

Lucrarea 13

SISTEME DE TRANSPORT PE PERNĂ DE AER

1. Scopul lucrării

Familiarizarea studenților cu principiul pernei de aer și diverse structuri de pernă de aer și calculul parametrilor principali ai unui sistem de ridicare și deplasare bazat pe perna de aer.

2. Introducere

Limitele vehiculelor cu aderență la calea de rulare (date de neregularitățile căii, de captarea curentului, de limita datorată aderenței etc) au dus la căutarea de soluții alternative pentru vehicule terestre. O soluție este dată de vehiculele pe pernă de aer, realizate atât pentru deplasare pe cale ghidată cât și pe ale neghidată. Dacă în primul caz sistemele clasice cu aderență s-au dovedit mai eficiente energetic decât vehiculele cu sustentație pe pernă de aer, în cel de al doilea caz vehiculele „hovercraft” s-au dovedit eficiente și practice pentru deplasarea pe suprafețe neregulate, atât pe uscat cât și pe apă.

În plus, în mediul industrial se folosesc sisteme pe pernă de aer pentru deplasarea de sarcini mari în spații în care nu se mai folosesc poduri rulante sau macarale.

Sistemul pe pernă de aer prezintă o serie de calități și anume:

- elimină susceptibilitatea vehiculului la neregularitățile căii, ne mai fiind necesar ca elementele vehiculului să urmărească profilul neregularităților ci vehiculul plutește deasupra suprafeței de mers;
- permite deplasarea pe suprafețe neregulate sau greu accesibile și trecerea foarte ușoară între uscat și apă;
- reduce rezistența la înaintare a vehiculului, înlocuind frecarea de rostogolire, prin aceea de alunecare pe un strat de aer și prin rezistența indusă datorită captării aerului necesar pentru formarea pernei de aer. Puterea astfel economisită la propulsie, poate compensa parțial puterea necesară pentru realizarea pernelor de aer de susținere și de ghidare.

3. Principiul și formarea pernei de aer

Formarea pernei de aer este datorată efectului de sol, adică creșterea forței de sustentare a unei suprafețe portante în apropierea solului. Se consideră o instalație cu elice dispusă în poziție orizontală (Figura 1). Distanța h dintre marginea inferioară a instalației și sol se numește „lumină”. Deasupra elicei și în afara instalației se regăsește presiunea atmosferică P_a . Elicea imprimă aerului o mișcare verticală, de sus în jos, cu o anumită viteză și un anumit debit.

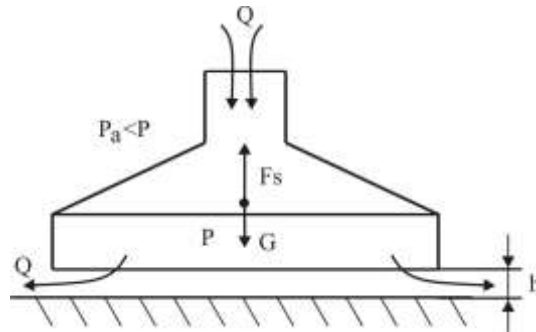


Figura 1. Formarea pernei de aer.

Aerul absorbit în zona superioară va trece prin instalație și va ieși prin fanta h cu o viteză v_h ceea ce este posibil dacă sub elice s-a creat o presiune $P > P_a$. Elicea va acționa asupra aerului cu o forță verticală F_s opusă greutății G .

Debitul de aer ce trece printr-o fantă îngustă este:

$$Q = \mu S_F \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (1)$$

unde : S_F -aria fantei de ieșire.

Suprapresiunea creată sub elice va fi:

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} \left(\frac{Q}{\mu h K} \right)^2 \quad (2)$$

unde ρ este densitatea aerului, Q este debitul de aer, μ este coeficient de debit, K este perimetrul fantei de ieșire a aerului.

Forța F_s , numită de sustentare, depinde direct proporțional de densitate și debit și invers proporțional cu fanta h și perimetrul K . Mai mult, forța depinde în mod direct

și de raportul h/D , acesta fiind practic parametrul cel mai important al unei instalații pe pernă de aer, deoarece el va influența caracteristicile funcționale și energetice.

$$F = \frac{\rho Q^2}{S_s} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{S_s}{\mu h K} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Efectul de creștere a forței de sustentare în apropierea solului reprezintă efectul de sol. Stratul de aer cu suprapresiunea Δp care se formează între elice și sol este perna de aer pe care se sprijină întregul ansamblu și care plutește fără contact mecanic cu suprafața de sprijin.

La valori mici ale fantei h se poate scrie $F_s \approx \Delta p \cdot S$, unde S este suprafața frontală superioară. Puterea consumată depinde de debitul scăpat prin fanta h și reprezintă o pierdere directă. Aportul suprapresiunii Δp în realizarea forței F_s crește o dată cu scăderea raportului h/D și devine dominant la $h/D < 0,05$. La valori mici ale înălțimii fantei, adică la debite relative mici, componenta forței de susținere datorită variației impulsului curenților de aer se poate neglija, deci forța de susținere:

$$F_s = \Delta p S_s \quad (4)$$

4. Tipuri de perne de aer

Condiția fundamentală pentru menținerea pernei de aer, respectiv a plutirii unui vehicul pe perna de aer, este ca stratul de aer de sub vehicul să aibă o presiune suficient de mare pentru a susține greutatea vehiculului, iar debitul de aer ce iese în continuu prin spațiul dintre vehicul și cale să fie înlocuit de către sistemul de alimentare. Puterea consumată de instalația de alimentare depinde tocmai de acest debit scăpat prin fanta h și reprezintă o pierdere directă. Pentru a reduce puterea consumată în vederea menținerii pernei de aer, trebuie redus debitul scăpat, prin reducerea la valoarea minimă necesară a înălțimii h a fantei, sau prin alte mijloace.

4.1. Perna de aer cu strat de ungere

Sistemul cel mai simplu bazat pe principiul ungerii cu aer (Figura 2), utilizează pentru reținerea aerului în pernă vâscozitatea acestuia. Aerul trecând între două suprafețe paralele foarte apropiate, datorită valorii mari a rezistenței de scurgere, asigură menținerea unei presiuni ridicate în zona din interiorul dipozitivului.

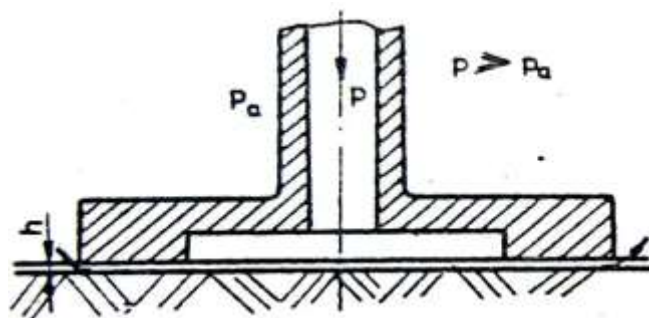


Figura 2. Perna de aer „cu strat de ungere”.

4.2. Perna de aer cu cameră de presiune

Sistemul din Figura 3 este cu “camera de presiune”, la care rezistența împotriva ieșirii aerului din pernă apare din transformarea energiei potențiale a unei cantități de aer în energie cinetică, atunci când străbate transversal fanta liberă de înălțimea h de la periferia pernei. Dacă aerul astfel pierdut se completează de către instalația de alimentare, presiunea din pernă se menține constantă.

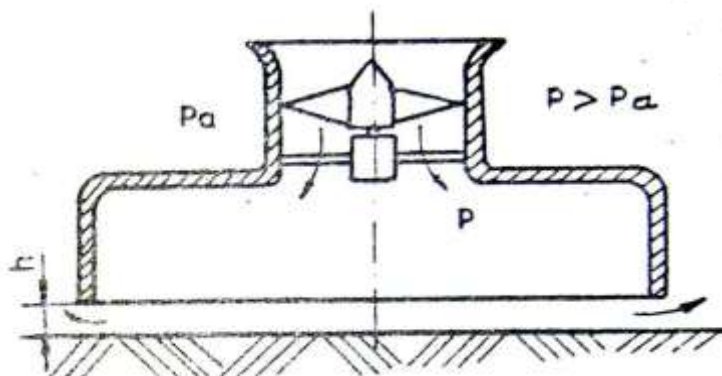


Figura 3. Perna de aer „cu camera de presiune”.

4.3. Perna de aer cu jet periferic

În Figura 4 este reprezentat așa-numitul “sistem cu jet periferic”. La acest sistem, aerul din camera de presiune ajunge sub vehicul prin jeturi periferice inclinate, orientate spre interiorul pernei, unde presiunea dinamică se va transforma din nou în presiune statică. Ieșirea aerului de sub vehicul este frânată tocmai de către perdeaua de aer formată de jeturile periferice.

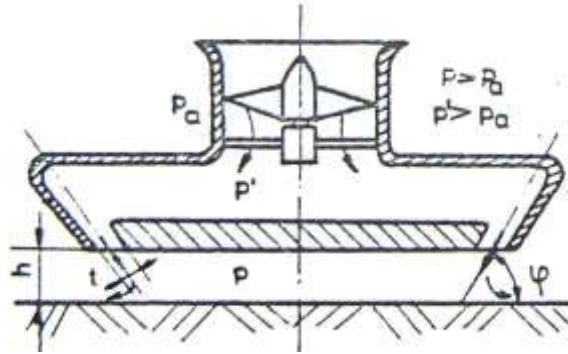


Figura 4. Perna de aer „cu jet periferic”.

5. Puterea necesară pentru susținere

Puterea necesară a motorului ce antrenează un ventilator la care pierderile în ventilator și în conductele prin care aerul ajunge de la ventilator la pernele de aer se includ într-un randament al instalației de alimentare a pernelor de aer η_{inst} , este :

$$P_s = \frac{\Delta p Q}{\eta_{inst}} \quad (5)$$

Folosind diametrul echivalent $D_e = \frac{4S_s}{K_s}$ se obține :

$$P_s = 4g \sqrt{\frac{2}{\rho}} \frac{\mu}{\eta_{inst}} \frac{h}{D_e} m_v \sqrt{\Delta p} \quad (6)$$

Relația arată influența înălțimii relative de ridicare asupra puterii necesare pentru sustentație.

La susținerea pe perna de aer a unui vehicul de masă m_v , mărimea suprafeței de sustentație are deci o influență favorabilă asupra puterii de susținere. În același timp se impune ca fanta de ieșire a aerului să aibă o suprafață cât mai mică, ceea ce, pe lângă reducerea înălțimii fantei, cere și reducerea perimetrului. De aceea, pentru economie de energie se recomandă, ca pernele să nu fie divizate în prea multe unități independente, numărul lor să fie acel minim necesar pentru asigurarea stabilității vehiculului, dacă considerentele constructive și de exploatare nu impun o altă soluție.

6. Sistemul de pernă de aer cu jet periferic

Acest sistem, reprezentat în Figura 5, cu o utilizare în special la cele marine și amfibii. Sistemul se bazează pe interdependența dintre presiunea dinamică a jetului și presiunea statică a pernei ce se formează prin izbirea jetului inclinat spre interior în zona din interiorul pernei de aer.

Dupa cum se vede în figura 6 parametrii caracteristici ai pernei de aer cu jet periferic sunt:

- înălțimea fantei de ieșire a aerului h ,
- lățimea jetului t ,
- unghiul de inclinație a jetului ℓ ,
- viteza aerului în jet v_j ,
- suprapresiunea în camera de alimentare $\Delta p'$,
- suprapresiunea în pernă de aer Δp .

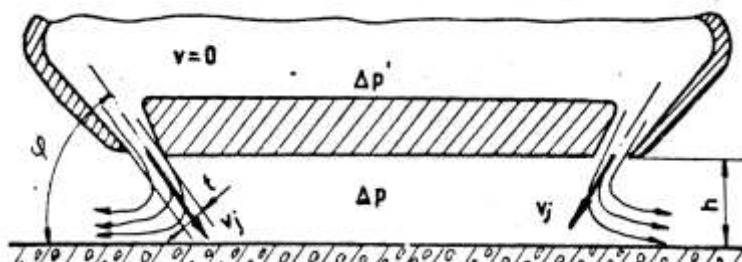


Figura 5. Parametrii principali ai pernei de aer cu jet periferic și forma jetului în repaus.

În stare de repaus a vehiculului, în porțiunea cuprinsă între jeturile periferice aerul stagnează la o presiune Δp ce depinde de v_j , h , t și ℓ . Debitul de aer ce iese de sub pernă este egal cu cel ce trece prein ajustaje și se repartizează uniform pe periferia pernei.

În timpul mișcării vehiculului, jetul de aer nu mai are aceeași formă de repartitie ca în repaus, ci se abate și urmează o traiectorie foarte curbă înainte de a ieși de sub vehicul.

Când vehiculul se deplasează cu viteze mici sau moderate, jetul de sub partea dinainte a pernei se împarte în două, o parte care este proiectat înainte spre aerul din fata vehiculului, iar cealaltă parte intra în interiorul pernei. Jetul

din partea din spate, considerat după sensul de mers, iese în întregime deja la viteze mici, dar franează scurgerea aerului din pernă. La o anumită viteză critică întregul jet din față intră în pernă, iar la viteze de mers și mai mari, când presiunea dinamică a aerului din față vehiculului depășește o anumită limită, aerul din exterior pătrunde în pernă, supraalimentând-o. În această situație se pun probleme de stabilitate.

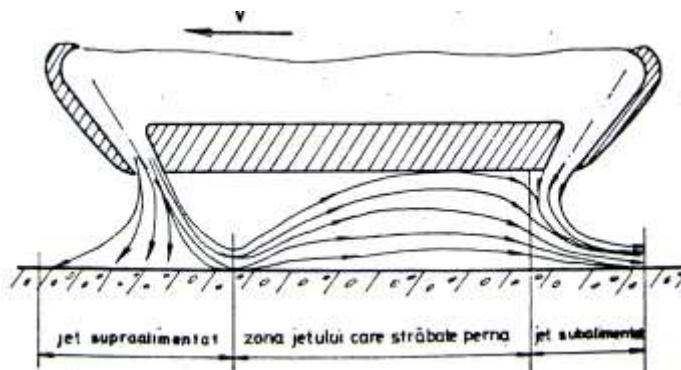


Figura 6. Parametrii principali ai pernei de aer cu jet periferic și forma jetului în mișcare.

Parametrii funcționali și energetici

Pe lângă parametrii fundamentali, comuni tuturor tipurilor de perne de aer, cum sunt suprapresiunea Δp , suprafața de susținere S_s , înălțimea de ridicare h , perimetrul pernei K , respectiv debitul de aer Q , perna de aer cu jet periferic are și parametri specifici ca suprapresiunea $\Delta p'$ în camera de alimentare a jetului, înălțimea t a jetului și unghiul de înclinare ℓ a jetului.

Suprafața de susținere, înălțimea de ridicare, perimetrul pernei, respectiv suprapresiunea Δp se determină după aceleași criterii ca în cazul pernei de aer cu camera de presiune.

Unghiul de înclinare a jetului se recomandă să se apropie de valoarea de $\ell = 45^\circ$, când se obține o eficiență bună în ceea ce privește forța de susținere, dar cu rezultate bune se utilizează și $\ell = 60^\circ$.

Lățimea jetului este o mărime importantă, valoarea căreia influențează atât parametrii funcționali cât și energetici. Din figura 5-7 rezultă, că la o valoare impusă a înălțimii de ridicare, reducerea exagerată a lățimii jetului duce la descreșterea presiunii Δp față de $\Delta p'$, ceea ce nu este rațional. În schimb alegerea unei valori mari pentru t ar produce o creștere puternică a debitului de

aer . Valoarea optimă a raportului h/t , care asigură consumul minim de energie după datele experimentale este cuprins în intervalul $h/t=2\dots3$.

Debitul de aer necesar se poate exprima sub forma:

$$Q = S_j \cdot v_j \quad (7)$$

Se obține:

$$Q = S_j \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho} \frac{h}{t} \frac{1}{1 + \cos \ell}} \quad (8)$$

De unde se poate exprima debitul relativ (adimensional) sub forma:

$$\frac{Q}{S_j} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} = \sqrt{\frac{h}{t} \frac{1}{1 + \cos \ell}} \quad (9)$$

Puterea necesară este proporțională cu $(\Delta p)^{3/2}$ și depinde de secțiunea fantei de evacuare și de lungimea jetului. Deoarece consumul de putere este proporțional cu debitul aerului prin jet (adică cu lățimea t și perimetrul K_j), iar capacitatea portantă depinde de suprafața pernei, rezultă că se obține o soluție mai eficientă dacă se realizează o suprafață de pernă mai mare pentru aceeași secțiune transversală a jetului.

7. Modelul de laborator

Modelul de laborator este cu pernă de aer cu jet periferic (Figura 7). Aerul din camera de alimentare iese prin jetul periferic înclinat spre interior la un unghi de 45 de grade.

La modelul de laborator, debitul de aer este compensat de către instalația de alimentare, alcătuită din patru motoare monofazate ce antrenează fiecare câte un ventilator, pentru menținerea fantei h , dintre structură de pernă de aer și suprafața ecran, la o înălțime impusă.

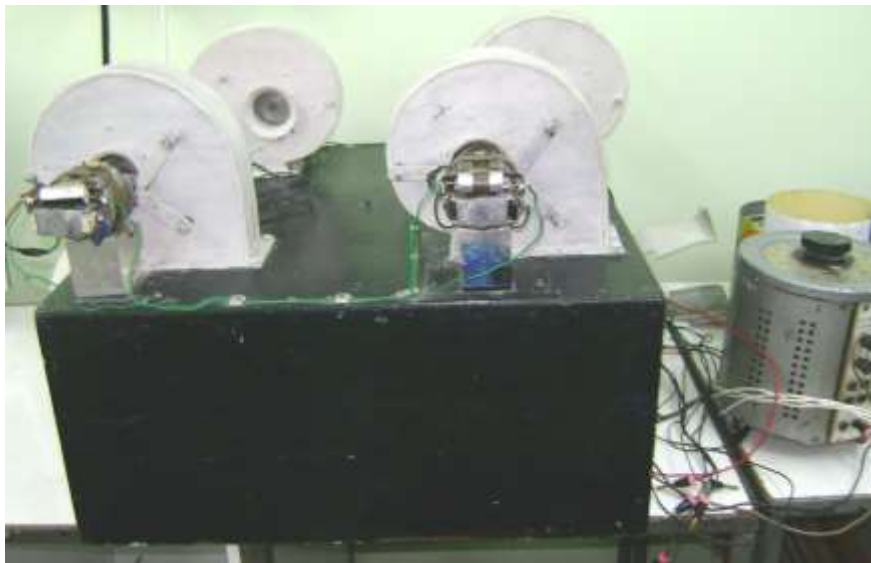


Figura 7. Stand experimental pe pernă de aer.

Motoarele utilizate pentru sustentație sunt motoare universale serie monofazate cu colector, cu fază auxiliară cu condensator inseriat. Reglarea vitezei motoarelor ce antreneaza ventilatoarele se face prin modificarea tensiunii de alimentare.

În figura 8 se prezinta dimensiunile modelului de pernă de aer.

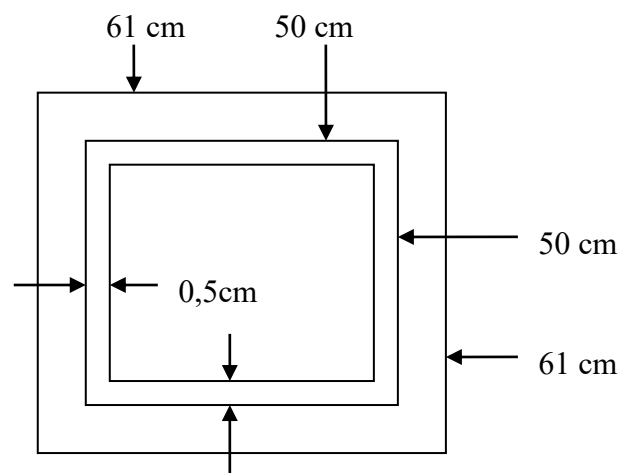


Figura 8. Dimensiuni stand experimental.

Dimensiuni stand : - lungimea și lățimea standului $L \times l = 61 \times 61$ cm,
 - înălțimea standului 28 cm,

- masa totală stand $m = 19 \text{ kg}$,
- lungimea și lățimea pernei cu jet $50 \times 50 \text{ cm}$,
- lățimea jetului $t = 0,5 \times 0,5 \text{ cm}$,
- $h = 0,5 \text{ cm}$ - înălțimea fantei.

Cunoscând perimetrul ce mărginește aria portantă a pernei de aer, $p = 0,5 \text{ m} \cdot 4 = 2 \text{ m}$, și înălțimea fantei ($h = 0,5 \text{ cm}$), se poate afla suprafața laterală de scurgere S_n :

$$S_n = p \cdot h_a \quad (10)$$

Considerând presiunea dinamică P_d egală cu masa totală a standului rezultă:

$$P_d = m = 19 \text{ kgf} \cdot 9,81 \approx 190 \text{ N}$$

unde: $1 \text{ kgf} = 9,81 \text{ N} \approx 10 \text{ N}$.

Cunoscând presiunea dinamică, din formula de calcul a acesteia rezultă viteza de ieșire a jetului de aer din pernă, v_j :

$$P_d = \frac{\rho v_j^2}{2} \Rightarrow v_j = \sqrt{\frac{2p}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 190}{1,15}} = 18,17 \text{ m/s} \quad (11)$$

unde: $\rho = 1,15 \text{ kg/m}^3$ -densitatea aerului la 20° C

Parametrii caracteristici ai standului experimental al pernei cu jet periferic sunt conform cu figura 10:

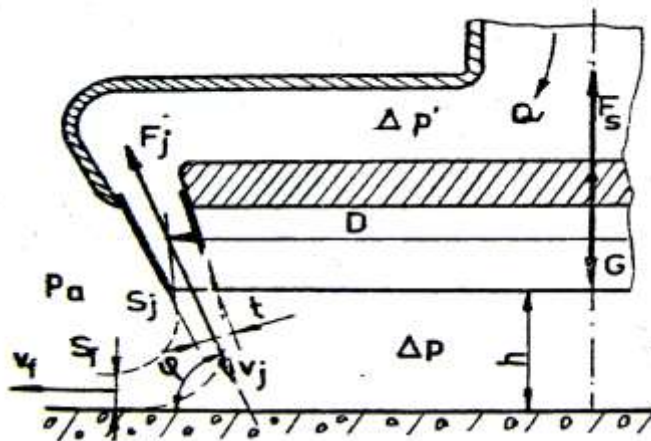


Figura 10. Parametrii caracteristici ai pernei cu jet periferic

Debitul de aer necesar ce intră în camera de alimentare se determină cu:

$$Q = K_Q \cdot S_n \cdot v_j \quad (12)$$

unde $K_Q = 0,6$ - coeficientul de debit (definit din catalog) ,

După ce trece prin ajutorul periferic, aerul iese cu viteza v_j prin secțiunea minimă a jetului: $S_j = K_j \cdot t$, unde K_j este perimetrul pernei cu jet.

Cunoscând debitul de aer ce intră în pernă și viteza jetului ce iese din pernă se poate afla presiunea din perna de aer:

$$\Delta p = \frac{\rho \cdot Q \cdot v_j}{h \cdot K_j} \quad (13)$$

Forța de sustentatie este dată atât de forța de impuls a jetului $F_j = \rho \cdot Q \cdot v_j$, cât și de forța dată de presiunea Δp pe suprafața de susținere S_s ($S_s = 0,5m^2$):

$$F_p = \Delta p \cdot S_s \quad (14)$$

Forța de sustentatie F_s este :

$$F_s = (\rho \cdot Q \cdot v_j \cdot \sin \ell) + (\Delta p \cdot S_s) \quad (15)$$

unde : ℓ - unghiul de înclinație a jetului : $\ell = 45^\circ$.

Puterea necesară pentru pentru sustentatia standului se calculează cu:

$$P = \frac{H_v \cdot Q}{\eta_v} \quad (16)$$

unde:

H_v - este sarcina ventilatorului, $H_v = m = 19kgf = 190N / m^2$

η_v - randamentul ventilatorului, $\eta_v = 0,7$.

Cunoscând toate datele se poate afla puterea necesară pentru sustentatie :

$$P_{abs} = \eta_v \cdot Q \cdot P_d \quad (17)$$

Mersul lucrării și conținutul referatului

1. Se vor studia tipurile de pernă de aer descrise în lucrare.
2. Se va studia modelul de pernă de aer cu jet periferic din laborator.
3. Se va calcula puterea necesară pentru sustentația standului de laborator pentru diferite înălțimi de lucru ale pernei de aer.
4. Se va alimenta instalația de pernă de aer și se va măsura curentului absorbit de motoare (I), puterea necesare pentru sustentație (P), debitul de aer necesar ce intră în camera de alimentare (Q) și viteza de ieșire a jetului de aer (v_j). Datele se vor trece în Tabelul 1, în funcție de tensiunea de alimentare U.

Tabelul 1. Date experimentale

U[V]	I[A]	P[W]	Q[m^3 / s]	$v_j[m / s]$
50				
75				
100				
150				
200				

5. Se vor compara datele măsurate cu cele calculate anterior.