

4 Măsurarea presiunilor

Lucrarea de laborator prezintă modul în care se realizează măsurătorile pentru determinarea diferitelor tipuri de presiune care pot exista atât în tehnică cât și în natură cu ajutorul mai multor aparate de măsurat presiunea, precum și procedura de prelucrare și interpretare a rezultatelor obținute.

Scopul lucrării este însușirea noțiunilor fundamentale cu privire la presiune.

4.1 Noțiuni teoretice

Presiunea este un parametru de stare important ce caracterizează starea unui fluid și reprezintă raportul dintre forța cu care un fluid acționează asupra unei suprafețe și aria acesteia [2]:

$$p = \frac{F}{A} \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad (4.1)$$

unde: p [$Pa=N/m^2$] este presiunea, F [N] - forța normală ce acționează asupra suprafeței, iar A [m^2] – aria suprafeței.

În Sistemul Internațional presiunea se măsoară în [N/m^2] sau [Pa] (Pascal), iar unitatea de măsură tolerată este bar, respectiv PSI (pound per square inch). Relațiile de conversie a diferitelor unități de presiune sunt date în tabelul 4.1, iar tipurile de presiune care pot exista în natură și în instalațiile tehnice sunt detaliate în cele ce urmează.

Tabel 4.1 Relații de conversie a unităților de presiune

	1 Pa = 1 N/m ²	1 kgf/m ²	1 hPa = 1 mbar	1 at = kgf/cm ²	1 atm
Pa = N/m ²	1	9,80665	100	9,80665 · 10 ⁴	101325

Tabel 4.1 Relații de conversie a unităților de presiune - continuare

	1 Pa = 1 N/m ²	1 mmHg	1 mmH ₂ O	1 bar	1 Psi = 1 lbf/in ²
Pa = N/m ²	1	133,322	9,80665	10 ⁵	6894,757

Presiunea atmosferică (barometrică sau locală) este definită ca fiind forța exercitată de aerul atmosferic (învelișul gazos care înconjoară globul terestru) pe unitatea de suprafață. Presiunea atmosferică se măsoară cu barometrul, se notează cu p_b și variază în funcție de:

- ☞ altitudine - datorită greutății aerului,
- ☞ de starea vremii - fiind rezultatul deplasării maselor de aer atmosferic,
- ☞ de poziția geografică de pe globul terestru.

Presiunea normală ($p_N=p_0$) corespunde nivelului mării la latitudinea de 45° și temperatura de 0° C. Presiunea normală a fost introdusă datorită variației densității aerului în funcție de presiune și este:

$$p_N = p_o = 760 \text{ mmHg} = 101325 \text{ Pa} \quad (4.2)$$

Presiunea absolută (p_a) are ca și nivel de referință vidul absolut și se utilizează în toate relațiile termotehnicii. Presiunea relativă (p_r) are ca și nivel de referință presiunea atmosferică a locului unde se efectuează măsurătorile [27].

Între cele trei tipuri de presiuni (absolută, relativă și barometrică) există următoarea relație:

$$p_a = p_b + p_r \quad (4.3)$$

Presiunea manometrică numită și suprapresiune (p_s) este o presiune mai mare decât presiunea barometrică. Presiunea vacuumetrică, depresiunea sau vacuumul (p_v) este o presiune mai mică decât presiunea barometrică. Presiunea manometrică și cea vacuumetrică sunt exprimate în raport cu presiunea atmosferică, deci se mai numesc și presiuni relative.

Relațiile care se stabilesc între presiunea absolută, presiunea barometrică și suprapresiune / presiune vacuumetrică (Fig. 4.1-4.2) sunt:

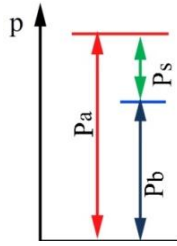


Fig. 4.1 Relația dintre p_a , p_b și p_s

$$p_a = p_b + p_s \quad (4.4)$$

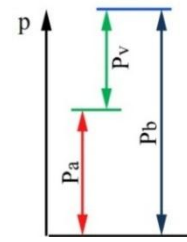


Fig. 4.2 Relația dintre p_a , p_b și p_v

$$p_a = p_b - p_v \quad (4.5)$$

Presiunea statică (p_{st}) se exercită pe suprafața plană de separare dintre două mase de fluid aflate în mișcare [2], pentru măsurarea acesteia se utilizează o priză de presiune statică (axa prizei este normală pe direcția curentului – Fig. 4.3).

Presiunea totală (p_{tot}) se poate defini astfel: dacă într-un curent de fluid se introduce un obstacol, atunci viteza fluidului devine zero, iar întreaga energie cinetică specifică fluidului se manifestă sub formă de presiune totală. Pentru măsurarea acestei presiuni se utilizează o priză a cărei axe este pe direcția curentului, pentru fluide aflate în mișcare (Fig. 4.4).

Tubul Pitot-Prandtl are forma literei L și este format din două țevi concentrice. Acesta se introduce în conductă perpendicular pe aceasta, astfel încât capul de măsură frontal să fie paralel cu pereții conductei și contrar fluxului de aer. În figura 4.5 este prezentat principiul tubului Pitot-Prandtl, unde cu albastru este reprezentată presiunea totală, cu roșu presiunea statică și cu galben traductorul de presiune [28]. Capul de măsură frontal măsoară presiunea totală a fluidului. Capul de măsură lateral are axele într-un plan perpendicular pe direcția de curgere a fluidului, ceea ce înseamnă că va măsura presiunea statică a acestuia. Cele două prize de presiune ale tubului Pitot-Prandtl pot fi legate la un manometru diferențial, putând citi direct presiunea dinamică.

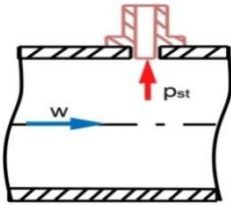


Fig. 4.3 Priză de presiune statică

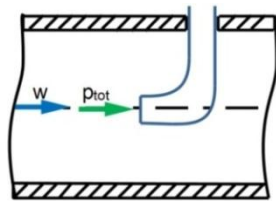


Fig. 4.4 Priză de presiune totală

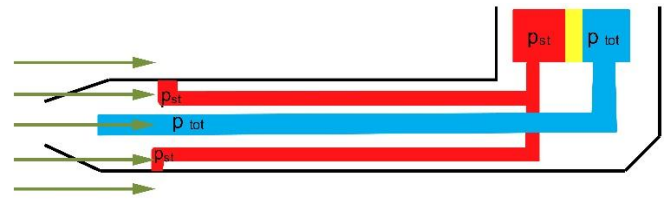


Fig. 4.5 Principiul tubului Pitot-Prandtl

Presiunea dinamică (p_{din}) este definită ca fiind diferența dintre presiunea totală și cea statică dintr-o secțiune transversală printr-un curent de fluid:

$$p_{din} = p_{tot} - p_{st} \quad (4.6)$$

$$p_{din} = \rho \cdot \frac{w^2}{2} \quad (4.7)$$

unde: w [m/s] este viteza fluidului, ρ [kg/m³] - densitatea fluidului, care se poate determina cu relația:

$$\rho = \rho_N \cdot \frac{p_b + p_{st}}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T_N + t_{amb}} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (4.8)$$

unde: ρ_N este masa specifică a aerului în condiții normale, $\rho_N = 1,2928 \text{ kg/m}^3$; p_b [Pa] - presiunea barometrică; p_{st} [Pa]- presiunea statică; p_N - presiunea aerului la starea normală, $p_N = 101325 \text{ Pa}$;

T_N - temperatura aerului la starea normală, $T_N = 273,15 \text{ K}$, t_{amb} [°C]- temperatura mediului ambiant.

Rezultă atunci că viteza fluidului se poate calcula cu relația:

$$w = \sqrt{\frac{2 \cdot p_{din}}{\rho}} \quad [\text{m/s}] \quad (4.9)$$

unde: p_{din} [N/m²] este presiunea dinamică a fluidului, ρ [kg/m³] - densitatea.

Presiunea hidrostatică este presiunea exercitată de un lichid aflat în echilibru datorită greutateii lui. Valoarea presiunii hidrostatice la adâncimea z într-un fluid de densitate constantă se poate calcula cu ajutorul relației [29]:

$$p_z = \rho \cdot g \cdot z \text{ [Pa]} \quad (4.10)$$

unde: ρ [kg/m³] este densitatea fluidului; g - accelerația gravitațională, $g=9,80665$ m/s²; z [m] - adâncimea.

În interiorul unui lichid în echilibru, fiecare strat servește ca suport pentru cele de deasupra și de aceea suferă o presiune cu atât mai mare, cu cât este mai departe de suprafața liberă [2, 30]. Gazele fiind compresibile, acțiunea dintre straturile care le compun face ca densitatea să fie cu atât mai mare cu cât stratul este plasat mai jos. Prin urmare și presiunea statică a gazului va crește în același sens. În practică, întrucât densitatea gazelor este foarte mică în comparație cu cea a lichidelor, se poate considera că presiunea gazelor dintr-un recipient este aceeași în orice punct al acestuia [2].

4.2 Aparate utilizate pentru măsurarea presiunilor

În figura 4.6 este prezentată o clasificare a aparatelor utilizate pentru măsurarea presiunilor în funcție de principiul de funcționare și de raportarea față de presiunea atmosferică utilizate în cadrul lucrării de laborator.

Aparatele care măsoară:

- presiunea atmosferică se numesc barometre,
- suprapresiuni se numesc manometre,
- presiuni vacuometrice se numesc vacuometre,
- atât suprapresiuni cât și presiuni vacuometrice se numesc manovacuumetre.

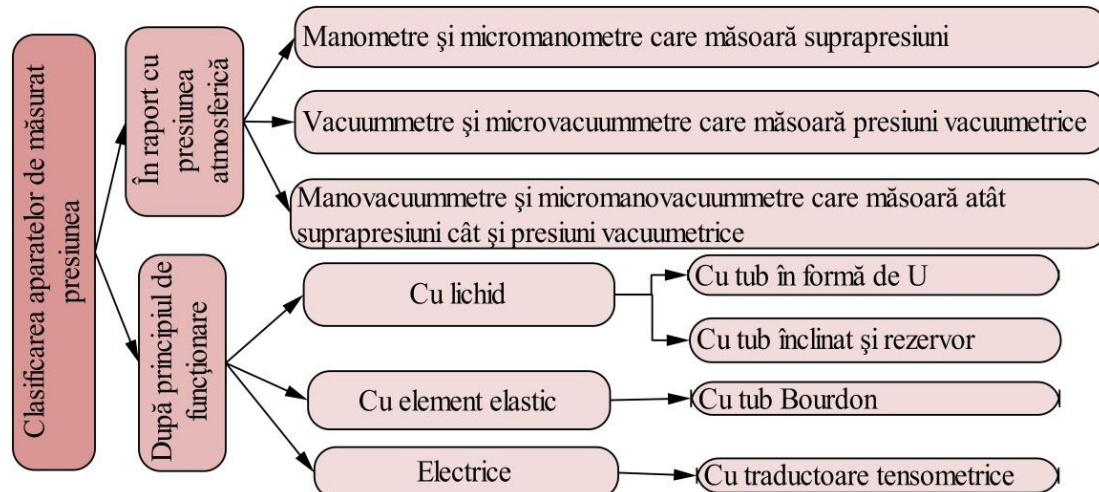


Fig. 4.6 Clasificarea aparatelor utilizate pentru măsurarea presiunilor

Aparatele de măsurat presiunea cu lichid sunt cele mai des utilizate deoarece au o construcție simplă. Principiul de funcționare se bazează pe legea fundamentală a hidrostatiei, comparându-se presiunea de măsurat cu presiunea hidrostatică a unei coloane de lichid (mercur, apă etc.) [2]. Aparatele de măsurat presiunea cu lichid cele mai utilizate sunt: cu tub în formă de U, cu tub înclinat și rezervor.

Aparatele cu tub U (Fig. 4.7) sunt cele mai simple din punct de vedere constructiv. Acestea sunt compuse dintr-un suport rigid pe care sunt fixate cele două brațe ale tubului din sticlă și o scară gradată. Întreg ansamblul este protejat de o cutie metalică prevăzută cu o sticlă de protecție. La partea superioară sunt prevăzute două robinete de izolare și un robinet pentru egalizarea presiunilor [2]. Dacă aparatul va măsura o suprapresiune atunci se va numi manometru, iar în cazul când măsoară o presiune vacuometrică se numește vacuometru. Pentru cazul în care poate măsura atât suprapresiuni cât și presiuni vacuometrice se numește manovacuumetru. Cazurile care pot fi întâlnite în practică (figura 4.8):

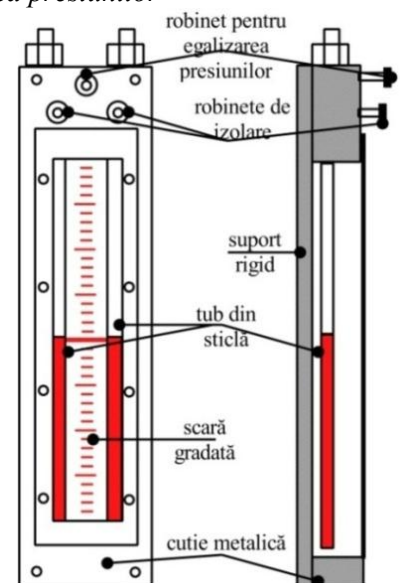


Fig. 4.7 Manometru diferențial cu tub în formă de U

➤ presiunea din instalație este egală cu presiunea atmosferică (Fig. 4.8a). Lichidul se află în dreptul reperului zero al riglei gradate atunci când instalația este oprită. Citirea indicației manometrului se face astfel:

$$p_{\text{citit}} = p_1 - p_2 \quad (4.11)$$

➤ în instalație avem o suprapresiune (Fig. 4.8b), atunci:

$$p_{s_citit} = p_1 - (-p_2) = p_1 + p_2 \quad (4.12)$$

➤ în instalație avem o presiune vacuumetrică (Fig. 4.8c), atunci:

$$p_{v_citit} = -p_1 - p_2 = -(p_1 + p_2) \quad (4.13)$$

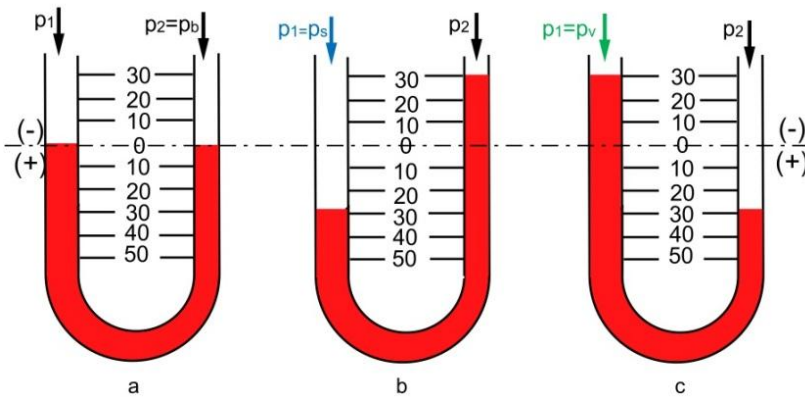


Fig. 4.8 Diferența de presiune pentru manovacuumetru cu tub U

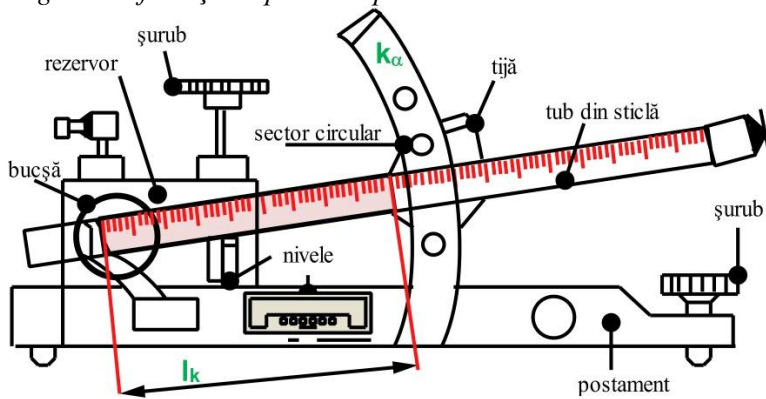


Fig. 4.9 Părțile componente ale micromanometrului cu rezervor și tub înclinat

Aparatele de măsurat presiunea cu element elastic sunt răspândite în diverse ramuri ale tehnicii având un domeniu foarte întins de măsurare, de la presiuni de ordinul milimetrilor coloană de apă la mai mult de 10.000 bar. Aceste aparate sunt compacte, robuste, se exploatează ușor, iar construcția elementului de măsurare, precum și construcția lor fiind relativ simplă, iar precizia satisfăcătoare. Elementul elastic poate fi de tip Bourdon, capsulă, membrană sau burduf. În figura 4.10 sunt prezentate părțile componente ale manometrului de tip Bourdon cu tub simplu curbat. Principiul de funcționare al acestor aparate se bazează pe deformarea elastică sub acțiunea suprapresiunii asupra suprafeței active a unui element de măsurare. Suprapresiunea determină deplasarea capătului liber al tubului transmițând mișcarea prin intermediul unei tije și a unui sistem dințat la un arc indicator care se deplasează în fața unei scări gradate [2]. Majoritatea manometrelor bazate pe deformarea elastică au ca senzor un tub elastic sub forma unui arc de cerc cu un unghi la centru de circa 270°. În secțiuni transversale, tubul elastic nu este circular, ci are una din formele prezentate în figura 4.11 [31].

Micromanometrul cu rezervor și tub înclinat (Fig. 4.9) se compune dintr-un postament pe care este montat rezervorul care se află în comunicație cu tubul din sticlă. Tubul se poate roti în plan vertical prin intermediul unei bucsă, poziția acestuia fiind fixată pe sectorul circular cu ajutorul unei armături și a unei tije. Cu ajutorul șuruburilor, precum și a nivelelor se realizează reglarea la zero a aparatului [2]. Valoarea presiunii este dată de relația:

$$p = k_{\alpha} \cdot l_k \quad (4.14)$$

unde k_{α} este o constantă pentru o anumită valoare a unghiului de înclinare a tubului față de orizontală, fiind scrisă pe sectorul circular al aparatului [2]. Ceea ce înseamnă că citirea se va face înmulțind valoarea citită de pe scara aparatului cu coeficientul k_{α} înscris pe sectorul circular.

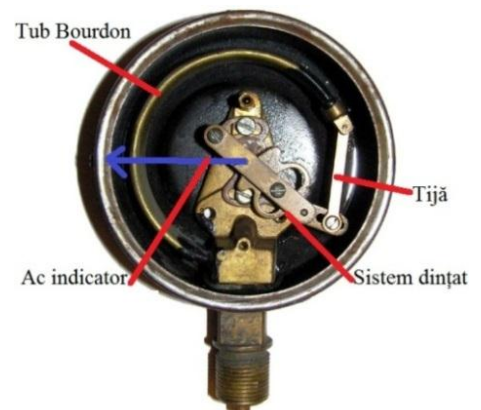


Fig. 4.10 Manometru cu tub Bourdon simplu curbat [32]

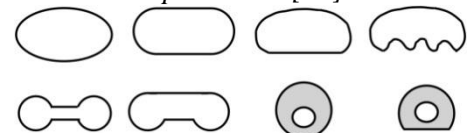


Fig. 4.11 Secțiuni transversale ale tubului elastic [31]

Traductoarele tensometrice permit măsurarea cu precizie ridicată și inerție redusă a presiunilor. Traductoarele tensometrice pentru presiune sunt alcătuite dintr-un cilindru metalic, gol în interior, pe care sunt fixate convenabil două, patru sau mai multe mărci tensometrice (Fig. 4.12). Fluidul din interior supune cilindrul unor solicitări mecanice mari, proporționale cu presiunea p a fluidului, solicitări care se transmit și mărcilor tensometrice. Funcționarea traductoarelor tensometrice se bazează pe dependența rezistenței unui conductor metallic de tensiunea mecanică la care acesta este supus. Atunci când un conductor de rezistență R este supus la întindere sau compresiune, el își modifică rezistivitatea electrică și, ca efect secundar, lungimea și secțiunea.

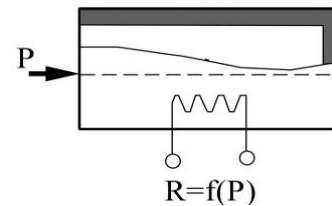


Fig. 4.12 Senzor de presiune tensometric

4.3 Descrierea instalațiilor și desfășurarea lucrării

Lucrarea se va desfășura prin realizarea mai multor măsurători ale tipurilor de presiune întâlnite în tehnică, prin utilizarea aparatelor de măsură montate pe standurile din laborator.

- măsurarea presiunii atmosferice cu ajutorul barometrului aneroid;
- măsurarea suprapresiunii dintr-un recipient, presiune realizată de o pompă de aer, utilizând un manometru cu traductor electric (folosind instalația din Fig. 4.13);
- măsurarea presiunii vacuummetrice dintr-un recipient, presiune realizată de către o pompă de vid, utilizând un manometru cu traductor electric (folosind instalația din Fig. 4.13);
- măsurarea presiunii statice și a presiunii dinamice a aerului dintr-o conductă utilizând instalația prezentată în figura 4.14 pentru diferite deschideri ale robinetului de reglare a debitului. Măsurarea presiunii statice se realizează cu ajutorul unui manometru cu tub U, lichidul manometric fiind apa. Măsurarea presiunii dinamice se realizează cu ajutorul unui micromanometru cu tub înclinat și rezervor, lichidul manometric fiind apa.

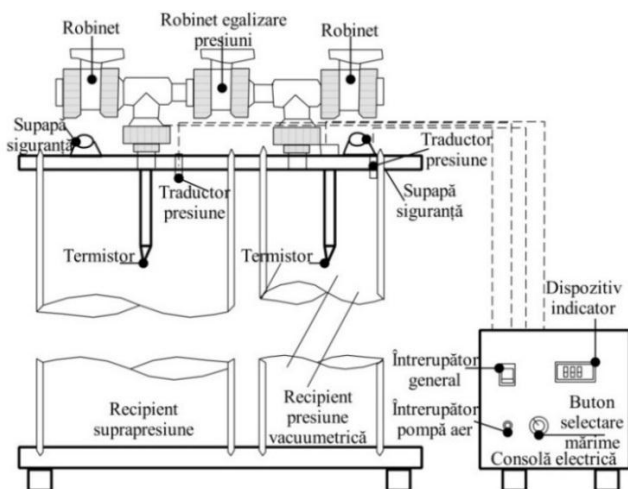


Fig. 4.13 Instalația pentru măsurarea suprapresiunii și a presiunii vacuumetrice

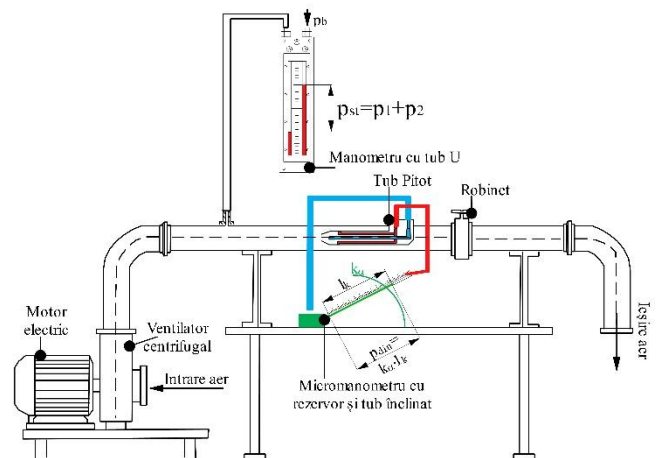


Fig. 4.14 Instalația pentru măsurarea presiunii statice și a presiunii dinamice

- măsurarea presiunilor manometrice ale aerului refulat de un compresor (folosind instalația din Fig. 4.15), utilizând două manometre cu tub Bourdon;
- măsurarea diferenței de presiune date de o diafragmă montată pe o conductă de aer, cu ajutorul manometrului electric conform figurii 4.16;

Valorile presiunilor măsurate cu aparatele indicate, se centralizează în tabelul 4.2, în unitățile de măsură în care au fost etalonate aparatele de măsură precum și valorile transformate în sistemul internațional de unități de măsură.

Se calculează apoi presiunile absolute. Se citește temperatura mediului ambiant de pe termometrul aflat în dotarea laboratorului. Se calculează presiunile totale și se determină vitezele de curgere ale aerului prin conductă, calculând totodată și densitatea aerului.

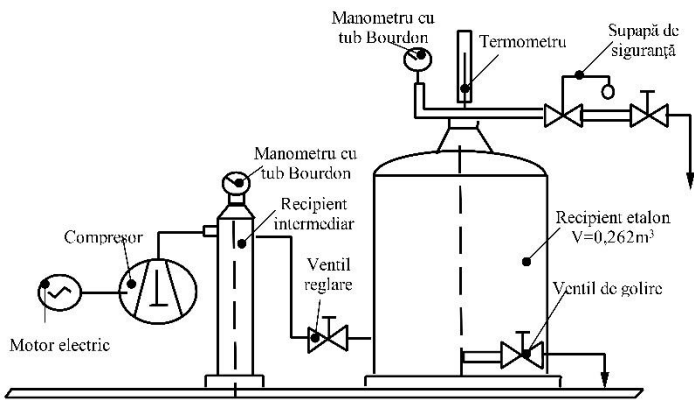


Fig. 4.15 Instalația pentru măsurarea presiunilor manometrice

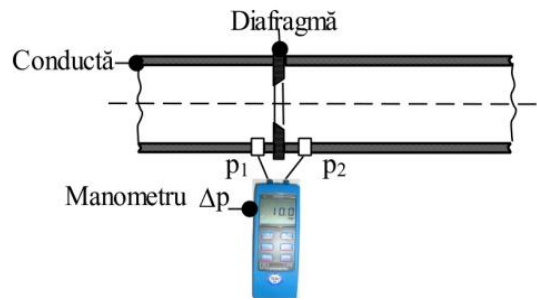


Fig. 4.16 Instalația pentru măsurarea diferenței de presiune

Tabel 4.2 Valori ale presiunii măsurate și calculate

Mărimea	Simbol	U.M.	Determinarea		
			1	2	3
Presiunea barometrică	p_b	[mbar]=[hPa]			
		[N/m ²]			
Suprapresiune	p_s	[kNm ⁻²]			
		[kgf/cm ²]			
		[bar]			
		[N/m ²]			
Presiune vacuometrică	p_v	[kNm ⁻²]			
		[N/m ²]			
Presiune absolută	p_{s_abs}	[N/m ²]			
	p_{v_abs}	[N/m ²]			
Diferența de presiune	Δp	[_____]			
		[_____]			
		[_____]			
		[N/m ²]			
Presiune statică	p_{st}	[mmH ₂ O]			
		[N/m ²]			
Presiune dinamică	p_{din}	[mmH ₂ O]			
		[N/m ²]			
Presiune totală	p_{tot}	[mmH ₂ O]			
		[N/m ²]			
Temperatura aerului	t	[°C]			
	T	[K]			
Densitatea aerului	ρ	[kg/m ³]			
Viteza de deplasare a aerului prin conductă	w	[m/s]			
		[km/h]			