă care completează spațiile libere din enunțurile de mai jos.

- Capacitatea se măsoară în ...
- Pipetele sunt utilizate pentru măsurarea ... de lichid.
- Măsurile din sticlă sunt ... volumului lichidelor.
- Metoda gravimetrică utilizează relația dintre densitate, ... și ...
- Volumul rezervoarelor metalice se determină prin metoda ...





LUCRAȚI ÎN ECHEPE!

I. Formați echipe alcătuite din câte trei elevi.

Calculați volumul unei carcase PC folosind metoda geometrică.

- Comparați rezultatele obținute cu cele ale celorlalte echipe.
- Precizați cauzele care au dus la obținerea unor rezultate diferite.

II. Formați echipe alcătuite din câte doi elevi. Fiecare dintre voi trebuie să precizeze litera corespunzătoare variantei corecte de răspuns:

- Metru este unitatea de măsură fundamentală pentru:
 - acelerație; b) viteză; c) lungime; d) densitate.
- Dimensiunea efectivă a unei piese poate fi determinată cu:
 - micrometrul; b) termometrul; c) tahometrul; d) manometrul.
- Simbolul grafic al toleranței de la circularitate este:
 -  b)  c)  d) 

- Ruleta este:
 - măsură terminală; b) măsoară cu repere; c) aparat de măsură; d) sistem de măsurare.
- Un micrometru este egal cu:
 - 10^3 m ; b) 10^3 mm ; c) 10^{-6} m ; d) 10^{-3} m .
- Printre părțile componente ale șublerului de exterior, interior și adâncime se numără și:
 - nicovala; b) cursorul; c) șurubul micrometric; d) tamburul.
- Calibrele-inel sunt utilizate pentru:
 - verificarea diametrelor arborilor; b) verificarea diametrelor alezajelor;
 - măsurarea diametrelor arborilor; d) măsurarea diametrelor alezajelor.
- Lerele de grosime sunt utilizate pentru:
 - măsurarea interstițiilor; b) măsurarea lungimii pieselor;
 - reglarea comparatoarelor; d) verificarea lungimii arborilor.
- Pentru alezajul $\phi 20_{0}^{+0,020} \text{ mm}$, toleranța are valoarea:
 - 20 mm; b) 0,020 mm; c) 0 mm; d) - 0,020 mm.
- Rugozitatea unei suprafețe se exprimă în:
 - m; b) mm; c) cm; d) μm .

Utilizând informațiile prezentate în acest capitol, corecți lucrarea colegului și notați în tabel rezultatele obținute.

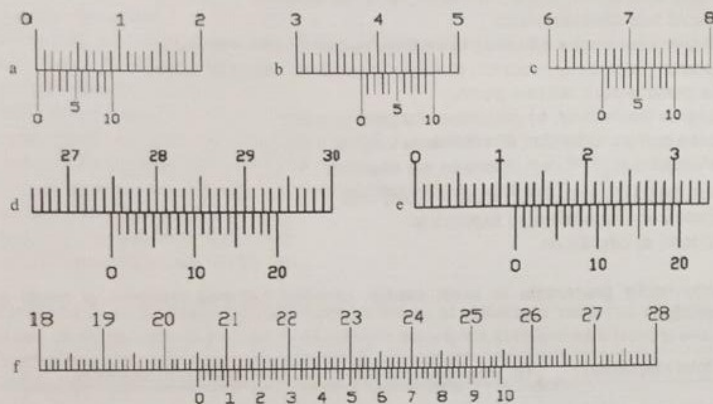
Nr. total răspunsuri	Nr. răspunsuri corecte	Nr. răspunsuri incorecte
10		

FIȘA DE LUCRU 1

- Determină volumul unui vas de formă cubică cu pereți subțiri, care are perimetrul bazei de 250 cm.
- Așază în ordine crescătoare următoarele volume:
 $V_1 = 40.000 \text{ cm}^3$; $V_2 = 35 \text{ dm}^3$; $V_3 = 300 \text{ m}^3$; $V_4 = 200.000 \text{ mm}^3$; $V_5 = 50 \text{ l}$.
- Formează multiplii și submultiplii metrului pătrat.
- Efectuează transformările:
 - 58 km = ... dam
 - 0,02 μm = ... mm
 - 2,54 cm = ... mm
 - 0,500 m = ... mm
 - 120 m^2 = ... dm^2
 - 2000 mm^2 = ... m^2
 - 30° = ... rad
 - $\pi/4 \text{ rad}$ = ... °
 - 45° = ... g
- Rezolvă cerințele de mai jos.
 - Definește noțiunea de volum.
 - Indică metodele de măsurare a volumului.
 - Enumeră minimum trei măsuri pentru determinarea volumului de lichid, utilizate în laboratorul de chimie.
 - Clasifică metodele indirecte de măsurare a volumului.
 - Indică două tipuri de instalații utilizate pentru distribuirea carburanților.

FIȘĂ DE LUCRU 2

Stabilește precizia de măsurare cu șublerul și valorile indicate pentru fiecare caz prezentat în figurile de mai jos.



FIȘĂ DE LUCRU 3

Pentru mijlocul de măsurare reprezentat în figura alăturată, precizează:

- denumirea;
- mărimea fizică măsurată;
- precizia de măsurare;
- unitatea de măsură în SI a mărimii fizice măsurate;
- o unitate de măsură în afara SI pentru mărimea fizică măsurată;
- denumirea părților componente numerotate.



TEST DE EVALUARE

SUBIECTUL 1

I. Pentru fiecare dintre cerințele de mai jos, scrie litera corespunzătoare răspunsului corect.

- Micrometrele pot avea precizia de măsurare de:
 - 0,001 mm;
 - 0,1 mm;
 - 0,02 mm;
 - 0,05 mm.
- Șublerile analogice pot avea precizia de măsurare de:
 - 0,001 mm;
 - 0,1 mm;
 - 0,002 mm;
 - 0,005 mm.
- Unitatea de măsură cu simbolul μm se citește:
 - milimetru;
 - micrometru;
 - nanometru;
 - megametru.
- Calibrul-potcoavă este:
 - măsură terminală;
 - măsură cu repere;
 - instrument de măsură;
 - aparat de măsură.

5. Unitatea de măsură în SI pentru unghiul plan este:

- gradul sexagesimal;
- gradul centesimal;
- radianul;
- steradianul.

II. Transcrie, pe caiet, litera corespunzătoare fiecărui enunț (a, b, c, d, e) și notează în dreptul ei litera A, dacă apreciezi că enunțul este adevărat, sau litera F, dacă apreciezi că enunțul este fals.

- Lerele sunt măsuri de lungime cu repere.
- Pe măsurile cu repere nu sunt trasate scări gradate.
- Șublerile cu precizia de 1/10 mm au valoarea diviziunii vernierului de 0,05 mm.
- Vernierul este o scară gradată suplimentară care mărește precizia de măsurare cu șublerul sau cu raportorul mecanic.
- Verificarea unghiurilor cu ajutorul calelor se poate face prin metoda fantei de lumină.

SUBIECTUL 2

1. Efectuează transformările:

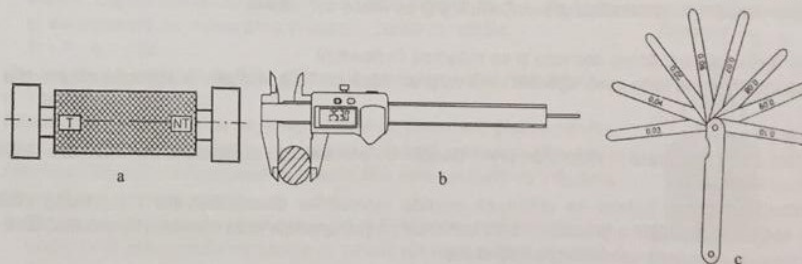
- $0,012 \text{ mm} = \dots \mu\text{m}$
- $15 \text{ dam}^2 = \dots \text{km}^2$
- $500 \text{ m}^3 = \dots \text{cm}^3$

2. Explică notația $\Phi 40^{+0,020}_{-0,010}$. Calculează dimensiunile limită și toleranța piesei notată astfel.

3. Calculează volumul unui corp din oțel cu masa de 0,300 kg, cunoscând că densitatea oțelului este $\rho_{\text{oțel}} = 7\,860 \text{ kg/m}^3$.

SUBIECTUL 3

- Pentru mijloacele de măsurare reprezentate schematic în figurile a, b și c, precizează denumirea și destinația.
- Pentru mijlocul de măsurare reprezentat în figura b, enumeră oricare 5 dintre părțile componente.



CAPITOLUL 4

MĂSURAREA MĂRIMILOR MECANICE

4.1. MĂSURAREA FORȚELOR

4.1.1. CONSIDERAȚII TEORETICE

Noțiunea de forță apare ca urmare a interacțiunii mecanice dintre corpuri.

Forța este o mărime vectorială caracterizată de următoarele elemente:

- mărimea forței - valoarea numerică a acesteia;
- suportul forței - dreapta pe care este așezat vectorul;
- sensul forței;
- punctul de aplicație al forței.

Prin aplicarea unei forțe asupra unui corp, acestuia i se imprimă o accelerație. Forța are mărimea egală cu produsul dintre masa m a corpului și accelerația a imprimată acestuia. Se calculează cu relația:

$$F = m \cdot a$$

Măsurarea forțelor prezintă un interes deosebit în multe ramuri ale industriei (construcții de mașini, industria textilă, construcții civile și industriale etc.), unde sunt necesare dimensionări juste ale pieselor componente ale unui ansamblu, în vederea determinării cât mai exacte a rezistenței pieselor supuse la diferite solicitări.

Forțele cele mai întâlnite sunt greutatea corpurilor. Conform relației de mai sus, greutatea se poate exprima în funcție de accelerația gravitațională g și de masa corpului m :

$$G = m \cdot g$$

În SI, forța este o mărime derivată și se măsoară în newtoni.

Newtonul [N] este forța care, aplicată unui corp cu masa de 1 Kg, îi imprimă acestuia accelerația de 1 m/s^2 .

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$$

Forțele pot fi măsurate în laborator, prin măsurări de precizie sau cu aparate de măsurare utilizate în aplicații industriale.

Pentru măsurarea forțelor se utilizează metoda încercărilor dinamometrelor cu greutateți etalon. Pentru aplicarea manuală a greutateților s-au construit mașini speciale care constau, în general, dintr-un jug pe care se plasează succesiv greutateți etalon.

4.1.2. CLASIFICAREA DINAMOMETRELOR

În laborator se folosesc aparate numite **dinamometre**, care pot fi: mecanice, hidraulice sau electromecanice.

- **Dinamometrele mecanice** funcționează pe principiul măsurării deformației unui element elastic (bară, element inelar, arc elicoidal sau în foi) sub acțiunea unei forțe și au o construcție simplă. Elementul principal este elementul elastic, de un anumit profil, care se deformează sub acțiunea forței de măsurat. Deformația elastică este indicată de un dispozitiv numit **extensometru**, care poate fi mecanic, optic, optico-mecanic sau electric.

Elementul elastic sub formă de arc elicoidal (fig. 4.1) se poate folosi pentru valori ale forței mai mici de 3.000 N.

Elementul elastic sub formă de bară (fig. 4.2) poate avea secțiunea plină sau inelară și asigură o solicitare axială și uniformă întregului material. Dezavantajul acestui tip de dinamometru constă în faptul că deformațiile barei sunt foarte reduse, motiv pentru care se utilizează un extensometru de sensibilitate mai mare.

Elementul elastic sub formă de inel (fig. 4.3) poate fi folosit la solicitări de compresiune sau la tracțiune, în funcție de construcția lui.



Fig. 4.1. Elemente elastice sub formă de arc elicoidal

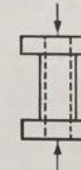


Fig. 4.2. Element elastic sub formă de bară



Fig. 4.3. Element elastic sub formă de inel

Cel mai simplu dinamometru este cel prezentat în figura 4.4, a cărui funcționare se bazează pe deformarea elastică a două arcuri. Forța este preluată de două arcuri, unul inelar și celălalt lamelar, care lucrează în paralel. Deformarea elastică se poate măsura cu ajutorul unui comparator cu cadran, cu valoarea diviziunii de 0,01 mm sau de 0,001 mm.

- **Dinamometrele hidraulice** sunt aparate cu precizie de măsurare mai scăzută decât dinamometrele cu element elastic. Ele se utilizează pentru măsurarea forțelor mari și se bazează pe măsurarea presiunii, conform relației: $F = P \cdot A$, unde:

P - presiunea produsă de fluid, măsurată cu ajutorul unui manometru;

A - suprafața pistonului.

Dinamometrele hidraulice se compun dintr-un ansamblu piston-cilindru umplut cu lichid și un manometru cu care se măsoară presiunea (fig. 4.5).

Precizia scăzută a dinamometrelor hidraulice este cauzată de influența frecărilor dintre piston și cilindru.

- **Dinamometrele electromecanice** (fig. 4.6) folosesc traductoare care transformă deformațiile mecanice în variații ale unor mărimi electrice.

Traductoarele electrice utilizate sunt capabile să convertească efectul aplicării unei forțe, cum ar fi deformarea elementului elastic în mărimi electrice.

Pentru determinarea greutateții cu dinamometrul mecanic cu element elastic sub formă de arc elicoidal se parcurg următoarele etape:

- se atârână de cârligul dinamometrului corpuri identice, confecționate din materiale diferite;
- se citește valoarea măsurată pe scala gradată;
- se compară rezultatele; greutatea corpurilor atârinate reprezintă forța cu care se deformează resortul și care produce deplasarea acului indicator de-a lungul scării gradate.

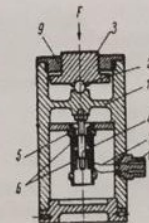


Fig. 4.6. Dinamometru electromecanic: 1 - cilindru cu membrană; 2 - bilă; 3 - element de prelucrare a forței; 4 - armătură mobilă; 5 - armătură fixă; 6 - înfășurări ale bobinei; 7 - conductoare; 8 - racord; 9 - capac.

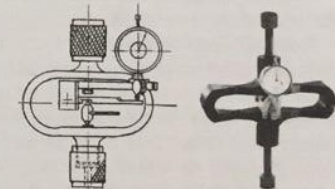


Fig. 4.4. Dinamometru cu două elemente elastice cu comparator

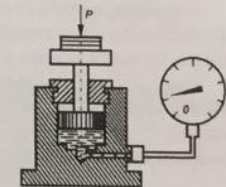


Fig. 4.5. Dinamometru hidraulic

4.2. MĂSURAREA MASELOR

4.2.1. CONSIDERAȚII TEORETICE

Masa (m) este mărimea fizică fundamentală din SI care reprezintă cantitatea de materie dintr-un corp.

Unitatea de măsură pentru masă este kilogramul [Kg].

Kilogramul este masa prototipului internațional confecționat dintr-un aliaj platină-iridiu, păstrat la Biroul Internațional de Măsură și Greutăți din Sèvres, Franța, și a fost adoptat la Conferința Generală de Măsură și Greutăți în anul 1889. Țara noastră are prototipul numărul 2, care este păstrat la Institutul Național de Metrologie.

Pentru masa pietrelor prețioase, se folosește unitatea de măsură cu denumirea carat [ct]. Caratul este egal cu 0,200 g.

Pentru a determina masa unui corp, este necesară compararea lui cu unitatea de masă, prin cântărire, cu dispozitive denumite *instrumente* sau *aparate de cântărit*.

Instrumentele de cântărit au fost inventate de om încă din epoca primitivă și sunt cunoscute sub numele de **balanțe**. Cele mai simple balanțe, dar și cele mai precise, sunt cele cu o singură pârghie, la capetele căreia sunt atârnațe talerele.

Astăzi, aproape nu mai există domeniu de activitate în care să nu se lucreze cu astfel de aparate de măsurat, operația de cântărire stând la baza producției și a schimbului de mărfuri.

Toate celelalte instrumente de cântărit, mai complexe, sunt combinații între două sau mai multe pârghii ale căror brațe, numite **bascule**, sunt, în general, inegale. Aceste aparate se montează deasupra solului și sunt utilizate la cântărirea materialelor în comerț, industrie, transporturi și în agricultură. Echilibrarea sarcinilor de cântărit se face prin deplasarea unor greutăți constante, numite cursoare sau romane, de-a lungul unor brațe pe care sunt trasate diviziuni.

Ca principiu de funcționare, toate instrumentele de cântărit se bazează pe același fenomen, de comparare a două mase, dintre care una este cunoscută.

Instrumentele de cântărit se caracterizează prin stabilitate, care este o caracteristică tehnică, și prin sensibilitate, justețe și fidelitate, care sunt caracteristici metrologice.

Stabilitatea constă în calitatea pârghiei de a reveni în poziția inițială de echilibru după câteva oscilații, dacă aceasta a fost perturbată. O balanță va fi în echilibru stabil când suma momentelor tuturor forțelor care acționează asupra ei va fi egală cu zero.

În cazul balanțelor, pentru ca măsurătorile să fie cât mai fidele și juste, se utilizează metode care să elimine influența inegalității brațelor pârghiei. Aparatele moderne folosesc deformațiile unor elemente elastice în mărimi de ieșire electrice. Aceste mijloace se caracterizează prin uzură redusă, viteze de indicație mari, sensibilități mici la influența factorilor externi.

4.2.2. CLASIFICAREA INSTRUMENTELOR DE CÂNTĂRIT

Instrumentele de cântărit se pot grupa după mai multe criterii, conform tabelului 4.1.

Tabelul 4.1. Clasificarea instrumentelor de cântărit

Criterii de clasificare	Instrumente de cântărit	
▶ După numărul de pârghii utilizate	• Instrumente cu o pârghie (balanțe)	Balanțe etalon Balanțe analitice Balanțe tehnice Balanțe compuse Balanțe romane
	• Instrumente cu mai multe pârghii (bascule)	Basculi zecimale Basculi romane

Criterii de clasificare	Instrumente de cântărit	
▶ După modul de efectuare a cântăririlor	• Manuale • Semiautomate • Automate	Mijloace de cântărire electromecanice
▶ După modul de instalare	• Fixe • Transportabile	
▶ După construcția dispozitivului indicator	• Cu poziția de echilibru constantă • Cu poziția de echilibru variabilă	

4.2.3. DESCRIEREA PRINCIPALELOR TIPURI DE APARATE DE CÂNTĂRIT

Balanțele etalon (fig. 4.7) sunt aparate de cântărit de precizie specială, care se utilizează, în laboratoarele metrologice, pentru transmiterea unității de masă, respectiv pentru verificarea și elaborarea maselor etalon. Sunt balanțe simple, executate cu mare precizie, care au o sensibilitate ridicată la influența factorilor de mediu. Pentru a evita influența oricărui factor de mediu, acestea sunt ținute în incinte închise și sunt acționate de la distanță, prin intermediul unor „mâini” mecanice.

Balanțele analitice (fig. 4.8) sunt tot balanțe simple, cu sensibilitate ridicată și cu precizie mare. Ele permit cântărirea de materiale în cantități mici și sunt utilizate în laboratoare de cercetare și de analiză. Cântărirea se face prin echilibrarea masei de cântărit cu măsuri echivalente. Sarcinile maxime ale acestor balanțe variază de la 2 la 200 g.

Balanțele tehnice (fig. 4.9) sunt balanțe simple, utilizate la cântărirea de precizie mai redusă. Balanțele tehnice se verifică la funcționarea în gol și la încărcarea cu 10% și cu 100% din sarcina maximă. Sunt incomode la utilizări frecvente, din cauza faptului că talerele sunt plasate sub pârghie, ceea ce le face, uneori, de neutilizat. Înlăturarea acestui neajuns a condus la inventarea balanțelor compuse.

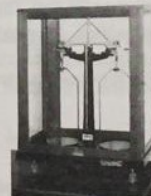


Fig. 4.7. Balanță etalon



Fig. 4.8. Balanță analitică



Fig. 4.9. Balanță tehnică

Balanțele compuse (fig. 4.10) au talerele poziționate deasupra pârghiilor, sprijinite pe câte trei cuțite, adică au trei puncte de încărcare. Ele se fabrică pentru sarcini maxime de 2, 5, 10 și 20 kg. Verificarea balanțelor compuse constă în verificarea indicațiilor mai întâi la gol, apoi încărcate cu 10% și apoi cu 100% din sarcina maximă, folosindu-se greutate etalon.

Balanțele romane (fig. 4.11) sunt instrumente de cântărit care au o singură pârghie cu brațe neegale. Pe brațul scurt se suspendă corpul de cântărit, iar pe cel lung culisează un cilindru metalic de masă constantă, care se numește *cursor* sau *greutate romană*. Echilibrarea se face prin modificarea poziției masei constante. Pe brațul lung, pe care sunt trasate diviziuni, se citesc diferitele valori ale maselor cântărite. Verificarea balanțelor romane se face utilizând greutate etalon.



Fig. 4.10. Balanță compusă



Fig. 4.11. Balanță romană

Basculile zecimale (fig. 4.12) sunt instrumente de cântărit care au mai multe pârghii cu brațe inegale. Sunt folosite la cântărirea maselor de ordinul sutelor de kilograme. Cântărirea se face la un raport între greutatea așezate pe platan și masa de cântărit de 1/10. Basculile zecimale sunt construite pentru sarcini maxime de 50, 100, 200 și 500 kilograme. La basculile zecimale, se verifică sensibilitatea, justețea la sarcina maximă și comportarea la suprasarcină.

Basculile romane (fig. 4.13) sunt instrumente de cântărit cu pârghii cu brațe inegale care nu utilizează greutatea de lucru. Se pot fabrica în diferite variante, în funcție de destinație. Verificarea acestor bascule se face la suprasarcină în gol și la 10% din sarcina maximă.



Fig. 4.12. Bascuță zecimală



Fig. 4.13. Bascuță romană

Balanțele manuale cu cadran sunt aparate la care toate operațiile (așezarea pe masa de cântărit, așezarea greutăților și ridicarea de pe aparat) sunt realizate de un operator.

Balanțele semiautomate cu cadran (fig. 4.14) sunt aparate de cântărit utilizate pentru cântărirea comercială a produselor alimentare. Cântărirea se face automat, prin citirea indicațiilor. Dispozitivul de înclinare are rolul de a transforma mișcarea verticală a platanului în mișcare de rotație a acului indicator.

Instrumentele de cântărit cu poziția de echilibru constantă se caracterizează prin faptul că acul indicator se oprește în poziția de echilibru la același reper.

Instrumentele de cântărit cu poziția de echilibru variabilă se caracterizează prin faptul că acul indicator se plimbă în fața unui cadran gradat.

Mijloacele de cântărire electromecanice (fig. 4.15) sunt de dimensiuni mici și ușor de manuit. Ele prezintă avantajul că afișează și înregistrează rezultatele și, uneori, le și prelucrează. Sunt folosite pentru cântărirea produselor alimentare și la calcularea prețului produsului cântărit.



Fig. 4.14. Balanță semiautomată cu cadran



Fig. 4.15. Balanță electromecanică

Pentru cântărirea unui corp utilizând o balanță etalon sau compusă, se parcurg următoarele etape:

- se așază corpul cu masa necunoscută pe unul dintre talere;
- se așază mase de valori cunoscute pe celălalt taler, până când acul indicator ajunge la zero;
- se află masa necunoscută prin însumarea maselor cunoscute așezate pe cel de al doilea taler.

4.3. MĂSURAREA PRESIUNILOR

4.3.1. CONSIDERAȚII TEORETICE

Presiunea este una dintre mărimile care caracterizează starea unui fluid (lichid sau gaz). Reprezintă unul dintre cei mai importanți parametri întâlniți în tehnică, deoarece condiționează buna funcționare a instalațiilor hidraulice și pneumatice din industria chimică, petrolieră, metalurgică, alimentară etc.

Presiunea este o mărime fizică egală cu raportul dintre mărimea forței F și suprafața S pe care se exercită.

$$P = \frac{F}{S}$$

În SI, unitatea de măsură pentru presiune se numește pascal, cu simbolul [Pa] și a fost adoptată în anul 1971.

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

În tabelul 4.2 sunt date relațiile de echivalență ale unității de măsură pentru presiune în SI cu alte unități de măsură a presiunii.

Tabelul 4.2. Unități tolerate de măsură a presiunii

Denumire	Simbol	Echivalent
atmosferă tehnică	at	$9,81 \times 10^4 \text{ Pa} = 1 \text{ kgf/cm}^2$ $9,81 \text{ Pa} = 0,0001 \text{ at}$ $1 \text{ at} = 98066,5 \text{ N/m}^2$
atmosferă fizică	atm	$1 \text{ atm} = 1,013 \text{ bar} = 1,033 \text{ at} = 760 \text{ torr}$
milimetru coloană de apă	mmH ₂ O	$1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9,80665 \text{ N/m}^2$ $133,322 \text{ Pa} = 13,5951 \text{ mmH}_2\text{O}$
milimetru coloană de mercur	mmHg	$1 \text{ mmHg} = 133,322 \text{ N/m}^2$
torr	torr	$\sim 1 \text{ mmHg}$
bar	bar	$10^5 \text{ Pa} = 10^5 \text{ N/m}^2$

În funcție de originea scării pe care se măsoară presiunea, există mai multe tipuri de presiuni:

- **presiunea barometrică** (absolută), care se măsoară pe scara barometrică, la care reperul „0” corespunde vidului absolut;
- **presiunea manometrică** (relativă), care se măsoară pe scara manometrică, unde reperul „0” corespunde presiunii atmosferice; în acest caz, presiunea mai mare decât presiunea atmosferică se numește *suprapresiune*, iar presiunea mai mică decât presiunea atmosferică se numește *depresiune* sau *vacuum* (denumit, uneori, și vid tehnic);
- **presiunea diferențială** $p_d = p_1 - p_2$, care reprezintă diferența dintre două presiuni; aceste presiuni pot fi parametrii unor procese diferite sau parametrii unor etape diferite ale aceluiași proces;
- **presiunea hidrostatică** $p_h = \rho \cdot g \cdot h$, care reprezintă presiunea exercitată de greutatea unei coloane de lichid.

4.3.2. CLASIFICAREA MIJLOACELOR DE MĂSURAT PRESIUNEA

Mijloacele pentru măsurarea presiunii se clasifică după mai multe criterii.

I. După valoarea presiunii de măsurat:

- barometre, care măsoară presiunea atmosferică;
- manometre și micromanometre, care măsoară presiuni mai mari decât presiunea atmosferică;
- vacuometre și microvacuometre, care măsoară presiuni mai mici decât presiunea atmosferică;
- manovacuumetre, care măsoară atât presiuni mari, cât și presiuni mai mici decât presiunea atmosferică.

II. După destinație:

- aparate de măsurat etalon, care servesc la păstrarea, la reproducerea și la transmiterea unității de presiune sau la verificarea aparatelor de lucru;
- aparate de măsurat de lucru, care servesc la măsurări curente.

III. După principiul de funcționare:

- aparate cu lichid, la care presiunea măsurată este echilibrată de presiunea unei coloane de lichid;
- aparate cu element elastic, la care presiunea este măsurată prin deformarea unui element elastic;
- aparate electrice, la care variațiile de presiune sunt transformate în variații ale unor mărimi electrice măsurabile.

În figura 4.16 sunt ilustrate câteva tipuri reprezentative de mijloace utilizate pentru măsurarea presiunii.

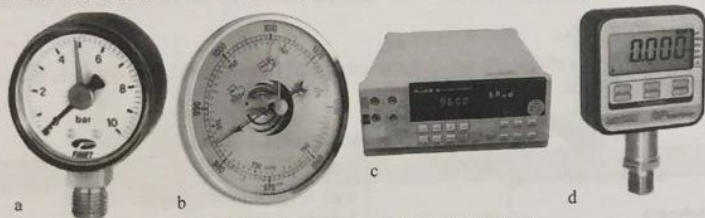


Fig. 4.16. Mijloace utilizate pentru măsurarea presiunii:
a. - manometru analogic; b. - barometru; c. - vacuometru; d. - manometru digital.

4.3.3. DESCRIEREA PRINCIPALELOR APARATE DE MĂSURAT PRESIUNEA

Manometrul cu lichid (fig. 4.17) este un aparat de măsurat presiunea și se caracterizează prin construcție simplă și precizie ridicată. Funcționarea se bazează pe fenomenul de echilibrare a presiunii măsurate cu presiunea unei coloane de lichid. Lichidele întrebuintate în mod obișnuit, numite manometrice, sunt: mercurul, apa, alcoolul, glicerina, petrolul și derivatele lui.

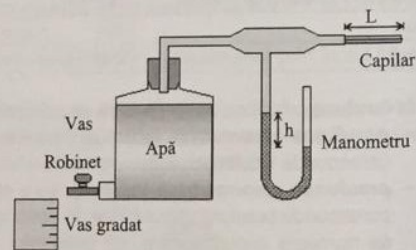


Fig. 4.17. Manometru cu lichid

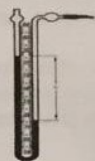


Fig. 4.18. Manometru cu tub de sticlă în formă de U

Manometrul cu tub de sticlă în formă de U este cel mai simplu aparat pentru măsurat presiunea. Constă dintr-un tub de sticlă în forma literei U, umplut cu un lichid manometric. Între cele două ramuri ale tubului are prevăzută o scară gradată în unități de lungime. Scara are reperul zero la mijlocul lungimii scării (fig. 4.18).

Presiunea de lucru este legată la una dintre ramurile tubului U, cealaltă ramură fiind în legătură cu presiunea atmosferică.

Presiunea cea mai mare împinge lichidul în ramura cu presiune mai mică, producând o denivelare între cele două coloane de lichid, direct proporțională cu diferența dintre cele două presiuni (fig. 4.19).

$$P_2 \cdot A - P_1 \cdot A = \rho \cdot h \cdot A$$

$$P_2 - P_1 = \rho \cdot g \cdot h$$

Unde: A - aria suprafeței;

P_1 și P_2 - cele două presiuni, atmosferică și de lucru;

ρ - densitatea lichidului;

h - înălțimea coloanei de lichid;

g - accelerația gravitațională (9,81 m/s²).

Manometrele cu element elastic sunt aparatele cel mai frecvent utilizate datorită avantajelor pe care le au față de alte tipuri: construcție simplă, domeniu foarte întins de măsurare, obținerea directă a valorii măsurate, manipulare ușoară. Funcționarea se bazează pe principiul deformării elastice a unui element sensibil. Deformarea este amplificată și transmisă prin intermediul unui mecanism la un ac indicator care se deplasează în fața unei scări gradate în unități de presiune. Elementul elastic al acestor aparate poate fi tub Bourbon, membrană, capsulă sau burduf.

Aparatele cu tub Bourbon (fig. 4.20) indică presiunea relativă sau vacuumul. Elementul sensibil de măsurare este un tub cu pereți subțiri, confecționat din alamă, bronz, fosfor sau oțel, curbat sub forma unui arc de cerc cu deschiderea unghiulară de 200°-270°. Înșurubând cepul racord la conducta prin care circulă fluidul a cărui presiune trebuie măsurată, fluidul pătrunde în tubul manometric și îl deformează proporțional cu valoarea presiunii de măsurat (la suprapresiune sau la depresiune, diametrul tubului crește sau se micșorează). Ca urmare, capătul liber al tubului își schimbă poziția inițială, modificându-se poziția pârghiei care va acționa asupra sectorului dințat, rotindu-l și făcându-l să angreneze cu pinionul.

Odată cu pinionul, se va roti și acul indicator în fața cadranului gradat. Arcul spiral are rolul de a aduce acul indicator în poziția inițială, după măsurare.



Fig. 4.20. Aparat cu tub Bourbon

Manometrele cu membrană (fig. 4.21) au elementul sensibil constituit dintr-o membrană (1) din oțel, cu ondulații circulare concentrice. Sub acțiunea suprapresiunii, membrana se curbează în jos, iar sub acțiunea depresiunii, aceasta se curbează în sus. Printr-o tijă (2) legată de centrul membranei (3) și a unui angrenaj (4), mișcarea se transmite unui ac indicator (5). Pentru aflarea valorii măsurate, se determină valoarea unei diviziuni de pe cadranul aparatului, prin împărțirea domeniului de măsurare la numărul de diviziuni. Valoarea citită în dreptul acului indicator se calculează înmulțind numărul de diviziuni cu valoarea unei diviziuni.

Barometrele sunt aparate de măsurat presiunea atmosferică. Cel mai des întâlnite sunt barometrele cu mercur și cele aneroidale.

Barometrul cu mercur este alcătuit dintr-un tub de sticlă așezat deasupra unui vas deschis care conține mercur. Datorită presiunii exercitate de aer, mercurul va urca în tub până la o înălțime proporțională cu presiunea. Nivelul mercurului se va citi pe o scară gradată. Aceste barometre sunt fragile, greu de manipulat, iar mercurul este foarte toxic. Se utilizează doar pentru operații de etalonare a altor tipuri de barometre.

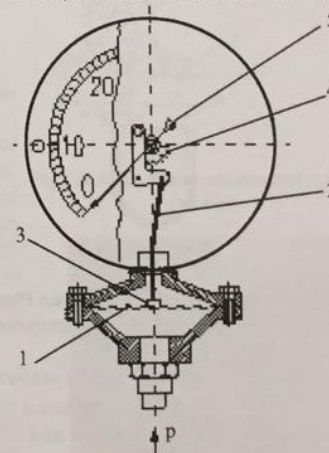


Fig. 4.21. Manometru cu membrană

Barometrul aneroid (fig. 4.22) este alcătuit dintr-o capsulă metalică vidată, etanșă. Scăderea presiunii duce la turtirea capsulei, iar creșterea presiunii determină bombarea acesteia. Toate deformațiile capsulei determină deplasarea unui ac indicator în fața unui cadran gradat.

Stațiile meteorologice sunt dotate cu *barografe*, instrumente care înregistrează continuu variațiile presiunii atmosferice.



Fig. 4.22. Barometru aneroid

4.4. MĂSURAREA MĂRIMILOR CINEMATICE

În continuare, sunt prezentate aparate pentru măsurarea vitezei, a accelerației, a turației, a debitelor și a vibrațiilor.

4.4.1. MĂSURAREA VITEZEI

Viteza este o mărime vectorială care caracterizează mișcarea unui corp în raport cu un sistem de referință.

Viteza poate fi *liniară* (caracterizează mișcarea liniară) sau *unghiulară* (caracterizează mișcarea de rotație).

> **Viteza liniară** este rezultatul raportului dintre distanța parcursă și timpul necesar parcurgerii distanței; altfel spus, este raportul dintre spațiul parcurs în unitatea de timp.

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta T}$$

Unde: v – viteza;

ΔS – spațiul parcurs;

ΔT – timpul necesar parcurgerii spațiului S .

În SI, viteza liniară este o mărime derivată și se măsoară în m/s.

Măsurarea vitezei liniare a fluidelor (lichide și gaze) se face cu tubul Pitot (fig. 4.23), cu tubul Venturi (fig. 4.24), cu anemometrul cu palete sau cu cupe, cu anemometrul digital etc.

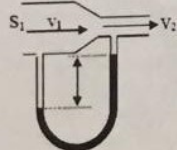


Fig. 4.23. Tub Pitot

Măsurarea vitezei apei cu tubul Pitot presupune parcurgerea următoarelor operații:

– tubul se scufundă în apă (secțiunea care se introduce în apă este mult mai mică decât restul tubului);

– presiunea curentului de apă produce ridicarea apei în tub până la un anumit nivel;

– se determină viteza de curgere a lichidului cu formula $v = c\sqrt{h}$,

unde: v – viteza curentului de apă;

c – constanta tubului;

h – înălțimea coloanei de apă în tub.

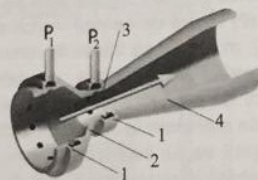


Fig. 4.24. Tub Venturi: 1 – cilindri de intrare; 2 – ajutaj convergent; 3 – zonă cilindrică (Gat); 4 – ajutaj divergent (difuzor).

Pentru determinarea vitezei gazelor se folosesc **anemometrele**. În meteorologie, pentru măsurarea vitezei vântului se utilizează **anemometrele cu cupe** (fig. 4.25.a).

Sub acțiunea vântului, cupele fixate pe un ax vertical se rotesc odată cu axul. Acesta transmite mișcarea, prin intermediul unui mecanism cu roți dințate, la acul indicator. Citirea se face direct pe cadranul aparatului.

Anemometrul digital (fig. 4.25. b) se folosește, în general, pentru măsurarea vitezei aerului condiționat. Este compus dintr-un ax pe care se găsesc fixate radial mai multe minipalete, așezate în plan paralel cu axul. În momentul în care curentul de aer pune în mișcare paletetele, acestea se rotesc și generează un curent electric direct proporțional cu viteza aerului. Printr-un sistem de traductoare și de leduri, valoarea vitezei aerului este afișată direct, în m/s.

Pentru măsurarea vitezei de deplasare a unui vehicul, se folosește **vitezometrul**.

> **Viteza unghiulară** este o mărime derivată care reprezintă unghiul corespunzător arcului de cerc parcurs în unitatea de timp de către un mobil în mișcare circulară uniformă.

Viteza unghiulară se exprimă cu relația:

$$w = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$$

unde:
 w – viteza unghiulară;

$\Delta \varphi$ – unghiul corespunzător arcului de cerc parcurs;

Δt – timpul necesar parcurgerii spațiului.

Unitatea de măsură în SI pentru viteza unghiulară este rad/s, dar există și alte unități de măsură, precum rot/s sau rot/min.

Instrumentele folosite pentru măsurarea vitezei unghiulare se numesc **tahometre** și se pot clasifica astfel:

I. după modul de utilizare:

- tahometre de mână (sunt portabile; au precizie scăzută);
- tahometre de banc (sunt stabile; au precizie ridicată).

II. după principiul de funcționare:

- tahometre mecanice;
- tahometre electrice.

Tahometrele se aleg în funcție de mărimea turației, de precizia de măsurare și de obiectul a cărui viteză se măsoară.

Tahometrele mecanice sunt aparate portabile. Tahometrul mecanic cu dispozitiv centrifugal (fig. 4.26) este cel mai folosit. El lucrează pe baza creșterii forței centrifuge. Este format dintr-un ax de antrenare (1) care primește mișcarea de rotație prin intermediul unor capete de cuplare, de la axul a cărui turație trebuie măsurată. Aparatul mai are un sistem de pârghii (3) prevăzute cu greutatea (2). Prin intermediul pârghiei (4) care culisează într-un ghidaj, mișcarea se transmite la acul indicator (5) ale cărui deplasări se pot citi pe o scală gradată.

În funcție de principiul constructiv, **tahometrele electrice** (fig. 4.27) pot fi:

- tahometre generatoare, care funcționează pe principiul inducției electromagnetice și transformă viteza de rotație într-o tensiune ce poate fi măsurată de un voltmetru;

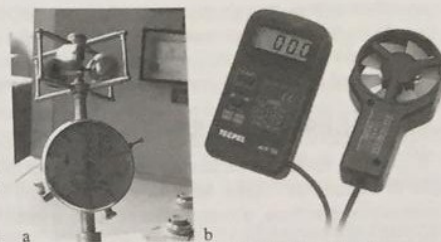


Fig. 4.25. Anemometre: a – cu cupe; b – digital.

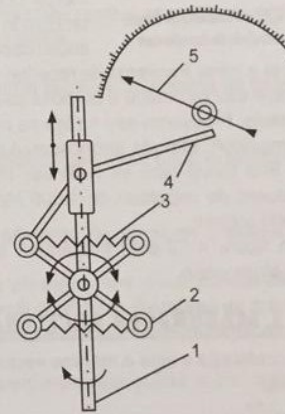


Fig. 4.26. Schema tahometrului mecanic cu dispozitiv centrifugal



Fig. 4.27. Tahometru electric

- tahometre cu impulsuri, care sunt construite pe același principiu electromagnetic, însă convertesc viteza de rotație într-o deplasare unghiulară;
- tahometre stroboscopice, care folosesc proprietatea ochiului uman de a reține timp de câteva fracțiuni de secundă imaginea unui obiect care a dispărut din câmpul vizual.

4.4.2. MĂSURAREA TURĂȚIEI

În general, turația se măsoară în secțiile de producție din diverse ramuri industriale, unde se întâlnesc piese în mișcare de rotație. Măsurarea turației este necesară pentru verificarea modului de funcționare a motoarelor electrice, a motoarelor cu ardere internă, a mașinilor-unelte etc. Turația se notează cu n și se măsoară în rot/min.

Între viteza unghiulară ω și turația n există relația:

$$n = 60 \cdot \frac{\omega}{2\pi}$$

Turația este o mărime mecanică ce indică numărul de rotații efectuate în timp de către un mobil aflat în mișcare de rotație uniformă. Viteza unghiulară de măsurat este proporțională cu turația.

Turația se poate măsura cu *tahometrul* (tuometrul) centrifugal sau cu *stroboscopul de turații* (fig. 4.28). Acesta permite măsurarea turației fără un contact mecanic cu obiectul aflat în mișcare de rotație. Se folosește inerția ochiului omenesc, prin care un corp în vibrație sau în rotație pare imobil dacă este iluminat cu impulsuri



Fig. 4.28. Stroboscop de turații - principiu de funcționare

scurte a căror frecvență de repetiție este egală cu frecvența de vibrație sau de rotație a corpului sau este un multiplu întreg al acestuia. Frecvența sau turația se pot citi direct la generatorul de impulsuri. Metoda stroboscopului permite măsurarea celor mai mici turații care se întâlnesc în tehnică. De exemplu, la o valoare de impulsuri de 1.000 Hz corespunde o turație de 60.000 rot/min.

În figura 4.29 este prezentată schema de funcționare a unui stroboscop.

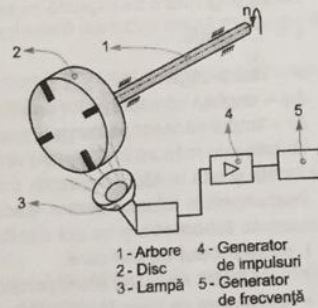


Fig. 4.29. Schema de funcționare a stroboscopului

4.4.3. MĂSURAREA ACCELERAȚIEI

Acceleerația a este o mărime vectorială ce reprezintă variația vitezei unui corp în mișcare, în unitatea de timp.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

În SI, unitatea de măsură pentru acceleerație este m/s^2 .

În tehnica de măsurare a acceleerațiilor se utilizează accelerometrele.

Accelerometrele pot fi:

- piezoelectrice (de compresie, de forfecare, cu lama în consolă);
- piezorezistive (cu amplificator mecanic, cu țimburi tensometrice, cu fibre optice);
- tip balanță de forțe;
- cu capacitate variabilă.

Cu toate că au senzori electromecanici diferiți, toate accelerometrele funcționează pe baza variației sistemului masă-element elastic.

Accelerometrele piezoelectrice de compresie (fig. 4.30) se realizează dintr-o piesă a cărei vibrație se măsoară și o placă de bază (1) care

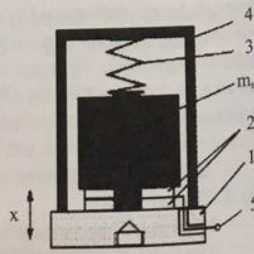


Fig. 4.30. Accelerometru piezoelectric

reprezintă suportul a două pastile piezoelectrice (2). Peste cele două pastile piezoelectrice se plasează masa seismică m_s . Pretensionarea sistemului este realizată cu ajutorul resortului (3). Întreg ansamblul este introdus într-o carcasă (4) și este prevăzut cu mufă de conectare (5).

Masa seismică este suspendată de elementul elastic, ambele fiind închise într-o carcasă. Când carcasa este supusă acceleerației, masa seismică este și ea accelerată de forța transmisă prin structura elastică. Deplasarea elementului elastic produce deplasarea masei în interiorul carcasei. Prin urmare, forța transmisă de arcul elastic este transformată într-un semnal electric, proporțional cu acceleerația.

Accelerometrele piezoelectrice nu necesită alimentare. Pentru a genera o sarcină electrică la ieșire, ele folosesc efectul piezoelectric al elementelor sensibile.

Traductoarele piezoelectrice sunt robuste, preiau undele longitudinale, au o frecvență de rezonanță ridicată, dar prezintă și o sensibilitate transversală, ceea ce face ca sensibilitatea totală să varieze în funcție de unghiul de orientare, între o valoare maximă și una minimă. Pentru reducerea influenței sensibilității transversale, pe traductor se marchează direcția pe care aceasta este minimă, fiind necesară respectarea acesteia la montare.

4.4.4. MĂSURAREA DEBITULUI

Debitul este cantitatea de substanță lichidă, solidă sau gazoasă care trece printr-o secțiune a unui conductor, în unitatea de timp. De asemenea, numim *debit* cantitatea de material solid de diferite forme (granule, bulgări) transportată de o bandă rulantă în unitatea de timp.

Se definesc următoarele tipuri de debite:

> **volumetric**, Q_v (debit de volum) - reprezintă volumul de fluid ce trece printr-o secțiune în unitatea de timp; unitatea de măsură este m^3/s , cu submultipli l/s sau dm^3/s ;

$Q_v = \Delta v / \Delta t$; unde: v = volum și t = timp;

> **masic**, Q_m (debit de masă) - este masa de fluid ce trece printr-o secțiune în unitatea de timp; se măsoară în kg/s ;

$Q_m = \Delta m / \Delta t$; unde: m = masă și t = timp;

> **gravimetric**, Q_g (debit de greutate) - reprezintă greutatea fluidului care trece printr-o secțiune în unitatea de timp; unitatea de măsură este kgf/s , N/s .

$Q_g = \Delta G / \Delta t$; unde: G = greutate și t = timp.

Metoda de măsurare a debitului unui fluid se bazează pe diferența de presiune produsă prin strângerea secțiunii de trecere a unui fluid printr-o conductă.

La curgerea unui fluid printr-o conductă apare o pierdere de presiune între două puncte diferite situate pe lungimea conductei, ca rezultat al frecării fluidului cu pereții conductei. Pierderea de presiune este dată de diferența dintre presiunile statice măsurate în cele două puncte și se determină cu ajutorul unui dispozitiv de strângere.

Metoda folosește proporționalitatea dintre debitul trecut prin secțiunea strângută și pierderea de presiune produsă local.

Dintre toate tipurile de aparate folosite pentru măsurarea debitului, *debitmetrele diferențiale* (fig. 4.31) au cea mai largă răspândire. Acestea funcționează pe principiul prezentat.

Dispozitivele de strângere se montează pe conducte cu scopul de a crea o îngustare locală la trecerea unui fluid, ceea ce produce o cădere de presiune Δp , care se măsoară cu un manometru.

Cel mai simplu dispozitiv de strângere este *diafragma normalizată* (fig. 4.32), care se folosește pentru conducte cu diametre $D > 50$ mm.

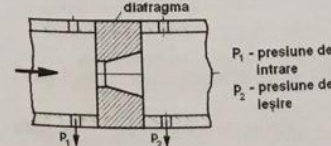


Fig. 4.32. Diafragmă normalizată



Fig. 4.31. Debitmetru diferențial

Ajutajul normalizat (fig. 4.33) este asemănător unei diafragme. Are la intrare o parte racordată lin, iar la ieșire, o parte cilindrică dreaptă. Se folosește pentru conducte cu diametre cuprinse între 50 și 200 mm, prin care circulă abur încălzit, abur cu presiune mare sau lichide corozive.

Tubul Venturi (fig. 4.34) este recomandat pentru măsurări de lichide, gaze și abur. Se compune dintr-un con la intrare, o parte cilindrică la mijloc și un con divergent la ieșire. Conductele pentru care se utilizează au diametrele cuprinse între 50 și 500 mm.

Pentru măsurarea fluidelor și afișarea cantității de fluid consumate într-o anumită perioadă de timp se folosește **contorul**. În particular, contorul pentru apă se mai numește **apometru**, iar cel pentru gaze se mai numește **gazometru**. Citirea indicațiilor de pe cadranele acestor contoare se face în unități de volum.

După principiul de măsurare, contoarele se clasifică în:

- **contoare volumetrice**, destinate măsurării cantităților de lichide și gaze, care se montează pe conducte care au curgere liberă sau sub presiune;
- **contoare de viteză**, folosite pentru măsurarea cantităților de lichide și gaze, care se montează numai pe conducte sub presiune.

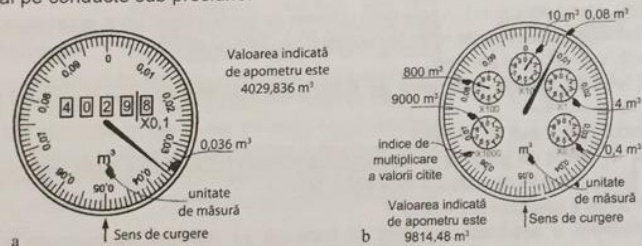


Fig. 4.35. Apometre: a - cu citire directă; b - cu citire prin însumare.

În figura 4.35 sunt reprezentate două contoare de viteză care se utilizează pentru înregistrarea consumurilor casnice de apă. În figura 4.35.a este reprezentat un apometru care înregistrează consumul de apă, iar citirea se face direct pe afișaj. În figura 4.35.b, consumul de apă se citește prin însumarea indicațiilor de pe ecran. Unitatea de măsură este m^3 (unitate de volum).

Contoarele volumetrice măsoară direct debitele de apă, prin umplerea și prin golirea succesivă a unor compartimente ale aparatului.

Aplicații

LUCRAȚI INDIVIDUAL!

1. Enumeră elementele caracteristice ale unei forțe.
2. Completează spațiile libere cu răspunsurile corecte:
 - a) Newtonul [N] este forța care, aplicată unui corp cu ... de 1 Kg, îi imprimă acestuia ... de $1 m/s^2$.
 - b) Măsurarea forțelor se face, cel mai adesea, cu ...
 - c) Dinamometrele hidraulice se compun dintr-un ansamblu ... umplut cu lichid și un ... cu care se măsoară presiunea.

3. În coloana A sunt indicate diferite instrumente de cântărit, iar în coloana B, sarcina maximă la care pot fi supuse. Stabilește asocierile corecte dintre cifrele din coloana A și literele corespunzătoare din coloana B.

A. Instrumentul de cântărit	B. Sarcina maximă
1. balanță compusă	a. 500 kg
2. basculă zecimală	b. 20 kg
3. balanță analitică	c. 200 kg
	d. 200 g

FIȘĂ DE LUCRU

1. Clasifică mijloacele de măsurare a presiunii după valoarea presiunii măsurate.
2. Completează tabelul de mai jos cu valorile corespunzătoare unităților de măsură echivalente specificate.

Presiune	N/m ² , Pa	mmH ₂ O	at	atm	torr	bar
Pascal (Pa)	1					
mmH ₂ O		1				
at			1			
atm				1		
torr					1	
bar						1

3. În coloana A sunt indicate diferite mărimi fizice, iar în coloana B, mijloace de măsurare. Scrie asocierile corecte dintre cifrele din coloana A și literele corespunzătoare din coloana B.

A. Mărimi fizice	B. Mijloace de măsurare
1. debit	a. balanță
2. viteză	b. debitmetru
3. presiune	c. dinamometru
4. masă	d. manometru
5. forță	e. tahometru
	f. termocuplu

TEST DE EVALUARE

SUBIECTUL 1

1. Scrie litera corespunzătoare răspunsului corect.

1. Aparatele pentru măsurarea forțelor se numesc:
 - a) turometre; b) dinamometre; c) voltmetre; d) debitmetre.
2. Viteza liniară se calculează cu relația:
 - a) $v = \Delta s / \Delta t$; b) $v = \Delta t / \Delta s$; c) $\omega = \Delta \varphi / \Delta t$; d) $v = \Delta \omega / \Delta t$.
3. Aparatele pentru măsurarea vitezei unghiulare se numesc:
 - a) turometre; b) bascule; c) tahometre; d) debitmetre.

4. Relația de calcul pentru debitul volumetric este:

- a) $Q_v = \Delta v / \Delta t$; b) $Q_v = \Delta M / \Delta T$; c) $Q_v = \Delta V / \Delta t$; d) $Q_v = \Delta M / \Delta V$.

5. Debitul poate fi:

- a) volumetric; b) masic; c) gravimetric; d) toate.

II. Transcrie, pe caiet, litera corespunzătoare fiecărui enunț (a, b, c, d, e) și notează în dreptul ei litera A, dacă apreciezi că enunțul este adevărat, sau litera F, dacă apreciezi că enunțul este fals.

- a) Contorul de apă se numește apometru.
b) Unitatea de măsură a forței, în SI, este Kgf.
c) Milimetrul coloană de mercur la temperatura 0 °C se notează mmHg.
d) Aparatele cu tub Bourbon indică presiunea relativă sau vacuumul.
e) Unitatea de măsură pentru masa pietrelor prețioase este gramul.

III. În coloana A sunt indicate instrumente de măsură, iar în coloana B, mărimi de măsurat. Scrie asocierile corecte dintre cifrele din coloana A și literele corespunzătoare din coloana B.

A. Instrument de măsură	B. Mărimea de măsurat
1. Basculă zecimală	a. forță
2. Dinamometru hidraulic	b. debitul de gaz
3. Stroboscop	c. viteza fluidelor
4. Gazometru	d. masa
5. Tub Pitot	e. greutatea
	f. turația

SUBIECTUL 2

Scrie informația corectă care completează spațiile libere.

- a) Toate instrumentele de cântărit se bazează pe același fenomen, ... a două mase, dintre care una este cunoscută.
b) Mijloacele de cântărit electromecanice au avantajul că ... și ... rezultatele și, uneori, le și ...
c) Manometrul cu membrană este un aparat pentru măsurarea ...

SUBIECTUL 3

I. Clasifică presiunea.

II. Efectuează următoarele transformări:

- a) 10 at = ... N/m²;
b) 15 bar = ... Pa;
c) 50 mmHg = ... torr;
d) 10 ct = ... g;
e) 200 N = ... kg · m/s².

CAPITOLUL 5

MĂSURAREA MĂRIMILOR FIZICO-CHIMICE

5.1. MĂSURAREA DENSITĂȚII

5.1.1. CONSIDERAȚII TEORETICE

Densitatea este o mărime fizică derivată în SI, care se definește ca fiind masa unității de volum. Astfel, densitatea unui corp este egală cu raportul dintre masa și volumul său:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Densitatea este o mărime prin care pot fi caracterizate substanțele, permițând fie identificarea, fie evaluarea purității sau a concentrației acestora.

Unitatea de măsură pentru densitate în SI este kg/m³. Ca unitate tolerată, se folosește g/cm³.

Între aceste două unități există relația:

$$1 \text{ g/cm}^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Densitatea relativă, ρ_r , reprezintă raportul dintre densitatea ρ a unui corp și densitatea ρ_0 a unui corp de referință aflat într-o stare dată. Densitatea relativă se calculează cu relația:

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_0}$$

Ca fluid etalon, pentru lichide se consideră apa distilată în vid ($\rho_0 = 1.000 \text{ kg/m}^3$), la temperatura la care densitatea sa este maximă (4 °C) și la presiune normală (760 mmHg), iar pentru gaze, aerul ($\rho_0 = 1,293 \text{ kg/m}^3$), în condiții normale de presiune și temperatură.

Măsurarea densității este larg folosită în industria alimentară, petrochimică, în industria hârtiei etc. Cunoașterea acesteia este importantă în situații în care corpuri de densități diferite se comportă diferit sau trebuie manipulate diferit, ori în procesele în care valoarea densității influențează efectuarea unor operații. De exemplu, plutirea unui corp solid la suprafața unui lichid este determinată de relația dintre densitățile celor două substanțe.

5.1.2. METODE ȘI MIJLOACE DE MĂSURARE A DENSITĂȚII

• Metode de măsurare a densității

Densitatea unui corp se poate determina prin metode directe și indirecte.

Măsurarea densităților lichidelor se poate face prin metode bazate pe:

- principiul echilibrului hidrostatic (cu densimetre);
- cântărirea unui volum constant (prin determinarea masei și a volumului unui corp sau cu metoda picnometriei);
- determinarea punctului de fierbere (prin distilare);
- principiul vaselor comunicante.

• Mijloace de măsurare a densității

Măsurarea densității se poate face cu densimetrul, cu balanța hidrostatică sau cu balanța Mohr Westphal, pe principiul echilibrului hidrostatic.

Densimetrele și areometrele sunt instrumente cu care se determină densitatea corpurilor aflate în stare lichidă. Densimetrele măsoară densitatea oricărui lichid, indiferent de natura chimică a acestuia, iar areometrele măsoară densitatea sau concentrația soluțiilor.

Densimetrele se împart în două categorii: pentru lichide cu densitatea mai mică decât densitatea apei (cu domeniul între 0,650 și 1,000 g/cm³) și pentru lichide cu densitatea mai mare decât densitatea apei (cu domeniul între 1,000 și 2,000 g/cm³).

Densimetrele sunt executate din sticlă (fig. 5.1) și se compun dintr-un corp plutitor (1) de formă cilindrică, o tijă (3), o cameră de lezare (2) pentru menținerea verticalității și, în unele cazuri, un termometru (4). Camera de lezare aflată în partea inferioară poate fi umplută cu mercur sau cu alicie de plumb, în cantitate determinată. În tija cilindrică se află scara gradată a aparatului. La unele densimetre, în corpul plutitor se montează un termometru pe scara căruia se marchează cu roșu temperatura de etalonare. Adâncimea de cufundare variază invers proporțional cu densitatea lichidului.

Măsurarea densității cu aceste instrumente se bazează pe principiul lui Arhimede. Proba de lichid a cărui densitate se măsoară se introduce într-un cilindru de sticlă și se aduce la temperatura de etalonare a densimetruului; densimetruul se introduce în lichid în poziție verticală, astfel încât să plutească fără să oscileze. Densimetruul este în echilibru atunci când masa proprie este egală cu masa de lichid dislocuit. În dreptul suprafeței libere a lichidului se citește valoarea densității pe scara gradată.

Valoarea densității măsurate cu ajutorul densimetrelor depinde de capilaritatea lichidului și de corectitudinea indicațiilor.

Pentru lichide netransparente (lapte, produse petroliere), citirea se face la partea superioară a meniscului, iar pentru lichide transparente, citirea se face la partea inferioară a meniscului.

Meniscul este curbura suprafeței lichidului care apare în punctele de contact cu tija densimetruului, din cauza aderenței (caz în care este concavă) sau a lipsei de aderență (caz în care este convexă).

Metoda bazată pe cântărirea unui volum constant sau metoda picnometruului este foarte precisă și constă în cântărirea corpului analizat și a unui volum egal de apă distilată.

Picnometrele sunt vase din sticlă de capacitate cunoscută (fig. 5.2) cu care se determină, prin cântărire, densitatea substanțelor lichide sau solide.

Determinarea densității unui lichid cu ajutorul picnometruului se face parcurgând următoarele etape:

- se cântărește picnometruul gol (m_1);
- se cântărește picnometruul cu apă distilată (m_2);
- se calculează capacitatea picnometruului;
- se înlocuiește apa cu lichidul de analizat;
- se cântărește picnometruul cu lichidul de analizat (m_3);
- se determină densitatea cu relația:

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1)}{(m_3 - m_1)} \cdot \rho_a$$

În tabelul 5.1 sunt prezentate valori ale densităților unor lichide (la presiunea de 760 torr).

Tabelul 5.1. Densități ale unor lichide

Lichide	Densitatea ρ (kg/m ³)	Temperatura (°C)	Gaze	Densitatea ρ (kg/m ³)	Temperatura (°C)
Apă	1000	4	Aer uscat	1,223	15
Acetonă	792	15	Acetilenă	1,110	15
Alcool etilic	790	15	Amoniac	0,736	15
Benzină	680-740	15	Oxigen	1,352	15
Glicerină	1260	20	Azot	1,183	15
Tetraclorură de carbon	1594	20	Hidrogen	0,085	15

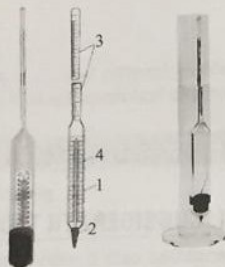


Fig. 5.1. Densimetre

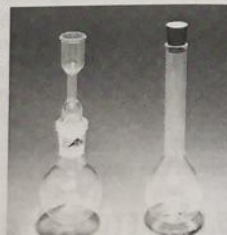


Fig. 5.2. Picnometre

5.2. MĂSURAREA TEMPERATURII

5.2.1. CONSIDERAȚII TEORETICE

Temperatura este o mărime fizică ce caracterizează starea de încălzire a unui corp, a unui mediu etc. În mod convențional, se consideră că temperatura unui corp este mai mare decât a altui corp dacă, puse în contact termic, energia trece de la primul către cel de al doilea.

Temperatura caracterizează gradul de agitație dezordonată a moleculelor unui corp.

Măsurarea și cunoașterea temperaturii sunt importante în conducerea automată și manuală a diferitelor procese tehnologice din industria metalurgică, construcții de mașini, energetică, alimentară etc. Un interes deosebit îl prezintă determinarea temperaturii în domeniul medical, precum și în cel al mașinilor termice și al cazanelor. De aceea, măsurarea cu precizie a acestui parametru este foarte importantă.

În SI, unitatea pentru temperatura termodinamică este unitatea fundamentală numită Kelvin (K). De asemenea, pentru măsurarea temperaturilor se mai utilizează gradul Celsius (°C), gradul Fahrenheit (°F) și gradul Réaumur (°R). În tabelul 5.2 sunt date formulele de conversie pentru diverse unități de temperatură.

Tabelul 5.2. Formule de conversie pentru unități de temperatură

Convertire		Formulă
din	în	
Celsius	Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1,8 + 32$
Fahrenheit	Celsius	$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1,8$
Celsius	Kelvin	$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$
Kelvin	Celsius	$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$

Stabilirea unei scări de temperatură constă în adoptarea unor reguli care să permită atribuirea unei valori numerice fiecărei temperaturi.

Punctul caracteristic corespunzător stării termodinamice în care un sistem microscopic se poate găsi simultan în echilibru, în fază solidă, lichidă și gazoasă, se numește **punct triplu**.

În tabelul 5.3 sunt date câteva temperaturi de bază pe scara Celsius și corespondențele acestora pe alte scări.

Tabelul 5.3. Valorile unor temperaturi de bază exprimate pe diverse scări

Temperaturi de bază	Kelvin	Celsius	Fahrenheit
Zero absolut (exact, prin definiție)	0 K	-273,15 °C	-459,67 °F
Punctul de topire al gheții	273,15 K	0 °C	32 °F
Punctul triplu al apei (exact, prin definiție)	273,15 K	0,01 °C	32,018 °F
Punctul de fierbere a apei	373,1339 K	99,9839 °C	211,9710 °F

Toate metodele de măsurare a temperaturii se bazează pe principiul echilibrului termodinamic și pe faptul, stabilit experimental, că unele mărimi fizice asociate corpurilor variază odată cu încălzirea sau cu răcirea lor.

Toate proprietățile fizice ale corpurilor depind, într-o măsură mai mică sau mai mare, de temperatură. De aceea, construcția aparatelor și a dispozitivelor pentru măsurarea temperaturilor se realizează pe baza acelor proprietăți care variază în același sens cu temperatura, care nu sunt supuse influenței altor factori și se pot măsura cu precizie. Proprietățile care corespund acestor condiții sunt: dilatația corpurilor, efectul termoelectric, variația rezistenței electrice, radiația și culoarea corpurilor.

Pentru a măsura temperatura unui corp este nevoie să se aleagă: corpul termometric, mărimea (proprietatea) termometrică și scara de temperatură.

Corpul termometric este un corp ale cărui proprietăți fizice variază cu temperatura. Indicarea temperaturii se obține prin stabilirea echilibrului termodinamic între corpul a cărui temperatură se dorește a fi stabilită și corpul termometric, stare în care transferul de căldură dintre acestea se anulează. Cele mai utilizate corpuri termometrice sunt mercurul, alcoolul etilic și toluenul.

Scara termometrică este un sistem de reguli cu ajutorul căruia se stabilește o corespondență biunivocă între valorile temperaturii și mulțimea numerelor reale.

Dispozitivul folosit pentru măsurarea temperaturii este *termometrul*.

Termometrul este un dispozitiv bazat pe un corp termometric gradat în unități de măsură – numite grade –, ce servește la determinarea temperaturilor pe baza unei scări termometrice (sau de temperatură).

5.2.2. CLASIFICAREA TERMOMETRELOR

Termometrele care au cea mai largă utilizare în tehnică pot fi clasificate în funcție de principiul de funcționare, conform tabelului 5.4.

Tabelul 5.4. Clasificarea termometrelor în funcție de principiul de măsurare

Principiul de măsurare	Tipul termometrului
Dilatarea unui lichid într-un tub capilar sau a unui corp solid sub acțiunea căldurii	– termometre cu lichid (mercur, alcool etc.) – termometre metalice, termometre bimetalice
Variația rezistenței electrice a unui conductor aflat sub acțiunea căldurii	– termometre cu rezistență electrică – termistoare
Apariția unei forțe electromotoare prin încălzirea sudurii dintre doi electrozi diferiți	– termocuple – pirometre termoelectrice
Recepționarea de informații asupra stării de încălzire a corpului folosind sistemul de amplificare a luminii prin emisie stimulată de radiații (laser)	– pirometre cu radiații
Schimbarea culorii substanțelor indicatoare sub acțiunea căldurii	– fototermometre – indicatoare piroscopice – indicatoare fuzibile

În general, orice aparat pentru măsurarea temperaturii se compune din două elemente distincte: traductorul de temperatură și aparatul indicator.

Prin *traductor de temperatură* se înțelege elementul sensibil care transformă variația de temperatură în variația unei alte mărimi (lungime, presiune, rezistență electrică, tensiune electrică etc.).

Prin *aparat indicator* se înțelege elementul care posedă o scară gradată și un reper indicator.

Aparatele destinate măsurării temperaturilor sunt utilizate pe scară largă în industrie, în special în cea metalurgică, în supravegherea operațiilor în care materialele sunt supuse unor tratamente termice.

Cele mai utilizate aparate de măsurare a temperaturii sunt: termometrele metalice, termometrele cu rezistență electrică, termocuplele și pirometrele.

Poziția elementului sensibil al termometrului în raport cu mediul sau cu corpul căruia i se măsoară temperatura determină clasarea sau clasificarea metodelor de măsurare în **metode cu contact** și **metode fără contact**.

În cazul primei metode, măsurarea poate avea loc numai cu condiția ca elementul sensibil al termometrului să capete aceeași temperatură cu cea a mediului de măsurat. Această metodă poate introduce erori. Pe baza acestei metode funcționează termometrele din sticlă, cu rezistență electrică, cu termocuple și altele.

Metoda fără contact folosește radiația termică a corpurilor, iar elementul sensibil primește doar energia radiantă de la corpul a cărui temperatură se măsoară. Dificultățile de interpretare a rezultatelor fac ca și această metodă să introducă erori.

5.2.3. DESCRIEREA ȘI FUNCȚIONAREA TERMOMETRELOR

Invenția termometrului îi este atribuită lui Galileo Galilei, deși termometrul etanș nu a fost inventat decât abia în anul 1650. Termometrele moderne cu alcool și mercur au fost inventate de fizicianul german Gabriel Fahrenheit.

Termometre de dilatare cu lichid (fig. 5.3) sunt formate dintr-un tub capilar de sticlă terminat la partea inferioară printr-un mic rezervor (bulb) de formă alungită sau sferică, umplut cu mercur, alcool sau alt lichid termometric. Tubul capilar este închis la capătul superior, după ce a fost vidat. Sub efectul creșterii sau al scăderii temperaturii, lichidul se dilată sau se contractă, având ca efect urcarea, respectiv coborârea coloanei de lichid în tubul capilar, de-a lungul unei scări gradate. Termometrele cu mercur sunt folosite pentru măsurarea temperaturilor ridicate, de până la 300 °C, în timp ce termometrele cu alcool pot măsura temperaturi joase de până la -70 °C.

Termometre mecanice de dilatare pot fi termometre cu tijă sau termometre bimetalice.

Termometrul cu tijă (fig. 5.4) este compus dintr-un tub (1) cu coeficient de dilatare α_1 (de exemplu, materialul poate fi porțelan sau cuarț) și din tija (2), cu coeficient de dilatare α_2 , mult mai mare decât α_1 (de exemplu cupru, aluminiu, alamă, oțel). Introducând termometrul în mediul a cărui temperatură o măsurăm, tija (3) se va dilata și, sub acțiunea arcului (4), va deplasa acul indicator (5) pe scara gradată. Diferența de dilatare optimă se poate obține dacă, de exemplu, tubul este din porțelan, iar tija din aluminiu.

Termometrul bimetalic (fig. 5.5) este alcătuit dintr-o lamă bimetalică încastrată la un capăt și liberă la celălalt. Lama se obține prin sudarea a două lamele metalice, 1 și 2, cu coeficienți de dilatare diferiți, α_1 și, respectiv, α_2 . Prin încălzire, lama se îndoaie, deoarece lamela 2 se alungește mai mult decât lamela 1. Dacă termometrul este încălzit, lama va tinde să se îndrepte, capătul liber se va ridica, deplasând acul indicator pe scara gradată. Termometrele bimetalice se folosesc în intervale de temperatură -50 + 450 °C. Se confecționează, în general, din bimetale:

aliaje de fier-nichel și crom pentru lama cu coeficient de dilatare mare și aliaje de invar cu nichel pentru lama cu coeficient de dilatare mic.

Termometrele manometrice (fig. 5.6) sunt alcătuite din 3 părți, și anume: un tub metalic (1) care se va așeza în mediul a cărui temperatură se măsoară, un tub capilar flexibil (2), a cărui lungime poate atinge până la 25-30 m, și un aparat cu cadran, construit pe principiul

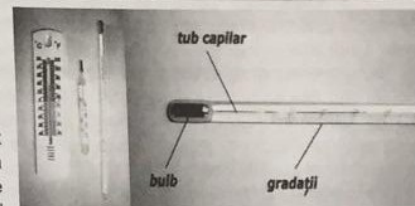


Fig. 5.3. Termometre cu lichid

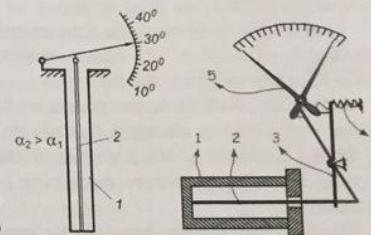


Fig. 5.4. Termometru cu tijă

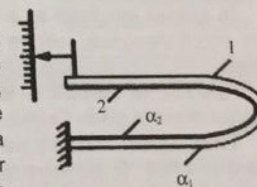


Fig. 5.5. Termometru bimetalic

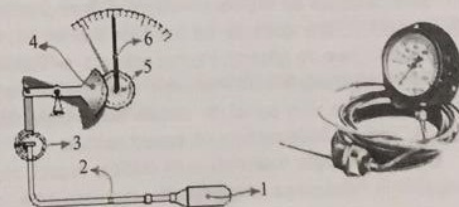


Fig. 5.6. Termometru manometric

Viscozitatea dinamică a unui fluid de curgere se determină cu relația:

$$\eta = \frac{d}{S \cdot v} \cdot F$$

unde: d – distanța străbătută de fluid la curgere;

F – forța de rezistență învinsă de fluid;

S – suprafața în secțiune a fluidului ce curge;

v – viteza de curgere a fluidului.

Dacă viteza de curgere nu se modifică, curgerea se numește laminară.

Viscozitatea dinamică are ca unitate de măsură $[N \cdot s/m^2]$, respectiv $[Pa \cdot s]$. În mod tradițional, se folosește o unitate de măsură particulară, denumită „poise” [P], în onoarea medicului francez Jean Louis Marie Poiseuille (inventatorul viscozimetruului). În practică, se utilizează frecvent un submultiplicu, numit centipoise ($1cP = 10^{-2}P$), care reprezintă viscozitatea apei distilate la $20,2^\circ C$.

Viscozitatea cinematică este raportul dintre viscozitatea dinamică și densitatea fluidului analizat și are ca unitate de măsură m^2/s . Se calculează cu relația:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Atunci când această viscozitate se determină cu viscozimetruul Engler, rezultatele obținute se măsoară în grade Engler.

Viscozitatea convențională sau relativă se definește ca fiind viscozitatea lichidului de analizat (η_a) în raport cu viscozitatea lichidului de referință (η_r) care, de obicei, este a apei:

$$\eta = \frac{\eta_a}{\eta_r}$$

Fiind un raport al aceluiași mărimi, viscozitatea relativă nu are dimensiuni.

Acest parametru se măsoară cel mai frecvent cu viscozimetruul Engler, având ca unitate de măsură gradul Engler, caz în care se determină cu formula:

$$\eta = \frac{t}{t_0}, \text{ unde } t \text{ și } t_0 \text{ sunt temperaturile fluidului de analizat, respectiv ale fluidului etalon.}$$

Viscozitatea convențională se aplică în condiții industriale, iar cea dinamică și cinematică, în condiții de laborator.

Viscozitatea dinamică variază, de obicei, mai puțin cu presiunea, dar destul de mult cu temperatura. De aceea, este necesară și menționarea temperaturii pentru care este dată viscozitatea. În cazul în care densitatea fluidului depinde și ea de presiune și de temperatură, viscozitatea cinematică variază mult cu acești parametri care trebuie precizați.

5.3.2. METODE ȘI MIJLOACE DE MĂSURARE A VISCOZITĂȚII

Metodele de determinare a viscozității se bazează pe măsurarea:

- vitezei de curgere printr-un tub capilar de dimensiuni cunoscute;
- vitezei de cădere a unei bile printr-un tub umplut cu fluidul de cercetat;
- efectului de antrenare pe care îl exercită fluidul în mișcare de rotație asupra unui cilindru suspendat.

Prin urmare, toate metodele se bazează pe acțiunea reciprocă dintre fluidul cercetat și un corp străin (pereții tubului, bila, cilindrul).

Aparatele pentru măsurarea viscozității se numesc viscozimetre. Sunt de mai multe tipuri:

- viscozimetre cu tub capilar, care determină viscozitatea cinematică prin comparare cu un fluid etalon; sunt foarte precise și se folosesc în laboratoare;
- viscozimetre rotative, care determină viscozitatea dinamică; pot determina viscozitatea unui fluid fără a avea nevoie de un fluid de comparație; sunt folosite ca etaloane;
- viscozimetre cu bilă, care determină tot viscozitatea cinematică, însă necesită etalonare; se folosesc în tehnică;
- viscozimetre Engler, care determină viscozitatea cinematică prin compararea cu un fluid etalon, la curgerea printr-un orificiu;
- viscozimetre cu element vibrator, care determină tot viscozitatea dinamică, dar au nevoie de o etalonare cu un fluid de comparație.

➤ **Determinarea viscozității chimice cu viscozimetruul cu tub capilar** de dimensiuni cunoscute se face prin măsurarea timpului în care o cantitate determinată de lichid trece printr-un tub capilar sub acțiunea unei forțe exterioare. Din practica măsurătorilor rezultă că, pentru determinarea cu precizie a viscozității prin această metodă, este necesar ca lungimea tubului capilar și timpul de curgere să fie cât mai mari, iar diametrul tubului să fie perfect uniform.

Acest tip de viscozimetru (fig. 5.11), numit și capilar, este format dintr-un tub 1, mai larg, care la partea inferioară prezintă un rezervor 2 cu două repere, 3 și 4, între care trebuie să ajungă nivelul lichidului de analizat, înainte de determinarea propriu-zisă. Rezervorul comunică cu un tub 5 ce conține în interior o capilară și la partea superioară, două bile diferite ca mărime, notate cu 6 și 7. Se lucrează la temperatura constantă, menținută prin cufundarea viscozimetruului într-o baie. Măsurarea temperaturii lichidului ce se află în rezervor se face cu un termometru introdus prin tubul 1. După uniformizarea temperaturii, se astupă cu degetul tubul 8 și, folosind o pară de cauciuc fixată la partea superioară a tubului 5, se aspiră lichidul până se umple ambele bile, 6 și 7. Se desface para de cauciuc și se ia degetul, iar presiunea atmosferică rupe coloana de lichid sub reperul 10, fixat deasupra bilei 7, și reperul 9. Se repetă operațiunea de trei ori și se ia în calcul media aritmetică a măsurătorilor.

Formula de calcul este:

$$\nu = K \cdot t$$

unde: ν – viscozitatea cinematică;

K – constanta capilare, dată în certificatul aparatului;

t – timpul de curgere.

➤ **Determinarea viscozității chimice cu viscozimetruul rotativ** (fig. 5.12) se realizează pe scară largă în industrie și se bazează pe măsurarea forței de frecare exercitate de lichidul cu viscozitate necunoscută asupra unui corp rotitor aflat în mișcare de rotație.

Lichidul (2) a cărui viscozitate se măsoară se introduce într-un recipient cilindric (1), în care se află un alt cilindru (3) concentric cu primul. Recipientul este rotit cu o viteză constantă de către un motor (4) prin intermediul unui reductor (5). Acest sistem imprimă recipientului o mișcare de rotație ce va fi transmisă cilindrilor prin straturile de lichid. Acesta va căpăta o mișcare de rotație care se va transmite acului indicator și se va citi pe cadranul (6).

Viscozitatea dinamică se determină cu formula:

$$\eta = \frac{M}{2\pi \cdot \omega \cdot h} \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

unde: M – cuplul de rotație;

ω – viteza unghiulară;

h – înălțimea cilindrului rotitor;

d – diametrul cilindrului rotitor.

Viscozitatea lichidului depinde de dimensiunile și de viteza de rotație a cilindrului (3).

➤ **Determinarea viscozității unui lichid cu viscozimetruul cu bilă** (viscozimetruul Hoppler) se execută cu un aparat de mare precizie, numit viscozimetru Hoppler (fig. 5.13), compus din:

- un cilindru de sticlă în care se află montată o eprubetă calibrată și înclinată la 10° față de verticală;
- un set de bile bine calibrate;
- un termometru pentru măsurarea temperaturii;
- ultratermostatul pentru menținerea constantă a temperaturii.

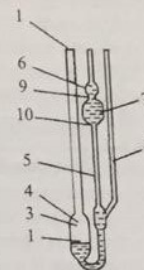


Fig. 5.11. Viscozimetru cu tub capilar

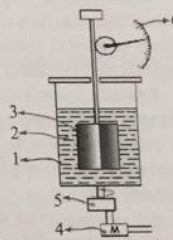


Fig. 5.12. Viscozimetru rotativ

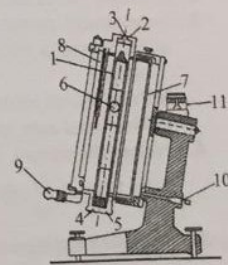


Fig. 5.13. Viscozimetru Hoppler cu bilă

Principiul de funcționare este următorul. Fluidul de analizat se introduce în cilindrul de sticlă (1) care a fost bine curățat în prealabil. Tubul se închide cu ajutorul dopului (2) și al căpăcelelor (3, 4, 5). În interiorul cilindrului se află și bila (6), corespunzător aleasă dintr-un set de bile. Verificarea temperaturii din mantaua de încălzire (7) se face cu termometrul (8). Lichidul de încălzire sosit de la termostat intră în mantaua de încălzire prin lentilele de legătură (9). Practic, la determinarea după o termostatare de 15 minute și stabilirea temperaturii de lucru de 20 °C, se trage șurubul de fixare (10). Se răstoarnă rapid partea mobilă a aparatului care se rotește în jurul șurubului (11) și se măsoară timpul de cădere a bilei prin lichid între cele două repere a și b de pe cilindru ce conține fluidul de cercetat. Operațiunea se repetă de trei ori și se face media aritmetică a determinărilor.

Viscozitatea dinamică se calculează conform formulei:

$$\eta = K \cdot t \cdot (\rho_b - \rho_c),$$

unde: K – constanta bilei;

ρ_b – densitatea relativă a bilei;

ρ_c – densitatea relativă a lichidului de cercetat, determinat cu balanța Mohr–Westphal;

t – timpul de cădere a bilei între cele două repere, în secunde.

Constantele K și ρ_b diferă de la aparat la aparat și sunt date în certificatul aparatului.

➤ **Determinarea viscozității Engler** se bazează pe un principiu asemănător viscozimetrelor cu tub capilar. Valorile măsurate se exprimă în grade Engler (°E).

Viscozimetru Engler (fig. 5.14) este un instrument destinat determinării viscozității specifice a gudroanelor și a produselor rezultate din acestea; este folosit și pentru compararea viscozității specifice a substanțelor uleioase și bituminoase cu cea a apei.

Aparatul constă dintr-un vas interior înconjurat de o manta în care se găsește apă (pentru reglare termică).

Viscozimetru include un regulator termic și un dispozitiv de agitare. În vasul interior se introduce apa, se pornesc agitatorul și încălzirea, se ridică tija care acoperă orificiul de curgere și se măsoară timpul în care curge cantitatea de apă introdusă. Se introduce același volum din lichidul a cărui viscozitate specifică se dorește a fi determinată și se procedează similar. Făcând raportul dintre cele două valori obținute pentru timpul de curgere (timpul de curgere a uleiului și timpul de curgere a apei) se obține viscozitatea în grade Engler.



Fig. 5.14. Viscozimetru Engler

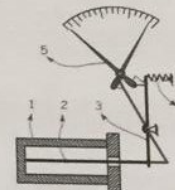
Aplicații

LUCRAȚI INDIVIDUAL!

1. Clasifică viscozitatea.
2. Definește viscozitatea convențională.
3. Completează spațiile libere astfel încât enunțurile de mai jos să fie corecte:
 - a) Termometrul bimetalic este alcătuit dintr-o ... bimetalică încastrată la un capăt și liberă la celălalt.
 - b) Principiul de măsurare al unui termometru cu lichid este ... unui lichid într-un tub capilar.
 - c) Pirometrul este un aparat pentru măsurarea ...
4. Unitatea de măsură, din SI, pentru densitate este:
 - a) kg; b) g; c) $\frac{kg}{m^3}$; d) $\frac{kg}{m^2}$.
5. Efectuează următoarele transformări:
 - a) $9.000 \frac{kg}{m^3} = ? \frac{g}{cm^3}$; b) $300 \text{ mg} = ? \text{ hg}$; c) $6.000 \text{ g} = ? \text{ q}$.

FIȘĂ DE LUCRU

1. Clasifică metodele de măsurare a densității lichidelor.
2. Enumeră etapele care trebuie parcurse pentru măsurarea cu picnometru.
3. Completează spațiile libere astfel încât enunțurile de mai jos să fie corecte.
 - a) Densitatea se definește ca fiind ... unități de ...
 - b) Temperatura este o mărime fizică ce caracterizează starea de ... a unui corp sau a unui mediu.
 - c) Dispozitivul folosit pentru măsurarea temperaturii este ...
4. Identifică părțile componente ale termometrului din figura alăturată.



TEST DE EVALUARE

SUBIECTUL 1

I. Pentru fiecare dintre cerințele de mai jos, scrie litera corespunzătoare răspunsului corect.

1. Picnometrele sunt mijloace pentru măsurarea:
 - a) maselor; b) debitelor; c) densităților; d) temperaturii.
2. Unitatea de măsură pentru temperatura termodinamică în SI este:
 - a) gradul Celsius; b) gradul Fahrenheit; c) gradul Kelvin; d) gradul Réaumur.
3. Unitatea de măsură centipoise se utilizează pentru măsurarea:
 - a) densității; b) viscozității dinamice; c) viscozității cinematice; d) temperaturii.
4. Intervalul de temperatură pentru care se folosesc termometrele bimetalice este:
 - a) 0 °C + +100 °C; b) -50 °C + +50 °C; c) 0 °C + +450 °C; d) -50 °C + +450 °C.
5. 0 °C reprezintă:
 - a) punctul triplu al apei; b) punctul de fierbere a apei; c) punctul de topire a gheții; d) punctul zero absolut.

II. Transcrie, pe caiet, litera corespunzătoare fiecărui enunț (a, b, c, d, e) și notează în dreptul ei litera A, dacă apreciezi că enunțul este adevărat, sau litera F, dacă apreciezi că enunțul este fals.

- a) Camera de lestarsă a unui densimetru poate fi umplută cu mercur.
- b) Unitatea de măsură în SI pentru densitate este Kg/m³.
- c) 1 °C = - 273 K.
- d) Picnometrele sunt aparate pentru măsurarea viscozității.
- e) Densitatea este, în S.I., o mărime fizică fundamentală.

SUBIECTUL 2

Efectuează transformările:

- a) 20 °C = ... K
- b) 100 cP = ... P
- c) Calculează volumul unui corp din oțel cu masa de 0,300 kg, știind că densitatea $\rho_{\text{oțel}} = 7.860 \text{ kg/m}^3$.

SUBIECTUL 3

Răspunde următoarelor cerințe:

1. Precizează denumirea și destinația celor două mijloace de măsurare reprezentate schematic în figurile 1 și 2.
2. Pentru mijlocul de măsurare reprezentat în figura 3, enumeră oricare 5 dintre părțile componente.

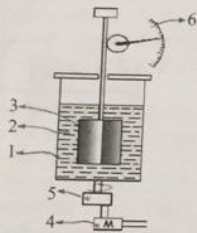


Fig. 1



Fig. 2

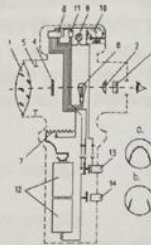


Fig. 3

CAPITOLUL 6

MĂSURAREA MĂRIMILOR ELECTRICE

6.1. MĂSURAREA INTENSITĂȚII CURENTULUI ELECTRIC

Intensitatea curentului electric (I) reprezintă cantitatea de sarcină electrică (Q) ce străbate secțiunea transversală a unui conductor în unitatea de timp (t).

$$I = \frac{Q}{t}$$

Unitatea de măsură a intensității curentului electric în sistemul SI este amperul, simbol A.

Multiplii și submultiplii amperului cei mai utilizați sunt:

- microamperul μA ($1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{A}$);
- miliamperul mA ($1 \text{mA} = 10^{-3} \text{A}$);
- kiloamperul kA ($1 \text{kA} = 10^3 \text{A}$).

Măsurarea intensității curentului electric în circuitele de curent continuu și de curent alternativ se realizează cu aparate de măsurat numite **ampermetre**, care se reprezintă simbolic ca în figura 6.1.

Ampermetrele se clasifică după următoarele criterii:

- după modul în care sunt indicate valorile, ampermetrele pot fi *analogice* (fig. 6.2) sau *digitale* (fig. 6.3), cu unul sau cu mai multe domenii de măsurare;
- după principiul de funcționare, se clasifică în:
 - ampermetre *magneto-electrice* și ampermetre *feromagnetice*, a căror funcționare se bazează pe efectul magnetic al curentului electric;
 - ampermetre *electrodinamice* și ampermetre *ferodinamice*, a căror funcționare se bazează pe acțiunea forțelor electrodinamice care se exercită între bobinele fixe și mobile parcurse de curent;
 - ampermetre *termice*, a căror funcționare se bazează pe efectul termic al curentului electric.

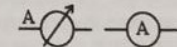


Fig. 6.1. Simbolizarea ampermetrului

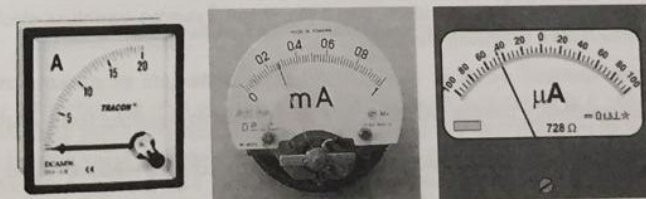


Fig. 6.2. Ampermetre analogice



Fig. 6.3. Ampermetre digitale

Intensitatea curentului electric se măsoară prin metode *directe* sau *indirecte*, într-o gamă de valori cuprinsă între 10^{-12} și 10^4 A.

Mijloacele și metodele de măsurare a intensității curentului electric prezintă particularități în funcție de nivelul semnalului (intensități mici sau mari) și de forma curentului electric măsurat (curent continuu sau alternativ, de joasă sau de înaltă frecvență).

Pentru măsurarea curentului continuu, se utilizează ampermetre analogice de tip magnetoelectric, sau alternativ, de joasă sau de înaltă frecvență.

Pentru măsurarea curentului continuu, se utilizează ampermetre analogice de tip magnetoelectric cu feromagnetic sau electrodinamic și ampermetre digitale.

Pentru măsurări în curent alternativ, se utilizează ampermetre analogice de tip magnetoelectric cu redresor, feromagnetic, electrodinamic sau ferodinamic și ampermetre digitale.

Curenții de intensitate mică, de ordinul 10^{-6} - 10^{-12} A, se măsoară cu aparate foarte sensibile, numite *galvanometre magnetoelectrice*. Curenții de valori mai mari, care nu depășesc 1 A, se măsoară cu *miliampermetrul*.

6.1.1. MONTAREA AMPERMETRELOR ÎN CIRCUIT

Ampermetrele se montează în serie în circuitul în care se măsoară intensitatea curentului electric (fig. 6.4).

Montarea ampermetrului se face întrerupând circuitul și intercalând aparatul, astfel încât prin el să treacă curentul de măsurat. Introducerea ampermetrului mărește, prin rezistența sa internă R_A , rezistența totală din circuit, iar intensitatea curentului de măsurat scade comparativ cu valoarea inițială.

În cazul în care toate elementele circuitului în care se măsoară intensitatea sunt în serie, nu are importanță în ce loc se inserează ampermetrul, deoarece intensitatea curentului este aceeași.

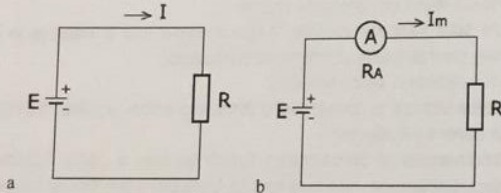


Fig. 6.4. Montarea ampermetrului în circuitul de măsurare: a. - circuit fără ampermetru; b. - circuit cu ampermetru.

Înainte de introducerea ampermetrului în circuit (fig. 6.4.a), valoarea curentului electric este I și se numește *valoarea reală a curentului măsurat*:

$$I = \frac{E}{R}$$

unde E este tensiunea la bornele circuitului, iar R este rezistența circuitului (consumatorului) parcurs de curentul I .

Ca urmare a introducerii ampermetrului în circuit (fig. 6.4.b), curentul măsurat I_m este mai mic decât curentul I și va avea valoarea:

$$I_m = \frac{E}{R + R_A}$$

Măsurarea va fi afectată de o eroare absolută, $\varepsilon = I_m - I$, cu atât mai mare cu cât R_A este mai mare. Pentru a nu influența măsurarea ($I_m \cong I$), este necesar ca rezistența internă a ampermetrului să fie mult mai mică decât rezistența circuitului (consumatorului):

$$R_A \ll R$$

Montarea ampermetrului în paralel constituie o greșeală foarte gravă în tehnica măsurărilor. În acest caz, prin ampermetru va trece un curent de intensitate foarte mare, care poate produce deteriorarea acestuia.

6.1.2. EXTINDEREA DOMENIULUI DE MĂSURARE LA AMPERMETRE

Orice aparat de măsură este construit astfel încât să suporte o anumită valoare de măsură (curent electric, tensiune electrică, putere electrică, frecvență etc.). Pentru a măsura intensități electrice mai mari decât cele suportate de dispozitivul de măsurat, domeniul de măsurare se poate extinde cu dispozitive auxiliare, precum *șunturile* și *transformatoarele de intensitate*.

• **Șuntul** este un rezistor cu valoare mică a rezistenței care se conectează în derivație cu aparatul de măsurat (fig. 6.5) și are rolul de a prelua o parte din curentul de măsurat. Extinderea domeniului de măsură cu ajutorul șuntului este posibilă numai pentru curenți până la ordinul zecilor sau a sutelor de amperi.

Valoarea rezistenței șuntului se determină cu ajutorul relației: $R_S = \frac{R_A}{n-1}$

unde: R_S - rezistența șuntului;
 R_A - rezistența ampermetrului.

$n = \frac{I}{I_A}$ este un coeficient de multiplicare care indică de câte ori este mai mare curentul de măsurat (I) decât curentul nominal prin ampermetru (I_A).

Șunturile (fig. 6.6) se confecționează din manganină, sub formă de bobine, de bare rotunde sau de bandă. Pentru curenți mici (de ordinul zecilor de amperi), acestea se montează în interiorul carcasei aparatului, iar pentru curenți mari, în exteriorul carcasei.

Șuntul se folosește, mai ales, în curent continuu, dar se poate utiliza și în curent alternativ, de exemplu la multimetre. În acest caz, șuntul este interior aparatului și extinde curentul de măsurare până la câțiva amperi, atât în curent continuu, cât și în curent alternativ.

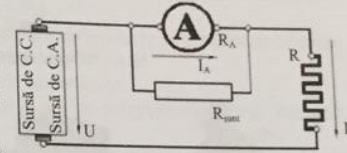


Fig. 6.5. Montarea șuntului



Fig. 6.6. Șunturi: a. - de curent continuu; b. - de curent alternativ.

• **Transformatoarele de intensitate** sau reductoarele de curent se utilizează pentru măsurarea curenților alternativi mai mari de 50 A și au rolul să reducă curentul de la o valoare mare la o valoare maximă admisă de aparat. Se folosesc în instalațiile de medie sau de înaltă tensiune, pentru a măsura valori de ordinul zecilor, al sutelor sau al miilor de amperi. Înfășurarea primară a reductorului de curent este calculată pentru valoarea curentului care trebuie măsurat, iar înfășurarea secundară, pentru intensitatea standardizată de 5 A sau de 1 A. Înfășurarea primară (bornele P1, P2) se conectează în serie în circuit, iar înfășurarea secundară (S1, S2) se conectează la un ampermetru construit pentru a suporta un curent de 5 A (fig. 6.7). Când înfășurarea primară este parcursă de curent, înfășurarea secundară trebuie închisă pe bobina de curent a aparatului de măsurat sau se scurtcircuitează.

Transformatoarele de măsurare de curent se caracterizează printr-un raport de transformare nominal k , care se determină prin raportul $k = I_p/I_s$, unde I_p reprezintă curentul din primarul transformatorului, iar I_s curentul din secundarul transformatorului.

Transformatoarele industriale de curent (fig. 6.8) se realizează ca transformatoare portative de tip clește, ca transformatoare fixe de tip suport sau de tip bară.

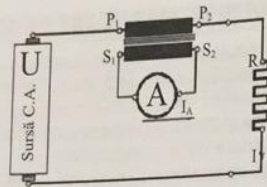


Fig. 6.7. Extinderea domeniului de măsurare cu transformatoare de intensitate

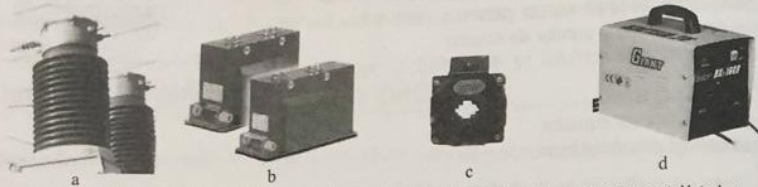


Fig. 6.8. Transformatoare de intensitate: a. – tip suport pentru montaj exterior; b. – tip suport pentru montaj interior; c. – tip bară; d. – portabil de curent alternativ.

În multe aplicații practice este necesar să se măsoare atât intensități mici ale curentului, cât și intensități mari. În acest caz, se folosesc **ampermetre cu mai multe domenii de măsurare** (cu șunturi pentru mai multe domenii de măsurare), care schimbă domeniul de măsurare cu ajutorul unui comutator (selector). Montajul din figura 6.9 permite extinderea domeniilor de măsurare la I_1 , I_2 și I_3 .

Ampermetrele analogice sunt prevăzute cu una sau cu mai multe scări gradate, care se utilizează în funcție de domeniul selectat. La ampermetrele analogice cu o singură scară (fig. 6.10), intensitatea I a curentului electric măsurat se obține înmulțind cifra arătată de indicele indicatorului în diviziuni cu constanta aparatului specifică domeniului de măsurare ales. Constanta aparatului (K_I) se va calcula împărțind intensitatea curentului nominal pentru domeniul respectiv, I_n , la numărul maxim de diviziuni ale scării gradate, α_{max} .

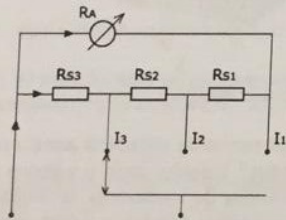


Fig. 6.9. Ampermetru cu șunt multiplu (cu mai multe domenii de măsurare)

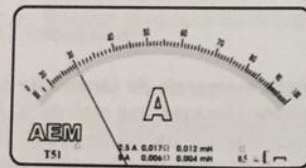


Fig. 6.10. Scara gradată a unui ampermetru analogic cu două domenii de măsurare (2,5 A și 5 A).

Valoarea intensității curentului electric măsurat este: $I = \alpha \cdot K_I$, unde $K_I = K_I = \frac{I_n}{\alpha_{max}}$ [A/div.].

6.1.3. APARATE PENTRU MĂSURAREA INTENSITĂȚII

• **Ampermetrele de curent continuu** pot fi analogice (de tip magnetoelectric, feromagnetic sau electrodinamic) sau digitale.

Ampermetrele magnetoelectrice sunt cele mai utilizate aparate analogice pentru măsurarea curentului continuu. Datorită sensibilității ridicate, consumului propriu redus, clasei de precizie bună,

ampermetrele magnetoelectrice se utilizează cu precădere ca aparate de laborator. Ele se construiesc pentru domenii cuprinse între 0,1 și 100 A cu șunturi interioare și până la 10 kA cu șunturi exterioare.

Ampermetrele electrodinamice se caracterizează prin exactitate ridicată și sunt realizate cu clasă de precizie 0,1 sau 0,2.

Ampermetrele feromagnetice se utilizează mai frecvent în curent alternativ, dar și în curent continuu. Se construiesc pentru curenți de la 10 mA până la 100 A, cu unul sau cu mai multe domenii de măsurare.

Ampermetrele de curent continuu au bornele marcate cu „+” și „-”.

La conectarea ampermetrelor analogice în circuitul de măsurare, se ține cont de polaritatea bornelor, astfel încât borna „+” să fie conectată spre borna „+” a generatorului.

La măsurarea în curent alternativ, marcajul bornelor nu are semnificație.

• **Ampermetrele de curent alternativ** pot fi analogice (de tip magnetoelectric cu redresor, feromagnetic, electrodinamic sau ferodinamic) sau digitale.

Ampermetrele magnetoelectrice cu redresor se obțin prin asocierea unui dispozitiv magnetoelectric cu unul sau cu mai multe dispozitive de redresare și au consum propriu scăzut. Curentul alternativ de măsurat este transformat în curent continuu și apoi este aplicat dispozitivului magnetoelectric. Cu acest tip de ampermetre se pot măsura curenți alternativi cu precizie ridicată.

Ampermetrele de tip feromagnetic sunt folosite pentru măsurarea curentului alternativ de frecvență industrială. Sunt utilizate cu precădere ca aparate de tablou, deoarece sunt robuste și fiabile.

Ampermetrele feromagnetice de tablou se construiesc pentru valori nominale de 5 A și se montează împreună cu reductoare de curent când se măsoară valori mari și foarte mari ale curentului electric.

Ampermetrele electrodinamice sunt cele mai exacte aparate analogice utilizate pentru măsurări în curent alternativ. Sunt construite, de regulă, ca aparate de laborator cu clasa de precizie 0,1 și 0,2.

• **Multimetrele** sunt aparate portabile care pot măsura mai multe mărimi electrice, având, pentru fiecare mărime, mai multe domenii de măsurare și un singur dispozitiv de indicare. Ele reunesc în aceeași carcasă dispozitivul de măsură, șunturile, rezistențele adiționale și comutatoarele necesare alegerii mărimii de măsurat și a domeniului de măsurare.

Pentru măsurarea intensității curentului continuu sau alternativ, se utilizează multimetre *analogice* sau *digitale* (fig. 6.11 – 6.13).

Multimetrele uzuale măsoară: tensiuni electrice continue și alternative, intensități ale curentului electric continuu și alternativ, rezistențe electrice. Mai pot măsura și alte mărimi, de exemplu: temperaturi (prin conectarea unui traductor de temperatură), capacități electrice, frecvențe, factori de amplificare ai tranzistoarelor, sau pot indica starea bateriei care alimentează aparatul.



Fig. 6.11. Multimetru analogic



Fig. 6.12. Multimetru digital



Fig. 6.13. Multimetru cu afișaj dublu: analogic-digital

Măsurarea intensității curentului cu multimetrul analogic constă în:

- reglarea poziției acului indicator;
- selectarea funcției de ampermetru: c.c./D.C./= sau c.a./A.C./ ~;
- alegerea domeniului de măsurare cel mai apropiat de valoarea curentului care este măsurat sau pe domeniul cel mai mare;
- conectarea multimetrului în serie, în circuit, prin intermediul conectorilor. Pentru măsurări în curent continuu, se va respecta polaritatea bornelor. În curent alternativ nu are importanță polaritatea bornelor;
- citirea valorii indicate.

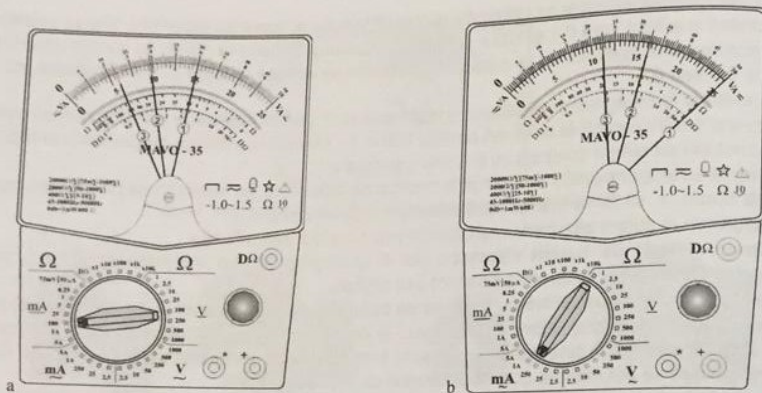


Fig. 6.14. Măsurarea cu multimetrul analogic: a. - măsurarea intensității curentului continuu; b. - măsurarea intensității curentului alternativ

Exemplu de citire - poziția 1 (fig. 6.14 a): măsurarea curentului continuu utilizând scara inscripționată cu 25 VA

$$K_I = \frac{100 \text{ mA}}{25 \text{ div}} = 4 \text{ mA/div}$$

$$I = 4 \text{ mA/div} \cdot 15 \text{ div} = 60 \text{ mA}$$

Măsurarea intensității curentului cu multimetrul digital (numeric) (fig. 6.15 - 6.17) constă în selectarea funcției de ampermetru, conectarea multimetrului în serie, în circuit, prin intermediul conectorilor (borna A și borna COM) și citirea valorii afișate a intensității curentului. Valoarea afișată este exprimată în amperi, miliamperi sau microamperi, în funcție de domeniul selectat.



1 - bornă comună COM;
2 - borna (priza) A pentru folosirea ampermetrului;
3 - selector de funcții și domenii;
4 - afișarea cu cristale (LED).
Fig. 6.15. Multimetrul digital



Fig. 6.16. Multimetrul digital de laborator



Fig. 6.17. Multimetrul tip creion

- Cleștele ampermetric (fig. 6.18.) este utilizat pentru măsurarea intensității curentului electric în conductoare (pe câte un conductor). Cleștele se închide în jurul unui conductor parcurs de curentul de măsurat și transformă, cu ajutorul unui traductor, câmpul magnetic creat de curent într-o mărime electrică măsurabilă.



Fig. 6.18. Clește ampermetric

6.2. MĂSURAREA TENSIUNII ELECTRICE

Tensiunea electrică (U) reprezintă lucrul mecanic efectuat pentru transportul sarcinii electrice între două puncte ale unui circuit.

Unitatea de măsură pentru tensiune, în sistemul SI, este voltul, simbol V.

Tensiunea electrică poate fi continuă sau alternativă, după cum valoarea sa este constantă sau variabilă în timp.

Măsurarea tensiunii electrice se realizează, în general, prin metode de citire directă, cu aparate de măsurat numite **voltmetre** (fig. 6.19).

Pentru măsurări de mare precizie se utilizează metode de compensație. Principiul metodei constă în egalarea (compensarea) tensiunii de măsurat cu o tensiune furnizată de compensator, reglabilă în trepte fine și care poate fi citită cu mare exactitate. Egalitatea tensiunilor se constată cu ajutorul unui galvanometru de mare sensibilitate, ceea ce conferă măsurărilor o mare exactitate.

Voltmetrele pot fi analogice sau digitale, cu unul sau cu mai multe domenii de măsurare.

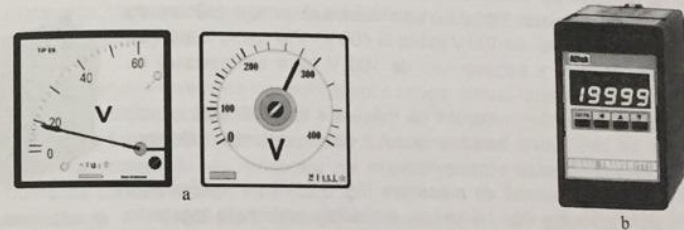


Fig. 6.19. Voltmetre: a. - analogice; b. - digitale.

6.2.1. MONTAREA VOLTMETRELOR ÎN CIRCUIT

Pentru a măsura tensiunea electrică continuă sau alternativă, voltmetrul trebuie montat în circuit în paralel.

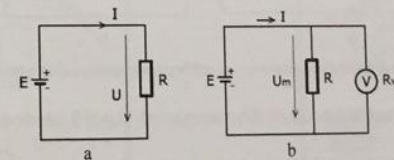


Fig. 6.20. Montarea voltmetrului în circuit: a. - circuit fără voltmetru; b. - circuit cu voltmetrul montat.

Montarea în paralel se realizează între două puncte ale circuitului, astfel încât tensiunea de măsurat să fie egală cu tensiunea de la bornele voltmetrului (fig. 6.20.b). La montarea voltmetrului în circuit este necesar ca funcționarea circuitului să se modifice foarte puțin ($U \cong U_m$). Acest lucru este posibil numai dacă rezistența internă a voltmetrului (R_V) este mult mai mare decât rezistența circuitului (R):

$$R_V \gg R$$

Cu cât rezistența internă a voltmetrului este mai mare față de R , cu atât aparatul va indica mai corect. De aceea, este important ca la măsurarea unei tensiuni la bornele unui receptor să se cunoască rezistența acestuia, pentru a alege un voltmetru cu rezistență electrică mult mai mare.

Montarea greșită, în serie, a voltmetrului nu distruge aparatul, dar determină scăderea intensității curentului în circuit, din cauza rezistenței foarte mari a aparatului de măsură.

6.2.2. EXTINDEREA DOMENIULUI DE MĂSURARE LA VOLTMETRE

Extinderea domeniului de măsurare a voltmetrilor se realizează cu rezistențe adiționale, în cazul circuitelor de curent continuu, și cu transformatoare (reductoare) de tensiune, în cazul circuitelor de curent alternativ.

- **Rezistența adițională** este o rezistență de valoare mare, care se montează în serie cu voltmetrul și are rolul de a limita valoarea curentului ce trece prin voltmtru, fiind astfel posibilă măsurarea unor tensiuni mari (fig. 6.21).

Valoarea rezistenței adiționale se determină cu ajutorul relației:

$$R_{ad} = R_V (n - 1),$$

unde: $n = \frac{U_{AB}}{U_V}$ este un coeficient de multiplicare care indică de

câte ori tensiunea de măsurat (U_{AB}) este mai mare decât tensiunea nominală a aparatului (U_V).

Rezistența în ohmi/volt caracterizează un aparat de măsură și este rezistența necesară pentru extinderea domeniului de măsurare cu un volt. Aceasta este egală cu inversul curentului nominal.

- **Transformatoarele de tensiune** (fig. 6.22.) se utilizează pentru măsurarea tensiunilor alternative mai mari de 100 V (până la 400 V). Ele reduc tensiunea înaltă la valoarea standard a secundarului de 100 V, care se măsoară cu ajutorul voltmetrilor obișnuite.

Regimul de funcționare a transformatoarelor de măsură a tensiunii este cel de mers în gol, deoarece pe secundarul transformatorului este conectată rezistența internă a voltmetrului, care are o valoare foarte mare.

Voltmetrele cu mai multe domenii de măsurare (fig. 6.23) sunt realizate cu rezistențe adiționale pentru fiecare interval sau cu rezistențe adiționale legate în serie.

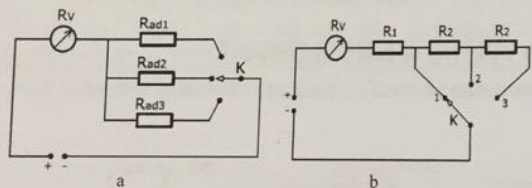


Fig. 6.23. Voltmetru cu mai multe domenii de măsurare: a. - cu rezistență adițională pe fiecare interval; b. - cu rezistențe în serie.

Rezistențele adiționale se confecționează din manganină și pot fi interioare sau exterioare aparatului, individuale sau calibrate.

Voltmetrele cu mai multe domenii de măsurare (fig. 6.24) sunt prevăzute cu un selector (comutator) sau cu mai multe borne cu ajutorul cărora se alege domeniul în funcție de valoarea tensiunii ce trebuie măsurată.

Voltmetrele analogice sunt prevăzute cu una sau cu mai multe scări gradate, care sunt utilizate în funcție de domeniul selectat. La voltmetrele analogice cu o singură scară, valoarea tensiunii electrice măsurate (U) se va obține înmulțind poziția indicelui (indicatorului) în diviziuni (α) cu constanta aparatului (K_U) specifică domeniului de măsurare ales.

$$U = \alpha \cdot K_U$$

Constanta aparatului (K_U) se va calcula cu relația: $K_U = \frac{U_n}{\alpha_{max}}$ [V/div],

unde U_n este valoarea tensiunii nominale pe domeniul respectiv, iar α_{max} - numărul total de diviziuni ale scării gradate.

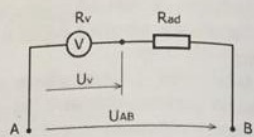


Fig. 6.21. Voltmetru cu rezistență adițională



Fig. 6.22. Transformator de tensiune

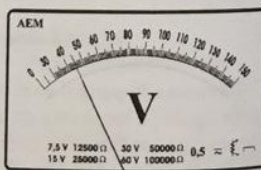


Fig. 6.24. Scara gradată a unui voltmetru analogic cu mai multe domenii de măsurare

6.2.3. APARATE PENTRU MĂSURAREA TENSIUNII

- **Voltmetrele de tensiune continuă** sunt utilizate pentru măsurarea tensiunii continue și pot fi analogice sau digitale.

Voltmetrele analogice sunt de tip magnetoelectric, feromagnetic sau electrodinamic. Dintre acestea, cele mai utilizate sunt voltmetrele magnetoelectrice.

Pentru măsurările în curent continuu cu voltmetre analogice, modul de conectare este impus de polaritatea bornelor, astfel încât borna cu semnul „+” se leagă la plusul sursei de tensiune, iar borna cu semnul „-”, la minusul sursei. La voltmetrele digitale, borna „COM” se va conecta la masa aparatului.

- **Voltmetrele de tensiune alternativă** sunt utilizate pentru măsurarea tensiunilor alternative de joasă frecvență. Pot fi analogice sau digitale.

Voltmetrele analogice pot fi feromagnetice, electrodinamice, ferodinamice sau magnetoelectrice cu redresor.

În curent alternativ, voltmetrele analogice măsoară valoarea efectivă a tensiunii alternative sinusoidale.

- **Multimetru** este un instrument electric cu ajutorul căruia se măsoară tensiunea, curentul și rezistența. Pentru măsurarea tensiunii continue sau alternative se utilizează multimetre analogice și multimetre digitale.

Măsurarea tensiunii electrice cu multimetru analogic constă în:

- reglarea poziției acului indicator;
- selectarea funcției de voltmetru c.c./ D.C./= sau simbol c.a. / A.C./ ~;
- alegerea domeniului de măsurare cel mai apropiat de valoarea tensiunii de măsurat sau pe domeniul cel mai mare;
- conectarea multimetrului în paralel, în circuit, prin intermediul conectorilor; pentru măsurări în curent continuu, se va respecta polaritatea bornelor; în curent alternativ, nu are importanță polaritatea bornelor;
- citirea valorii indicate.

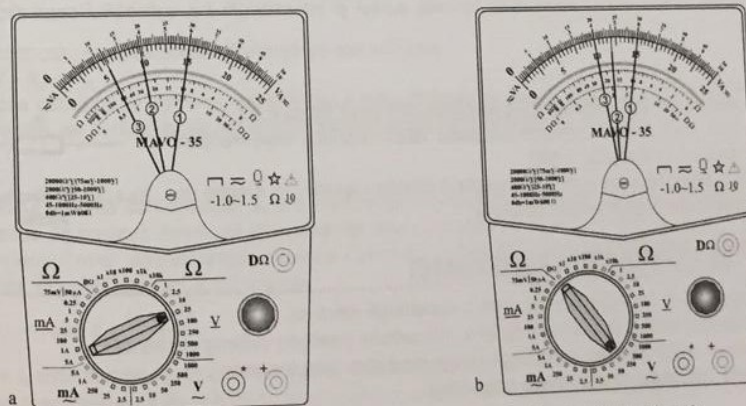


Fig. 6.25. Măsurarea tensiunii cu voltmetrul analogic: a. - în curent continuu; b. - în curent alternativ.

Exemplu de citire poziția 1 (fig. 6.25.a): măsurarea tensiunii în curent continuu pentru scara inscripționată cu 10 VA \approx

$$K_U = \frac{25 V}{10 \text{ div}} = \frac{2,5 V}{\text{div}}; U = \frac{2,5 V}{\text{div}} \cdot 6 \text{ div} = 15 V$$

Măsurarea tensiunii electrice cu multimetrul digital (numeric) (fig. 6.26, fig. 6.27) constă în selectarea funcției de voltmetru, conectarea multimetrului în serie, în circuit, prin intermediul conectorilor (borma V și borna (COM) și citirea valorii afișate a tensiunii electrice. Valoarea afișată este exprimată în volți sau milivolți, în funcție de domeniul selectat.

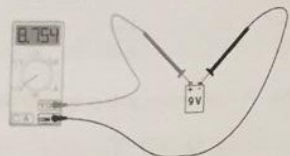


Fig. 6.26. Măsurarea unei tensiuni de curent continuu

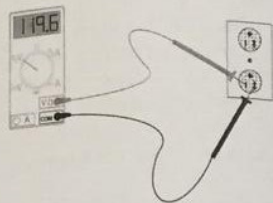


Fig. 6.27. Măsurarea unei tensiuni de curent alternativ

6.3. MĂSURAREA REZISTENȚEI ELECTRICE

Rezistența electrică este o mărime fizică prin care se exprimă proprietatea unui material de a se opune trecerii curentului electric. Unitatea de măsură în SI este ohmul, simbol Ω .

Pentru un conductor omogen, valoarea rezistenței electrice R este:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

unde:

ρ – rezistivitatea materialului din care este făcut conductorul, măsurată în ohm · metru;

l – lungimea conductorului, măsurată în metri;

S – secțiunea transversală a conductorului, măsurată în metri pătrați.

Într-un circuit electric, valoarea rezistenței se calculează cu ajutorul legii lui Ohm și este egală cu raportul dintre tensiunea U aplicată la bornele sursei și intensitatea I a curentului care circulă prin conductor.

$$R = \frac{U}{I}$$

În circuitele electrice, rezistența se simbolizează ca în figura 6.28.

În practică, rezistențele electrice pot avea valori cuprinse între fracțiuni de ohm și valori ce depășesc 1 M Ω .

Valorile rezistențelor se măsoară aplicând diferite metode, în funcție de tipul și de mărimea rezistenței de măsurat.

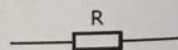


Fig. 6.28. Simbolizarea rezistenței electrice

METODE DE MĂSURARE A REZISTENȚEI

Cele mai utilizate metode de măsurare a rezistenței electrice sunt:

- metoda indirectă a ampermetrului și a voltmetrului (metoda voltampermetrică);
- metoda directă, utilizând ohmmetre, megohmmetre și multimetre;
- metode de comparație (metode de punte).

➤ Măsurarea rezistențelor prin metode indirecte

Metodele indirecte de măsurare necesită măsurarea directă a altor mărimi și determinarea, prin calcul, a valorii mărimii măsurate, utilizând diferite legi și teoreme (de exemplu, legea lui Ohm). Aceste metode de măsurare sunt laborioase și complicate, dar sunt de neînlocuit la măsurarea unor mărimi specifice elementelor neliniare de circuit (de exemplu, măsurarea rezistenței unei lămpi cu incandescență).

Măsurarea prin metoda indirectă a rezistenței electrice a unui rezistor se bazează pe legea lui Ohm în curent continuu, care impune măsurarea tensiunii la bornele rezistorului R_x și a intensității curentului I_x ce parcurge acest rezistor.

$$R_x = \frac{U_x}{I_x}$$

Ampermetrul și voltmetrul utilizate la măsurarea acestor mărimi nu sunt ideale (rezistențele interne nu au valorile $R_A = 0$, $R_V = \infty$) și nu se pot măsura exact, simultan, mărimile U_x și I_x . Rezultă două variante de conectare pentru ampermetru și voltmetru:

- **montajul amonte**, cu voltmetrul conectat înaintea ampermetrului (fig. 6.29.a);
- **montajul aval**, cu voltmetrul conectat după ampermetru (fig. 6.29.b).

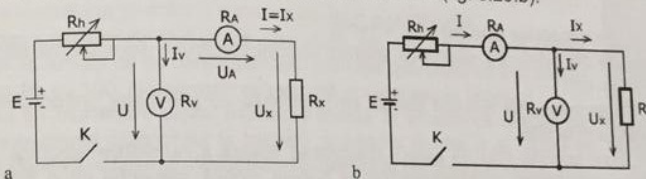


Fig. 6.29. Măsurarea rezistențelor prin metoda ampermetrului și a voltmetrului: a. – montaj amonte; b. – montaj aval.

În **montajul amonte**, ampermetrul măsoară intensitatea curentului care trece prin rezistența de măsurat R_x :

$$I = I_x$$

Tensiunea U măsurată de voltmetru este diferită de tensiunea U_x la bornele rezistenței de măsurat și este egală cu suma dintre tensiunea la bornele rezistenței U_x și căderea de tensiune U_A de pe rezistența interioară R_A a ampermetrului:

$$U = U_A + U_x \text{ sau } U = I(R_A + R_x)$$

Rezistența calculată utilizând indicațiile aparatelor de măsură (I_x și U) este diferită de valoarea R_x , și anume:

$$R = \frac{U}{I} = R_A + R_x \text{ sau } R_x = \frac{U}{I} - R_A$$

În acest caz, eroarea absolută introdusă are valoarea:

$$\varepsilon = R - R_x = R_A$$

Metoda conduce la erori mai mici în cazul măsurării rezistențelor mari ($R_x \gg R_A$), astfel încât R_A se poate neglija, iar rezistența de măsurat R_x rezultă direct din indicațiile aparatelor.

$$R_x = \frac{U}{I}$$

Montajul amonte se folosește pentru măsurarea rezistențelor de valori mari (de la sute de ohmi în sus), pentru ca eroarea introdusă de rezistența ampermetrului (de ordinul ohmilor) să fie neglijabilă.

În **montajul aval**, ampermetrul măsoară curentul I , diferit de valoarea curentului I_x care parcurge rezistența. În acest caz, se aplică relația:

$$I = I_v + I_x \text{ sau } I = \frac{U}{R_v} + \frac{U}{R_x}$$

unde I_v este curentul prin voltmetru și R_v rezistența internă a voltmetrului.

Tensiunea măsurată de voltmetru este egală cu tensiunea la bornele rezistenței R_x .

$$U = U_x$$

Rezistența calculată din raportul direct al valorilor măsurate este:

$$R = \frac{U_x}{I_x + I_v}$$

Diferența dintre mărimea măsurată R și valoarea reală R_x reprezintă eroarea absolută:

$$\varepsilon = R - R_x.$$

Pentru o măsurare cât mai exactă a valorii R , este necesar ca rezistența internă R_v a voltmetrului să fie foarte mare, astfel încât intensitatea curentului prin voltmetrul I_v să aibă valoare cât mai mică, pentru a fi neglijată în raport cu valoarea curentului I_x .

$$R = \frac{U_x}{I_x + I_v} \approx \frac{U_x}{I_x} = R_x \quad (\text{pentru } I_v \ll I_x)$$

Montajul aval este indicat la măsurarea rezistențelor mici (de la sute de ohmi în jos), pentru ca eroarea introdusă de rezistența voltmetrului (de ordinul sutelor de kilohmi) să fie neglijabilă. Metoda ampermetrului și a voltmetrului are avantajul că permite măsurarea rezistențelor aflate sub tensiune. Valoarea curentului poate fi reglată cu o rezistență variabilă (reostat) introdusă în circuit.

> Măsurarea rezistențelor prin metoda directă

Metodele directe de măsurare utilizează aparate special construite, care permit citirea directă a valorii mărimii măsurate.

Măsurarea rezistențelor prin metoda directă se realizează cu ohmmetre, megohmmetre sau cu multimetre analogice și digitale.

Ohmmetrele sunt aparate folosite pentru măsurarea directă a rezistenței electrice. Se compun dintr-un mili(micro)ampermetru magnetoelectric cu bobină mobilă, alimentat cu o sursă de curent continuu de 1,5...18 V. După modul în care este montat mili(micro)ampermetrul, ohmmetrele pot fi serie sau derivație.

Ohmmetrele pot fi aparate cu o singură funcție, analogice sau digitale, sau pot face parte dintr-un multimetru.

În cazul schemei ohmmetrului montat în serie (fig. 6.30), rezistența de măsurat R_x este conectată în serie cu miliampermetrul mA. Ohmmetrul serie se utilizează pentru măsurarea rezistențelor mari, cu valori cuprinse între 10 și $10^6 \Omega$ și se poate realiza cu unul sau cu mai multe domenii de măsurare (fig. 6.31).

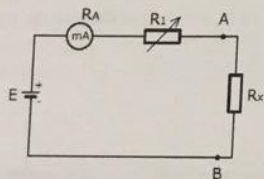


Fig. 6.30. Schema ohmmetrului serie

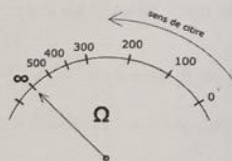


Fig. 6.31. Scară gradată ohmmetru serie

În cazul schemei ohmmetrului montat în derivație (fig. 6.32), rezistența de măsurat R_x este conectată în derivație cu miliampermetrul.

Ohmmetrul în derivație se utilizează pentru măsurarea rezistențelor mici, de până la 50 Ω (fig. 6.33).

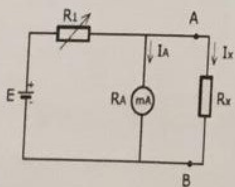


Fig. 6.32. Schema ohmmetrului în derivație

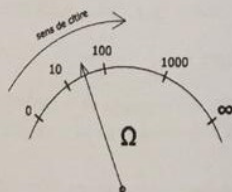


Fig. 6.33. Scară gradată ohmmetru derivație

Megohmmetrele sunt aparate cu citire directă folosite pentru măsurarea rezistențelor foarte mari, ce depășesc 106 Ω . Ele funcționează pe același principiu cu ohmmetrele, cu deosebirea că sunt alimentate

de tensiuni mult mai mari, cuprinse între 0,5 și 2,5 KV. Limitele de măsurare ale megohmmetrelor sunt între 0,2 M Ω și 500 M Ω și pot ajunge până la 10.000 M Ω .

Multimetrele analogice și digitale se folosesc pentru măsurarea directă a rezistențelor electrice.

Măsurarea cu multimetrul analogic (fig. 6.34) constă în:

- selectarea funcției de ohmmetru;
- alegerea domeniului de măsurare în funcție de valoarea rezistenței de măsurat;
- aducerea la zero a ohmmetrului, după cum urmează: se scurtcircuitează cei doi conectori, apoi se reglează din butonul de pe panoul aparatului până ce indicatorul va arăta 0 ohmi; se desface scurtcircuitul;
- conectarea rezistorului la bornele aparatului de măsură și citirea valorii indicate; în funcție de domeniul selectat, indicația aparatului se înmulțește cu 1, cu 10, cu 100, iar valoarea se exprimă în ohmi sau în kilohmi.

Măsurarea cu multimetru digital (numeric) constă în selectarea funcției de ohmmetru, conectarea rezistorului la bornele aparatului (borna Ω și COM) și citirea valorii afișate a rezistenței. Valoarea este afișată în ohmi sau în kilohmi, în funcție de domeniul selectat.



Fig. 6.34. Măsurarea rezistenței electrice cu multimetrul digital

Aplicații

- 1 Clasifică ampermetrele după principiul de funcționare.
- 2 Realizează schema de montaj a ampermetrului.
- 3 Precizează care este efectul montării în paralel a ampermetrului.
- 4 Clasifică metodele de măsurare a rezistențelor electrice.
- 5 Explică în ce constă diferența dintre modul de măsurare a unei rezistențe cu ohmmetrul analogic față de cel numeric.
- 6 Realizează schema de montaj a voltmetrului.
- 7 Explică în ce constă extinderea domeniului de măsurare la voltmetre.

LUCRAȚI INDIVIDUAL!

I. Transcrie, pe caiet, litera corespunzătoare fiecărui enunț și stabilește valoarea de adevăr a fiecărui enunț. Atribuie valoarea 1 pentru enunțurile adevărate și valoarea 0 pentru enunțurile false.

- a) Montarea în serie a voltmetrului determină distrugerea acestuia.
- b) Rezistența internă a ampermetrului trebuie să fie mult mai mică decât rezistența circuitului.
- c) Constanta ampermetrului se calculează cu formula $K_1 = \frac{I_n}{\alpha_{max}}$.
- d) Multimetrele digitale afișează direct valoarea măsurată.
- e) Șuntul se montează în serie cu aparatul de măsurat.
- f) Multimetrele sunt aparate portabile care pot măsura mai multe mărimi electrice.
- g) Rezistența voltmetrului trebuie să fie mult mai mare decât rezistența circuitului.
- h) Rezistența adițională se montează în serie cu aparatul de măsurat.

- i) În curent alternativ nu are importanță polaritatea bornelor.
 j) La măsurarea tensiunii continue cu multimetrul analogic, borna cu semnul „+” se leagă la semnul „-” al sursei de tensiune, iar borna „-”, la semnul „+” al sursei.

II. Completează spațiile libere din enunțurile de mai jos cu informația corectă:

- ... reprezintă proprietatea unui material de a se opune trecerii curentului electric.
- Curenții de intensitate foarte mică se măsoară cu aparate numite ...
- Ampermetrele se montează în ... în circuitele în care se măsoară curentul electric.
- Megohmmetrele sunt aparate cu citire ..., utilizate pentru măsurarea ...
- În curent alternativ sinusoidal, voltmetrele analogice măsoară ...
- Șunturile se confecționează din ... sub formă de ...
- Montajul amonte se utilizează pentru măsurarea ... de valoare ...
- Metoda ampermetrului și a voltmetrului permite măsurarea rezistențelor aflate ...

LUCRAȚI ÎN ECHIPE!

Formați echipe alcătuite din câte trei elevi.

- Măsurați tensiunea la bornele unei baterii de curent continuu de 9 V, cu voltmetrul analogic și cu multimetrul numeric.
- Comparați rezultatele obținute.
- Determinați erorile de măsurare.

FIȘĂ DE LUCRU

- Determină rezistența șuntului pentru ca un ampermetru cu domeniul de măsurare de 20 mA și rezistența internă de 72Ω să măsoare un curent maxim de 500 mA.
- Într-un circuit de curent continuu, o sursă cu tensiunea electromotoare $E = 12 \text{ V}$ debitează curent pe rezistorul $R = 500 \Omega$. Pentru măsurarea intensității curentului electric, se leagă în circuit un ampermetru cu rezistența internă $R_A = 30 \Omega$.
 - Reprezintă, pe foaie, schema electrică a circuitului, înainte și după legarea ampermetrului în circuit.
 - Calculează eroarea absolută și eroarea relativă determinate de montarea ampermetrului în circuit.
- Calculează constanta K_U în cazul unui voltmetru cu mai multe domenii de măsurare, care are 100 de diviziuni pe scara gradată, dacă:
 - $U_{max} = 250 \text{ V}$;
 - $U_{max} = 500 \text{ V}$.
- Calculează rezistența adițională necesară unui voltmetru cu domeniul de măsurare $U_V = 5 \text{ V}$ și $R_V = 100 \Omega$ pentru a-și extinde domeniul la 50 V.

SUBIECTUL 1

- I. În coloana A sunt enumerate mărimi fizice caracteristice domeniului electric, iar în coloana B sunt enumerate mijloace de măsurare. Asociază fiecărei cifre din coloana A litera corespunzătoare din coloana B.

A.	B.
1. intensitate	a. ampermetru
2. tensiune	b. contor
3. putere	c. manometru
4. rezistență	d. ohmmetru
5. energie	e. voltmetru
	f. wattmetru

II. Efectuează transformările:

- $55 \mu\text{A} = \dots \text{ mA}$
- $0,012 \text{ kV} = \dots \text{ V}$
- $1.000 \Omega = \dots \text{ k}\Omega$
- $1.500 \text{ MW} = \dots \text{ GW}$

SUBIECTUL 2

- I. În rețeaua electrică din figura 1, figurează un voltmetru care măsoară direct căderea de tensiune pe rezistența R_2 .

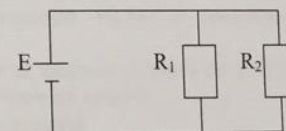


Fig. 1

- II. Circuitul electric din figura 2 este alimentat de la o sursă de tensiune $E = 12 \text{ V}$ și conține o rezistență $R = 450 \Omega$.

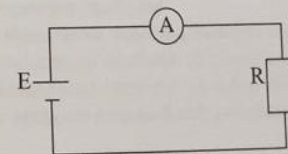


Fig. 2

- Calculează intensitatea curentului electric prin circuit, considerând rezistența internă a ampermetrului egală cu zero.
- Calculează intensitatea curentului electric prin circuit și eroarea de măsurare, considerând că rezistența internă a ampermetrului este $r_A = 10 \Omega$.

Cuprins

CAP. 1 – MĂRIMI FIZICE ȘI UNITĂȚI DE MĂSURĂ	3
1.1. Mărimi fizice	3
1.2. Unități de măsură	4
1.3. Sistemul internațional de unități	4
1.4. Multipli și submultipli	6
Aplicații	7
CAP. 2 – PROCESUL DE MĂSURARE ȘI COMPONENTELE SALE	11
2.1. Procesul de măsurare	11
2.2. Componentele procesului de măsurare	12
2.2.1. Mijloace de măsurare	12
2.2.2. Metode de măsurare	17
2.3. Erori de măsurare	18
Aplicații	20
CAP. 3 – MĂSURAREA MĂRIMILOR GEOMETRICE	23
3.1. Măsurarea și controlul dimensiunilor liniare	23
3.1.1. Măsurile de lungime	24
3.1.2. Instrumente și aparate de măsură	25
3.2. Precizia de prelucrare. Abateri și toleranțe	29
3.3. Măsurarea și controlul dimensiunilor unghiurilor	32
3.4. Măsurarea și controlul suprafețelor	34
3.5. Măsurarea și controlul volumelor	35
Aplicații	37
CAP. 4 – MĂSURAREA MĂRIMILOR MECANICE	42
4.1. Măsurarea forțelor	42
4.1.1. Considerații teoretice	42
4.1.2. Clasificarea dinamometrelor	42
4.2. Măsurarea maselor	44
4.2.1. Considerații teoretice	44
4.2.2. Clasificarea instrumentelor de cântărit	44
4.2.3. Descrierea principalelor tipuri de aparate de cântărit	45
4.3. Măsurarea presiunilor	47
4.3.1. Considerații teoretice	47
4.3.2. Clasificarea mijloacelor de măsurat presiunea	48
4.3.3. Descrierea principalelor aparate de măsurat presiunea	48
4.4. Măsurarea mărimilor cinematice	50
4.4.1. Măsurarea vitezei	50
4.4.2. Măsurarea turației	52
4.4.3. Măsurarea accelerației	52
4.4.4. Măsurarea debitului	53
Aplicații	54

CAP. 5. – MĂSURAREA MĂRIMILOR FIZICO-CHIMICE	57
5.1. Măsurarea densității	57
5.1.1. Considerații teoretice	57
5.1.2. Metode și mijloace de măsurare a densității	57
5.2. Măsurarea temperaturii	59
5.2.1. Considerații teoretice	59
5.2.2. Clasificarea termometrelor	60
5.2.3. Descrierea și funcționarea termometrelor	61
5.3. Măsurarea viscozității	63
5.3.1. Considerații teoretice	63
5.3.2. Metode și mijloace de măsurare a viscozității	64
Aplicații	66
CAP. 6. – MĂSURAREA MĂRIMILOR ELECTRICE	69
6.1. Măsurarea intensității curentului electric	69
6.1.1. Montarea ampermetrelor în circuit	70
6.1.2. Extinderea domeniului de măsurare la ampermetre	71
6.1.3. Aparare pentru măsurarea intensității	72
6.2. Măsurarea tensiunii electrice	75
6.2.1. Montarea voltmetrelor în circuit	75
6.2.2. Extinderea domeniului de măsurare la voltmetre	76
6.2.3. Aparare pentru măsurarea tensiunii	77
6.3. Măsurarea rezistenței electrice	78
Metode de măsurare a rezistenței	78
Aplicații	81
BIBLIOGRAFIE	85