

### 3 Măsurarea temperaturilor

Lucrarea de laborator prezintă modul în care se realizează măsurătorile pentru determinarea temperaturii unor corpuri cu ajutorul mai multor aparate de măsurat temperatura, precum și procedura de prelucrare și interpretare a rezultatelor obținute.

**Scopul lucrării** este însușirea noțiunilor fundamentale cu privire la temperatură.

#### 3.1 Noțiuni teoretice

Temperatura este o mărime de stare termică ce caracterizează gradul de încălzire al corpurilor, deci o măsură a agitației termice a moleculelor unui corp. Măsurarea temperaturii este mai dificilă decât măsurarea altor mărimi fizice, pentru că în natură nu există o mărime care să poată fi adoptată drept mărime etalon. Schimbul de căldură între două sisteme are loc conform principiului doi al termodinamicii, de la corpul cu temperatură mai mare la cel cu temperatură mai mică, el continuă până la stabilirea echilibrului termic, adică până la egalizarea temperaturilor [2].

Temperaturile empirice sunt determinate pe baza postulatului doi al termodinamicii, cu ajutorul unor proprietăți fizice ale corpurilor termometrice. Scările corespunzătoare măsurării temperaturilor empirice se numesc scări empirice. O scară de temperatură este definită printr-o relație între temperatură și proprietatea fizică a corpului termometric și prin anumite puncte fixe, reprezentând temperaturi de bază alese astfel încât să fie ușor reproductibile (de exemplu temperaturile de fierbere sau solidificare a substanțelor pure). Scările empirice de temperatură care se utilizează sunt: Celsius și Fahrenheit. Între acestea există relațiile:

$$t_F(^{\circ}\text{F}) = 1,8 \cdot t(^{\circ}\text{C}) + 32 \quad (3.1)$$

$$t(^{\circ}\text{C}) = [t_F(^{\circ}\text{F}) - 32] / 1,8 \quad (3.2)$$

Principiul al doilea al termodinamicii, cu ajutorul noțiunii de entropie, demonstrează existența unei scări de temperatură independentă de proprietățile termice ale corpurilor, numită scară absolută de temperatură, sau scară termodinamică. Temperatura termodinamică (absolută) este utilizată pentru măsurarea temperaturii corpurilor în Sistemul Internațional de unități de măsură și este stabilită pe baza a șase temperaturi fixe reproductibile definite de stările de echilibru ale unor materiale la presiunea normală de  $101325 \text{ N/m}^2$ . În cadrul acestei scări, unitatea de temperatură termodinamică este Kelvinul [K] definit ca fracțiunea  $1/273,16$  din temperatura termodinamică a punctului triplu al apei [2].

Scara absolută de temperatură corespunzătoare scării empirice Fahrenheit este scara Rankine, în timp ce scara absolută de temperatură corespunzătoare scării empirice Celsius este scara Kelvin. Scara Kelvin își are originea în punctul zero absolut, punct la care încetează mișcarea termică a moleculelor. Temperatura exprimată pe scara Kelvin se notează cu  $T$  și se măsoară în Kelvin [K]. Scara Kelvin este definită astfel încât variația cu o unitate pe scara Celsius produce variația cu o unitate pe scara Kelvin:

$$|1^{\circ}\text{C}| = |1 \text{ K}| \quad (3.3)$$

Relațiile care se stabilesc între scările de temperatură Celsius și Kelvin sunt:

$$t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15 \quad (3.4)$$

$$T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273,15 \quad (3.5)$$

Scara Rankine își are originea în punctul zero absolut, punct la care încetează mișcarea termică a moleculelor. Temperatura exprimată pe scara Rankine se notează cu  $T_R$  și se măsoară în grade Rankine [ $^{\circ}\text{R}$ ]. Scara Rankine este definită astfel încât variația cu o unitate pe scara Fahrenheit produce variația cu o unitate pe scara Rankine, adică:

$$|1^{\circ}\text{F}| = |1^{\circ}\text{R}| \quad (3.6)$$

Relațiile care se stabilesc între scările de temperatură Fahrenheit și Rankine sunt:

$$t_F(^{\circ}\text{F}) = T_R(^{\circ}\text{R}) - 459,67 \quad (3.7)$$

$$T_R(^{\circ}\text{R}) = t_F(^{\circ}\text{F}) + 459,67 \quad (3.8)$$

Correspondența care se stabilește între scările de temperatură este prezentată în figura 3.1.

Celsius	Kelvin	Fahrenheit	Rankine	
100 °C	373,15 K	212 °F	671,67 °R	Punctul de fierbere al apei
100 unități	100 unități	180 unități	180 unități	$p=101325 \text{ N/m}^2$
0 °C	273,15 K	32 °F	491,67 °R	Punctul de îngheț al apei
-273,15 °C	0 K	-459,67 °F	0 °R	Temperatura la care încetează mișcarea termică a moleculelor

Fig. 3.1 Corespondența între diferite scări de temperatură

### 3.2 Aparate utilizate pentru măsurarea temperaturilor

Pentru măsurarea temperaturii se recurge la un corp termometric ale cărui proprietăți fizice variază cu temperatura. Indicarea temperaturii se obține prin stabilirea echilibrului termodinamic între corpul al cărui temperatură se dorește a fi stabilită și corpul termometric, stare în care, transferul de căldură dintre acestea se anulează [2]. Aparatele utilizate pentru măsurarea temperaturilor sub 660°C se numesc termometre, iar cele care măsoară temperaturi peste 660°C se numesc pirometre.

Clasificarea aparatelor utilizate pentru măsurarea temperaturilor în cadrul acestei lucrări de laborator (Fig. 3.2) a fost realizată în funcție de:

- metodele de măsurare prin care corpul termometric este adus în contact direct cu sistemul studiat și aparatele folosite în acest sens, se clasifică în funcție de proprietatea fizică a corpului termometric utilizat și trebuie să îndeplinească două condiții: corpul termometric

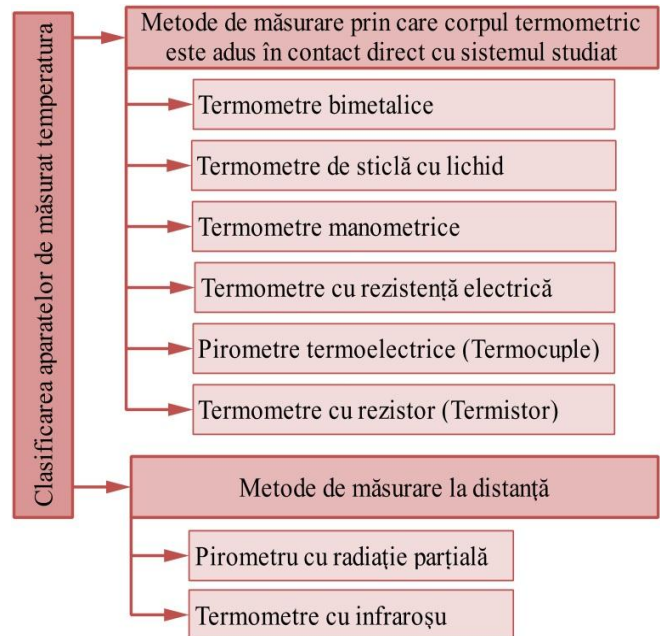


Fig. 3.2 Clasificarea aparatelor de măsurat temperatura

trebuie să aibă masa mică pentru a nu modifica temperatura sistemului și să realizeze echilibrul termic între corpul termometric și sistem. În general, se folosește variația următoarelor proprietăți fizice ale materialelor sau corpurilor termometrice în funcție de temperatură:

- ☞ variația dimensiunilor liniare ale unor corpuri solide cu temperatura, exemplu: termometru bimetalic;
- ☞ variația volumului în funcție de temperatura unor lichide închise în tuburi capilare [2], exemplu: termometre cu lichid;
- ☞ variația presiunii în funcție de temperatura unor vapori, gaze sau lichide aflate într-un volum închis [2], exemplu: termometre manometrice;
- ☞ variația rezistenței electrice în funcție de temperatură a unor conductoare, numite termorezistențe și a unor semiconductoare, numite termistoare, exemplu: termometre cu rezistență electrică și termometru cu rezistori;
- ☞ apariția unei tensiuni termoelectromotoare la capetele libere a două conductoare diferite, sudate între ele, când sudura se află la temperatura de măsurat, iar capetele libere la o temperatură cunoscută și constantă [2], exemplu: termocuplurile.

- metodele de măsurare a temperaturii la distanță se bazează pe radiația termică emisă de corpuri.

Aparatele măsoară radiația termică emisă de un corp (exemplu: termometre cu infraroșu) sau distribuția spectrală a energiei radiate de un corp încălzit (exemplu: pirometre cu radiație parțială).

Termometrul bimetalic are elementul sensibil format din două lamele metalice cu coeficienți de dilatare diferiți. Principiul de funcționare al termometrului bimetalic (figura 3.3) se bazează pe principiul dilatării diferite a două metale ce compun elementul sensibil al aparatului. Prima lamelă are coeficientul de dilatare foarte mare, iar cea de-a doua are un coeficient de dilatare mic. Lamelele îndoite și lipite își modifică curbura în funcție de temperatură, această modificare se va citi direct de pe cadranul aparatului în dreptul acului indicator.

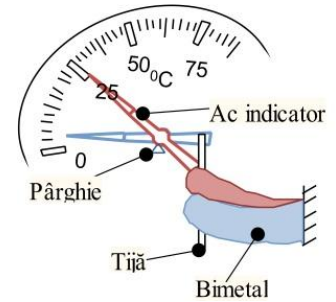


Fig. 3.3 Schema de principiu a termometrului bimetalic

Măsurarea temperaturii cu ajutorul termometrelor de sticlă cu lichid se bazează pe variația volumului unui lichid (ca de exemplu: mercur, toluen, alcool etilic, eter de petrol, pentan) închis într-un tub capilar de sticlă.

Din punct de vedere constructiv termometrele de sticlă cu lichid pot fi:

- termometre capsulate la care tubul capilar și scala gradată sunt introduse împreună într-un tub de protecție (Fig. 3.4);
- termometre tijă la care scala este gradată direct pe tubul capilar, sau pe suportul în care sunt încorporate (Fig. 3.5).



Fig. 3.4 Termometru capsulat cu lichid [19]



Fig. 3.5 Termometru cu tijă de sticlă cu lichid [20]

Termometrele de sticlă cu lichid nu sunt adecvate măsurării temperaturii în regim variabil, deoarece au

inerție termică mare. Termometrele cu lichid indică corect temperatura numai atunci când întreaga masă a lichidului termometric se află la temperatura care trebuie măsurată, deci când elementul sensibil este cufundat în întregime în mediul de măsurat [2].

Termometrele manometrice se bazează pe variația concomitentă a temperaturii și presiunii sau a temperaturii și volumului unui fluid (gaz, lichid, vapori saturați) aflat într-un recipient închis etanș. Variația de presiune rezultată ca și efect al variației temperaturii aplicate fluidului de lucru, este preluată cu elementele sensibile elastice de presiune și transformat într-o deplasare liniară sau unghiulară. Termometrele manometrice pot utiliza ca elemente elastice: membrane metalice, tuburi Bourdon etc. În cazul termometrului manometric cu tub Bourdon (Fig. 3.6) lichidul manometric din rezervor se dilată și urcă în tubul capilar, iar presiunea sa produce deformarea tubului Bourdon. Deplasarea capătului liber al tubului Bourdon se transmite printr-un mecanism cinematic de amplificare la angrenajul sector dințat-pinion care antrenează acul indicator. Acesta se deplasează în fața cadranului gradat în unități de temperatură [14].

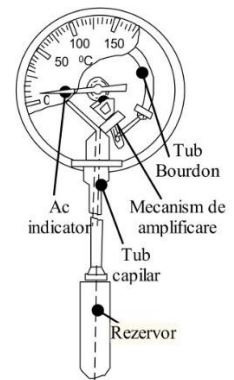


Fig. 3.6 Termometru manometric

Termometrul cu rezistență electrică se compune din elementul sensibil - termorezistența, conductoare de legătură și un aparat de măsură pentru determinarea rezistenței electrice. Funcționarea termometrelor cu rezistență electrică se bazează pe proprietatea conductoarelor de a-și modifica rezistența electrică în funcție de temperatura mediului de lucru în care sunt imersate. Variațiile de rezistență electrică sunt preluate de către un adaptor care le convertește în semnal electric de ieșire [14]. Pentru utilizarea în mediu industrial, termorezistența propriu-zisă se introduce într-o teacă de protecție (din cupru sau oțel) prevăzută cu un sistem de prindere (cu flanșă) pe peretele incintei în care se măsoară temperatura, și o cutie de borne.

Termorezistențele uzuale sunt senzori de temperatură realizați dintr-un fir subțire (0,01...0,1mm) înfășurat bifilar (Fig. 3.7) pe un suport izolant (sticlă, cuarț, ceramică, în funcție de domeniul de măsurare). Materialele din care sunt confecționate termorezistențele sunt: cupru, nichel, fier, platină, precum și unele aliaje.

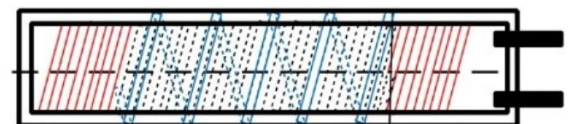


Fig. 3.7 Schema de înfășurare pentru rezistența electrică din cupru

Piometrul termoelectric este format din termocuplul și aparatul electric de măsurat temperatura. Termocuplul (Fig. 3.8) este alcătuit, în principiu, din senzorul de tip termocuplu, care face conversia din temperatură în tensiune termoelectromotoare, cablurile de prelungire, prin intermediul cărora joncțiunea de referință este adusă de la locul măsurării într-o zonă unde este posibilă menținerea constantă a temperaturii

și adaptorul prin intermediul căruia se obține semnalul unificat de ieșire [17]. Termocuplul reprezintă un mijloc de măsurare a temperaturii cu o largă răspândire datorită avantajelor pe care le oferă față de alte mijloace de măsurare a temperaturii: are o construcție simplă, interval mare de măsurare; poate fi conectat la diferite dispozitive indicatoare, înregistratoare și de comandă.

Termistorii (termorezistorii sau rezistențele termosensibile) sunt dispozitive semiconductoare utilizate pentru măsurarea temperaturii. Pentru confecționarea termistorilor se folosesc materiale semiconductoare speciale care au proprietatea de a-și varia accentuat rezistența electrică cu temperatura. Termistorii (Fig. 3.9) au dimensiuni foarte mici (de regulă de ordinul milimetrilor) și forme variate (disc, sferă, cilindru, placă etc.). Principiul de construcție al termistorilor este următorul: un mic eșantion dintr-un material semiconductor este prelucrat pentru a căpăta forma dorită; acesta constituie corpul termistorului. Doi electrozi metalici, care continuă cu doi conductori metalici, ajută la măsurarea rezistenței termistorului respectiv [21].

Funcționarea termometrelor cu rezistori se bazează pe proprietatea semiconductorilor de a-și modifica rezistența electrică în funcție de temperatura mediului de lucru în care sunt imersate. Odată cu creșterea temperaturii, crește și agitația termică a atomilor (ionilor) din nodurile rețelei cristaline, mai exact cresc vibrațiile termice ale rețelei cristaline, ceea ce conduce la creșterea rezistenței întâmpinate de purtătorii de sarcină din partea rețelei cristaline în mișcarea lor ordonată (sub formă de curent electric). La semiconductorii concentrația purtătorilor de sarcină este mică, dar crește puternic cu temperatura, ceea ce conduce la o creștere sensibilă a conductivității electrice cu temperatura. La temperaturi mai joase concentrația purtătorilor crește datorită ionizării impurităților, iar la temperaturi mai ridicate concentrația purtătorilor crește datorită trecerii electronilor din banda de valență în banda de conducție [22]. Măsurarea rezistenței electrice a elementului sensibil al termometrului cu rezistor se poate face cu ajutorul aceluiași instrumente electrice folosite ca și în cazul termometrelor cu rezistență electrică. Micșorarea sau creșterea rezistenței este în strânsă corelație cu tipul termistorului, care poate fi: cu coeficient de temperatură negativ (CTN - cele mai utilizate) sau cu coeficient de temperatură pozitiv [23].

Piometrele cu radiație parțială sau cu dispariția filamentului sunt răspândite în practica industrială deoarece sunt simple, robuste și ușor de manevrat. Principiul de funcționare al piometrului constă în compararea strălucirii sursei cu strălucirea filamentului unei lămpi a aparatului, pentru radiații cu o anumită lungime de undă ( $\lambda = 0,65 \mu\text{m}$ ), ținând cont că strălucirea este direct proporțională cu intensitatea radiației monocromatice. Principalul dezavantaj al aparatului constă în faptul că măsurătorile sunt subiective (depind de caracteristicile vizuale ale persoanei care efectuează măsurătorile) [24]. Piometru optic cu dispariția filamentului se compune dintr-o parte optică și una electrică, schema de principiu a acestuia fiind prezentată în figura 3.10. Partea optică se compune din: obiectiv, ocular, filtru, sticlă absorbantă și diafragmă. Partea electrică este formată din lampa pirometrică, reostat, aparat de măsură, bec pentru iluminarea scalei aparatului de măsură, scală, releu, baterii, buton pentru închiderea circuitului electric al aparatului de măsură și buton pentru alimentarea becului. Măsurarea temperaturii se face prin compararea intensității radiației

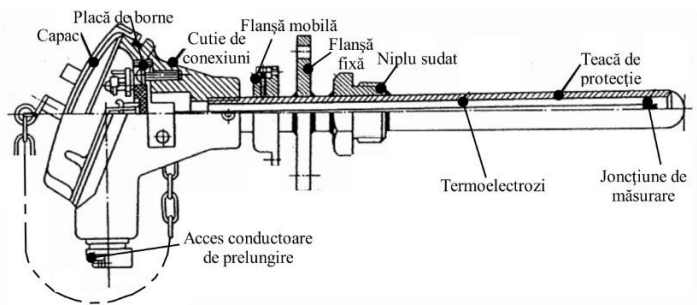


Fig. 3.8 Părțile componente ale unui termocuplu [17]

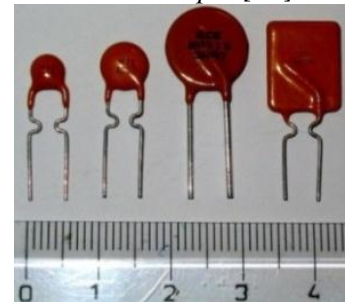


Fig. 3.9 Diferite tipuri de termistori [16]

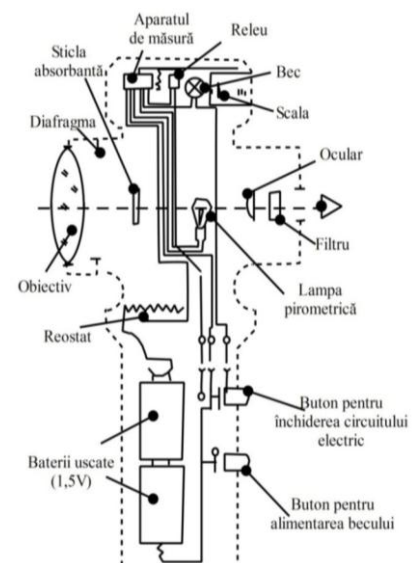


Fig. 3.10 Schema de principiu a unui piometru cu radiație parțială

emise de corpul cercetat cu intensitatea radiației filamentului lămpii pirometrice a cărei incandescență se reglează cu ajutorul reostatului. Citirea temperaturii se efectuează pe scala superioară a aparatului până la temperatura de 1400°C. Peste această valoare este necesar a se introduce între obiectiv și lampa pirometrică o sticlă absorbantă pentru evitarea volatilizării filamentului. În felul acesta se pot măsura temperaturi de până la 2000°C [2]. În figura 3.11 este prezentată dispariția filamentului la pirometrul cu radiație parțială. Temperatura unui corp care nu este negru, măsurată cu pirometrul optic monocromatic, este totdeauna mai mică decât temperatura reală a corpului. Corecțiile de temperatură ce se impun în asemenea cazuri se efectuează cu relația:

$$t_{\text{real}} = t_{\text{ind}} + \Delta t_c \quad [^{\circ}\text{C}]$$

unde:  $\Delta t_c$  este corecția de temperatură determinată din nomograma prezentată în figura 3.12, în care  $\epsilon_{ec}$  reprezintă factorul de emisivitate al corpului a cărui temperatură se măsoară. Factorul de emisivitate al barelor de silită, utilizate în cadrul lucrării este  $\epsilon_{ec}=0,7-0,8$ .

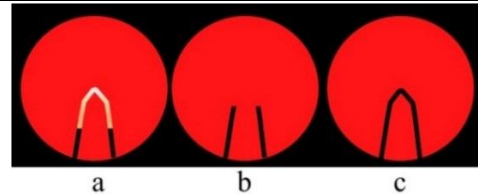
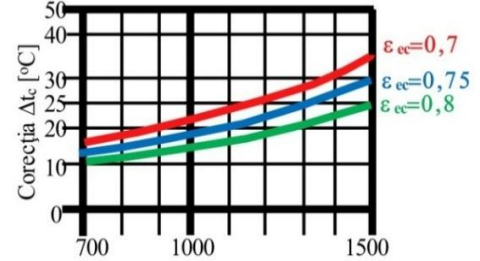


Fig. 3.11 Dispariția filamentului la pirometrul cu radiație parțială



Temperatura citită pe scala aparatului [°C]

Fig. 3.12 Nomograma pentru corecția temperaturii la pirometrul cu radiație parțială

Termometrul cu infraroșu determină temperatura prin măsurarea radiațiilor infraroșii emise de un obiect și a factorului de emisivitate. Senzorul termometrului înregistrează radiația de căldură emisă, reflectată și transmisă de obiect și o convertește în unități de temperatură. Termometrele cu infraroșu măsoară temperatura de suprafață a unui obiect [18].

Pentru a obține rezultate precise, obiectul măsurat trebuie să fie mai mare decât spotul de măsurare al termometrului cu infraroșu. Temperatura înregistrată este temperatura medie a ariei măsurate. Cu cât obiectul măsurat este mai mic, cu atât distanța până la termometru trebuie să fie mai mică [25]. Mărimea exactă a ariei de măsurat, denumit și sistemul optic este imprimat pe aparat și reprezintă raportul dintre diametrul punctului de măsură și distanță. Sistemul optic standard 10:1 cu 1 fascicul laser pentru vizare este prezentat în figura 3.13.

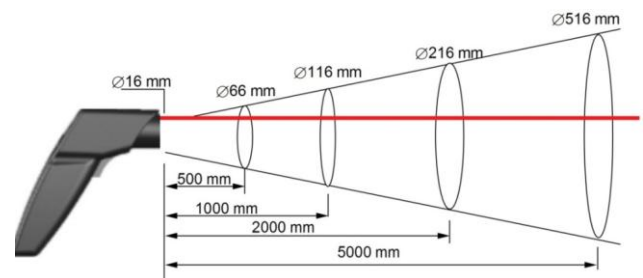


Fig. 3.13 Sistemul optic standard 10:1 cu 1 fascicul laser pentru vizare

### 3.3 Descrierea instalațiilor și desfășurarea lucrării

Lucrarea se va desfășura prin realizarea mai multor măsurători ale temperaturii prin utilizarea aparatelor de măsură aflate în dotarea laboratorului. Valorile măsurate vor fi centralizate în tabelul 3.2.

Temperatura aerului din laborator se va citi de pe termometrul de sticlă cu lichid, aflat în spatele cuptorului încălzit electric. Termometrul cu infraroșu se utilizează pentru măsurarea temperaturii diferitelor corpuri aflate în dotarea laboratorului. Instalația din figura 3.14 se cuplează la rețeaua de energie electrică cu ajutorul întrerupătoarelor. Se efectuează apoi:

- ✓ măsurarea temperaturii pe suprafața exterioară a cuptorului cu ajutorul termorezistenței din cupru și a celor trei termorezistențe din platină;
- ✓ măsurarea temperaturii aerului din interiorul cuptorului cu ajutorul pirometrului termoelectric (termocuplului) din Platină-RodiuPlatină;
- ✓ măsurarea temperaturii barelor de silită aflate în partea superioară a cuptorului cu ajutorul pirometrului cu radiație parțială.

Pentru măsurarea temperaturii aerului cu ajutorul termometrului cu rezistor (termistor) se va utiliza instalația din figura 3.15. Corespondența dintre rezistența electrică a termistorului utilizat în instalație și temperatura exprimată pe scara Celsius este dată în tabelul 3.1.

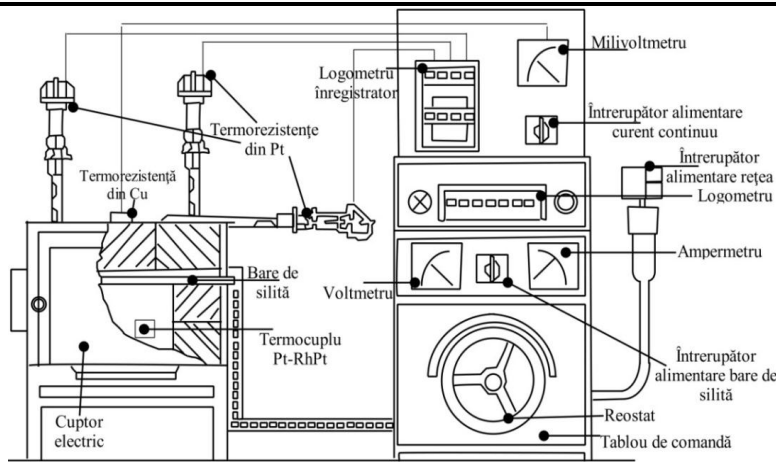


Fig. 3.14 Instalația utilizată pentru măsurarea unor temperaturi

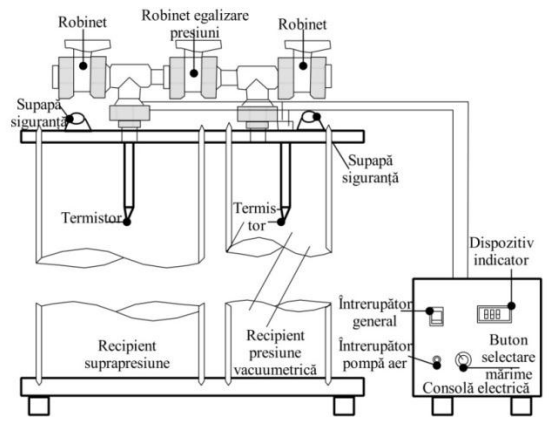


Fig. 3.15 Instalația utilizată pentru măsurarea temperaturii cu ajutorul termistorului

Tabel 3.1 Temperatura în funcție de rezistența electrică a termistorului [26]

$R_{et} [\Omega]$	$t [^{\circ}C]$	$R_{et} [\Omega]$	$t [^{\circ}C]$	$R_{et} [\Omega]$	$t [^{\circ}C]$	$R_{et} [\Omega]$	$t [^{\circ}C]$
2945	15	2533	19	2166	23	1845	27
2838	16	2437	20	2082	24	1772	28
2733	17	2344	21	2000	25	1702	29
2632	18	2253	22	1921	26	1635	30

Temperatura aerului din laborator se va citi de pe termometrul bimetalic (inclus în setul termo-higrobarometru). Cu ajutorul termomanometrului se va realiza măsurarea temperaturii apei calde de consum din conducta rețelei de termoficare la care este racordat laboratorul.

Tabel 3.2 Valori măsurate și calculate

Caracteristici	Elementul sensibil	Clasa de precizie	Limita de măsurare		Temperatura			
			min	max	$t [^{\circ}C]$	$T [K]$	$t_f [^{\circ}F]$	$T_R [^{\circ}R]$
Aparat								
Termometru cu lichid								
Termometru cu rezistență de cupru								
Termometre cu rezistență de platină	1							
	3							
	5							
Pirometru termoelectric (termocuplu) Pt-RhPt								
Pirometru cu radiație parțială	Corecția de temperatură							
	Temperatura corectată							
Termometru cu infraroșu								
Termometru bimetalic								
Termo-manometru								
Termometru cu rezistor (termistor)	1	Rezistența electrică măsurată $[\Omega]$						
	2	Rezistența electrică măsurată $[\Omega]$						