

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

A „POLITEHNICA” DIN TIMIȘOARA

Nr. Inv. _____

Dulap _____ Lit. A

Ing. Cezar Dorin GALERIU

TEZĂ DE DOCTORAT

**Aplicatiile Efectului Coandă
la turbinele hidraulice**

**Conducător științific:
Prof. Dr. Ing. FRANCISC GYULAI**

Timișoara 2000

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA
369 A

Introducere

Savantul roman **Henri Coanda** este unul din cei mai mari și prolifici inventatori ai secolului XX cu realizări și proiecte vizionare în domenii diverse: aviație, ecologie, transport, arhitectură, ș.a. **Efectul Coanda**, a fost descoperit la 10 decembrie 1910 cu ocazia încercării în zbor a primului avion cu reacție din lume, și brevetat la 8 octombrie 1934 cu titlul "Procedeu și dispozitiv de deviere a unui fluid în alt fluid." Specific jeturilor subțiri Efectul Coanda este un fenomen care constă în devierea, față de direcția inițială, a acestor jeturi în prezența unor frontiere solide-volet- frontiere care constituie prelungiri plane, poligonale sau curbe ale unuia din peretii ajutorului sau canalului din care provine jetul. Odată cu devierea și în anumite condiții, atasarea jetului se constată ca elemente caracteristice și:

existența unei zone depresionare ce se dezvoltă pe un segment al suprafeței volet,

aparitia unei forțe superficiale cu o semnificativă componentă sustentatoare,

creșterea, în principal datorită depresiunii create, a debitului de fluid antrenat de jetul deviat.

Aceste caracteristici au declanșat un câmp larg de aplicații inițiat și dezvoltat de Henri Coanda și extins ulterior de numeroși cercetători între care și: C. Teodorescu-Tintea, N. M. Patraulea, St. Savulescu, V. Benche, Cl. Alecsandrescu, remarcabili reprezentanți ai științei românești.

Deși aplicațiile sunt numeroase, analiza materialului bibliografic-120 titluri-a evidențiat faptul că nu există un model matematic unitar al fenomenului iar cercetările experimentale disparate se referă, în majoritatea lor, la o anumită configurație a ansamblului ajutor volet. Această situație a impus selectarea și concentrarea datelor disponibile. Aceste date au fost utilizate la proiectarea, ca **aplicații ale Efectului Coanda**, a următoarelor dispozitive prezentate în lucrare:

profilele Coanda

ejectorul cu dublu flux

dispozitivul de generare a Efectului Magnus

traductorul pneumatic.

Aceste dispozitive-cu elemente originale- sunt **aplicabile direct sau ca soluții potențiale, turbinelor hidraulice și în general masinilor aerohidraulice**. Profilele aerodinamice constituie elementele generatoare pentru materializarea unor componente esențiale ale paletelor rotorice sau statorice ale acestor mașini. Brevetul cu nr.75712/1980, "Dispozitiv de supercirculație aplicat rotorului turbinelor Francis" prezintă o modalitate de

aplicare a Efectului Coanda. In lucrare se introduce conceptul de profile Coanda-profile aerodinamice prevazute cu ajutaje Coanda, voletul fiind materializat printr-un segment sau reuniune de segmente apartinand extradosului. Pentru variantele testate, masuratorile efectuate au evidentiat ca valorile coeficientilor de portanta, pentru profilele Coanda, sant, pentru acelasi unghi de incidenta superioare fata de cele corespunzatoare ale profilului original. Totodata aceste valori depasesc pentru unghiuri de incidenta pozitive de pana la 55° coeficientul de portanta maxim realizat de profilul original. In acest context profilele Coanda pot fi luate in considerare la proiectarea paletelor rotorului agregatelor aeroelectrice cu ax orizontal si in abordarea problemelor supermanevrabilitatii si zborului la mare incidenta.

Ejectorul Coanda cu dublu flux, este constituit din doua etaje de ejectoare Coanda interioare dispuse in echicurent. Masuratorile efectuate pentru doua variante functionale au evidentiat posibilitatea utilizarii acestuia ca dispozitiv propulsiv mono sau bifazic. Pentru ejectoare prin aplicarea Efectului Coanda exista posibilitatea cresterii unghiului de evazarea a difuzorului. Aceasta posibilitatea a fost aplicata in cadrul brevetului 79018/1980 "Procedeu si dispozitiv de imbunatatire a eficientei tuburilor de aspiratie la turbinele hidraulice"

Cilindrul Coanda-Magnus materializeaza un dispozitiv la care prin Efect Coanda se realizeaza o miscare circulatorie, care simuleaza rotatia unui cilindru imersat intr-un fluid vascos in miscare uniforma si permanenta. Cele doua miscari genereaza o forta sustentatoare (Efect Magnus). Coeficientul de portanta rezultat din distributia de presiuni masurata pe frontiera cilindrului Coanda-Magnus este superior celui obtinut la cilindrii rotitori pentru aceiasi valoare a raportului dintre viteza de rotatie si cea a curentului uniform. Acest dispozitiv poate constitui o solutie ecologica in propulsia navala.

La traductorul pneumatic pentru control dimensional, solutie brevetata, "Procedeu si dispozitiv pentru control dimensional", nr.101239/1990, pentru care presiunea de alimentare poate avea valori nelimitate, parametrul masurat este depresiunea generata prin Efect Coanda. Acest tip de traductor dimensional avand o caracteristica statica similara cu cea a altor solutii constructive, nu necesita elemente de prelucrare a semnalului masurat. Intrucat prezinta o mare simplitate constructiva, si se preteaza miniaturizarii poate fi incorporat in dispozitivele de urmarire a masinilor de prelucrare a componentelor masinilor aerohidraulice.

Pentru dispozitivele cu Efect Coanda analizate, simularile numerice si masuratorile efectuate au evidentiat performantele acestora si posibilitatea optimizarii solutiilor elaborate. Experimentarile au fost efectuate in instalatii adaptate sau special concepute in cadrul Laboratorului de Masini hidraulice din Timisoara. Folosesc acest prilej pentru a exprima distinsilor dascalii ai *Scoali de masini hidraulice si de hidrodinamica* din Timisoara: Acad. **Ioan Anton**, Prof.dr ing. **Francisc Gyulai**, Prof.dr. ing. **Octavian Popa**, Prof.dr.

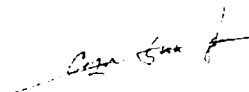
ing. **Viorica Anton**, Prof.dr.ing. **Iosif Preda**, Prof.dr.ing. **Mircea Popoviciu**, Prof. dr. ing. **Ioan Fitero** intreaga mea consideratie.

In mod deosebit doresc sa multumesc si pe aceasta cale, conducatorului stiintific **Prof. dr ing. Francisc Gyulai** pentru indrumarea de inalta tinuta stiintifica, sugestiile competente, sprijinul moral, generozitate si nu in ultimul rand pentru permanentele incurajari pe care mi le-a dat.

Dedic aceasta lucrare amintirii celor mai dragi mie care nu se mai pot bucura.

Timisoara, 2000

Cezar Dorin Galeriu



Aplicatiile Efectului Coanda la turbinele hidraulice.

CUPRINS

	pag
1. Efectul Coanda	2
1.1. Efectul Coanda.Aspecte fenomenologice.	2
1.2. Aplicatii ale Efectului Coanda.	6
1.3. Efectul Coanda. Cercetari teoretice si experimentale.	9
1.3.1. Statiuni si instalatii pentru studiul Efectului Coanda	9
1.3.2. Efectul Coanda. Metode si modele teoretice.	14
1.3.2.1. Metoda vanei de fluid.	14
1.3.2.2. Metoda analizei dimensionale.	18
1.3.2.3. Metoda reprezentarilor conforme	20
1.3.2.4. Metoda jetului parietal.	22
1.4. Aspecte particulare ale Efectului Coanda.	36
1.4.1. Histereza in procesul de atasare-desprindere.	36
1.4.2. Decalarea voletului in raport cu ajutorul pe verticala si orizontala.	39
1.4.3. Actiunea campului sonor.	42
1.4.4. Jeturi supersonice.	44
1.4.5. Efectul Coanda in prezenta cavitatiei.	46
1.4.6. Influenta temperaturii voletului.	47
1.5. Concluzii	48
2. Obiectivele lucrarii. Dispozitive si instrumente, modelul si metoda de simulare numerica utilizate.	49
2.1. Obiectivele lucrarii.	49
2.2. Statiuni si instrumente de masura utilizate.	50
2.3. Modelul matematic si metoda de solutionare numerica acurgerii.	54
3. Parametrii caracteristici Efectului Coanda. Elemente de calcul.	55
3.1. Profilul vitezelor in jetul deviat prin Efect Coanda.	55
3.2. Distributia presiunii pe volet.	60
3.3. Forta superficiala generata. "Eficienta" Efectului Coanda.	64
3.4. Concluzii. Observatii. Recomandari.	68
4. Aplicatii ale Efectului Coanda la masinile hidraulice.	71
4.1. Traductor pneumatic cu Efect Coanda.	71
4.1.1. Dispozitive pneumatice pentru control dimensional.	71

4.1.2. Traductor pneumatic cu Efect Coanda pentru control dimensional.	71
4.1.3. Caracteristica statica a traductorului pneumatic cu Efect Coanda pentru control dimensional	74
4.1.4. Concluzii.	75
4.2. Efectul Coanda in cazul jeturilor inserate.	77
4.2.1. Ajutaje Coanda etajate.Aplicatii.	77
4.2.2. Cercetari si rezultate experimentale.	78
4.3. Generarea Efectului Magnus prin Efect Coanda.	87
4.3.1. Efectul Magnus.	87
4.3.2. Instalatia experimentală.	87
4.3.3. Reprezentari grafice. Interpretarea rezultatelor.	90
4.3.4. Concluzii.	92
4.4. Ejector Coanda cu dublu flux.	98
4.4.1. Ejectoare. Principii functionale. Solutii constructive.	98
4.4.2. EjectoareCoanda.	99
4.4.3. Ejector Coanda cu dublu flux.	102
4.4.4. Statiune experimentală pentru studiul ejectorului Coanda cu dublu flux	104
4.4.5. Ejectorul Coanda cu dublu flux. Rezultate experimental.	105
4.4.6. Concluzii si observatii.	111
4.5. Profile aerodinamice cu Efect Coanda.	114
4.5.1. Efectul Coanda aplicat la dispozitivele de hipersustentatie	114
4.5.2. Profil Coanda.	121
4.5.3. Concluzii.	168
5. Concluzii	174
5.1. Concluzii generale privind Efectul Coanda	
5.2. Concluzii privind aplicatiile Efectului Coanda la masinile hidraulice	175
6. Contributii personale.	177
7. Efectul Coanda. Bibliografie.	179

1 Efectul Coandă

ROMANIA, în decursul istoriei omenirii, și-a adus o contribuție însemnată la patrimoniul mondial al civilizației. În galeria personalităților care au participat la dezvoltarea și progresul remarcabil al științei și tehnicii începutului de secol XX, se înscriu la loc de cinste inginerii, inventatorii și savanții români: Aurel Vlaicu, Traian Vuia, Henri Coandă, Gogu Constantinescu. Academicianul Henri Coandă este nominalizat în istoria științei și tehnicii ca autor și constructor al primului avion cu reacție din lume, fig.1.1, și ca descoperitor și fecund inventator în aplicarea fenomenului ce-i poartă numele.

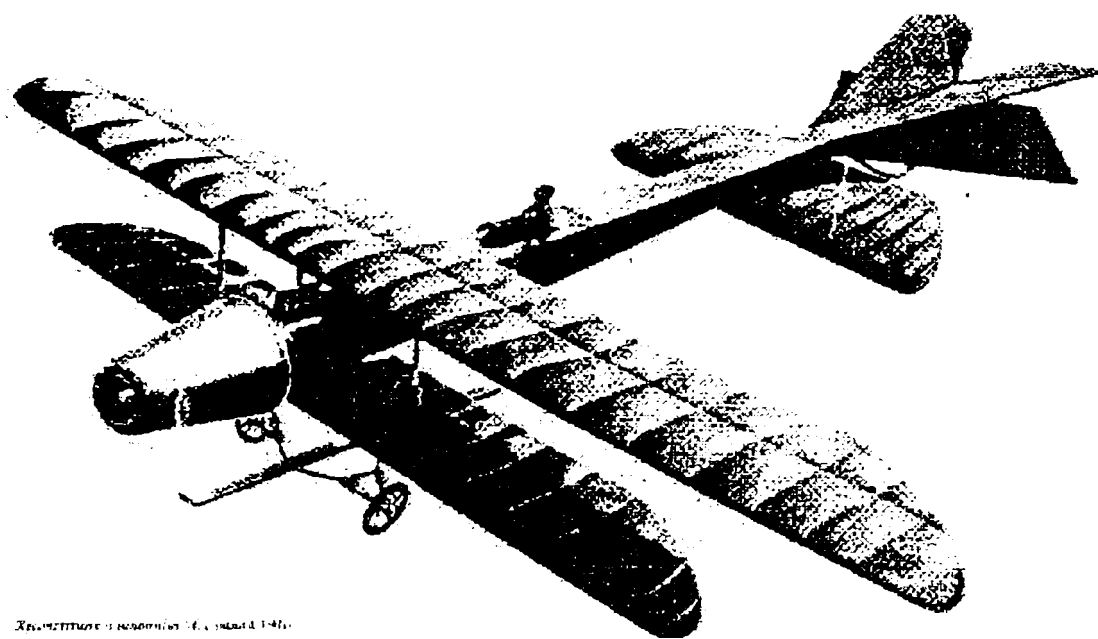


Fig. 1.1 Primul avion cu reacție din lume.

1.1 Efectul Coandă. Aspecte fenomenologice.

Efectul Coandă a fost descoperit la 10 decembrie 1910 cu ocazia încercării în zbor a primului avion cu reacție din lume și brevetat de Henri Coandă la 8 octombrie 1934 cu titlul "Procedeu și dispozitiv de deviere a unui fluid în alt fluid", fig.1.2.

Specific jeturilor (relativ) subțiri Efectul Coandă este un fenomen care constă în devierea acestor jeturi în prezența unor frontiere solide - voleti - frontiere care constituie prelungiri plane, poligonale sau curbe ale unuia din peretii ajutorului sau canalului din care provine jetul - fig.1.3.

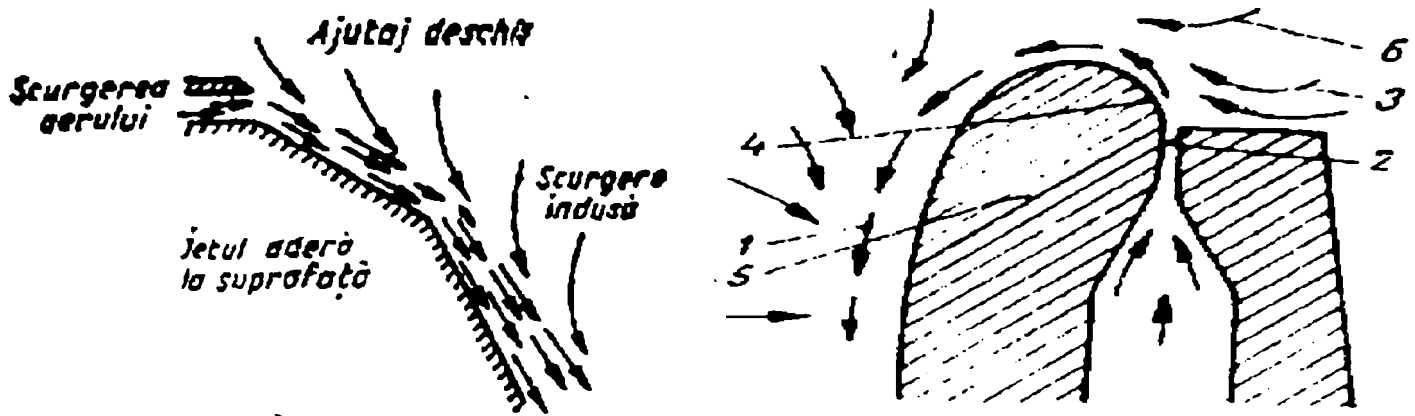


Fig. 1.2 Efectul Coandă, brevet de invenție.

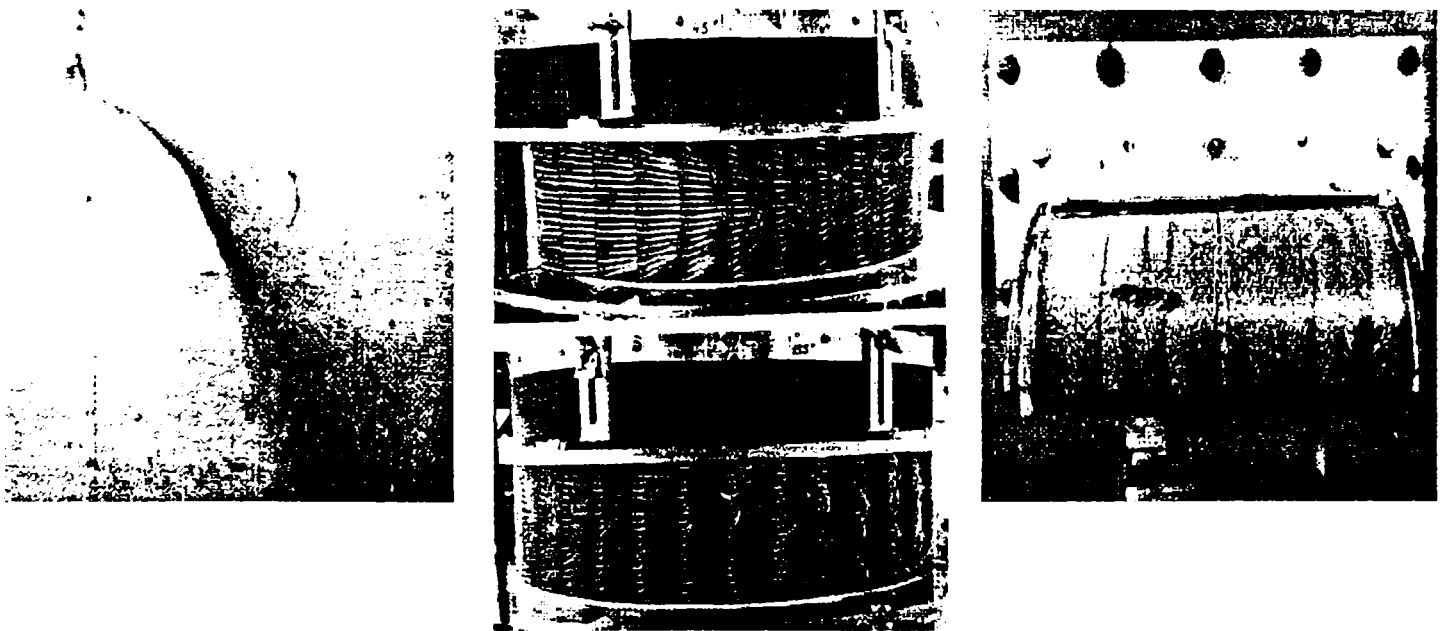


Fig. 1.3 Jet deviat prin Efect Coandă. Vizualizări.

Mecanismul producerii acestui efect este după C. Teodorescu-Tintea [107] următorul: "După esirea din ajutor jetul antrenează particulele mediului ambiant din partea unde nu exista voletul și particulele din mediul domeniului fluid situat între volet și jet. Dacă voletul este suficient de lung locul particulelor aspirate din domeniul situat între volet și jet nu poate fi luat de particulele care vin din afara acestui domeniu și depresiunea astfel creată deviază curgerea în direcția voletului. Concomitent cu devierea apar unde depresionare, [94] care se propagă de la volet în interiorul jetului și dacă jetul este subsonic în interiorul canalului. Drept urmare se produce o accelerare corespunzătoare a particulelor fluide prin canal și jet și implicit modificarea câmpurilor de viteze în tot domeniul curgerii. Dacă inițial repartitia vitezelor în secțiunea de esire a ajutorului era uniformă, după devierea jetului aceasta devine asimetrică prezentând un maxim în punctul în care peretele canalului (ajutorului) se unește cu voletul. În celelalte secțiuni transversale din jet și canal câmpurile de viteze au profiluri asemănătoare însă din ce în ce mai aplatizate atât în amonte cit și în aval" fig.1.4, [39], [6].

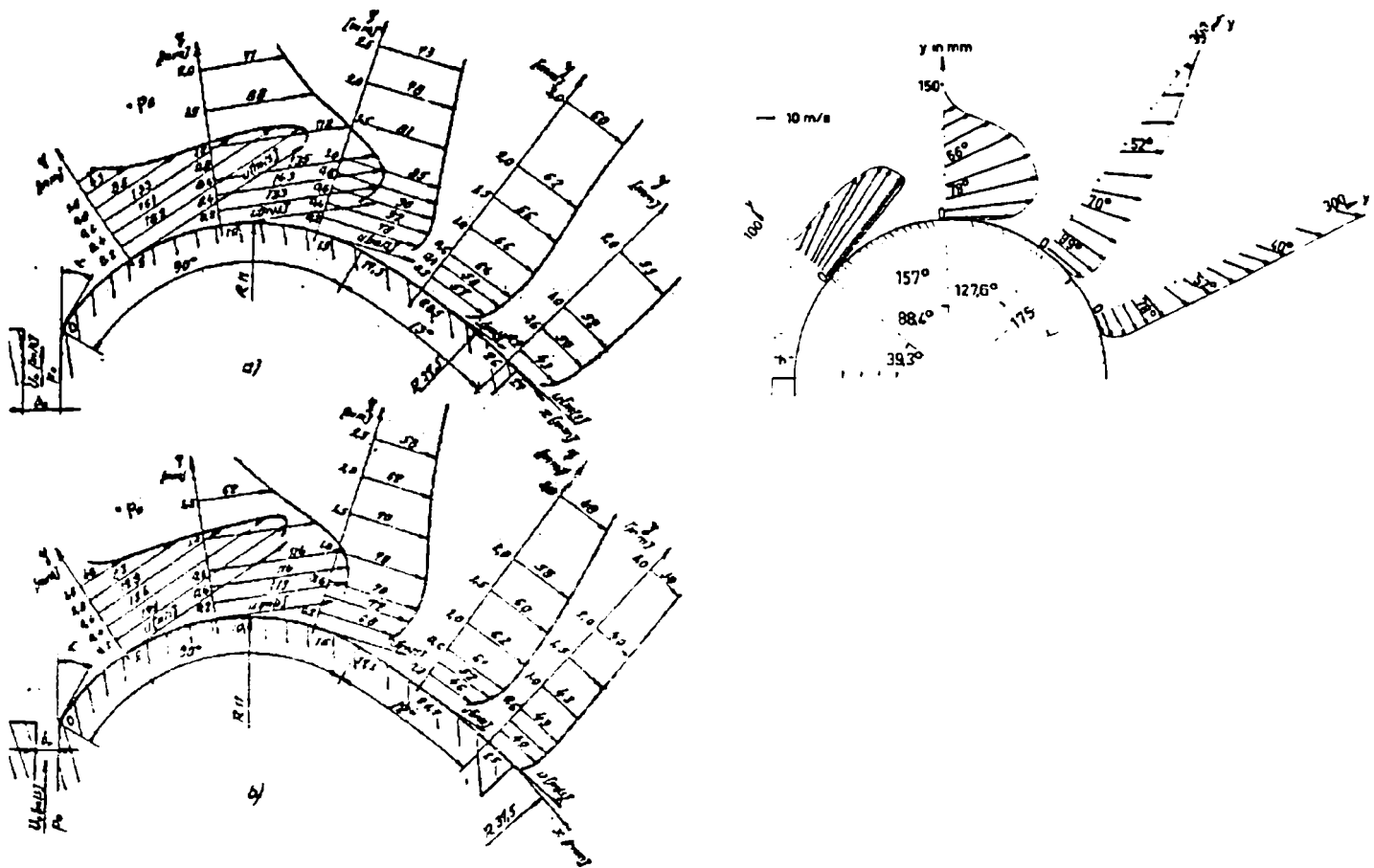


Fig. 1.4 Efectul Coandă. Distribuții de viteze în jetul deviat

Panitz & Wasan [81] prin vizualizări efectuate în apă, constată că, în jetul ce părăsește ajutorul, fig.1.5, se identifică două pânze de vârtejuri.

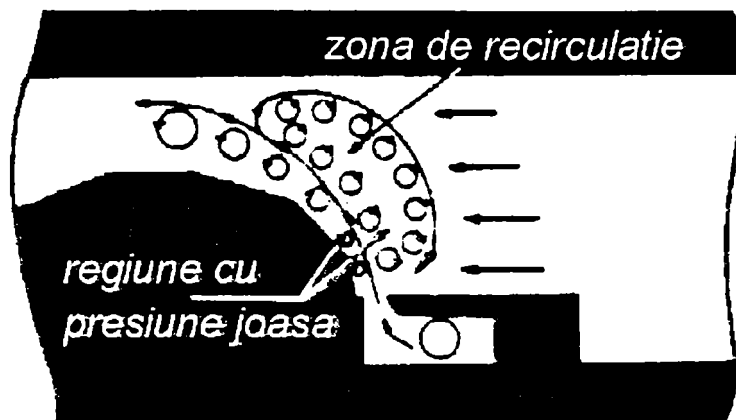


Fig. 1.5 Efectul Coandă. Formarea vârtejurilor la frontierele jetului deviat.

Vârtejurile izolate ce le compun rotindu-se în sensuri contrare, cele dispuse în zona adiacentă voletului având sensul de rotație orientat spre volet. Depresiunea asociată pânzei de vârtejuri dinspre volet tinde să atașeze jetul. Totodată în tabloul curgerii se disting două zone: o zonă cu presiuni relativ joase în care vârtejurile își mențin în parte sensul de rotație, și o zonă de recirculație. La viteze mai mari, zona de recirculație este complet eliminată.

Jetul este atașat pe întreaga lungime a voletului iar debitul antrenat de jet este maxim. De menționat că în situația prezentată evoluția jetului este influențată de prezența peretelui superior, care după T. Mehus [73] are rolul de a forța antrenarea fluidului și de a accelera curgerea.

În ceea ce privește procesul de atașare, Kadosch [61] consideră că acesta este determinat de interacțiunea dintre jetul izoentropic și zonele adiacente disipative și că devierea este cauzată de dezechilibrul provocat de înlocuirea unei zone de amestec instabil de pe o parte a jetului printr-un strat limită stabil și subțiat care creează un câmp de presiune ce poate fi reprezentat ca o repartiție de absorbții de-a lungul voletului fig.1.6.

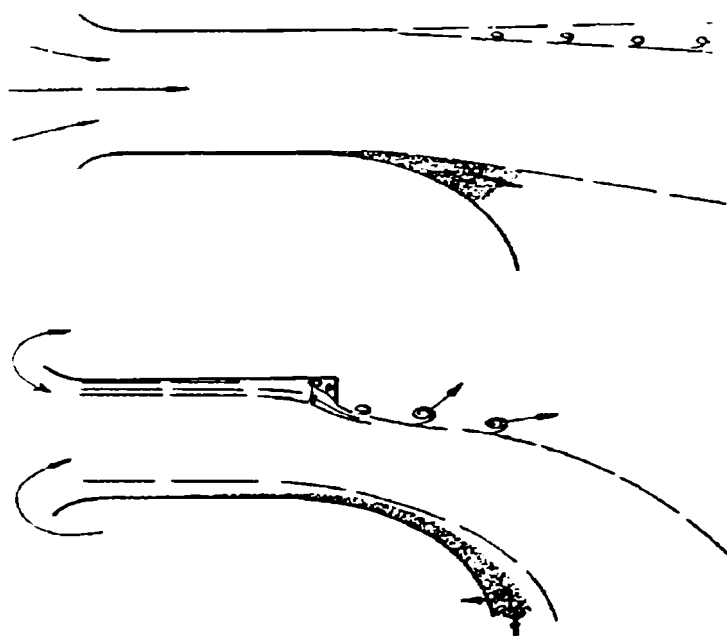


Fig. 1.6 Efectul Coandă. Influența zonelor adiacente disipative.

În baza celor prezentate privind mecanismul apariției și producerii, Efectul Coandă prezintă ca fenomen următoarele caracteristici principale :

- devierea jetului față de direcția inițială și atașarea acestuia la volet;
- existența unei zone depresionare ce se întinde pe o anumită porțiune de-a lungul voletului, începând de la punctul de racordare cu peretele ajutorului (canalului); prezența acestei zone determină apariția unei forțe superficiale (cu o semnificativă componentă sustentatoare).
- comparativ cu jetul nedeviat: creșterea debitului de fluid antrenat atât datorită viscozității cât mai ales depresiunii din zona inițială a voletului și, exclusiv în cazul curgerilor subsonice, viteze mai mari și implicit presiuni statice mai mici în ajutor.

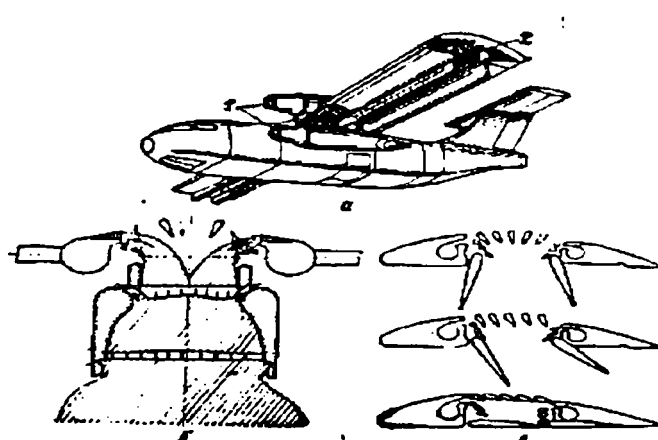
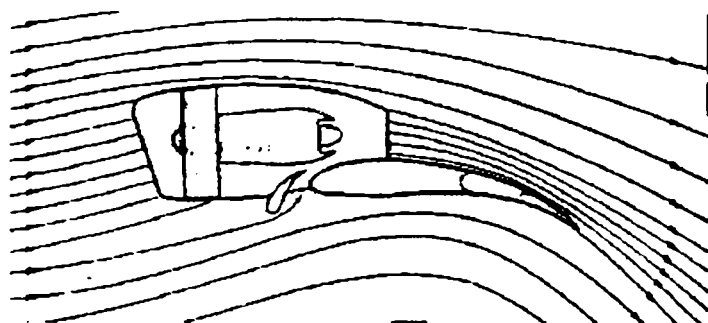
1.2 Aplicatii ale Efectului Coandă.

Prin particularitățile sale Efectul Coandă a declanșat un câmp larg de aplicatii inițiat și dezvoltat de Henri Coandă și extins ulterior de numeroși cercetători. Ca realizări tehnice remarcabile în domeniul aviației, dispozitivelor aero-hidraulice, pneumoautomaticii ș.a., se pot menționa:

- aerodina lenticulară Henri Coandă [58], [59], fig.1.7;
- avioane cu decolare și aterizare scurtă (DAS), [40], fig.1.8;
- turbina eoliană [58], [59], fig.1.9;
- amortizor de zgomot [60], fig.1.10;
- ejector [58], fig.1.11;
- elemente fluidice [41], [101], fig.1.12;
- dispozitiv cu Efect Coandă de control al stratului limită în zona de lucru a tunelului aerodinamic [105], fig.1.13;
- trasee ale instalațiilor de ventilație și climatizare [24], fig.1.14;
- separator aerodinamic de particule [38], fig.1.15.



Fig. 1.7 Aerodină lenticulară.



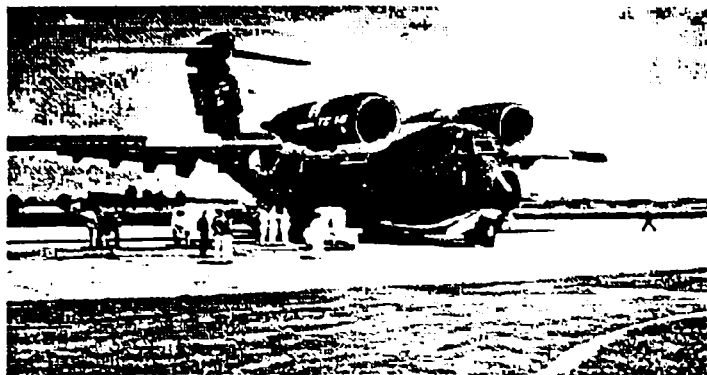


Fig. 1.8 Avioane cu decolare și aterizare scurtă.

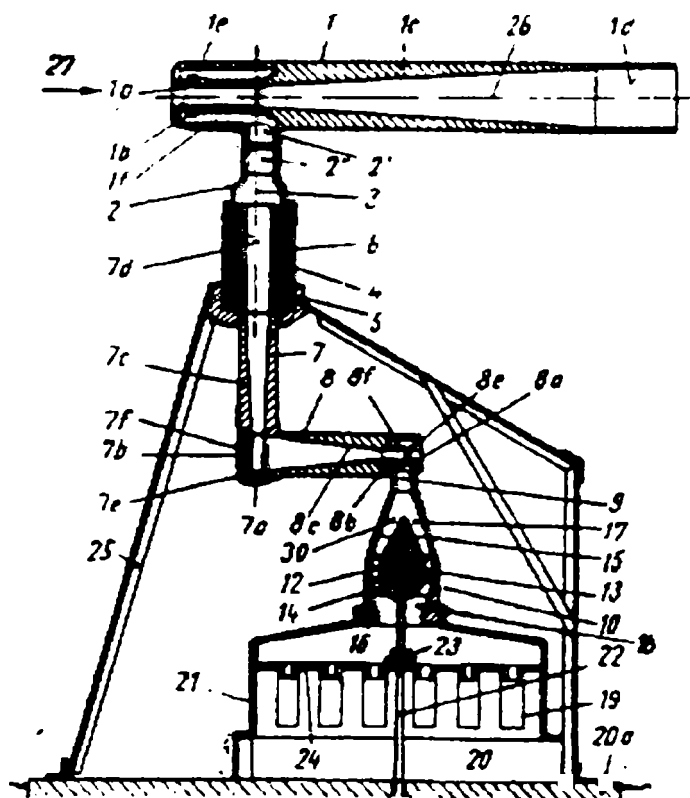


Fig. 1.9 Turbina eoliană cu Efect Coandă.

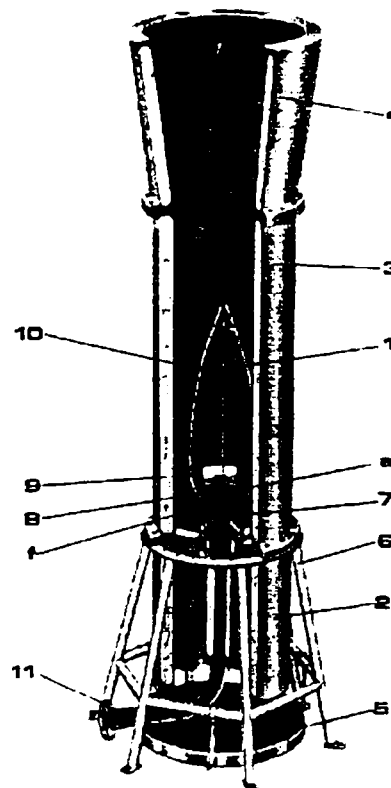


Fig. 1.10 Amortizor de zgomot Silens-Coandă.

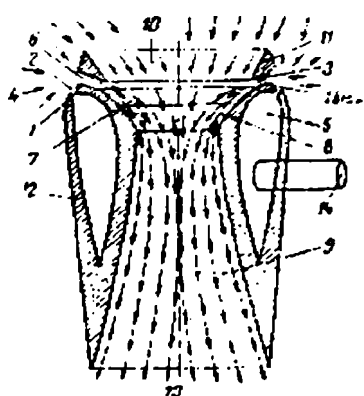


Fig. 1.11 Ejector Coandă.

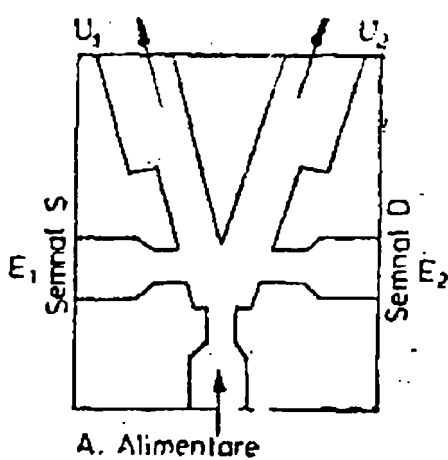
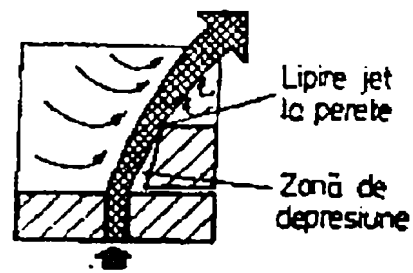


Fig. 1.12 Element fluidic cu Efect Coandă.



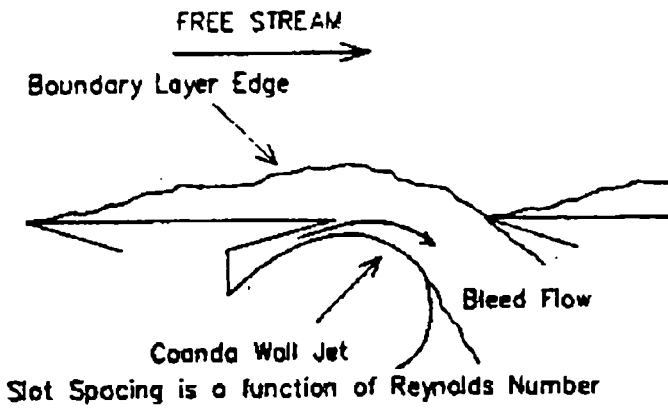


Fig. 1.13 Dispozitiv cu Efect Coandă de control al stratului limită

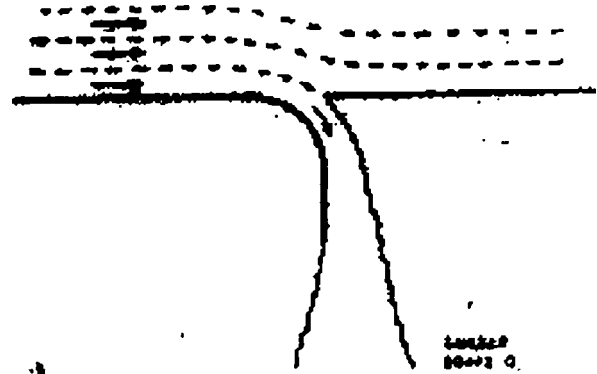
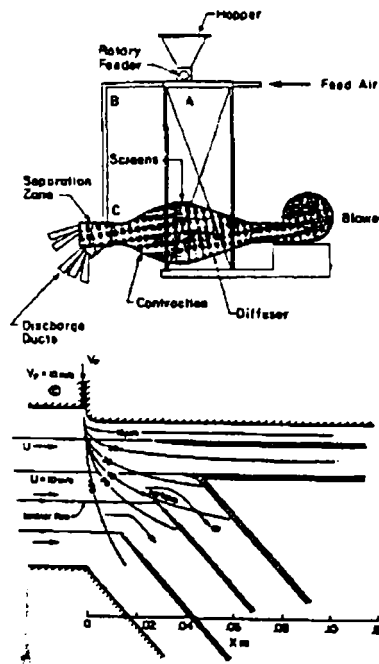
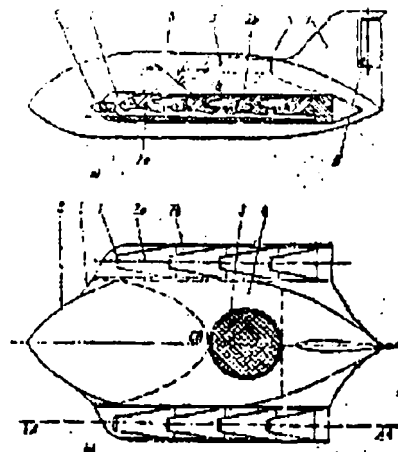


Fig. 1.14 Solutie cu volet Coandă la o instalatie de climatizare.

Fig. 1.15 Separator aerodinamic de particule.



La acestea pot fi asociate și preocupările și ideile lui C. Alexandrescu [2], [3], [4], în domeniul propulsiei și al sustentatiei cu efect de sol, fig.1.16.Fig.



1.16 Aerodina cu aripa propulsiv-sustentatoare. Proiect.

1.3 Efectul Coandă.

Cercetări teoretice și experimentale.

Aplicatiile prezentate și multe altele au declanșat și stimulat cercetările teoretice și experimentale privind Efectul Coandă. În general aceste cercetări au urmărit:

- să stabilească condițiile de producere;
- să determine influența geometriei ajutorului Coandă (prin *ajutaj Coandă* se înțelege ansamblul ajutoraj - volet);
- să coreleze geometria voietului - forma, "lungimea" - cu distribuția presiunilor și implicit să evalueze forțele sustentatoare.

În cadrul acestor cercetări se remarcă în mod deosebit:

- activitatea sistematică cu abordări teoretice și experimentale, cu rezultate originale și aplicații concretizate în brevete, desfășurată de C. Teodorescu-Tintea [106]; [107], [108], [109], [110];
- studiile remarcabile prin rezultate, program, volum și diversitatea obiectivelor abordate, elaborate în cadrul U. T. I. A. S. - University of Toronto, Institute for Aerospace Studies, [13] [22], [53], [54], [53], [57], [69], [73], [79] [93],
- contribuțiile valoroase ale colectivului din cadrul Universității Brașov: V. Benche, L. Benche, G. Turzo, D. Suciuc, I. Totu, V. Fiucus, S. Fota, Z. Balog, V. Barbu, L. Ungurianu. [18], [19], [20], [21].

1.3.1 Stațiuni și instalații pentru studiul Efectului Coandă.

Cercetările experimentale privind fenomenologia Efectului Coandă au fost în general focalizate asupra unui anumit tip de volet și/sau unor parametri specifici. Primele investigații au fost efectuate de U. H. von Glahn și C. Teodorescu-Tintea. În instalația din fig. 1.17 U. H. von Glahn determină [53], [54], distribuția presiunilor și măsoară forțele sustentatoare generate prin Efect Coandă pentru voietii plani, poligonali și curbi. În baza măsurătorilor sunt comparate valorile obținute pentru voietii respectivi și se analizează influența înălțimii ajutorului, lungimii voietului, a unghiului de bracare și a valorii suprapresiunii din secțiunea de eflux a ajutorului.

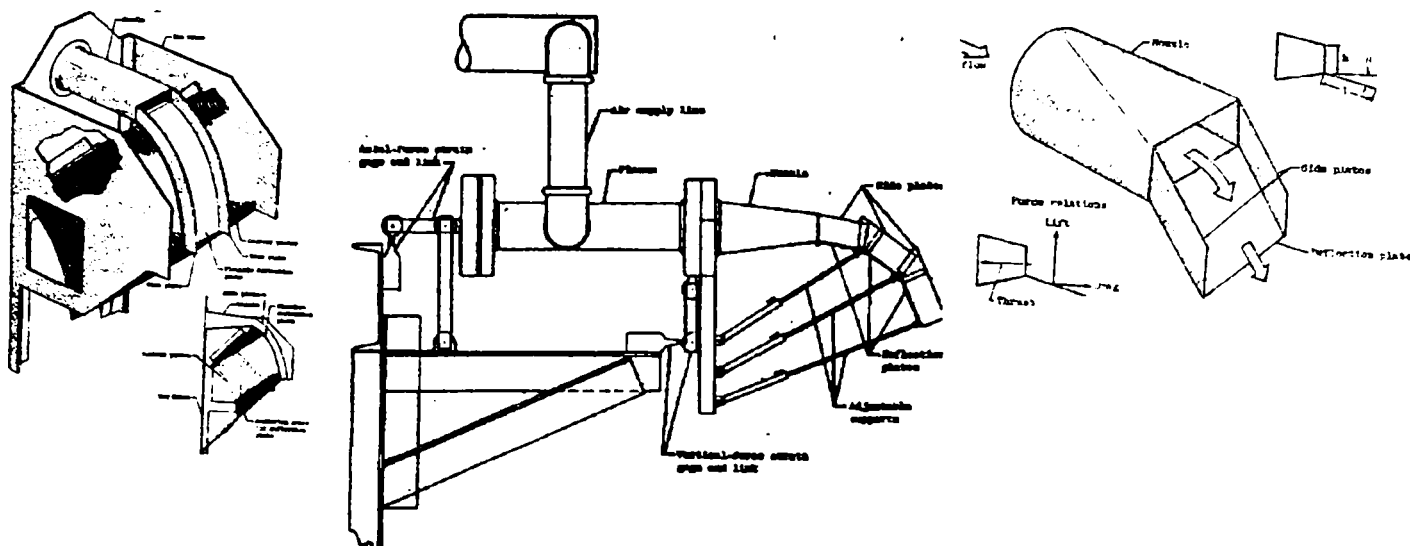


Fig. 1.17 Stațiune pentru studiul Efectului Coandă - U. H. von Glahn.

C. Teodorescu-Tintea stabilește [106], pentru un volet plan condițiile pentru care se produce devierea jetului și determină valorile limită ale mărimilor geometrice și energetice: înălțimea ajutorajului, lungimea voletului, unghiul de bracare, viteza și presiunea în secțiunea inițială a ajutorajului. Instalația cuprinde blocul ajutorajului de experiențe, compresorul centrifugal de alimentare și multipiezometrul pentru măsurarea presiunii statice pe volet și în ajutoraj. Blocul ajutorajului de experiențe conține ajutorajul convergent de secțiune dreptunghiulară a cărui înălțime poate fi modificată, și voletul articulată care putea fi bracat până la 180° , fig. 1.18.

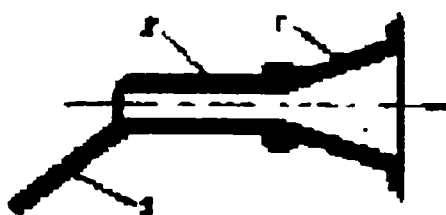


Fig. 1.18 Stațiune pentru studiul Efectului Coandă, C Teodorescu-Tintea.
Ajutoraj Coandă.

La U. T. I. A. S., Institutului de Studii Aeronautice, Universitatea din Toronto a fost realizată o instalație complexă, fig. 1.19, cu ajutorul căreia au efectuat un vast program de cercetări: G. K. Korbacher [69], A. B. Bailey [13], S. D. Benner [22], W. E. B. Roderick [93], C. D. Hope-Gill [57], T. Mehus [73].

La această instalație s-au obținut jeturi sub și supersonice, s-au determinat cu ajutorul unei balante cu două componente forțele aerodinamice și s-au măsurat prin intermediul unui multipiezometru racordat la prizele de presiune statică dispuse în zona mediană repartitia de presiuni pe volet. Au fost studiate doar voleti având secțiunea transversală un sfert de cerc, care puteau fi deplasate față de ajutoraj (jet) pe verticală și orizontală.

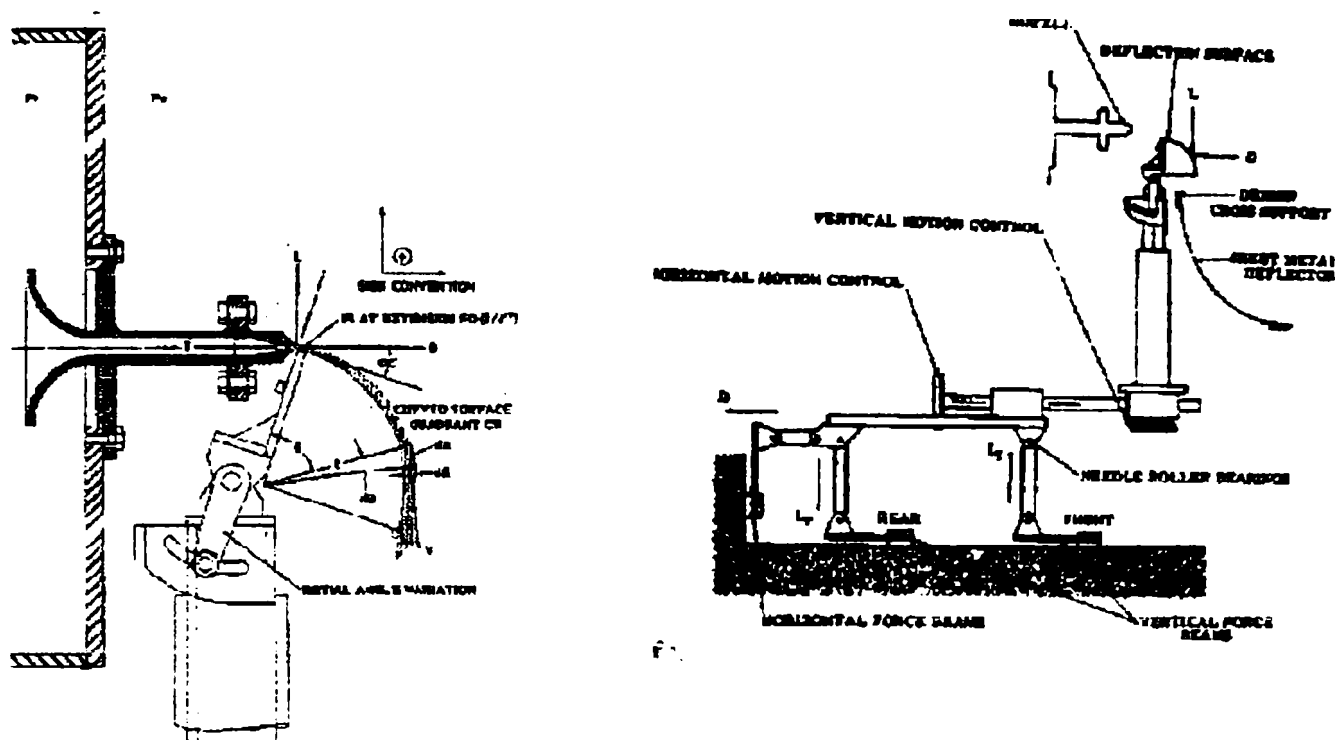


Fig. 1.19 Stațiune U. T. I. A. S. pentru studiul Efectului Coandă.

H. H. Fernholz, abordează, în cadrul tezei de doctorat [39], studiul experimental al Efectului Coandă în prezenta voletului semicilindric, fig.1.20. Pentru două valori ale razei voletului sunt determinate distribuția vitezelor, a coeficientului de presiune (presiunilor), și a coeficientului de frecare de-a lungul voletului și după normala la volet, având ca parametri:

- forma și dimensiunile ajutorajului;
- poziția voletului față de ajutoraj;
- presiunea de alimentare, ș.a.

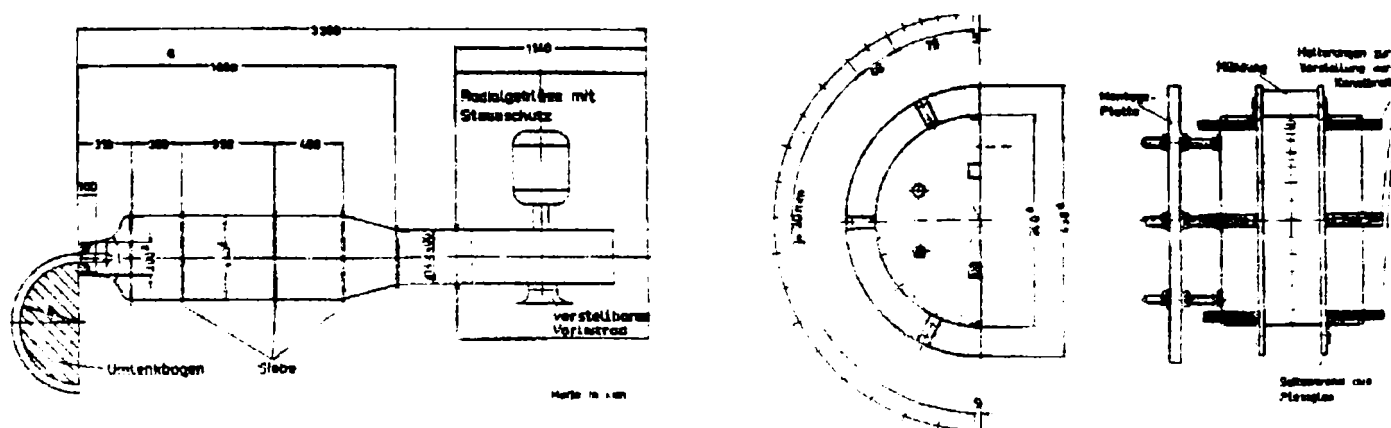


Fig. 1.20 Stațiune pentru studiul Efectului Coandă. H. H. Fehrnholz.

În instalațiile a căror zonă experimentală este prezentată în fig. 1.21 și fig.1.22, Wilson & Goldstein [115] și D. O. Rockwell & P. M. Fiske [91] măsoară cu ajutorul unui traductor cu fir cald și evidentiază prin comparare cu un jet plan efectul curburii voletului cilindric circular asupra câmpului vitezelor medii și a fluctuațiilor turbulente în jetul deviat.

Deși în majoritatea dispozitivelor la care se aplica, agentul de lucru este un gaz (aerul), Efectul Coandă a fost investigat experimental și în cazul jeturilor lichide. Astfel T. Panitz & D. T. Wasan [81], au conceput o stațiune în circuit închis, fig.1.25, în care s-a montat un volet poligonal. Experiențele au urmărit să vizualizeze atașarea jetului, să determine distribuția de presiuni pe volet și debitul de fluid antrenat de jetul deviat.

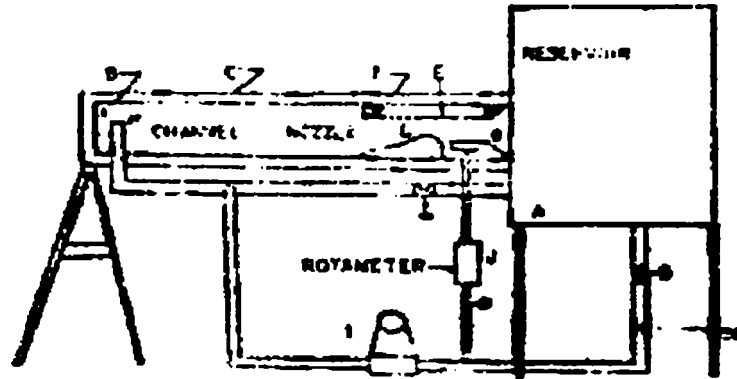


Fig. 1.25 Stațiune pentru studiul Efectului Coandă. Panitz & Wasan.

O instalație originală prin ineditul metodei de măsurare a distribuției de presiuni pe volet este prezentată de J. L. Turpin [112], fig.1.26. Metoda constă în esență în sesizarea fluctuațiilor diferenței de potențial între două straturi constituite din ioni de sarcini opuse. Unul din straturi este absorbit de perete iar celălalt apropiat se găsește în fluid. Dacă distribuția de sarcini în cele două straturi este perturbată datorită mișcării fluidului se va produce o variație a diferenței de potențial, care poate fi măsurată de electrozi metalici înglobați în stratul superficial al voletului. Deși complexă, instalația are un domeniu de aplicare relativ limitat, respectiv corespunzător unor regimuri de curgere caracterizate de numere Reynolds $Re < 1 \cdot 10^4$ și pentru unghiuri de bracare de până la 20° .

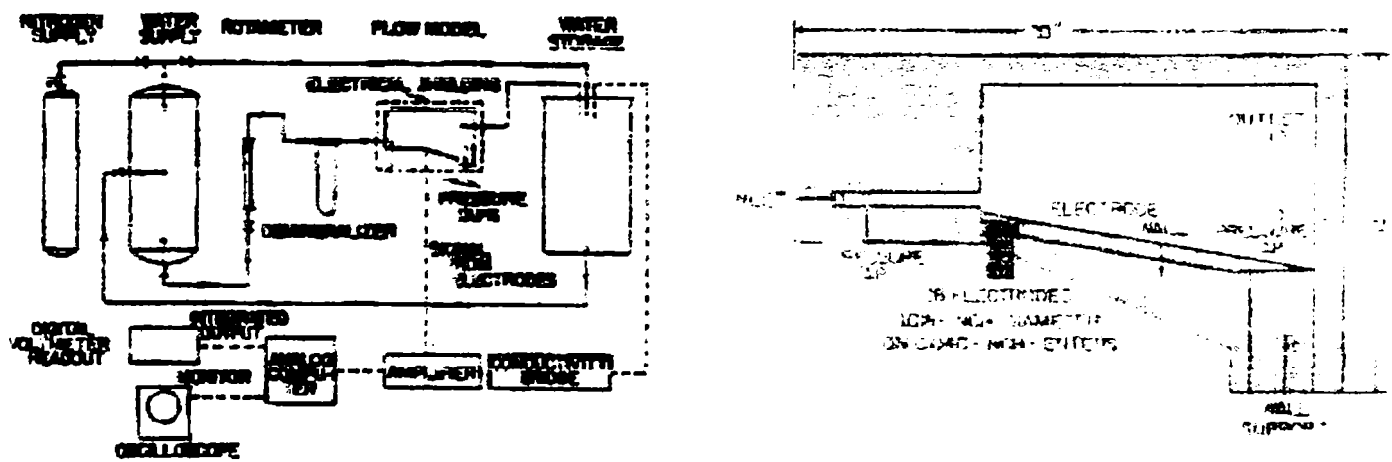


Fig. 1.26 Stațiune pentru studiul Efectului Coandă. Turpin.

1.3.2 Efectul Coandă. Metode și modele teoretice.

Complexitatea fenomenului, intercorelarea parametrilor caracteristici, diversitatea configurațiilor geometrice ș.a., au impus modalități și metode diferite de tratare teoretică a curgerii Coandă. În aceste condiții poate fi relevantă gruparea lucrărilor după metoda principială aplicată, astfel:

- metoda vânei de fluid;
- metoda analizei dimensionale;
- metoda reprezentărilor conforme;
- metoda jetului parietal.

1.3.2.1 Metoda vânei de fluid.

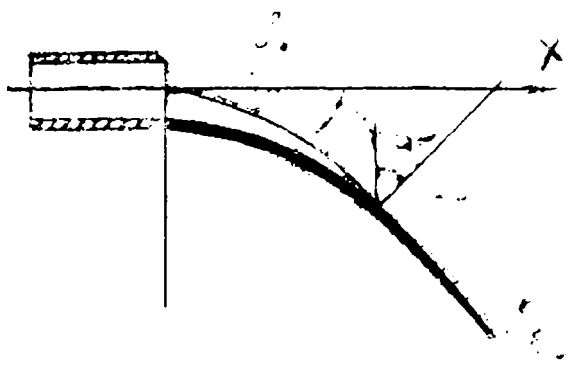
În cadrul acestei metode se consideră jetul ca o vână fluidă deviată spre volet și atașată la acesta pe o anumită porțiune din lungimea sa. Procesul de deviere presupune existența unei diferențe de presiune pe fața exterioară și interioară (dinspre volet) a jetului. Se acceptă în general ipotezele:

- fluid perfect, imponderabil;
- mișcarea este permanentă, plană și irrotatională.

și condițiile la limită:

- presiunea pe frontiera liberă (exterioară) a jetului este egală cu cea a mediului ambiant (în repaus);
- în secțiunea de eflux a ajutorului viteza jetului este uniformă;
- pe volet presiunea este constantă și mai mică decât presiunea mediului ambiant.

Considerând reprezentarea din fig. 1.27 și admitând că:



- în lungul axei jetului presiunea este constantă;
- viteza V_x își conservă valoarea până în punctul "K", (punctul "K" reprezintă punctul la care se produce impactul dintre axa jetului și volet);
- viteza în secțiunea inițială a jetului este v_0 și este dată de:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2}{\rho_0} (p^* - p_0)} \quad (1.1)$$

Fig. 1.27. Curgere Coandă.
Modelul C. Teodorescu-Tintea.

C. Teodorescu-Tintea [109] scrie pentru o particulă fluidă ecuația de mișcare sub forma:

$$\frac{dV}{d\tau} + \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dy} = 0 \quad (1.2)$$

din care se obține ecuația axei jetului deviat :

$$y = -\frac{1}{4b_0} C_{pd} x^2 \quad (1.3)$$

unde coeficientul de presiune C_{pd} are expresia:

$$C_{pd} = \frac{P_d - P_H}{P^* - P_H} \quad (1.4)$$

Din (1.3) rezultă că axa jetului deviat este un arc de parabolă, dependentă de înălțimea ajutorajului și de coeficientul de presiune. Determinând din considerente geometrice poziția punctului de impact, și valoarea unghiului ε_K sub care jetul atacă voletul, de bracaj, identificând pe volet, fig. 1.28, trei zone cu presiuni diferite, C. Teodorescu-Tintea, stabilește expresiile componentelor forței superficiale F_x , F_y , exercitate asupra voletului și determină poziția punctului de aplicatie, x_F , al forței (centrul de presiune) în raport cu muchia ajutorajului:

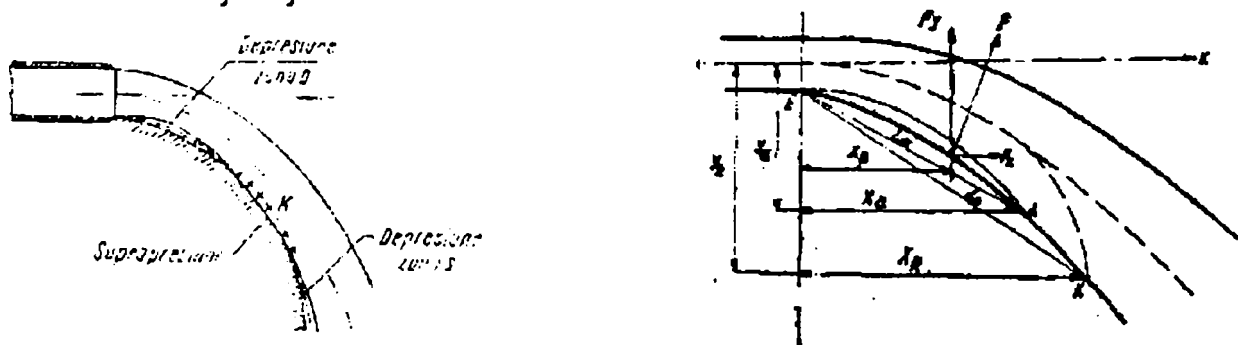


Fig.1.28 Curgere Coandă. Modelul teoretic C. Teodorescu-Tintea. Evaluarea forței superficiale.

$$F_x = -\rho \frac{V_0^2}{2} \left[C_{pd} \left(y_0 - \frac{b_0}{2} \right) - 2b_0 \sin \varepsilon_K \sin \delta_K + C_{pd} (y - y_0) \right] \quad (1.5)$$

$$F_y = -\rho \frac{V_0^2}{2} \left[C_{pd} x_0 + 2b_0 \sin \varepsilon_K \cos \delta_K + C_{pd} (x_f - x_0) \right] \quad (1.6)$$

$$x_f = \frac{C_{pd} x_0^2 + 4b_0 \sin \varepsilon_K \cos \delta_K (x_f - h) - C_{pd} (x_f - x_0)^2}{2 \left[C_{pd} x_0 + 2b_0 \sin \varepsilon_K \cos \delta_K + C_{pd} (x_f - x_0) \right]} \quad (1.7)$$

În modelul elaborat de C. Bourque [78], [23], pentru voletul plan și unghiuri de bracare mai mari de 20° , fig. 1.29, se consideră că:

- la ieșirea din ajutoraj jetul descrie un arc de cerc până la impactul cu voletul după care rămâne atașat acestuia;
- pe această porțiune între jet și volet se formează o zonă depresionară; în interiorul acesteia presiunea este constantă;
- jetul antrenează fluid din zona depresionară ca și un jet turbulent liber, debitul antrenat fiind proportional cu distanța măsurată în lungul axei

jetului; pentru această zonă distributia de viteze, aceeași ca și în cazul jetului liber este dată de:

$$u = \left\{ \frac{3J\sigma}{4\rho(s+s_0)} \right\}^{\frac{1}{2}} \operatorname{sech}^2 \frac{\sigma y}{s+s_0} \tag{1.8}$$

unde, față de secțiunea de eflux a ajutorajului: s este distanța de-a lungul axei jetului iar prin $s_0 = (1/3)\sigma b$, cu σ parametrul lui Reichardt [77] se poziționează originea teoretică a jetului;

- debitul porțiunii de jet cuprinsă între axă și curba de reatașare este constant și egal cu $(1/2)(\rho b J)^{1/2}$.
- poziția punctului de reatașare este dată de:

$$\frac{1}{t^2} - 1 = \frac{3s}{\sigma b} \tag{1.9}$$

cu: $t = \tanh(\sigma y / (s + s_0))$.

- impulsul inițial al jetului este același, ca și pentru jetul liber: $J = (p - p_\infty) b$
- forțele de frecare jet-volet se neglijează.

Cu ipotezele menționate, din ecuația transferului impulsului aplicată volumului de control ABDE, se obține expresia coeficientului de presiune, :

$$\frac{p_\infty - p_0}{P - p_\infty} = \frac{2b}{r} = \frac{6\alpha}{\sigma \left(\frac{1}{t_1^2} - 1 \right)} \tag{1.10}$$

și poziția punctului de reatașare x_R :

$$\frac{x_R}{b} = \frac{2}{3} \frac{\sigma \left(\frac{1}{t_1^2} - 1 \right)}{\alpha} \sin \alpha - \frac{\tanh^{-1} t_2}{2t_2^2 \sin \alpha} \tag{1.11}$$

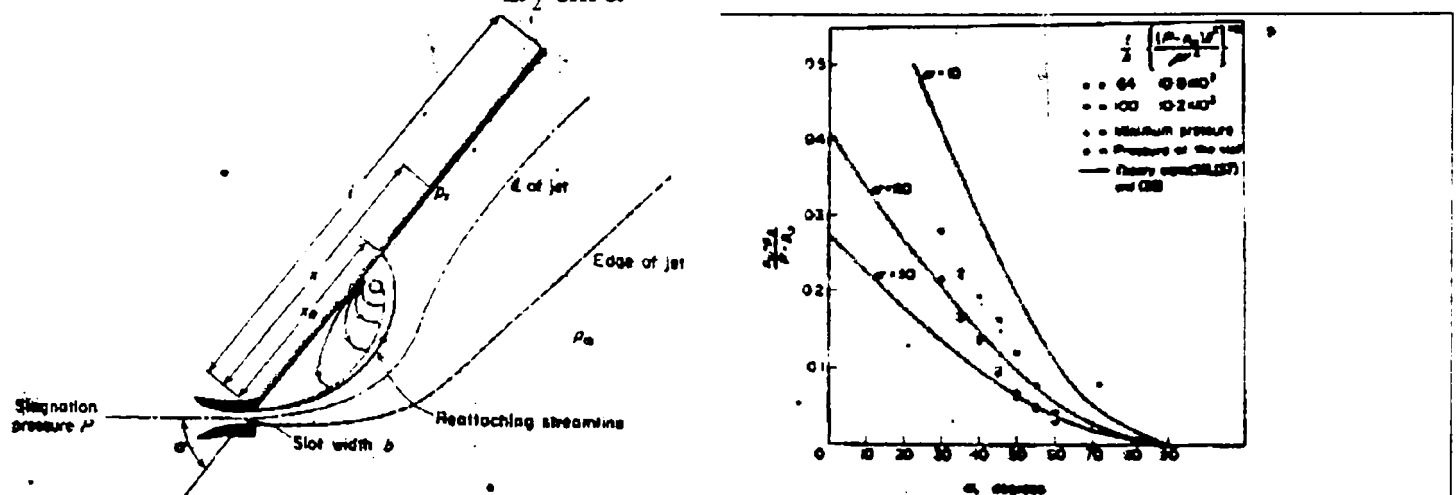


Fig. 1.29 Curgere Coandă. Modelul teoretic Bourque. Variatia coeficientului de presiune

În cadrul aceluiași model, R. A. Sawyer [96], [97] consideră că procesul de antrenare a mediului ambiant este diferit pe cele două frontiere ale jetului. Cu acesta ipoteză în conformitate cu fig. 1.30 stabilește relațiile (1.12), (1.13)

care definesc lungimea și presiunea medie în zona - considerată de recirculație - cuprinsa între jet și punctul de reatașare.

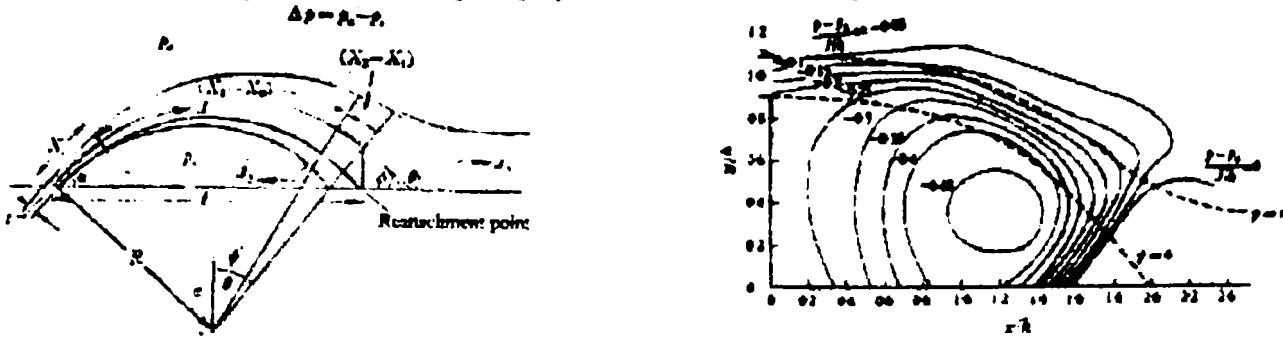


Fig. 1.30. Curgere Coandă. Modelul Sawyer. Zona de recirculație.

$$\frac{\Delta p}{J/t} = (\alpha + \theta) / \left\{ (6.97 - 28.9c) + \frac{(0.77 - 1.87c)}{E} \left[\left(\frac{2E_1 / E - 1 + T_0}{2E_1 E - 1 + T_1} \right)^2 - 1 \right] \right\} \quad (1.12)$$

$$\frac{l}{t} = (\sin \alpha + \sin \phi) / Q \quad (1.13)$$

unde:

$$EX_1 / R = E(\alpha + \theta) / \left\{ 1 - \left(\frac{2E_1 / E - 1 + T_1}{2E_1 E - 1 + T_0} \right)^2 \left(1 - \frac{6.97 - 28.9c}{0.77 - 1.87c} E \right) \right\} \quad (1.14)$$

$$T_0 = \tanh \left\{ 0.049 + 0.851 \sqrt{(1 - 4.08c)(1 - 2.42c)} \right\} \quad (1.15)$$

$$1 - \cos \alpha = 1 - \cos \phi + (X_1 / R + \phi - \theta) 1.825 \cos \phi \quad (1.16)$$

Pentru voletul semicilindric, G. K. Korbacher [70], S. D. Benner [22], W. E. B. Roderick [93] - U.T.I.A.S., consideră jetul deviat și atașat la volet, fig. 1.31. Devierea este provocată de diferența de presiuni ce acționează pe întreaga "lungime" a jetului.

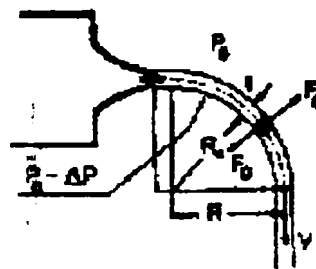


Fig. 1.31 Curgere Coandă. Modelul U.T.I.A.S.

Pentru jeturi subtiri ($b \ll R$), egalând forțele de presiune și centrifugă ce acționează asupra unui element de jet:

$$\rho R d\theta dR \frac{V^2}{R} = R d\theta dp \quad (1.17)$$

se deduce utilizând ecuațiile: transferului impulsului: $F = \rho V^2 b$ și Bernoulli: $\rho V^2 = 2(p_T - p_a)$ expresia coeficientului de presiune:

$$C_p = \frac{dp}{(p_T - p_a)} = 2 \frac{b}{R} \quad (1.18)$$

care este o constantă pentru o configurație ajutoraj-volet (semicilindric) dată. Măsurătorile au arătat că, deși coeficientul de presiune se menține constant, valoarea sa depinde de viteza inițială a jetului (presiunea de alimentare p_T).

Și pentru M. Kadosch [61] condiția de echilibru transversal pentru jetul deviat (de fapt folosește termenul de deviere prin aderență) este exprimată prin egalitatea între forțele centrifuge și gradientul de presiune după normală. Pentru un volet cilindric, fig. 1.32, aceasta egalitate:

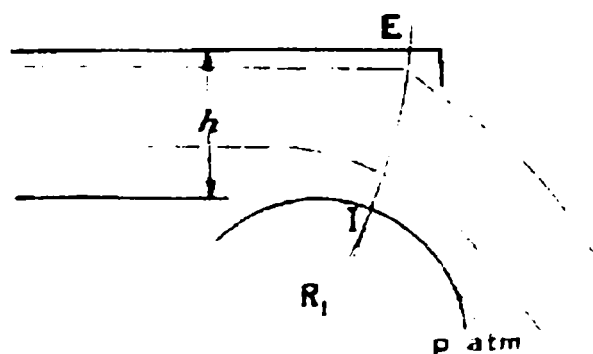


Fig. 1.32 Curgere Coandă. Modelul Kadosch. Volet cilindric.

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} = \frac{V^2}{R} \quad (1.19)$$

admitând că în jet entalpia se menține constantă: prin integrare după normala la liniile de curent "IE", se obține relația:

$$V_I = V_E \exp \int \frac{dn}{R} \quad (1.20)$$

din care rezultă că viteza la perete $V_I > V_E$ și că presiunea p_I este inferioară celei exterioare (atmosferică) p_E .

1.3.2.2 Metoda analizei dimensionale.

Complexitatea fenomenului Coandă, a impus utilizarea analizei dimensionale în scopul stabilirii unor corelații între parametrii ce-i determină evoluția. Astfel E. G. Newman [78], considera definiții pentru curgerea Coandă următoarele mărimi:

- p presiunea de alimentare (în secțiunea de eflux a ajutorajului);
- p_∞ presiunea mediului ambiant în care evoluează jetul deviat;
- b înălțimea ajutorajului;
- ρ densitatea fluidului;
- ν coeficientul cinematic de viscozitate;
- α unghiul de bracare;
- L parametru geometric " caracteristic" voletului: lungime l , raza a , unghiul la centru θ .

Cu acestea s-a urmărit exprimarea sub forma adimensională a influenței acestor mărimi asupra distribuției presiunii pe volet p_r și a poziției punctului de

reataşare a jetului, x_R . Pentru voletul plan, respectiv cilindric fig. 1.33, s-au obţinut următoarele relații funcționale:

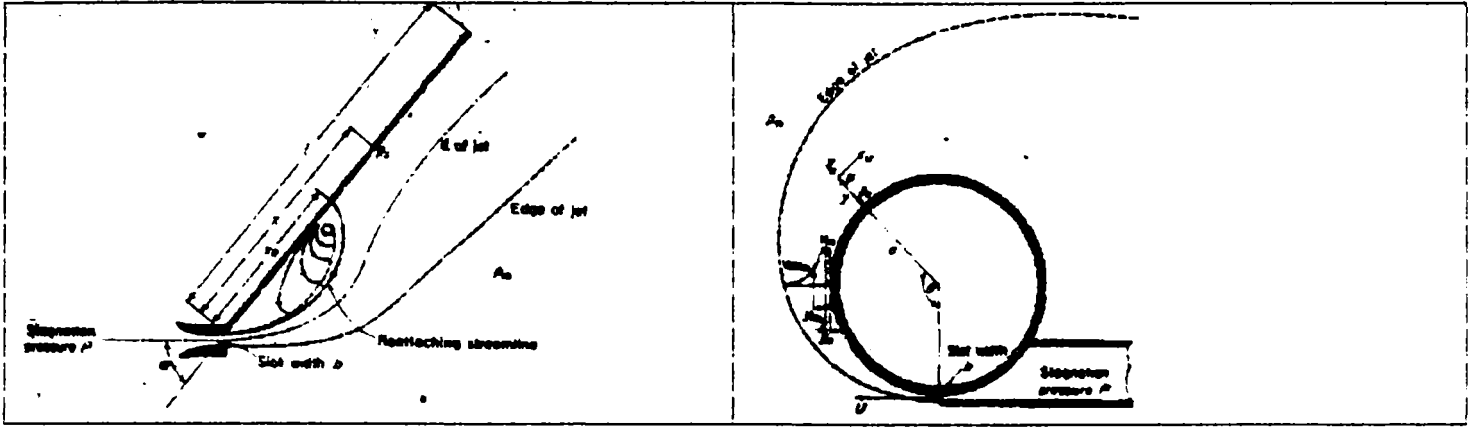


Fig. 1.33 Curgere Coandă. Volet plan. Volet cilindric Newman. Metoda analizei dimensionale.

$$\frac{p_o - p_s}{p - p_o} = f \left[\alpha, \frac{x}{b}, \frac{l}{b}, \left\{ \frac{(p - p_o) b^2}{\rho v^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \right] \quad (1.21)$$

$$\frac{x_R}{h} = f \left[\alpha, \frac{l}{h}, \left\{ \frac{(p - p_o) b^2}{\rho v^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \right] \quad (1.22)$$

$$\frac{p_o - p_s}{p - p_o} = f \left[\alpha, \frac{x}{b} \right] \quad (1.23)$$

$$\frac{x_R}{b} = f[\alpha] \quad (1.24)$$

$$Re = \left[\frac{(p - p_o) b^2}{\rho v^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.25)$$

$$\frac{p_o - p_s}{p - p_o} = f \left[\theta, \frac{b}{a}, \left\{ \frac{(p - p_o) a^2}{\rho v^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \right] \quad (1.26)$$

$$\frac{(p_o - p_s) a}{(p - p_o) b} = f \left[\theta, \left\{ \frac{(p - p_o) b a}{\rho v^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \right] \quad (1.27)$$

$$\theta_{sep} = f \left[\frac{b}{a}, \left\{ \frac{(p - p_o) b a}{\rho v^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \right] \quad (1.28)$$

$$\theta_{sep} = f \left[\left\{ \frac{(p - p_o) b a}{\rho v^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \right] \quad (1.29)$$

$$Re = \left[\frac{(p - p_o) b a}{\rho v^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.30)$$

Măsurătorile au confirmat dependentele funcționale stabilite. Astfel, în ceea ce privește punctul de reataşare, fig.1.34, dacă $x_R < 0,75 l$, poziția acestuia nu mai este influențată de lungimea voletului (1.24) și nici de regimul de curgere, dacă $Re > 5 \cdot 10^3$ (1.25). Delimitările menționate sunt valabile și pentru presiune. Măsurătorile prezentate în fig. 1.35, pentru un unghi de incidentă $\alpha = 45^\circ$ confirmă valabilitatea relațiilor (1.21). (1.23).

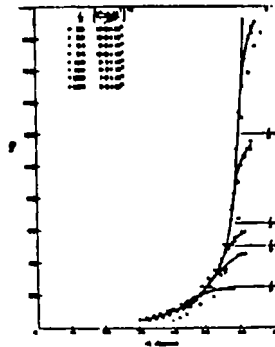


Fig. 1.34 Curgere Coandă. Volet plan. Analiza dimensională. Newman. Pozitia punctului de reataşare. În figură sunt reprezentate și valorile calculate cu (1.22) de R. A. Sawyer.

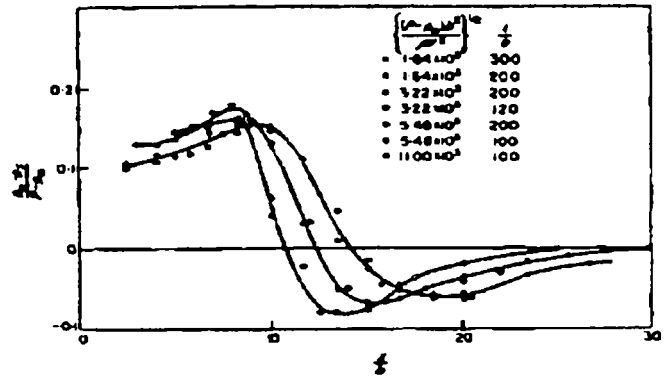


Fig. 1.35. Curgere Coandă. Volet plan. Analiza dimensională. Newman. Presiunea pe volet.

Similar, pentru voletul cilindric, fig.1.36, se observă că pentru un domeniu larg al valorilor unghiului θ distributia presiunilor în conformitate cu relatia (1.26) nu mai este influentată de raportul b/a și că, pentru $Re > 4 \cdot 10^4$ este valabilă relatia (1.27). Sunt de asemenea justificate relatiile (1.28), (1.29), care vizează pozitia punctului de desprindere.

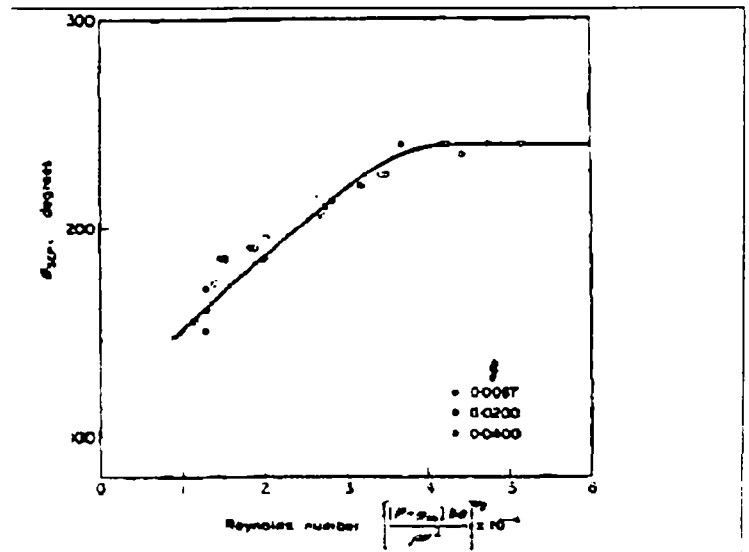
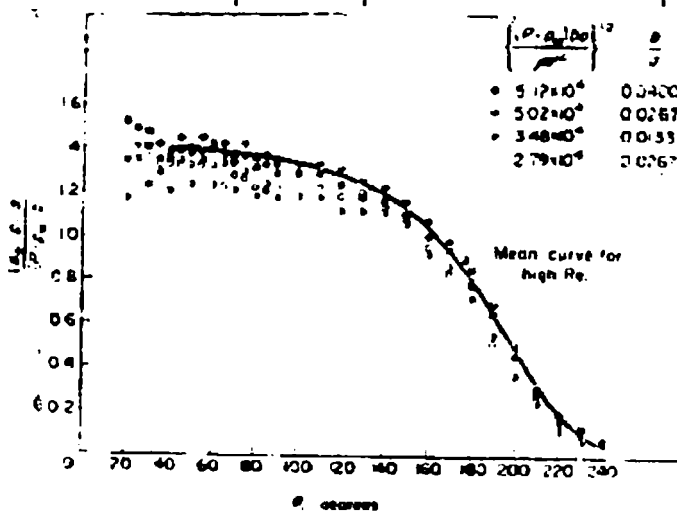


Fig.1.36 Curgere Coandă. Metoda analizei dimensionale. Distributia presiunilor. Pozitia punctului de desprindere. Newman. Volet cilindric.

1.3.2.3 Metoda reprezentărilor conforme.

Deși viscozitatea constituie un factor determinant în aparitia și evolutia Efectului Coandă, primele studii teoretice au încadrat fenomenul Coandă în clasa mișcărilor stationare, homocore, plane și potentiale. În acest cadru se utilizează metoda reprezentărilor conforme, domeniul mișcării - delimitat de peretii ajutorajului și frontierele jetului deviat - se transpune utilizând functii de reprezentare și formula Schwartz-Cristoffel într-un domeniu simplu. A. Metral

[74], [75] parcurgând etapele marcate în fig.1.61 analizează cazul voletului plan și stabilește în urma unor calcule laborioase expresiile (1.44), (1.45):

$$\frac{a}{b} = \frac{v_1}{\pi} \left\{ \begin{aligned} & -e^{i\theta_0} \sum_0^{n-1} p e^{i2p\pi m/n} \log[1 - e^{-i(\theta_0/m+2p\pi/n)}] - e^{-i\theta_0} \sum_0^{n-1} p e^{-i2p\pi m/n} \log[1 - e^{i(\theta_0/n+2p\pi/n)}] + \\ & v_1 \sum_0^{n-1} p e^{i2p\pi m/n} \log[1 - v_1^{-1/m} e^{-i2p\pi/n}] + v_1^{-1} \sum_0^{n-1} p e^{i2p\pi m/n} \log[1 - v_1^{-1/m} e^{i2p\pi/n}] - \pi v_1^{-1} \cot g\alpha \end{aligned} \right\} \quad (1.31)$$

$$\frac{L}{b} = \frac{v_1 e^{\alpha}}{\pi} \left\{ \begin{aligned} & -e^{i\theta_0} \sum_0^{n-1} p e^{im/n2p\pi} \log(1 - e^{-i(\theta_0/m+(2p+1))\pi/n}) - e^{-i\theta_0} n - \sum_0^{n-1} p e^{-im/n2p\pi} \log(1 - e^{i(\theta_0/m+(2p-1))\pi/n}) \\ & + v_1 \sum_0^{n-1} p e^{im/n2p\pi} \log(1 - v_1^{-1/m} e^{-i\pi(2p+1)/n}) + v_1^{-1} \sum_0^{n-1} p e^{im/n2p\pi} \log(1 - v_1^{-1/m} e^{i(2p+1)\pi/n}) - \\ & \pi v_1^{-1} \frac{e^{-\alpha}}{\sin \alpha} \end{aligned} \right\} \quad (1.32)$$

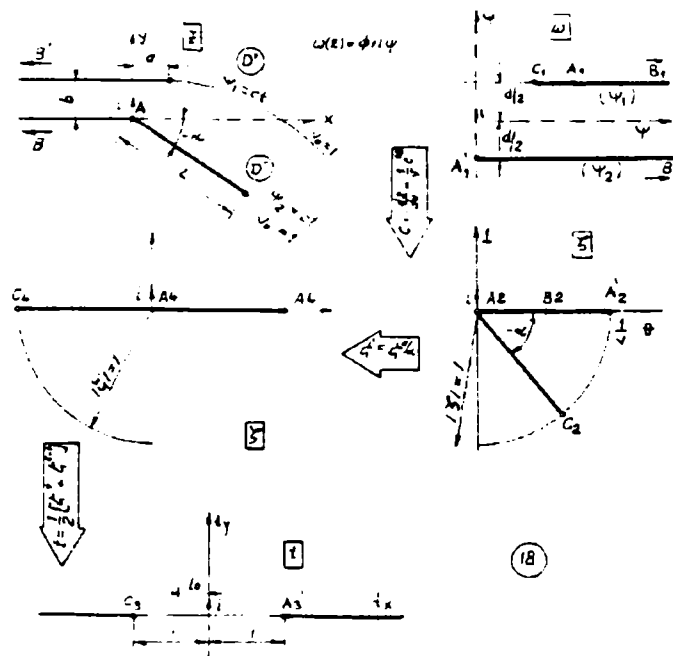


Fig. 1.37 Curgere Coandă. Metoda reprezentărilor conforme. Volet plan. Metra

În final din aceste expresii rezultă și ecuațiile liniei de curent ce se identifica cu frontiera exterioara a jetului:

$$\frac{x - a}{b} = \frac{v_1^2 + 1}{2\pi} \left[2 \log \frac{v_1 + 1}{v_1 - 1} - \log \frac{(v_1 + v_1^{-1}) + 2 \cos \theta}{(v_1 + v_1^{-1}) - 2 \cos \theta} \right] \quad (1.33)$$

$$\frac{y}{b} = -\frac{v_1}{\pi} \left[\log \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} - (v_1 - v_1^{-1}) \operatorname{arctg} \frac{2 \sin \theta}{v_1 - v_1^{-1}} \right] \quad (1.34)$$

K. T. Yen [116], extinde studiul efectuat de A. Metral considerând, fig.1.38, o valoare finită a razei de curbură, pentru zona de conexiune între peretele ajutorului și volet (plan). Din punct de vedere teoretic această Formă porțiunii curbe se va determina ulterior astfel încât (prin convenție) viteza de-a lungul acesteia să fie constantă. Se admite de asemenea ca pe frontierele BC_∞ și GG_∞ , viteza,

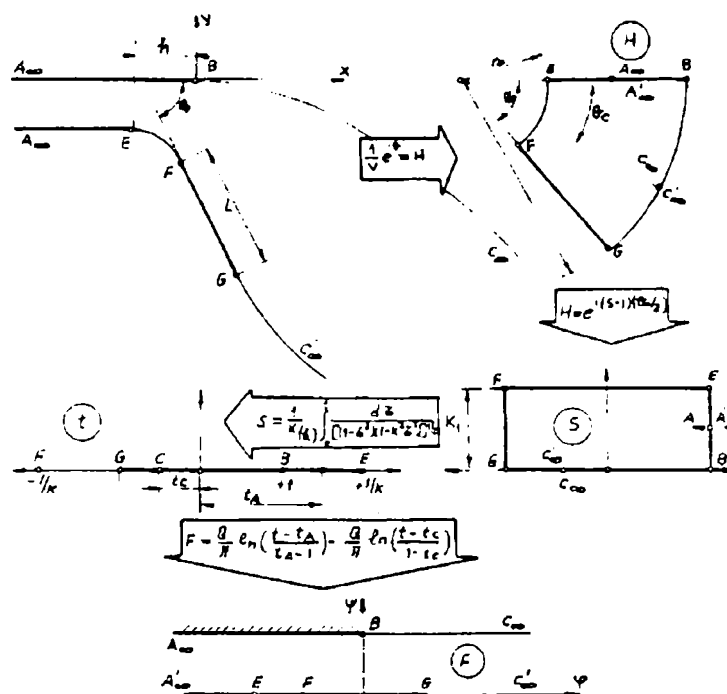


Fig.1.38. Metoda reprezentărilor conforme. K. T. Yen.

rezultată din ecuația lui Bernoulli scrisă sub forma: $p + \rho V^2 = p_\infty + \rho V_\infty^2$ este egală cu unitatea. În final tratând curgerea Coandă ca o problema de tip Kirchoff - mișcare plană cu suprafață liberă [116], rezultă relația:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{q}{\pi} \left(\frac{1}{t-t_a} - \frac{1}{t-t_c} \right) e^{i \left(\frac{\theta_0}{2} \left[\frac{F(k,t)}{k} - 1 \right] \right)} \quad (1.35)$$

unde q este modulul vitezei, θ_0 unghiul de bracăj, Q debitul asociat secțiunii de eflux a ajutorului, iar prin $F(k,t)$ s-a notat integrala eliptică care intervine în funcția de reprezentare între planele "s" și "t", fig.1.38.

1.3.2.4 Metoda jetului parietal.

Curgerea Coandă este o mișcare de tip jet, la care jetul este parțial limitat, una din frontierele sale constituind-o voletul. Mișcările de tip jet se încadrează în clasa mișcărilor cu forfecare [74]. Soluționarea teoretică a acestor mișcări - laminare sau turbulente - constă în principiu în rezolvarea ecuațiilor Navier-Stokes și de continuitate, ținând cont de condițiile la limită

specifice. Considerând regimul staționar și admitând conceptul de "presiune de mișcare" introdus de O. Popa [86], aceste ecuații au expresiile:

$$\bar{V} \cdot \nabla \bar{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \bar{V} \quad (1.36)$$

$$\nabla \cdot \bar{V} = 0 \quad (1.37)$$

Pentru jetul parțial limitat M. B. Glauert [52], [98] introduce denumirea de jet parietal (wall jet). La tratarea mișcărilor de tip jet parietal se parcurg în general etapele:

- se consideră ca valabile aproximațiile admise în teoria stratului limită;
- se accepta că în jet profilele de viteze sunt afine;
- se introduc noi variabile adimensionale prin intermediul unor mărimi - "lungimi" și/sau viteze de referință;
- cu noile variabile se explicită condițiile la limită;
- cu acestea ecuațiile (1.36), (1.37) dobândesc o formă simplificată pentru rezolvarea căreia au fost adoptate două strategii:
 - reducerea prin dezvoltări matematice a sistemului de ecuații la o ecuație diferențială ordinară, sau
 - integrarea ecuațiilor simplificate după normala la frontiera solidă.

Obs:

- Au fost studiate doar mișcările plane permanente.
- Indiferent de strategie soluționarea apelează la metode numerice.
- Pentru regimurile turbulente și rezolvarea problemei închiderii sunt folosite modele ale turbulenței.

Primele rezultate au fost obținute de M. B. Glauert [52], [78]. Pentru jetul parietal plan, fig.1.39, în regim laminar, ignorând gradientul de presiune ecuațiile (1.36), (1.37) au expresiile:

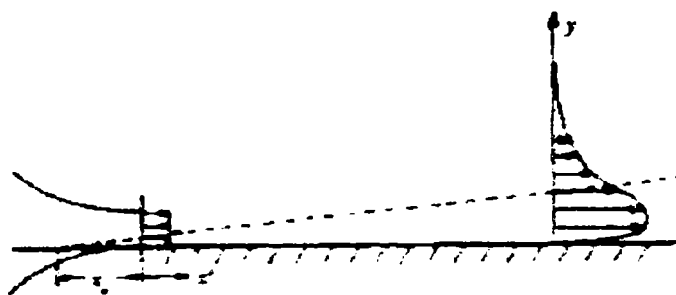


Fig. 1.39 Jetul parietal plan.

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho \nu \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (1.38)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho x u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho x v) = 0 \quad (1.39)$$

cu condițiile la limită:

$$u = v = 0 \quad \text{la } y = 0 ; \quad u \rightarrow 0 \quad \text{pentru } y \rightarrow \infty$$

Introducând funcția de curent ψ : $\rho x u = \partial \psi / \partial y$ $\rho x v = -\partial \psi / \partial x$ cu notațiile:

$$u = U(x)f'(\eta) \quad \eta = y/\delta(x) \quad \psi = \rho x U \delta f(\eta)$$

în care U este viteza maximă iar δ grosimea jetului, rezultă ecuația diferențială:

$$f'''' + ff'' + 2f'^2 = 0 \tag{1.40}$$

cu soluția:

$$f = g^2 \quad \eta = \log \frac{\sqrt{(1+g+g^2)}}{1-g} + \sqrt{3} \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}g}{2+g} \tag{1.41}$$

respectiv:

$$u = \left\{ \frac{15F}{2\rho v^2(x^2 + l^2)} \right\}^{\frac{1}{2}} f'(\eta) \quad \eta = \left\{ \frac{135Fx^4}{32(\rho v)^2(x^2 + l^2)} \right\}^{\frac{1}{4}} y \tag{1.42}$$

în care $F = \int_0^{\eta} \rho x u \left(\int_0^{\eta} \rho x u^2 dy \right) dy = cl$ iar parametrul "l" rezultă din relația (1.56)

înlocuind pentru $x = 0$ viteza u cu valoarea sa maximă. Esențial și caracteristic jetului parietal, este profilul vitezei medii, fig. 1.39, în care se identifică două zone racordate: inferioară, corespunzătoare stratului limita $y < y_m$, și exterioară, caracteristică (semi)jetului liber.

W.H. Schwartz & W.P. Cosart [98] tratează jetul parietal turbulent plan. Cu u, v , pulsațiile vitezei, din ecuațiile (1.36) și (1.37) rezultă prin mediere:

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + v \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\overline{u^2} - \overline{v^2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} (\overline{uv}) = \nu \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \tag{1.43}$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{1.44}$$

Notând $\varepsilon \frac{\partial U}{\partial y} = -\overline{uv}$ (1.45)

$$U - U_0 f(\eta) \quad \overline{u^2} - U_0^2 g_1(\eta) \quad \overline{v^2} - U_0^2 g_2(\eta) \quad \overline{uv} - U_0^2 g_{12}(\eta) \quad \eta = y/\delta \tag{1.46}$$

se obțin:

$$\frac{\delta}{U_0} \frac{dU_0}{dx} f(\eta)^2 - \frac{1}{U_0} \frac{d(U_0 \delta)}{dx} \frac{df(\eta)}{d\eta} \int_0^{\eta} f(\eta) + \frac{2\delta}{U_0} \frac{dU_0}{dx} g_1(\eta) - \frac{d\delta}{dx} \eta \frac{dg_1(\eta)}{d\eta} + \frac{d\delta}{dx} \eta \frac{dg_2(\eta)}{d\eta} +$$

$$2g_2(\eta) \frac{\delta}{U_0} \frac{dU_0}{dx} + \frac{dg_{12}}{d\eta} = \frac{\nu}{U_0 \delta} \frac{d^2 f(\eta)}{d\eta^2} \tag{1.47}$$

$$\varepsilon = -g_{12}(\eta) f'(\eta) \tag{1.48}$$

..Cu acestea se exprimă:

- tensiunea tangențială la perete τ_0 :

$$\frac{\tau_0}{\rho} = -C_1^2 C_2 x^{2a} (2a+1) \int_0^{\eta} f^2(\eta) d\eta \tag{1.49}$$

- coeficientul de frecare C_f :

$$C_f = \frac{\tau_0}{\frac{1}{2} \rho U_m^2} = -2C_1 (2a+1) \int_0^{\eta} f^2(\eta) d\eta \tag{1.50}$$

cu: v_m viteza maximă, "a" o constantă subunitară.

T. Sarpkaya & D. C. Richardson [95] analizează jetul parietal plan turbulent plecând de la relațiile:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} (p + \overline{\rho v'^2}) - \frac{\partial}{\partial y} (\overline{u'v'}) + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (1.51)$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} (p + \overline{\rho v'^2}) = 0 \quad p + \overline{\rho v'^2} = p_s \quad (1.52)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1.53)$$

$$\tau = \rho \nu \frac{\partial u}{\partial y} - \overline{\rho u'v'} \quad (1.54)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} (p + \overline{\rho v'^2}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial y} \quad (1.55)$$

Cu dezvoltările succesive, similare cu cele efectuate de Schwartz & Cosart [98]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_y u^2 dx - vu = - \int_y \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \right) dy + \frac{1}{\rho} \int_y \frac{\partial \tau}{\partial y} dy \quad (1.56)$$

$$\int_0^y u \left[\frac{\partial}{\partial x} \int_y u^2 dy \right] dy - \int_0^y vu^2 dy = \int_0^y u \left[\int_y \left(-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \right) dy \right] dy + \frac{1}{\rho} \int_0^y u \left[\int_y \frac{\partial \tau}{\partial y} dy \right] dy \quad (1.57)$$

$$\frac{d}{dx} \int_0^y u \left[\int_y u^2 dy \right] dy = -\frac{1}{\rho} \int_y u \tau dy = \int_0^y \overline{uu'v'} dy \quad (1.58)$$

se desprind și din măsurători următoarele concluzii:

- în lungul normalei la perete, la jetul parietal plan, este constant termenul cu dimensiune de presiune, definit de ecuația (1.56), spre deosebire de stratul limită unde este valabilă ipoteza uniformității presiunii;
- utilizarea modelului Prandtl al viscozității turbulente aparente ε , cu care rezultă: $\tau = \rho \varepsilon(x) \frac{\partial u}{\partial y}$ conduce la anularea ultimului termen al ecuației (1.58);
- profilul vitezelor în zona exterioară respectă legea dată de (1.56);
- presiunea pe cea mai mare parte din lungimea voletului este superioară celei a mediului ambiant, în repaus, și depinde de numărul Re.

J.B. Ablas & H.G. Cohen, stabilesc [1], plecând de la modelul plan al unui element fluidic, fig.1.40, o "formula" pentru Efectul Coandă:

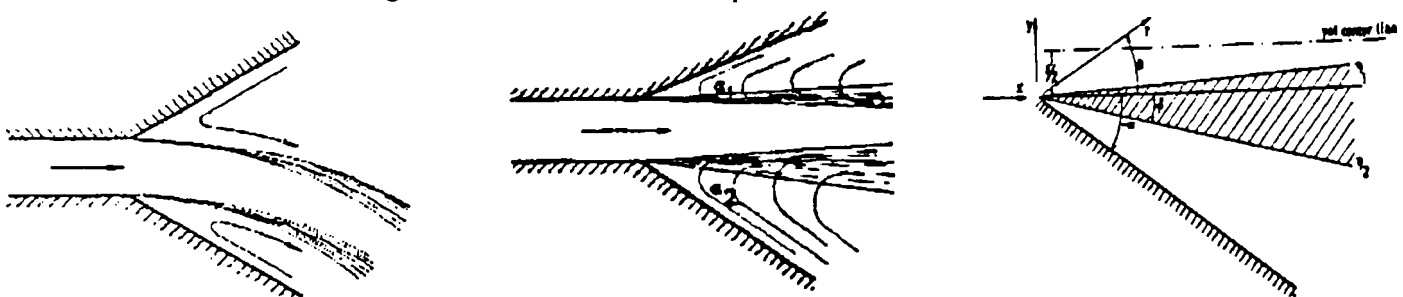


Fig. 1.40 Efectul Coandă. Jet turbulent deviat. Ablas & Cohen.

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho U^2 \left[\frac{\cos^2 \beta_2 \overline{F(\eta_2^{(2)})^2}}{\sin^2(\alpha_2 - \beta_2)} - \frac{\cos^2 \beta_1 \overline{F(\eta_2^{(1)})^2}}{\sin^2(\alpha_1 - \beta_1)} \right] \quad (1.59)$$

Se considera un jet turbulent care are la ieșirea din ajutorul de înălțime δ o viteză uniformă U și care, evoluează în prezența unui perete înclinat față de direcția vitezei U cu unghiul α . Jetul neatașat prezintă un nucleu potențial și o zonă de amestec. În zona de amestec - η_1, η_2 - ecuația de continuitate și ecuația Navier-Stokes, în ipotezele specifice stratului limită se scriu sub formă:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1.60)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial y} = 2l^2 \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (1.61)$$

unde s-a acceptat pentru turbulență modelul Prandtl [88] al lungimii de amestec: $l = \alpha x$. Cu funcția de curent Ψ : $u = \partial \Psi / \partial y$, $v = -\partial \Psi / \partial x$, și variabilele $\eta = y/x$ și $F(\eta)$ definite astfel:

$$u = UF'(\eta) \quad (1.62)$$

$$v = -U[F(\eta) - \eta F'(\eta)] \quad (1.63)$$

se obține din (1.76) o ecuație diferențială ordinară:

$$F''[F + 2\alpha^2 F'''] = 0 \quad (1.64)$$

care admite soluția nebanală:

$$F = c_1 e^{\lambda_1 \eta} + c_2 e^{\lambda_2 \eta} + c_3 e^{\lambda_3 \eta} \quad (1.65)$$

În continuare se aminte că în domeniul delimitat de peretele solid și frontiera η_2 mișcarea este potențială. În coordonate polare r, θ , potențialul Φ al mișcării ce satisface condițiile.

$$\Delta^2 \Phi = 0 \quad -\alpha < \theta < -\beta \quad (1.66)$$

$$\partial \Phi / \partial y = 0 \quad \theta = -\alpha \quad (1.67)$$

este dat de soluția:

$$\Phi = Ar \cos(\theta - \alpha) \quad (1.68)$$

care conduce la următoarele expresii ale componentelor vitezei pe frontiera η_2 ($\theta = -\beta$): $u = A \cos \alpha$; $v = -A \sin \alpha$. Egalând pe această frontieră componentele normale ale vitezei, din regiunea de amestec și respectiv din domeniul mișcării potențiale, din ecuația lui Bernoulli rezultă formula (1.59), care pune în evidență faptul că în funcție de unghiul de brachare, procesul de antrenare de către jet a fluidului generează o diferență de presiune ce favorizează atașarea jetului.

O metodă elaborată pentru calculul parametrilor jetului parietal plan cu gradient de presiune în prezența unui curent exterior este prezentată în [50] de S. Gartshore & B.G. Newman care utilizează pentru profilul de viteze admis, fig.1.41, următoarele expresii:

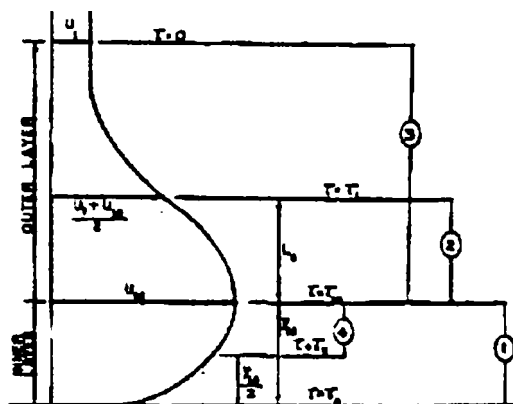


Fig. 1.41. Profilul de viteze în jetul paretal turbulent cu gradient de presiune în prezenta unui curent exterior.

$$\frac{U - U_1}{U_M - U_1} = \exp\left(-k \left(\frac{y - y_M}{L_0}\right)^2\right) \quad k = \log_e 2 \quad \text{semijet} \quad (1.69)$$

$$\frac{U}{U_M} = \left(\frac{y}{y_M}\right)^n \quad \text{zona interică - strat limită} \quad (1.70)$$

Cu acestea, admitând expresii semiempirice pentru tensiunile de forfecare aparente τ (Reynolds), metoda constă în integrarea pe cele patru segmente marcate în fig.1.41, a unor ecuatii de tipul ecuatiei integrale a impulsului von Karman [86], [89]. Cu distributiile de viteze mentionate (1.69), (1.70) se obtine o ecuatie exprimată generic sub forma:

$$A_i \frac{dU_1}{dx} + B_i \frac{dU_M}{dx} + C_i \frac{dL_0}{dx} + D_i \frac{dy_M}{dx} + E_i \frac{dn}{dx} + F_i = 0 \quad i = 1,2,3,4 \quad (1.71)$$

Astfel, pentru intervalul $y \in (0, y_M)$ se exprimă relatiile:

$$\int_0^{y_M} \frac{\partial}{\partial x}(U^2) dy - U_M \int_0^{y_M} \left(\frac{\partial U}{\partial x}\right) dy - U_1 \frac{dU_1}{dx} y_M - \left(\frac{\tau_M - \tau_0}{\rho}\right) = 0 \quad (1.72)$$

$$A_1 = -U_1 y_M \quad B_1 = \frac{U_M}{(2n+1)(n+1)} \quad C_1 = 0 \quad D_1 = -\frac{n}{(2n+1)(n+1)} \quad (1.73)$$

$$E_1 = y_M U_M^2 \left\{ \frac{1}{(n-1)^2} - \frac{1}{(2n+1)^2} \right\} \quad F_1 = -\left(\frac{\tau_M - \tau_0}{\rho}\right) \quad (1.74)$$

Cu expresii similare pentru celelalte segmente, rezultă un sistem de patru ecuatii diferentiale (1.71), a cărui soluție numerică calculată prin metoda Runge-Kutta a fost confirmată de măsurători.

Metodologia aplicată în cazul jetului paretal plan a fost preluată de I.J. Wygnanski & F.H. Champagne [116], care tratează problema jetului paretal bidimensional laminar în prezenta unui perete curb. Ecuatiile (1.36), (1.37), exprimate în coordonate cilindrice, dobândesc prin intermediul variabilelor adimensionale:

$$u = \frac{\tilde{u}}{U} \quad v = \frac{\tilde{v}}{U} \quad x = \frac{\tilde{r}l}{v} \quad y = \frac{\tilde{y}l}{v} \quad K = \frac{\tilde{R}l}{v} \quad p = \frac{\tilde{p}}{\rho U^2} \quad (1.75)$$

expresiile:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + \left(1 + \frac{y}{R}\right) v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{uv}{R} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \left(1 + \frac{y}{R}\right) \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial u}{\partial y} \quad (1.76)$$

$$\frac{u^2}{R} = \frac{\partial p}{\partial y} \quad (1.77)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(1 + \frac{y}{R}\right) v \right] = 0 \quad (1.78)$$

În relațiile de mai sus $\bar{x}, \bar{y}, \bar{u}, \bar{v}, \bar{R}, \bar{p}$ reprezintă respectiv: coordonatele de-a lungul și după normala la frontiera voletului, componentele vitezei, raza de curbură și presiunea, iar U o viteză de referință. Introducând funcția de curent $\phi = x^m f(\eta)$, admitând pentru raza de curbură o expresie de forma: $R = \alpha x^n$, cu $\eta = cyx^{-n}$ și ținând cont că:

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial y} L \left(1 + \frac{y}{R}\right) v = -\frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (1.79)$$

ecuația (1.76) devine:

$$f^{IV} \left(1 + \frac{4\eta}{\alpha}\right) + f''' \left(f + \frac{8}{\alpha}\right) + ff'' \left(5 + \frac{24\eta}{\alpha}\right) + \frac{28}{\alpha} (f')^2 + \frac{4/\alpha}{(1 + (4/\alpha)\eta)} \left[ff' - 6\eta ff'' - 2(f')^2 - \frac{4/\alpha}{(1 + (4/\alpha)\eta)} (ff' - 3\eta (f')^2) \right] = 0 \quad (1.80)$$

Soluționarea numerică a acestei ecuații diferențiale ordinare permite reprezentarea distribuției vitezei, fig.1.42, a coeficientului de frecare $f''(0)$, și a coeficientului de presiune pe frontieră, fig.1.43, în funcție de raza de curbură.

Fig. 1.42 Jet parietal laminar, frontieră curbă. presiune. Wygnanski & Champagne Variatia profilului vitezei cu gradientul de presiune

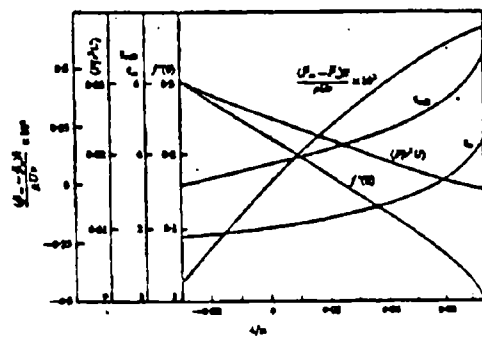
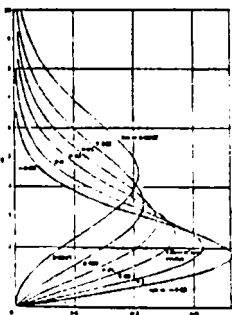


Fig. 1.43 Jet parietal laminar, frontieră curbă. Variatia coeficientului de presiune pe frontieră. Wygnanski & Champagne.

Evoluția jetului parietal curb este determinată de geometria voletului. În literatură s-au analizat două cazuri: volet cilindric (circular) și volet de tip spirală logaritmică. Pentru voletul cilindric E.K. Parks & R.E. Petersen [82] analizează cazul jetului laminar. În coordonate cilindrice ecuațiile (1.36), (1.37), respectiv (1.76), (1.77), (1.78), cu notațiile din fig.1.44, devin:

$$\frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} = 0$$

$$r \frac{\partial V_\theta}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial r}{\partial \theta} = \nu \frac{\partial^2 V_\theta}{\partial r^2} \tag{1.81}$$

$$\rho \frac{V_\theta^2}{r} = \frac{\partial p}{\partial r}$$

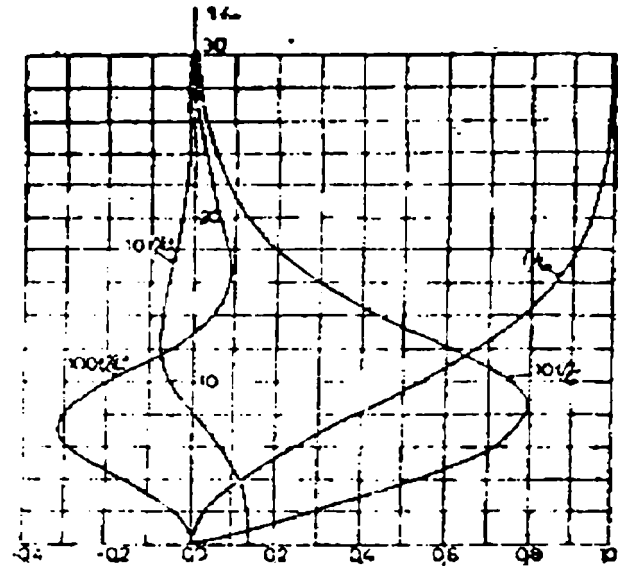
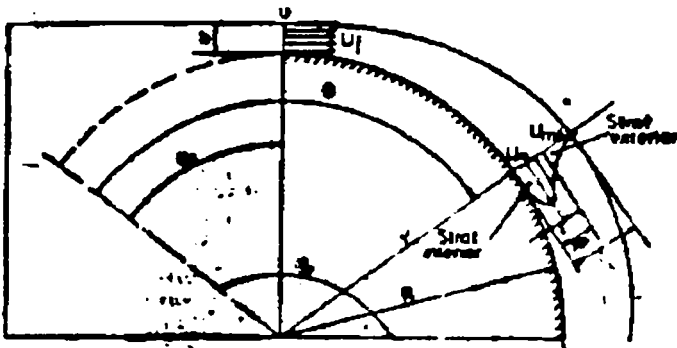


Fig. 1.44 Jet paretal. Volet cilindric.
Parks & Petersen;
Dumitrescu & Stelian & Du.....ch...

Introducând variabilele adimensionale, și funcția de curent:

$$r^* = \frac{V_r}{U}, V_\theta^* = \frac{V_\theta}{U}, r^* = \frac{r}{R}, p^* = \frac{p}{\rho U^2}, y^* = \frac{y}{R} = r^* - 1, Re = \frac{UR}{\nu}, \varphi = \theta^b f(\eta), \eta = Re y^* \theta^{b-1}$$

cu: (1.82)

$$r^* = -\frac{1}{r^*} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} = -\theta^{b-1} [fb + (b-1)\eta f']$$
(1.83)

$$\theta^* = \frac{\partial \varphi}{\partial r^*} = Re \theta^{2b-1} f'$$

din (1.81) se obtine următoarea ecuație diferențială ordinară:

$$f''' + bff'' + (1-2b)f'^2 = 0 \tag{1.84}$$

Cu constanta $b=1/4$ determinată din condițiile la limită prin integrări succesive presupunând cunoscute debitul masic și impulsul în dreptul fantei:

$$Q = \rho U w = \int_0^\infty \rho V_\theta dy \Big|_{\theta_A} = \rho U R \theta_A^{1/2} f_\infty$$
(1.85)

$$\rho U^2 w = \int_0^\infty \rho V_\theta^2 dy$$

se deduc relațiile:

$$\theta_A = (w/R)^2 (Re/18) = [(w/R)(1/f_\infty)]^2$$

$$f_\infty = (w/R)^{1/2} (18/Re)^{1/4}$$

$$Q' = \rho U R \theta_A^{1/2} f_\infty \tag{1.86}$$

$$F_x = \rho U^2 R f_\infty^2 \left[(Re f_\infty / 18 \theta_A^{1/4}) - (\theta_A^{1/2} / 2) \right]$$

$$\delta^* = (31.622/Re) \theta^{1/4} (R/w)^{1/2} (Re/18)^{1/4}$$

în care: θ_A reprezintă unghiul la centru care identifică originea virtuală a jetului, f_∞ este un parametru de curbură, Q' debitul masic, F_x forța de "tractiune" dezvoltată de jetul deviat. Grosimea jetului δ^* a fost definită conventional prin condiția: $\forall \theta \geq \theta_A \Rightarrow V_\theta / V_{\theta_{\max}} = 0.01$. Într-o tratare mai generală considerând ecuațiile (1.81), valabile atât pentru regimul laminar cât și pentru cel turbulent H. Dumitrescu & I. Stelian & Al. Dumitrache [36] au obținut aceleași relații, considerând că: tensiunile tangențiale: $\tau = \rho \nu \partial v / \partial r$ se exprimă prin intermediul unui coeficient de viscozitate: cinematic ν (pentru regimul laminar) și turbulent ν_τ , între cel turbulent (constant în fiecare secțiune a jetului) și cel laminar fiind satisfăcută relația:

$$\nu_\tau / \nu = \sigma \theta^c \quad (1.87)$$

Variabilele η , φ din relația (1.106) se exprimă sub forma:

$$\eta = Re \, y^* (c+1) / c \theta^{(c+1)(u-1)} \quad (1.88)$$

$$\varphi = \theta^{(c+1)} f(\eta) \quad (1.89)$$

cu: $c = 0$ și $\sigma = 1$ la regimul laminar și $c = 1/3$, $\sigma \cong Re f_\infty / 148$ la cel turbulent. De menționat de asemenea că alături de Parks & Petersen [82], sunt printre puținii autori care în cadrul modelului de jet parietal abordează și parametrii specifici curgerii Coandă: debitul antrenat, forța de "tractiune" și definesc criterii de eficiență prin intermediul:

- coeficientului de antrenare A :

$$A = \frac{Q'}{\rho U w} = \begin{cases} \frac{f_\infty}{4} \theta^{-3/4} & \text{- laminar} \\ \frac{f_\infty}{3} \theta^{-2/3} & \text{- turbulent} \end{cases} \quad (1.90)$$

- factorului de amplificare al forței de tractiune T :

$$T = \frac{F_x}{\rho U^2 w} = \begin{cases} \left(\frac{\theta_0}{\theta_1} \right)^{1/4} \left[\frac{9\pi}{2 Re} + \left(\frac{w}{r} \right)^2 \right]^{1/2} & \text{- laminar} \\ \left(\frac{\theta_0}{\theta_1} \right)^{1/3} \left[1 - \frac{w \theta_1}{2R \theta_0} \right] & \text{- turbulent} \end{cases} \quad (1.91)$$

F. Yoshino & Y. Furuya [120] dezvoltă o metodologie de calcul considerând pentru jetul parietal ce evoluează în prezenta unui volet cilindric profilul de viteze din fig.1.45, similar cu cel considerat de Gartshore & Newman [49]. Cu U s-a notat viteza la frontiera jetului, cilindrul fiind imersat într-un fluid în mișcare permanentă și uniformă. Se observă totodată că zona exterioară - semijetul este considerată o zonă de amestec.

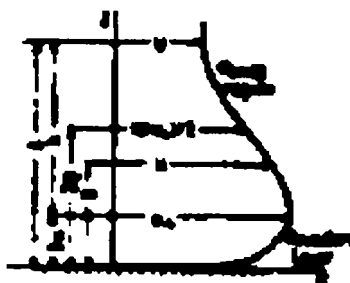


Fig.1. 45. Jet parietal. Volet cilindric. Furuya.

Metoda se bazează pe următoarele ecuații, deduse din (1.50) și (1.51) în contextul ipotezelor generale (de tip "strat limită") considerate și de ceilalți autori menționați:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left[(v + \varepsilon) \frac{\partial u}{\partial y} \right] \quad (1.92)$$

$$\frac{u^2}{R} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (1.93)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1.94)$$

Se observă din (1.92) că a fost acceptat modelul Boussinesq prin introducerea coeficientului ε al viscozității aparente. La aceste ecuații se adaugă:

- ecuația transferului (conservării) impulsului pentru zona de amestec:

$$\int_{y_m}^{\hat{y}} (\rho u^2 + p)(R + y) dy = ct \quad (1.95)$$

- ecuația lui Bernoulli, valabilă în regiunea exterioară jetului:

$$\frac{1}{\rho} \frac{dp_s}{dx} + U \frac{dU}{dx} = 0 \quad (1.96)$$

Cu ecuațiile de mai sus sunt analizate trei situații în care se admite ca:

- 1) în jetul parietal presiunea după normală este constantă, ipoteză prin care din (1.120) rezultă că se neglijează curbura frontierei solide;
- 2) mișcarea în zona de amestec este influențată de curbura voletului;
- 3) se consideră în plus față de 2) că în zona de amestec gradientul transversal de presiune este diferit de zero: $\partial p / \partial y \neq 0$.

Pentru cele trei cazuri se acceptă ca valabil în zona de amestec principiul conservării impulsului, relația (1.95). iar pentru zona de amestec se admite că distribuția de viteze se exprimă cu:

$$\frac{u}{U} = 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{m} - 1 \right) (1 + \cos \pi \xi) \quad (1.97)$$

$$\xi = \frac{(y - y_m)}{(\delta - y_m)} = \frac{y - y_m}{b}$$

cu cele de mai sus din ecuația (1.121) rezultă prin integrare:

$$\rho b U^2 \left[(R + y_m + b) \left(f_1 - b \frac{f_\eta}{2R} \right) + (R + y_m) b \frac{f_s}{R} - b \left(\frac{f_4}{2} - \frac{b f_1}{3R} \right) \right] + b \left(R + y_m + \frac{b}{2} \right) \left(p_t - \rho \frac{U^2}{2} \right) = c t \quad (1.98)$$

unde : f_3, f_4, f_η , sint polinoame de gradul doi in raport cu "m".

Cu aceste relatii și altele necesare - cu caracter semiempiric - se obtine în urma unor dezvoltări matematice laborioase un sistem de ecuatii diferentiale ordinare prin a cărei solutionare numerică se pot calcula parametrii caracteristici jetului parietal. În fig.1.46 sunt prezentate doar variatiile parametrilor θ și κ de-a lungul voletului, calculate pentru cele trei cazuri 1), 2) și 3). În urma calculelor și comparării rezultatelor se desprinde concluzia esentială că gradientul de presiune al curgerii exterioare influentează mișcarea în jetul parietal. Sistemul de ecuatii dedus corespunzător cazului 3) tine cont de această influență și permite și determinarea pozitiei punctului de desprindere.



Fig.1. 46. Jet parietal turbulent. Volet cilindric. Yoshino & Furuya.

Problema jetului parietal plan turbulent incompresibil, voletul fiind de tip spirală logaritmică a fost abordată de D.E. Guitton & B.G. Newman [56], fig.1.47. Cu: u, v componentele vitezei, u', v' pulsatiile vitezei, x, y coordonatele curbilinii de-a lungul respectiv după normala la peretele solid, R raza de curbură, ecuatiile (1.50), (1.51) prin mediere s-au scris sub forma:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + \left(1 + \frac{y}{R} \right) v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{uv}{R} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \left(p + \rho \overline{u'^2} \right) - \left(1 + \frac{y}{R} \right) \frac{\partial}{\partial y} \left(\overline{u'v'} \right) - \frac{2 \overline{u'v'}}{R} \quad (1.99)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + \left(1 + \frac{y}{R} \right) v \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{u^2}{R} = - \left(1 + \frac{y}{R} \right) \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \left(p + \rho \overline{v'^2} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\overline{u'v'} \right) + \frac{\overline{u'^2 - v'^2}}{R} \quad (1.100)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left[v \left(1 + \frac{y}{R} \right) \right] = 0 \quad (1.101)$$

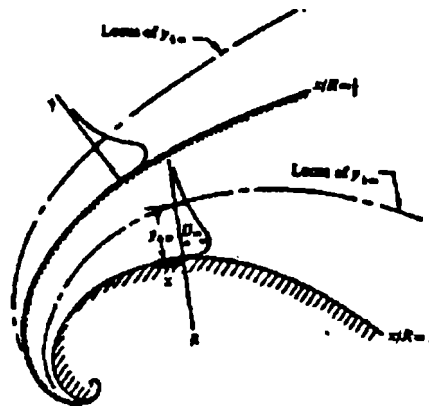


Fig. 1.47 Jet parietal turbulent. Volet spirală logaritmică. Guitton & Newman.

Se analizează doar regiunea exterioră substratului viscos admitind ca în jetul parietal curgerea este automodelată. U_m fiind viteza maximă, cu:

$$u = U_m f'(\eta) \quad -\overline{u'v'} = U_m^2 g_{12}(\eta) \quad \overline{u'^2 - v'^2} = U_m^2 g(\eta) \quad \eta = y / y_1 \frac{1}{2^m} \quad (1.102)$$

Considerând valabile aproximările din teoria stratului limită [77] și admitând că numerele Re sunt suficient de mari pentru ca $C_f = 2(U_\tau / U_m)^2$, coeficientul de frecare ($U_\tau = (\tau_w / \rho)^{1/2}$, viteza și respectiv τ_w tensiunea de forfecare la perete) să fie independent de x se simplifică ecuația (1.131) și cu:

$$-\frac{u^2}{R} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} (p + \rho \overline{v'^2}) \quad (1.103)$$

$$\nu \left(1 + \frac{y}{R}\right) = -y_1 \frac{1}{2^m} \left[\frac{dU_m}{dx} f - \frac{U_m}{y_1 \frac{1}{2^m}} \frac{dy_1 \frac{1}{2^m}}{dx} (\eta f' - f) \right] \quad f(0) = 0 \quad (1.104)$$

se obține în final și o expresie de calcul a distribuției de presiuni pe frontiera voletului, fig. 1. 48:

$$\begin{aligned} \frac{P_o - P_s}{\rho} &= \int_0^\infty \frac{u^2}{R+y} dy - \int_0^\infty \frac{R}{R+y} u \frac{\partial v}{\partial x} dy - \int_0^\infty \frac{R}{R+y} \frac{\partial}{\partial x} (\overline{u'v'}) dy + \int_0^\infty \frac{R}{R+y} \left((\overline{u'^2}) - (\overline{v'^2}) \right) dy \\ \frac{P_o - P_s}{\rho} &= \int_0^\infty \frac{u^2}{R} dy - \int_0^\infty u^2 \frac{y}{R^2} dy - \int_0^\infty u \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{P_o - P_s}{\rho U_m^2} &= \frac{y_1 \frac{1}{2^m}}{R} \left\{ I_{02} - \frac{y_1 \frac{1}{2^m}}{R} \left[I_{12} - \left(\frac{R}{x} \right)^2 \left(\frac{a(a+1)}{2} I_{01} - (1+2a) I_{12} \right) \right] \right\} \quad (1.105) \\ f(\infty) &= I_{01} \quad I_{02} = \int_0^\infty f'^2 d\eta \quad I_{12} = \int_0^\infty \eta f'^2 d\eta \end{aligned}$$

K. Kamemoto [62], analizând expresiile în coordonate curbilinii ortogonale rezultate prin mediere din (1.36) și (1.37) și exprimate astfel:

$$\begin{aligned}
 u \frac{\partial u}{\partial x} + \left(1 + \frac{y}{R}\right) v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\overline{uv}}{R} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \left(1 + \frac{y}{R}\right) \frac{\partial \overline{uv}}{\partial y} - \frac{2\overline{uv}}{R} + v \left[\left(1 + \frac{y}{R}\right) \frac{\partial u}{\partial y} \right] \\
 \frac{u^2}{R+y} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\
 \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(1 + \frac{y}{R}\right) v \right] &= 0
 \end{aligned}
 \tag{1.106}$$

justifică ipoteza curgerii automodelate în regiunea exterioara stratului limită a jetului parietal turbulent în prezenta voletului spirală logaritmică, fig.1.48.

Pentru această regiune se admite pentru componenta tensorului tensiunilor turbulente expresia data de Sawyer [97]:

$$-\overline{u'v'} = \lambda u \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{Cu}{R+y} \right)
 \tag{1.107}$$

în care constantele λ și C au valori cunoscute [87]. Introducând variabilele adimensionale $x_n = Ux/\nu$, $y_n = Uy/\nu$, $R_n = UR/\nu$, $u_n = u/U$, $v_n = v/U$, $p_n = p/\rho U^2$ ($\overline{uv})_n = \overline{uv}/U^2$ cu U o viteza de referință și funcția de curent $\Psi_n = x_n^{1+a} f(\eta)$, $\eta = cy_n/x_n^b$, $R_n = x_n^b/k$, cu c, k , constante, rezultă din (1.139) ecuația:

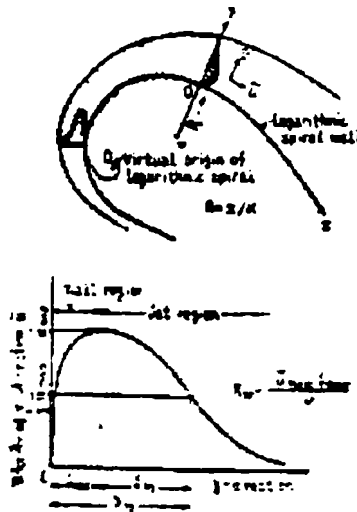


Fig. 1.48 Jet parietal turbulent. Volet spirală logaritmică. Kamemoto.

$$\begin{aligned}
 c^2 x_n^{1+2a-2b} \left\{ (1+a-b) f' - (1+a) f f'' + \frac{b \eta f' - (1+a) f f'}{c[1+(k/c)\eta]/k} \right\} &= \\
 \left\{ \frac{2(1+a-b) f'^2 - 2b \eta f f''}{1+(k/c)\eta} - \frac{b f'^2}{[1+(k/c)\eta]^2} \right\} d\eta - & \\
 c k x_n^{1+2a-2b} \int_0^\eta \lambda_0 c^3 x_n^{2+2a-3b} \left\{ \frac{kC}{c} f'' + \frac{k^2 C}{c} \frac{f'}{1+(k/c)\eta} - \left(1 + \frac{k}{c} \eta\right) f''' - \frac{k}{c} \eta f'' \right\} & \\
 \lambda \delta_n u_{nmax} \equiv \lambda_0 x_n^{1+a} &
 \end{aligned}
 \tag{1.108}$$

Conditia automodelării impune $b = 1$ și cu: $c = (a+1)/\lambda_0$ și $\kappa = k\lambda_0/(1+a)$ prin diferentierea ecuatiei (1.141) în raport cu η se obtine:

$$(a-1)ff'' - (a+1)ff'' + \frac{\kappa(a-1)}{1+\kappa\eta} f'^2 - \frac{\kappa(a+1)}{1+\kappa\eta} ff'' + (a+1)\left(\frac{\kappa}{1+\kappa\eta}\right)^2 ff' - (a+1)C\kappa\left(\frac{\kappa}{1+\kappa\eta}\right)^2 f' + (a+1)C\kappa\frac{\kappa}{1+\kappa\eta} f'' - (a+1)(3-C)\kappa f''' - (a+1)(1+\kappa\eta)f'''' = 0$$

(1.109)

care este solutionată prin dezvoltarea în serie de puteri a functiei $f(\eta)$. Rezultatele obtinute sunt concretizate în diagramele din fig. 1.49 care corelează unele mărimi ce intervin în dezvoltările de mai sus, luând ca parametru curbura voletului. Aceste rezultate sunt valabile doar și în concordantă cu cele obtinute de Guitton & Newman [56] pentru regiunea exteriora a jetului parietal.

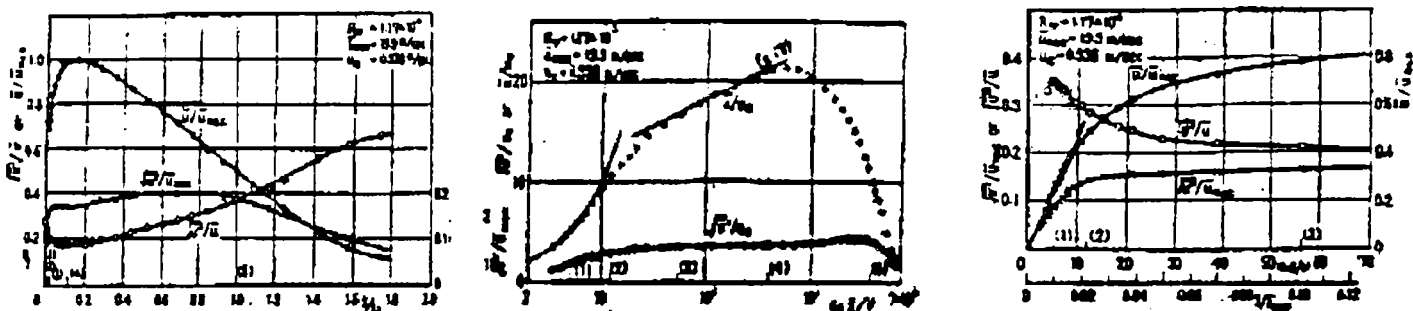


Fig. 1.49 Jet parietal turbulent. Volet spirală logaritmică. Kamemoto.

Obs. Solutiile mișcărilor de tip jet parietal, rezultate din expresiile simplificate ale ecuatiilor de mișcare Navier-Stokes și de continuitate sunt

aproximative, obținute exclusiv prin metode numerice. Acuratetea rezultatelor, în special în cazul regimului turbulent este determinată de modelul utilizat la rezolvarea problemei închiderii. Majoritatea autorilor inclusiv cei anterior prezentați utilizează modelul Boussinesq și Prandtl [86], [89]. Dezvoltarea tehnicii de calcul a stimulat folosirea unor modele ale turbulentei bazate pe ecuații de transport. M.M. Gibson & B.A. Younis [51], pentru jetul parietal turbulent în prezenta unui volet curb, fig.1.50, utilizează următoarele ecuatii:

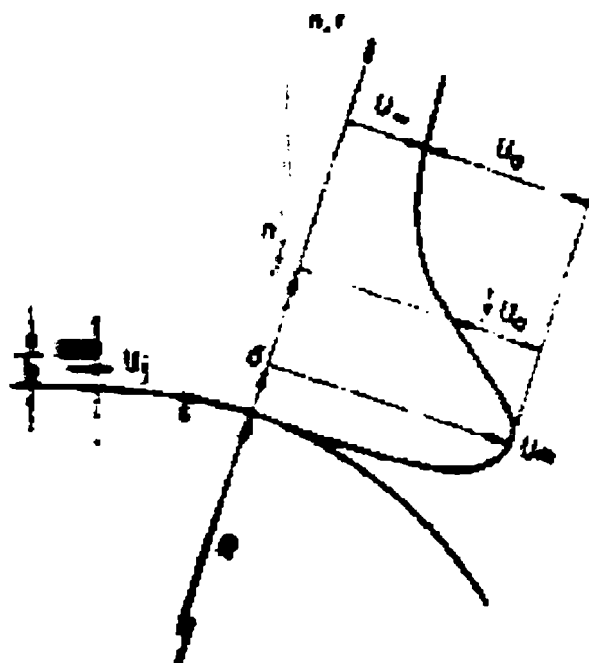


Fig. 1.50 Jet parietal turbulent. Volet curb. Gibson & Younis.

$$\frac{p}{\rho} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) = -C_1 \frac{\varepsilon}{q^2} \left(\overline{u_i u_j} - \frac{1}{3} \delta_{ij} \overline{q^2} \right) - C_2 \left(P_{ij} - \frac{2}{3} \delta_{ij} P \right)$$

$$\overline{u_i u_j u_k} = -C_3 \left(\overline{q^2} / \varepsilon \right) \overline{u_i u_j} \left(\partial \overline{u_i u_j} / \partial x_j \right) \tag{1.110}$$

$$\frac{D\varepsilon}{Dt} = C_\varepsilon \frac{\partial}{\partial n} \left(h \frac{\overline{q^2}}{2\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial n} \right) + \frac{\varepsilon^2}{\frac{1}{2} \overline{q^2}} \left(C_{\varepsilon 1} \frac{P}{\varepsilon} - C_{\varepsilon 2} \right)$$

cu: $I_j = 1, 2, 3$, $\overline{q^2} = \overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2}$, ε - componenta turbulentă a disipatiei.

Rezultatele obtinute pentru voleti plani și curbi sunt apropiate de cele determinate experimental, fig.1.51, și justifică și impun necesitatea alegerii și perfecționării "modelelor" turbulentei adecvate mișcărilor de tip jet parietal.

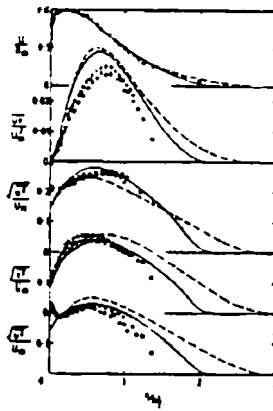


Fig. 1.51 Jet parietal turbulent .Gibson & Younis.

1.4. Aspecte particulare ale Efectului Coandă.

În cadrul experientelor privind Efectul Coandă au fost evidentiata și anumite particularități care tin atât de mecanismul fizic al fenomenului cât și de influenta unor factori externi.

1.3.2.1 Histereza în procesul de atașare-desprindere.

Un prim aspect semnalat este legat de procesul de atașare a jetului. Prin

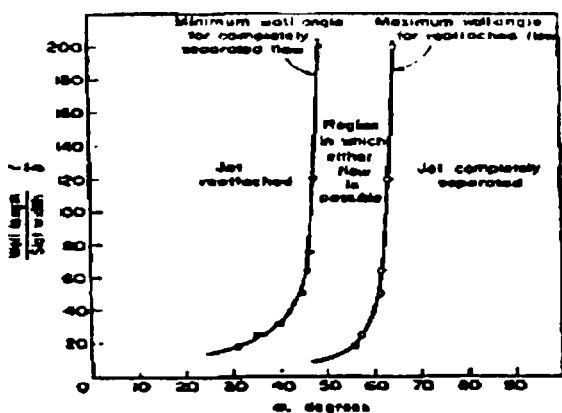


Fig. 1.52 Efectul de histerezis la voletul plan

evia de la directia initială și în anumite conditii este atașat la volet. Modificarea unor parametri ce definesc aceste conditii, în principal unghiul de bracare și viteza jetului în sectiunea de eflux a ajutorului poate provoca desprinderea jetului. S-a constatat, ca urmare a modificării într-un sens sau altul a acestor parametri, aparitia unui efect de histerezis,

caracterizat prin valori diferite la care apare desprinderea respectiv reatașarea jetului. Astfel pentru voletul plan B. G. Newman [78] a constatat că, fig.1.52, pentru numere $Re > 5 \cdot 10^3$ și pentru diferite valori ale raportului l/b exista un domeniu al unghiurilor de bracare la care jetul poate fi atașat sau nu. Numărul Reynolds are expresia: $Re = ((p-p_\infty) / \rho)^{1/2} b/v$, p fiind presiunea din ajutoraj, p_∞ presiunea atmosferică, iar l este lungimea voletului și b înălțimea ajutorajului..

Situația depinde de maniera de initializare în sensul că, pornind de la valori mici prin creșterea progresivă a unghiului de bracare jetul se menține atașat, depășind valoare la care s-ar produce atașarea dacă unghiul de bracare ar varia în sens invers. D. W. McLaughlin & C. K. Taft [71], analizează influența majoră a numărului Re asupra poziției punctului de desprindere (unghiul θ) și prezintă o diagramă similară de histerezis pentru un volet cilindric, fig.1.53. Se constată că unghiul θ crește pe măsură ce numărul Reynolds crește. La o anumită valoare Re_{c1} se produce un salt, după care numărului Re nu mai influențează poziția punctului de desprindere. Histerezisul se manifestă la revenire prin noua valoare a numărului Reynolds, Re_{c2} , $Re_{c2} < Re_{c1}$, la care se modifică unghiul de desprindere.

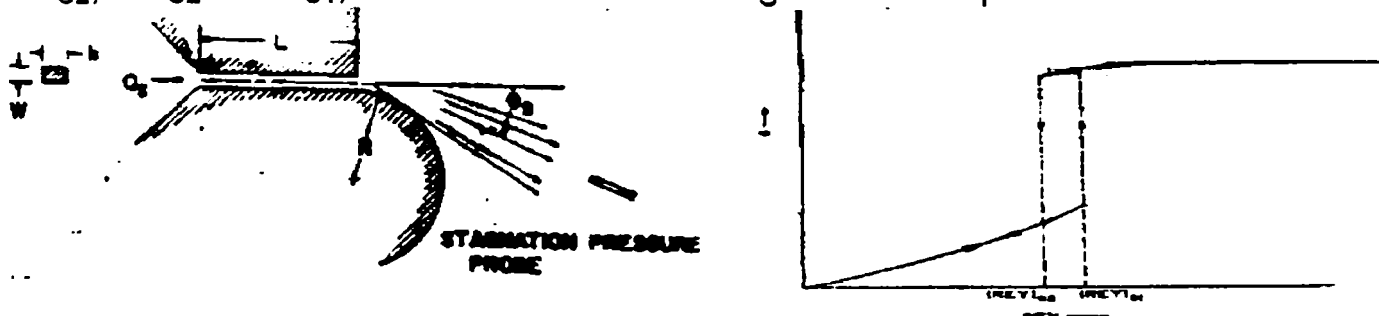


Fig. 1.53 Efectul de histerezis la voletul cilindric.

Pentru a explica acest comportament s-au efectuat vizualizări [82] folosind ca fluid de lucru un amestec de aer cu vapori de kerosen, fig.1.554

Urmărind figura se constată că până la valcarea critică Re_{c1} , mișcarea este laminară și desprinderea are loc la valori mici ale unghiului θ . După desprindere jetul se dezvoltă pe verticală (evazează). După punctul de desprindere între jet și frontieră se formează o zonă turbulentă. Pe măsură ce crește numărul Re , gradul de turbulență crește în aceasta zonă și, datorită formării unor vârtejuri va influența segmentul din jetul atașat în care are loc tranziția de la mișcarea laminară la cea turbulentă. Când se ajunge la valoarea Re_{c1} vârtejurile cresc în intensitate și număr și provocă în urma depresiunii generate reatașarea jetului și în consecință crește unghiul θ . În sens invers, jetul fiind atașat, dacă numărul Re scade, punctul de desprindere se deplasează, unghiul θ se micșorează și zona de depresiune se reduce.

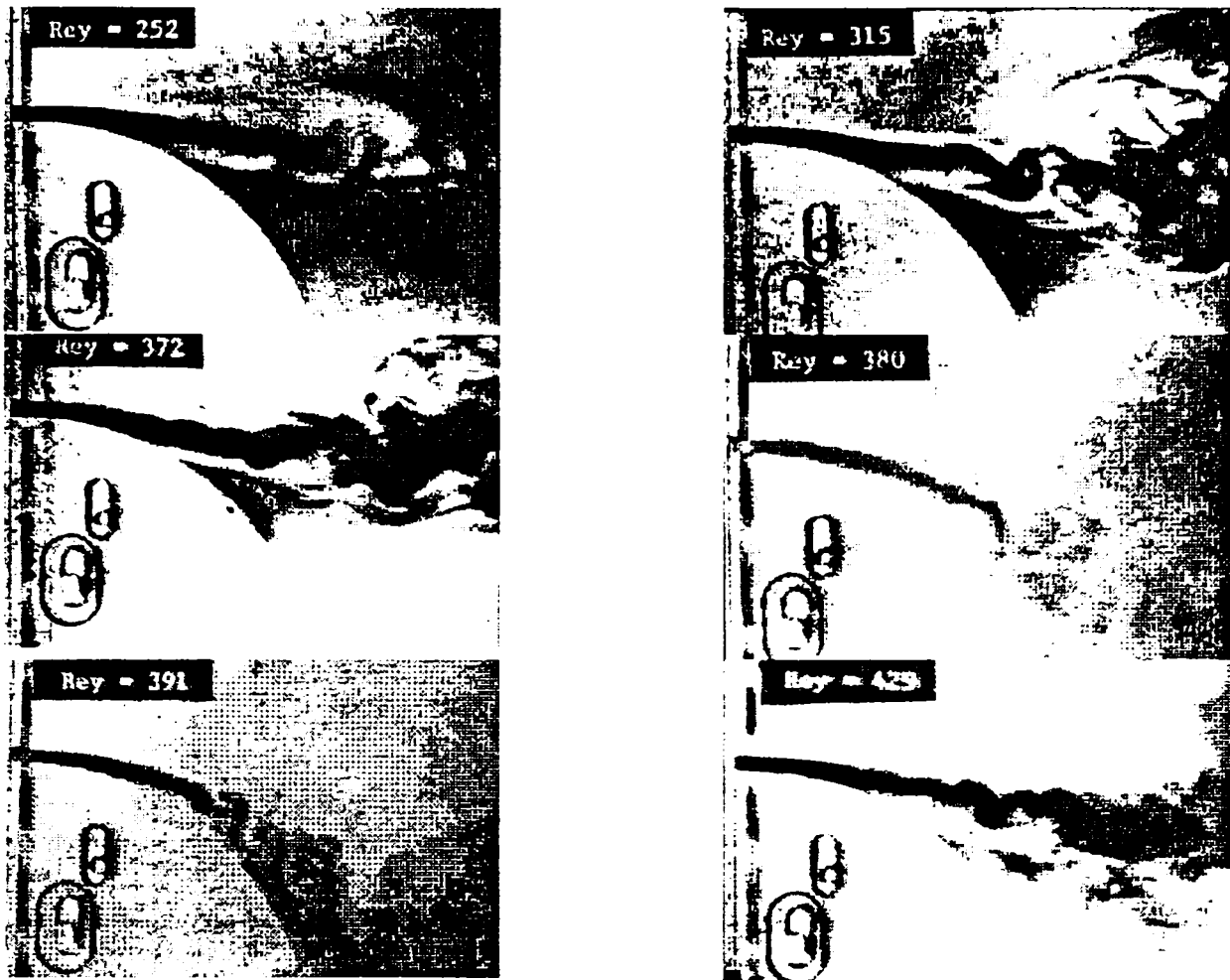


Fig. 1.54 Efectul Coandă. Volet cilindric.
Influenta numărului Re asupra desprinderii. Vizualizări.

. Când numărul Re atinge valoarea Re_{c2} , punctul de reatașare coincide cu cel de desprindere. În concluzie, discontinuitatea în variația cu numărul Re a unghiului de desprindere θ , ca și mărimea histeresisului ($Re_{c1} - Re_{c2}$), sunt determinate de mecanismul procesului tranziției între regimul de mișcare laminară și turbulentă. Rezultă de asemenea că prin modificarea adecvată a numărului Re_{ncids} se poate controla desprinderea jetului.

1.3.2.3 Decalarea voletului în raport cu ajutorul pe verticală și orizontală.

Un efect de histereză este sesizat și pentru o soluție particulară a ajutorului Coandă la care voletul, cilindric, fig.1.55, este decalat pe verticală și orizontală față de peretele inferior al ajutorului.

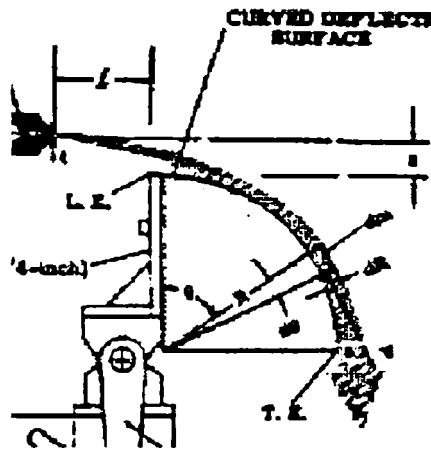


Fig. 1.55 Ajutaj Coandă cu voletul decalat.

Pentru această soluție histereza se referă la desprinderea jetului, fig.1.56 [68] și la variația componentelor forței superficiale exercitate asupra voletului (portanța și rezistența), fig.1.57 [58].

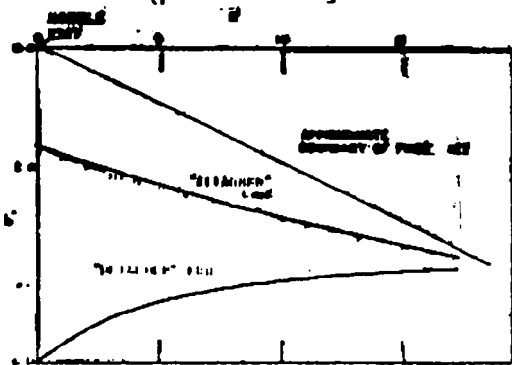


Fig. 1.56 Volet cilindric.
Desprinderea și reatașarea.
Efectul poziției voletului,
Histereza.

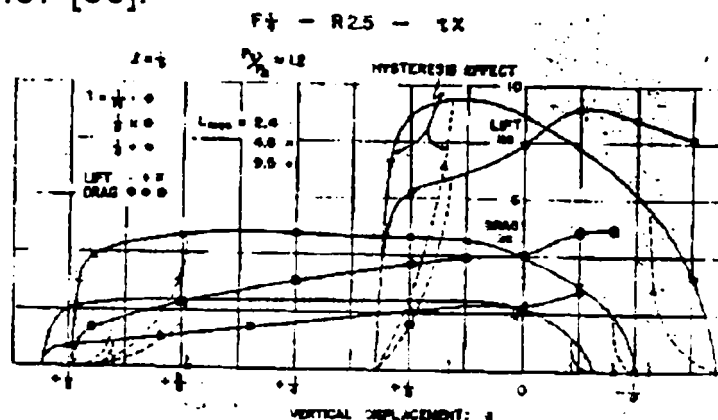


Fig. 1.57 Volet cilindric. Variația portanței și rezistenței. Efectul poziției voletului.
Histereza.

De fapt soluția decalării voletului introduce doi parametri geometrici suplimentari care influențează curgerea Coandă. S. C. Paranjpe & K. Sridhar [80] studiază influența acestor parametri asupra profilului de viteze și poziției punctului de desprindere, iar G. K. Korbacher [70] și S. D. Benner [22] asupra distribuției presiunii și a forțelor exercitate pe volet. Se constată că, pentru valorile adimensionale considerate ale distanțelor ce exprimă decalarea voletului pe verticală și orizontală față de ajutorul, în jetul atașat:

- profilele de viteze sunt afine în zona exterioară a jetului (semijet) [68], fig.1.58;
- depărtarea voletului de ajutor favorizează, fig.1.59 desprinderea [81] și provocă în general o scădere a valorilor portantei și rezistentei [13], fig.1.60;
- doar cota verticală ce poziționează voletul are influență asupra distribuției de presiuni [69], fig.1.61.

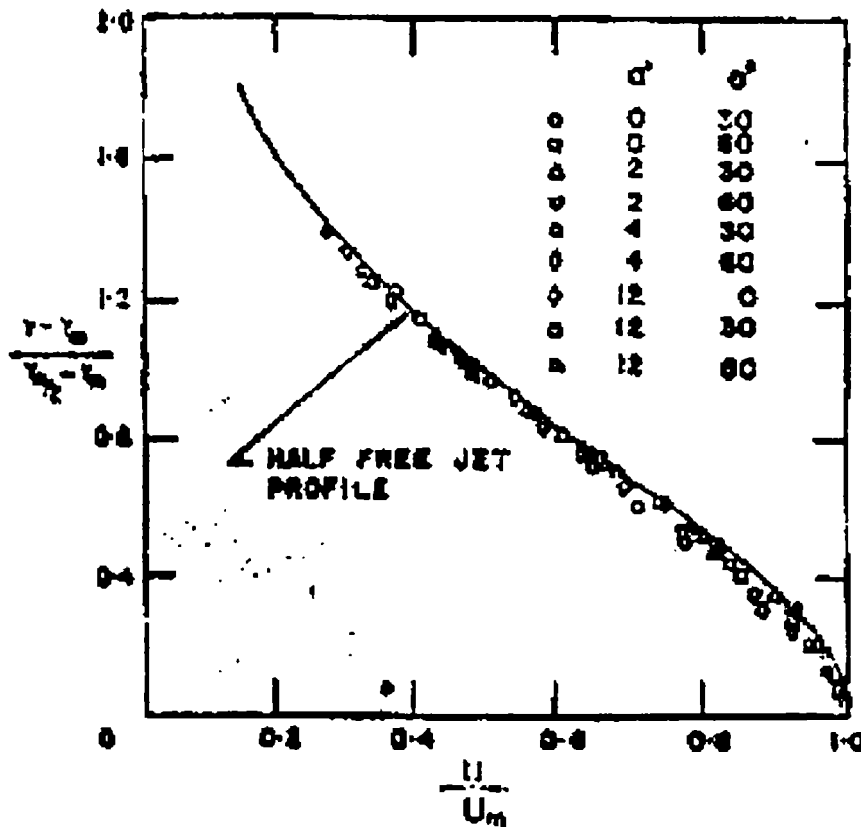


Fig. 1.58 Efectul Coandă. Volet cilindric. Profilul vitezei. Efectul poziției voletului decalat pe orizontala

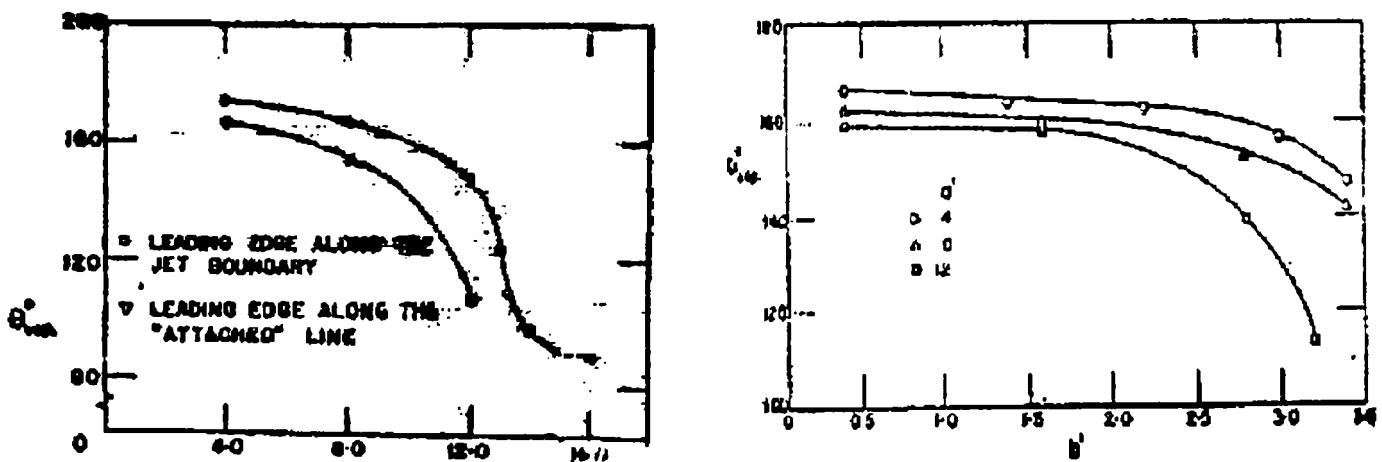


Fig. 1.59 Volet cilindric. Punctul de desprindere a jetului atașat. Efectul poziției voletului decalat pe orizontală și verticală.

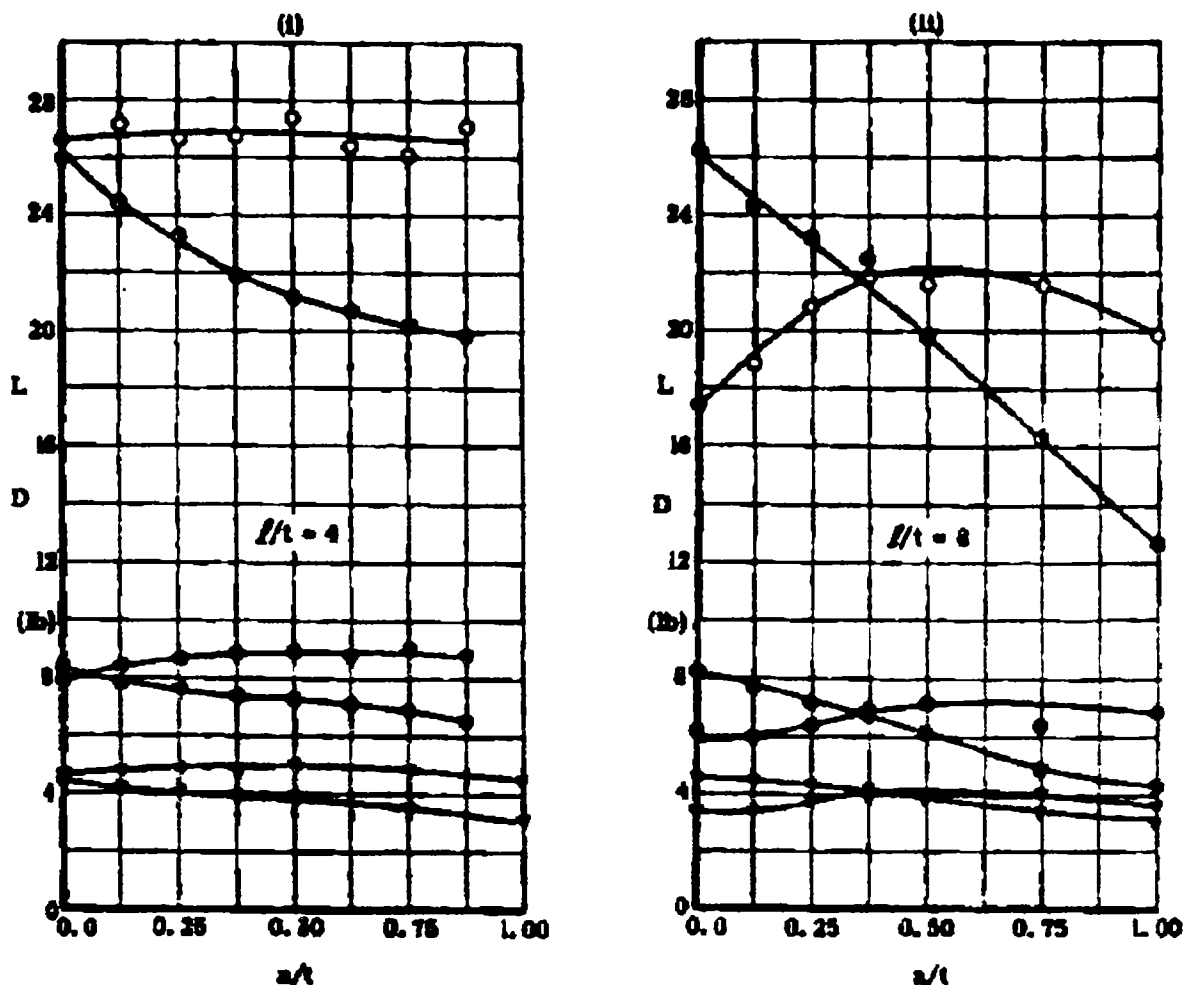


Fig.1.60 Volet cilindric. Fortele exercitate pe volet. Efectul pozitiei voletului.

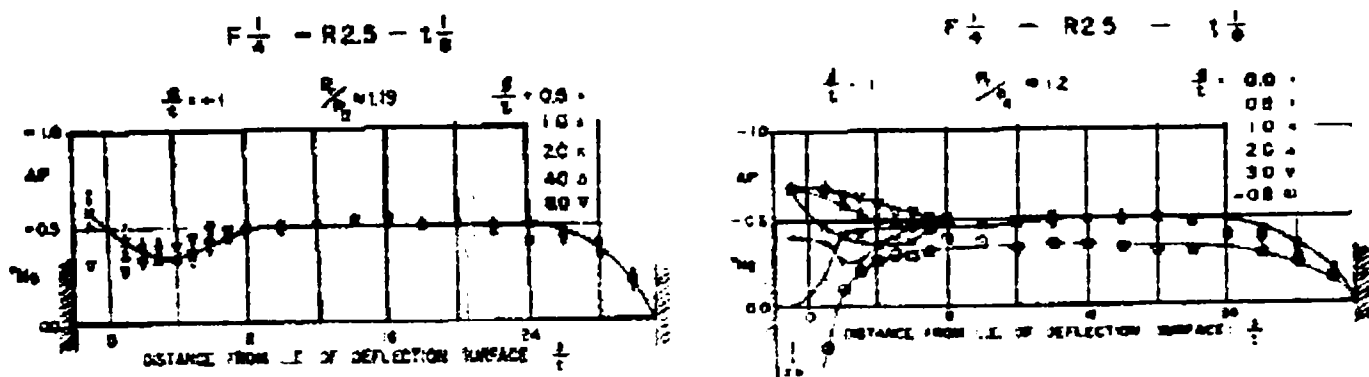


Fig.1.61 Volet cilindric. Distributia de presiuni. Efectul pozitiei voletului.

Obs:

- cotele ce determină pe verticală și orizontală poziția voletului cilindric sunt, relativ la dimensiunile (înălțimea) ajutorului, limitate la valori care să asigure atașarea jetului; în general cu: t - înălțimea ajutorului și l și a cotele pe orizontală și verticală, fig.1.57, nu s-au depășit valorile: $l/t = 32$, $a/t = 10$ [13], [69], [93]; desigur, pentru o geometrie dată a voletului (raza R), există valori care asigură condiții "optime", fig.1.62;

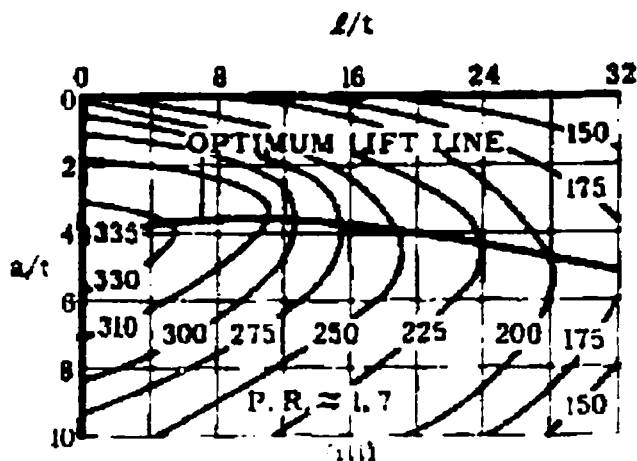


Fig. 1.62 Volet cilindric. Efectul pozitiei voletului. Valorile "optime" ale rapoartelor l/t , a/t care asigură portanta maxima.

- scutia decalării a fost luata în considerare și pentru voleti piani, având aplicabilitate directă la proiectarea elementele fluidice [119].

1.3.2.4 Actiunea câmpului sonor.

Mișcările Coandă se desfășoară în regiuni spatiale ocupate de fluide în mișcare sau repaus. Fluidele ca medii elastice continue constituie și suportul material al propagării unor vibrații, în speta cele sonore. Numeroase observatii au arătat că mișcările de tip jet sunt sensibile la sunete, în sensul ca energia sonoră perturbă stabilitatea mișcării, modifica profilul de viteze, influentează transferul de căldură ș.a. Primele cercetări privind actiunea câmpului sonor asupra jetului deviat prin efect Coandă, în cazul voletului cilindric, au fost efectuate de P. K. Chang, M. J. Casarella & W. Kelnhofer [28], care au urmărit în principal efectul aplicării energiei sonore asupra profilului de viteze.

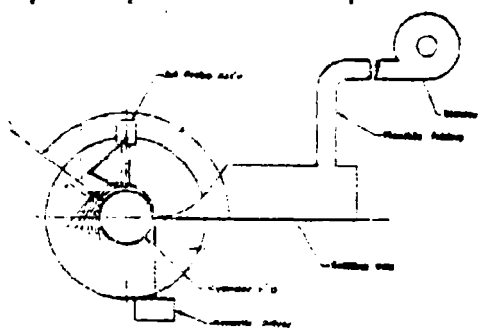
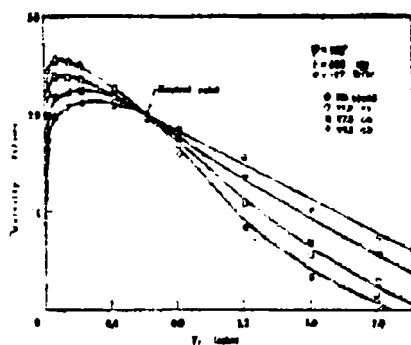


Fig. 1.63 Volet cilindric.



Efectul energiei sonore asupra profilului vitezei in jetul atașat.

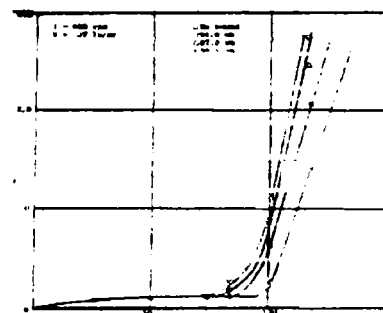


Fig. 1.64 Volet cilindric. Efectul energiei sonore asupra grosimii stratului limită în jetul atașat.

Experiențele au evidențiat în porțiunea de volet la care jetul este atașat, $\phi \in (0, 140)$, că:

- profilul vitezelor se modifică, dar pentru orice secțiune ϕ există un punct "neutru", indiferent la excitarea sonoră, fig.1.63; deasupra acestui punct viteza crește și deci crește debitul antrenat de jet din mediul ambiant datorită probabil undulării frontierei libere sub acțiunea vibrațiilor sonore;
- crește grosimea stratului limită, fig.1.64.

Dacă în [27] energia perturbatoare era direcționată după axa ajutorului, D. O. Rockwell & K. Toda [92] au examinat acțiunea câmpului sonor orientat transversal pe direcția de curgere a jetului plan atașat unui volet cilindric, fig.1.65.

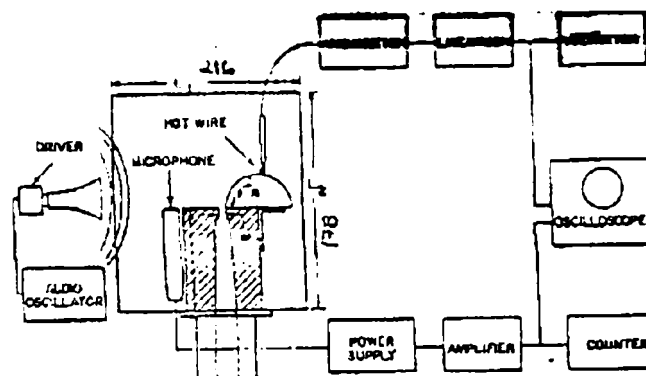


Fig. 1.65 Volet cilindric. Stațiune pentru studiul efectului energiei sonore aplicată transversal pe direcția jetului.

În cadrul experiențelor au fost controlați următorii parametri: numărul Re , (definit în raport cu înălțimea ajutorului), $0.7 \cdot 10^2 \leq Re \leq 18 \cdot 10^2$, frecvența $f \in (373, 3407)$ Hz și intensitatea jetului $A_m = 140$ db. Analiza rezultatelor măsurătorilor a condus la următoarele concluzii:

- efectul câmpului sonor este maxim pentru frecvențe apropiate de cele proprii ale ajutorului;
- frecvența sunetului influențează profilul de viteze într-o măsură mai mare decât amplitudinea, fig.1.66;
- În funcție de regimul de curgere, sunt valori ale frecvenței și amplitudinii care pot provoca atașarea sau desprinderea jetului.

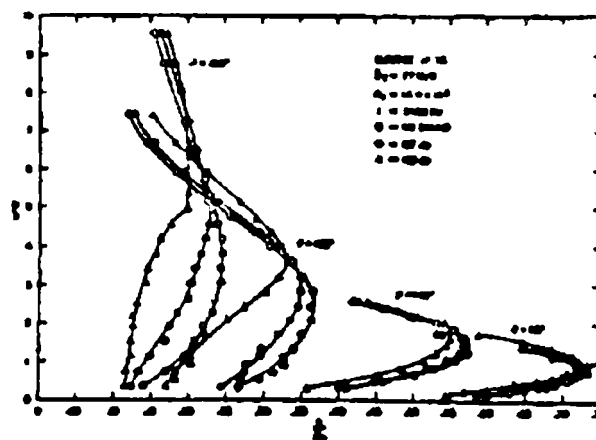


Fig. 1.66 Volet cilindric. Efectul intensității și amplitudinii energiei sonore.

1.3.2.5 Jeturi supersonice.

În evoluția mișcărilor Coandă și în interacțiunea cu câmpurile exterioare un rol important revine și proprietăților fizice intrinseci ale fluidului. Viscositatea, densitatea, compresibilitatea ș.a. Pentru curgerile de tip jet efectul compresibilității este determinant. Sub acest aspect majoritatea lucrărilor privind Efectul Coandă se referă la mișcări subsonice. Problema jetului supersonic deviat prin Efect Coandă este tratată de A. Metral & F. Zerner [75] pentru voletul poligonal, C. Tecdorescu-Tintea [106], [108], pentru voletul plan, A. B. Bailey & W. E. B. Roderick pentru voletul cilindric [13], [93], care au constatat că:

- Efectul Coandă se produce, dacă sunt asigurate, ca la regimul subsonic, corelațiile necesare între factorii energetici și geometrici;
- valorile parametrilor caracteristici (depresiunea, debitul antrenat, forța superficială ce acționează pe volet) sunt în general mai mari decât cele obținute pentru jetul subsonic;
- intervin manifestări specifice determinate de particularitățile curgerii în jetul supersonic.

Astfel, fără a se oferi o analiză unitară, în fig.1.67 sunt comparate [75], distribuțiile de presiuni obținute pentru un volet poligonal, pentru regim subsonic și supersonic. Se remarcă valcarea ridicată a depresiunii la jetul supersonic și prezenta unei zone cu presiuni ridicate în vecinătatea celui de al doilea vârf al voletului.

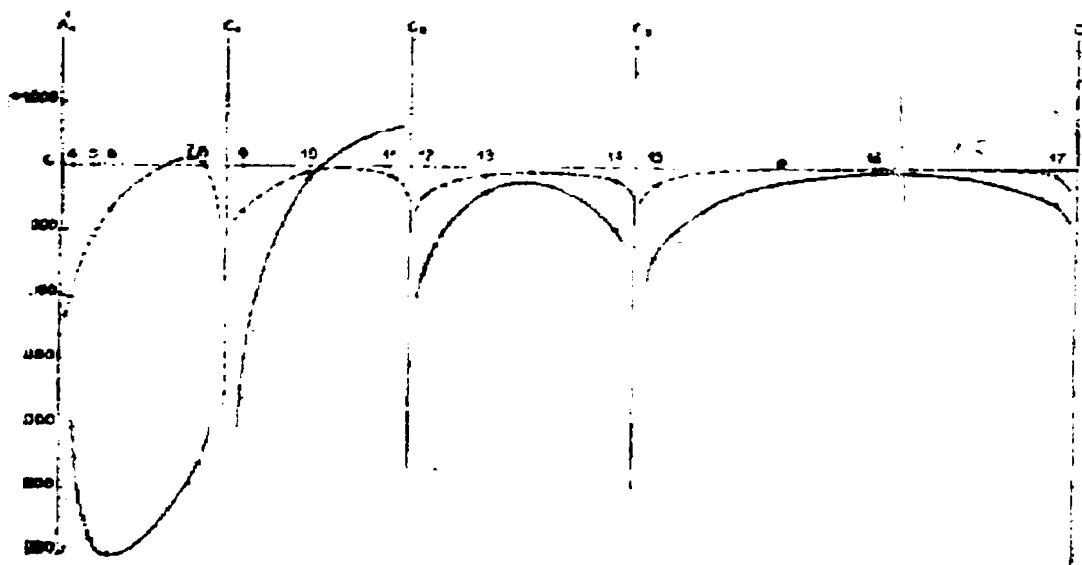


Fig. 1.67 Volet poligonal. Distribuția de presiuni pe volet. Regim sub și supersonic.

Valorile reprezentate în fig.1.67 depind de viteza inițială a jetului, respectiv de presiunea de alimentare a ajutorului. Influența presiunii de alimentare asupra distribuției presiunii este analizată pentru primele două

segmente ale voletului poligonal. La primul segment se disting după concavitate trei tipuri de dependente și se observă că odată cu creșterea presiunii de alimentare depresiunea se accentuează, iar punctul asociat depresiunii maxime se îndepărtează de ajutoraj. La cel de al doilea volet, creșterea vitezei initiale a jetului are efect notabil doar în prima porțiune a voletului.

Pentru voletul plan, la viteze mai mari de 0.3 Ma C. Teodorescu-Tintea [110], constată aceeași tendință de creștere a depresiunii maxime cu creșterea vitezei, fig.1.68, dar pentru unghiul de bracare considerat ($\alpha = 30^\circ$) semnalează și influența înălțimii ajutorajului.

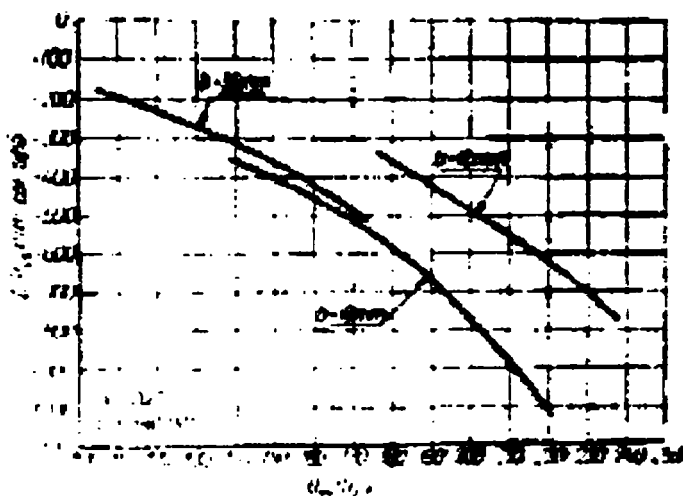


Fig. 1.68 Volet plan. Variația depresiunii maxime pe volet.
Regim supersonic.

Deși creșterea vitezei initiale provocă o "intensificare" a Efectului Coandă, o interpretare coerentă a rezultatelor privind jeturile la care compresibilitatea nu poate fi neglijată este dificilă, în principal datorită prezentei și evoluției undelor de șoc, vizualizate de W. E. B. Roderick [93] fig.1.69, unde identificate și interpretate ca atare și în distribuția presiunilor pe frontiera unui volet cilindric, fig.1.70, data de A. B. Bailey [13].



Fig. 1.69 Volet cilindric. Unde de șoc în jetul supersonic atașat.

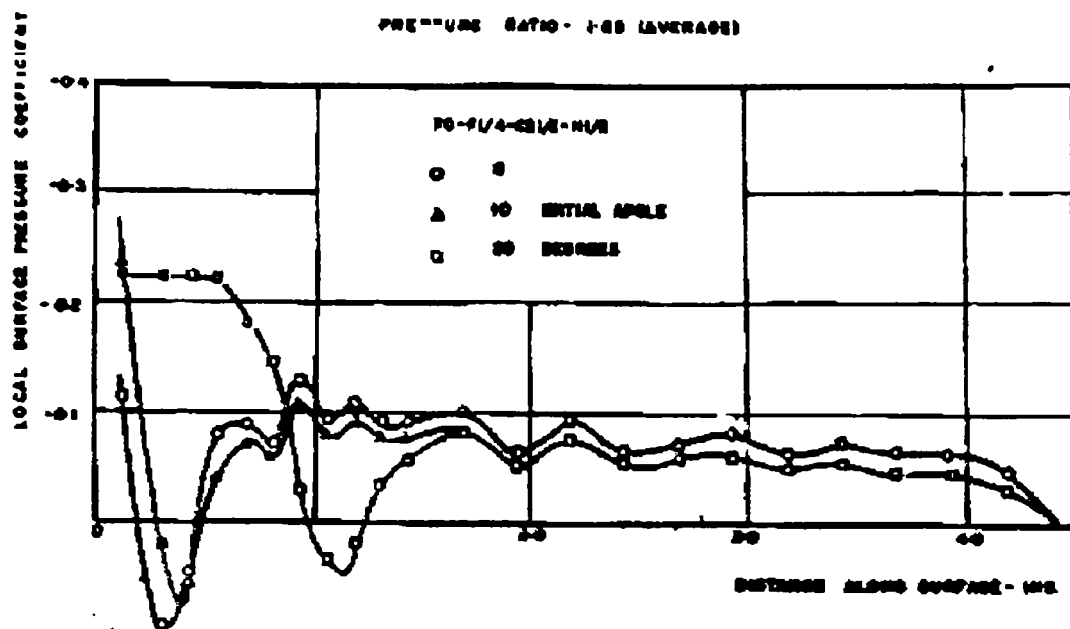


Fig. 1.70 Volet cilindric. Jet supersonic. Distributia de presiuni pe frontiera voletului.

1.3.2.6. Efectul Coandă în prezenta cavitatiei.

Metoda analogiei gazo-hidrodinamice a fost aplicată la studierea pe modele a unor elemente fluidice cu Efect Coandă. K. K. Salnev, B. A. Cerniavski, I. C. Demidov [102], au observat prin filmare rapidă, în condițiile producerii Efectului Coandă, apariția fenomenului de cavitație [8]. În secvențele înregistrate s-a urmărit evoluția bulelor cavitaționale pe frontiera jetului corespunzătoare diferitelor valori ale coeficientului de cavitație: $C_p = (p_\infty - p_v) / (\rho V^2/2)$. În expresia acestui coeficient termenii au următoarea semnificație: p_∞ - presiunea din amonte la "infinit", p_v - presiunea de vaporizare a apei, V - viteza jetului în secțiunea de eflux a ajutorajului. În faza incipientă cavitația se manifestă prin formarea unor microvârtejuri periodice care provoacă oscilații ale traiectoriei jetului, fig.1.71. Aceste microvârtejuri constituie centre de nucleație pentru bulele cavitaționale. Gradul de dezvoltare a fenomenului de cavitație depinde de frecvența de formare a microvârtejurilor și valorile coeficientului C_p . Implozia bulelor are loc în punctul de impact al jetului cu voletul.

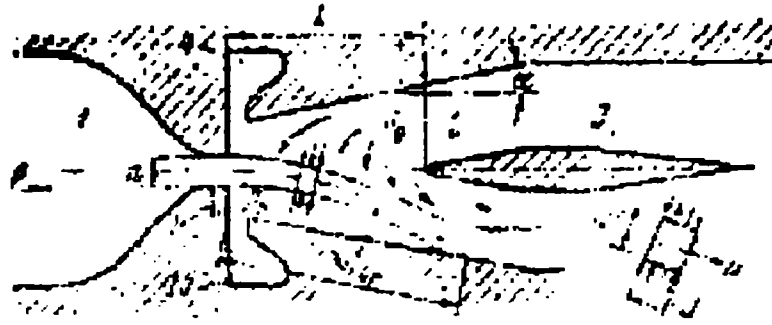


Fig. 1.71 Jet lichid deviat prin Efect Coandă. Aparitia cavitatiei.

1.3.2.2 Influenta temperaturii voletului.

Numărul Reynolds pentru conditii geometrice și cinematice impuse se modifică odată cu viscozitatea fluidului. Cu aceasta idee McGlaughlin & Taft [71] au analizat efectul temperaturii voletului și au constatat, fig1.72, că pe măsura ce temperatura crește, în punctele de salt, unghiul de desprindere scade, și crește numărul Re_{c1} . Pentru un raport $T_w / T_A = 2$ (T_w - temperatura voletului, T_A - temperatura mediului ambiant) nu mai apare tranzitia și, pe măsură ce numărul Reynolds se apropie de valcarea critică Re_{c1} , jetul devine instabil.

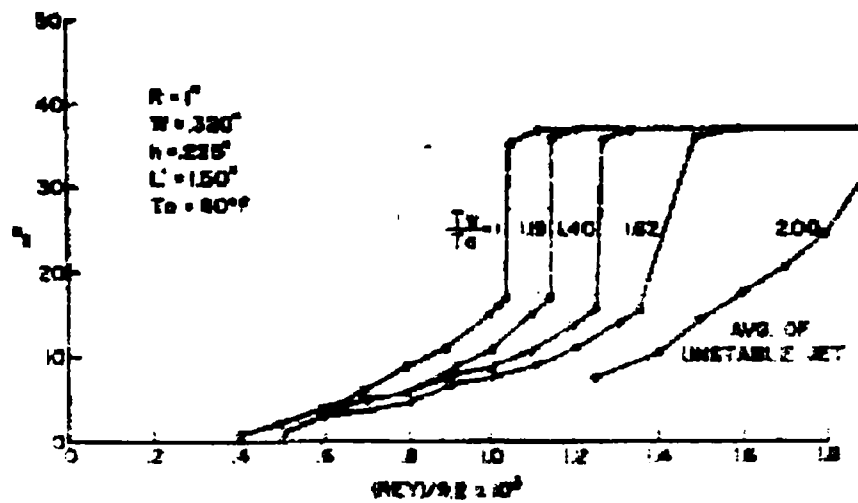


Fig. 1.72 Efectul temperaturii asupra punctului de desprindere.

1.4 Concluzii.

1. Efectul Coandă constituie un fenomen remarcabil caracterizat prin:

- a) devierea jeturilor (relativ subțiri), față de direcția inițială a ajutorului în prezența unor frontiere solide (voleti);
- b) atașarea jetului la volet pe o anumită porțiune a acestuia;
- c) prezența, ca urmare a atașării, a unei zone depresionare pe suprafața voletului, și în consecință
- d) apariția unei forțe superficiale cu o importantă componentă sustentatoare,
- e) antrenarea în exces față de jetul nedeviat a fluidului din mediul ambiant.

2. Procesul devierii jetului este datorat antrenării și absorbției fluidului aflat inițial în regiunea spațială delimitată de frontiera jetului și de suprafața voletului. Intensitatea acestui proces este condiționată de asigurarea caracterului bidimensional al mișcării în curgerea de tip jet, și de realizarea unor condiții de "compatibilitate" între parametrii geometrici ai ansamblului ajutor-volet și cei energetici (viteza medie, debit, impuls) asociați mișcării în secțiunea de eflux a ajutorului. Rezultă deci că devierea constituie un proces condiționat și că există valori corelate ale mărimilor energetice și geometrice care favorizează și măresc intensitatea devierii, precum și valori la care procesul de deviere nu mai are loc.

3. Geometria voletului este determinantă pentru producerea și apariția Efectului Coandă, dar nu s-au stabilit criterii care să definească o configurație "optimală".

4. Există o distincție între devierea și atașarea jetului. Atașarea reprezintă o deviere completă la care una din frontierele jetului se identifică cu frontiera solidă (voletul).

5. În acest sens se definesc mișcările (curgerile) Coandă, în care jetul este atașat voletului pe toată "înjghețea" sa, suprafața acestuia fiind depresionară.

6. Rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale, relativ numeroase, au condus la o mai intimă cunoaștere și permit o abordare calitativ superioară a Efectului Coandă. Cu toate acestea:

- nu există un model matematic general valabil;
- cercetările experimentale, pornind de la evidențierea fenomenului, evaluarea unor parametri globali și ajungând la investigarea câmpurilor de viteze, presiuni, turbulență sunt indispensabile în conturarea unor configurații optime, specifice unor obiective și dispozitive concrete; ele sunt obligatorii în cazul aprecierii influenței unor câmpuri exterioare.

7. Prin performanțe, caracteristici, aplicabilitate și accesibilitate tehnologică Efectul Coandă constituie un fenomen cu resurse inepuizabile de utilizare în tehnică

2 Obiectivele lucrării. Dispozitive și instrumente, modelul și metoda de simulare numerică utilizate

2.1 Obiectivele lucrării

Din punct de vedere aerodinamic Efectul Coandă este un fenomen complex a cărui producere și evoluție este condiționată și determinată de parametrii geometrici specifici. În consecință modelele teoretice și rezultatele experimentale sunt tributare acestor parametri și se referă la situații particulare. Dar, indiferent de situație, caracteristicile globale, esențiale și definitorii care privesc:

- generarea pe suprafața a voletului a zonei de depresionare,
- prezența unor forțe superficiale cu o componentă sustentatoare majoră,
- antrenarea și absorbția de către jetul deviat a fluidului din mediul ambiant,

conferă Efectului Coandă valențe eminamente aplicative, concretizate în cadrul unor procese și dispozitive în multe domenii. Se poate aprecia că prin aportul și ingeniozitatea gândirii ingineresti Efectul Coandă va constitui și în viitor o sursă pentru noi soluții în creația tehnică.

În acest context lucrarea și-a propus ca obiectiv conceperea, proiectarea, execuția și încercarea următoarelor dispozitive cu Efect Coandă:

- traductor pneumatic
- dispozitiv de generare a Efectului Magnus
- ejector
- profile aerodinamice

În faza de proiectare s-a impus ca necesară concentrarea din datele disparate din literatură a elementelor și relațiilor de calcul a parametrilor specifici Efectului Coandă. Pentru dispozitivele menționate s-a urmărit:

- să se confirme valabilitatea soluției,
- să se determine parametrii și caracteristicile funcționale,
- să se evidențieze prin simulare numerică și să se interpreteze mișcarea generată prin Efect Coandă.

2.2 Stațiuni și instrumente de măsură utilizate.

Încercările s-au efectuat cu și în aer cu precizarea ca regimurile de curgere au fost subsonice iar mișcarea fluidului considerată ca homocoră. Pentru efectuarea încercărilor au fost concepute sau adaptate stațiuni în cadrul cărora s-au măsurat următorii parametri:

- presiunea;
- viteza;
- gradul de turbulență;
- debitul.

Dispozitivul de generare prin Efect Coandă a Efectului Magnus și profilele aerodinamice au fost studiate în tunelul aerodinamic în circuit închis cu vena liberă, Laboratorul de aerodinamică, Facultatea de Mecanică, Universitatea "Politehnica" Timișoara, fig.2.1, [15], [16], [48].

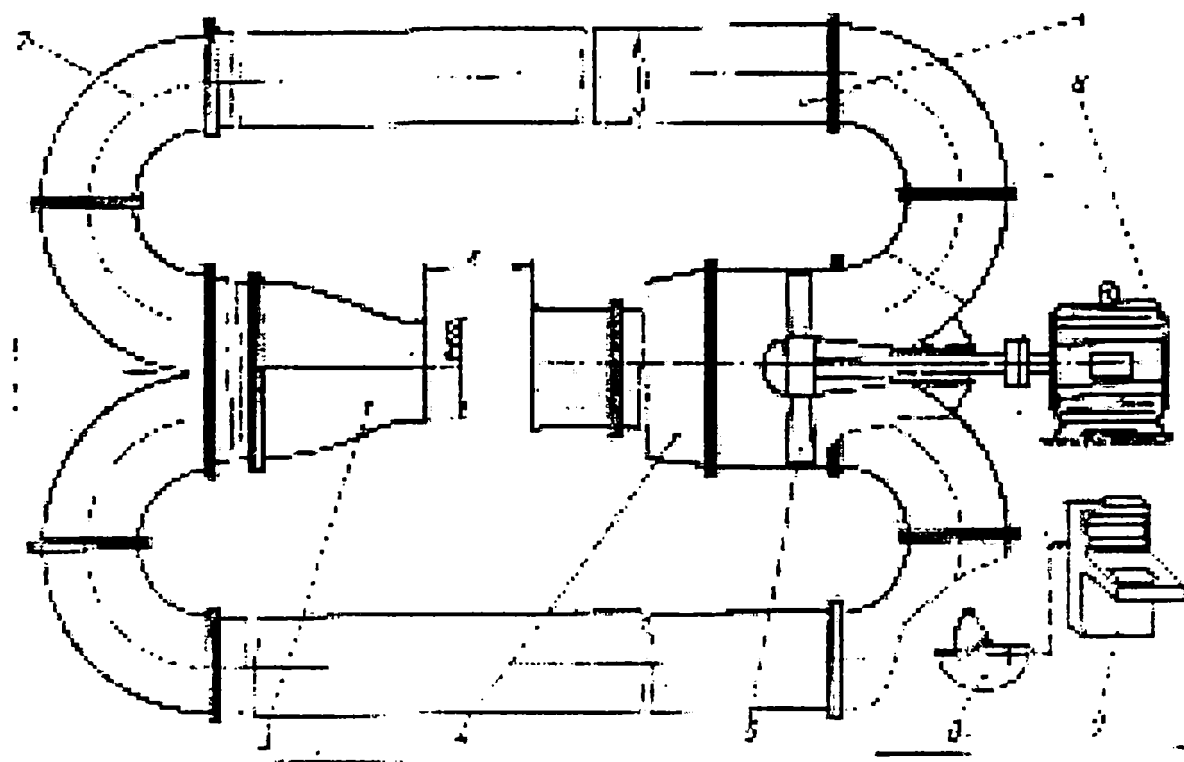


Fig. 2.1 Tunel aerodinamic în circuit închis.

Pentru testarea traductorului pneumatic și a ejectorului au fost concepute stațiuni distincte cu destinație exclusivă. La fiecare dispozitiv ca sursa de alimentare a ajutoarelor Coandă s-a utilizat: compresorul cu piston EC 1, Uzina de motoare și compresoare București, fig.2.2, și respectiv o mașină volumică rotativă cu palete culisante, fig.2.3.

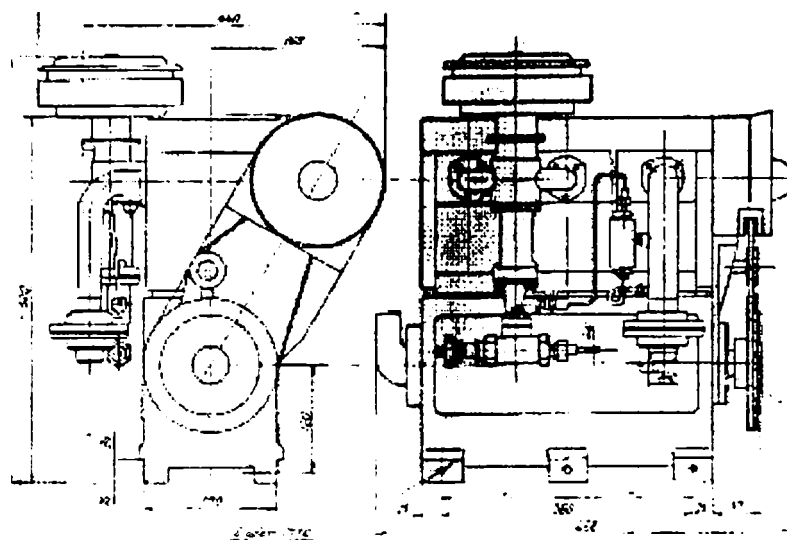


Fig.2.2 Compresor EC 1.

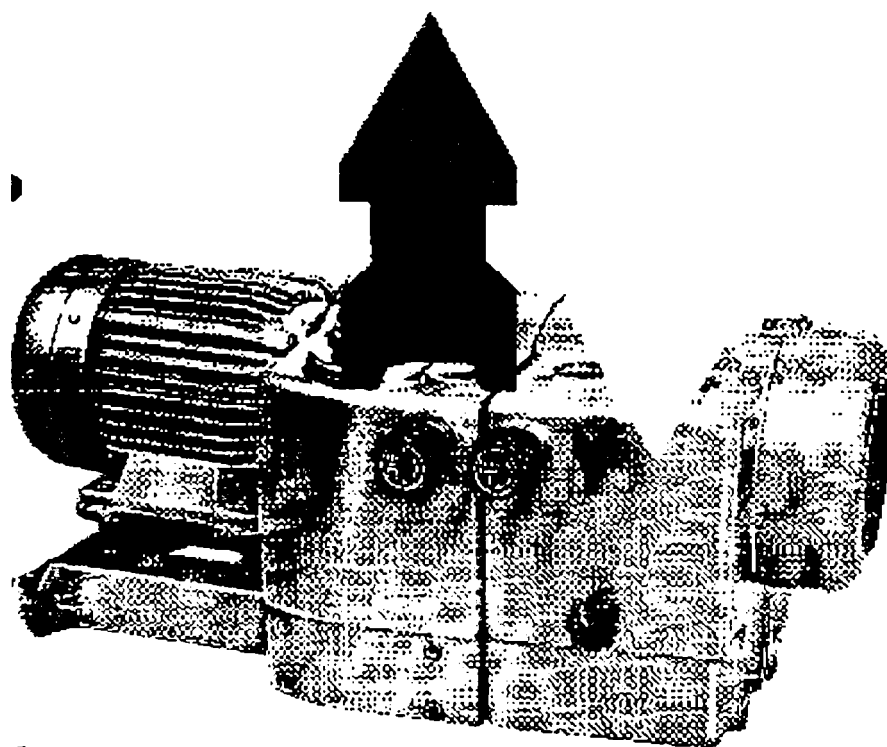


Fig.2.3 Mașină volumică rotativă cu palete culisante.

Instrumentele folosite au fost

- pentru presiune, manometre, piezometre [15], [72], și ca element performant traductorul cu lichid magnetic, [88].

- pentru viteze și grad de turbulență (în ipoteza că mișcarea turbulentă este statistic izotropă) [86], traductorul cu fir cald, fig.2.4, conectat la termoanemometrul DISA A01, [32], fig.2.5; pentru fiecare măsurătoare a fost necesară etalonarea traductorului; fig.2.6 și fig.2.7, prezintă instalația de etalonare a sondelor termoanemometrice cu fir cald și respectiv o curbă de etalonare.

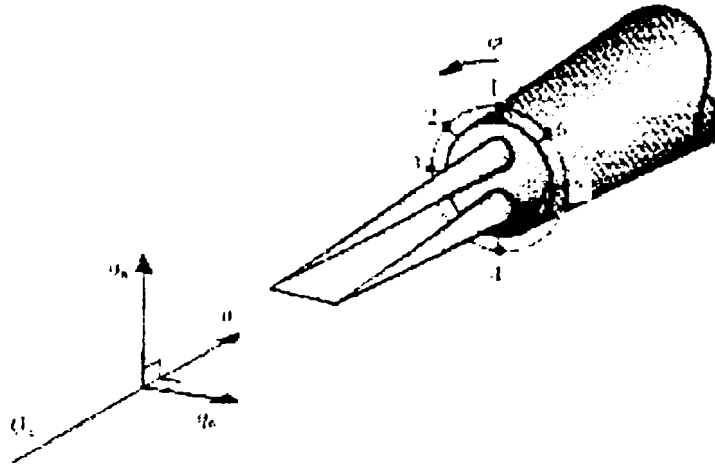


Fig. 2.4 Traductor cu fir cald.

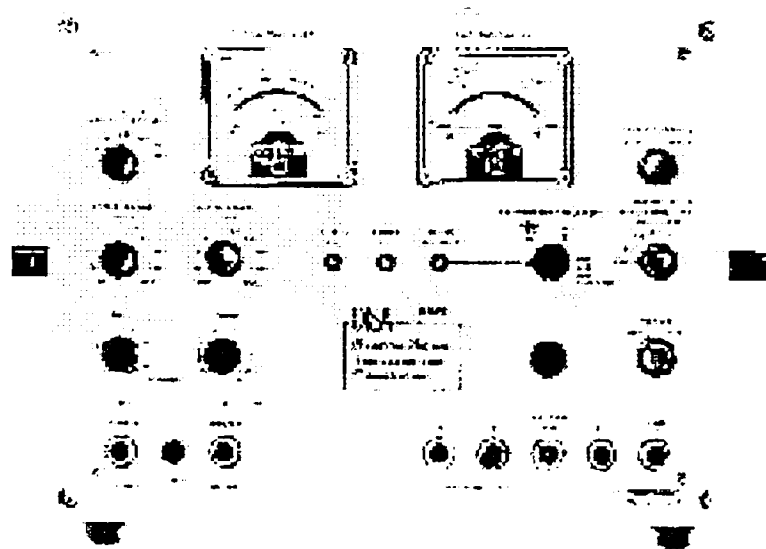


Fig. 2.5 Termoanemometrul DISA A01



Fig. 2.6. Instalația de etalonare a traductoarelor cu fir cald-DISA.

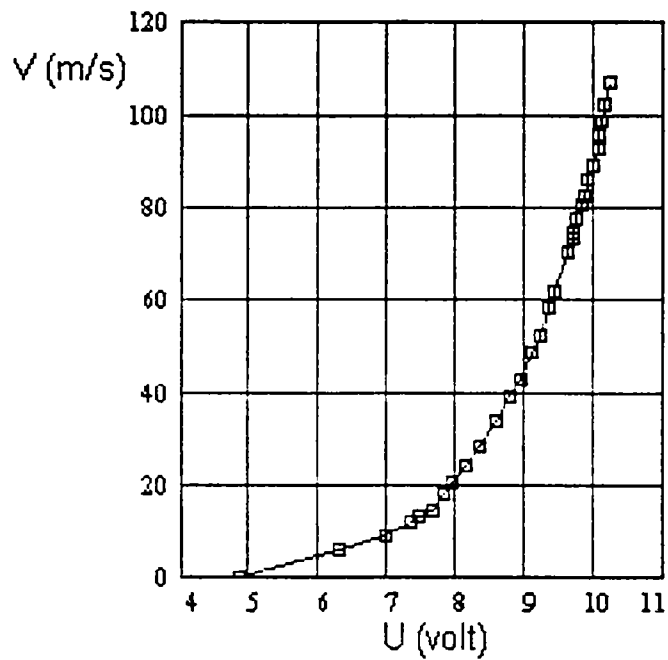
Curba de etalonare
DISA P 15

Fig. 2.7 Curba de etalonare a traductorului cu fir cald.

- pentru debit, ajutaje profilate cu profil interior bicubic [32], și debitmetru termic SETARAM U70; [99], fig.2.8

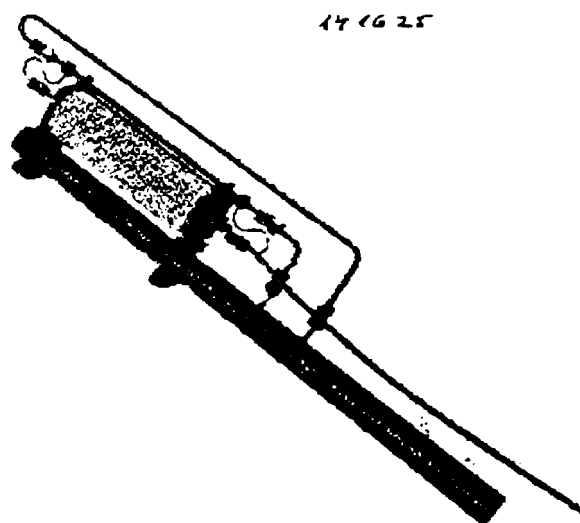


Fig. 2.8 Debitmetru termic SETARAM U 70.

2.3 Modelul matematic și metoda de solu ionare numerică a curgerii

Cercetările experimentale au confirmat viabilitatea solu iilor și au stabilit parametrii și caracteristicile func ionale ale dispozitivelor cu Efect Coandă studiate. Parametrii determina i sunt de fapt măsuri care caracterizează global mișcarea fluidului, mișcare definită prin intermediul câmpurilor de viteze și presiuni și ilustrată prin liniile de curent (spectrul mișcării). Pentru determinarea acestor câmpuri s-a acceptat că mișcarea fluidului - homocoră turbulentă statistic sta ionară - poate fi tratată ca bidimensională. În ipotezele men ionate mișcarea este modelată de ansamblul constituit din expresiile corespondente ale ecua iilor de continuitate, Navier-Stokes (Reynolds) și de transport a energiei cinetice K și a disipa iei turbulente ε : [86], [30]:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0$$

$$\rho U \frac{\partial U}{\partial x} + \rho V \frac{\partial U}{\partial y} = \rho F_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[(2\mu + \mu_t) \frac{\partial U}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right]$$

$$\rho U \frac{\partial V}{\partial x} + \rho V \frac{\partial V}{\partial y} = \rho F_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[(2\mu + \mu_t) \frac{\partial V}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right]$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{K^2}{\varepsilon}$$

$$\rho V_j \frac{\partial K}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\mu_t}{\sigma_K} + \mu \right) \frac{\partial K}{\partial x_j} \right] + \mu_t \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial V_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon$$

$$\rho V_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} + \mu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_1 \mu \frac{\varepsilon}{K} \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial V_i}{\partial x_j} - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{K}$$

Cu acestea pentru condi iile la limită specifice, fiecărui domeniu, sistemul a fost solu ionat numeric prin metoda elementului finit cu programul specializat COSMOS, varianta didactica [31], limitată la cca. 1000 de elemente izoparametrice. La acest program parametrii C_1 , C_2 , σ_K , σ_ε , sunt defini i în cadrul modelului k - ε al turbulentei. Rezultatele ob inute dau o imagine relevanta asupra mișcării. Prin simulare numerică aceste rezultate au permis și analiza în vederea optimizării a unor variante geometrice.

3 Parametrii caracteristici Efectului Coandă. Elemente de calcul.

Lipsa unui model matematic unitar, diversitatea condițiilor în care s-au efectuat experiențele, rolul determinant al elementelor geometrice fac necesară și utilă concentrarea datelor care să permită la proiectarea dispozitivelor cu Efect Coandă estimarea parametrilor preconizați. Pentru tipurile de volet plan, poligonal, cilindric și spirală logaritmică aceste date se referă la:

- profilul vitezei în jetul deviat;
- distribuția presiunii;
- forța superficială exercitată.

3.1 Profilul vitezelor în jetul deviat prin Efect Coandă.

Tabloul mișcării fluidului poate fi analizat și prin intermediul câmpului de viteze. La jeturi acest câmp este ilustrat prin profilul vitezei. Spre deosebire de jetul nedeviat, la curgerea Coandă profilul vitezei prezintă următoarele particularități:

- distribuția vitezelor nu mai respectă simetria față de o axă;
- profilul vitezelor se deformează continuu de-a lungul voletului, fig.3.1;
- în orice punct după normala la volet, în repartitia vitezelor se disting doua zone: zona adiacentă voletului - stratul limită și zona exterioară de tip semijet, fig.3.2.

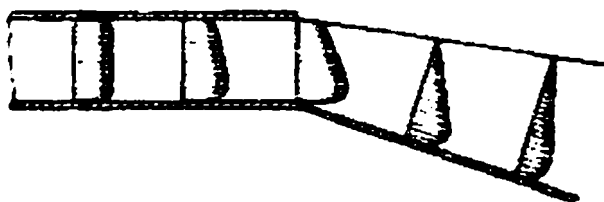


Fig. 3.1 Câmpul vitezelor în jetul deviat.
Volet plan.

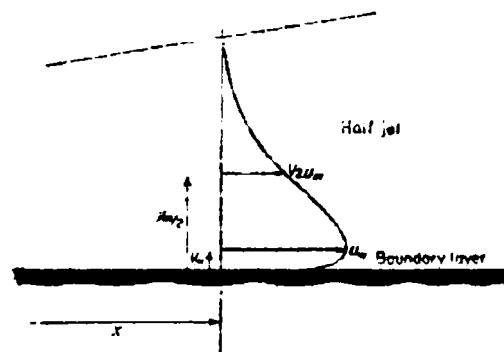


Fig. 3.2 Profilul vitezei în jetul deviat.

Pentru zona exterioară - semijet, se consideră în general valabilă expresia dată de Glauert [78], [97], [98]:

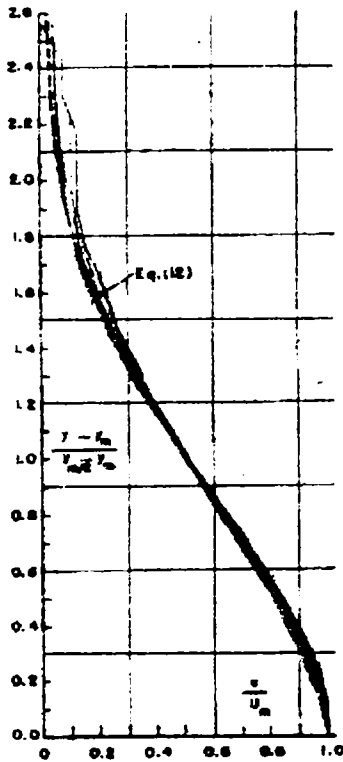
$$\frac{u}{u_m} = \sec h^2 \left\{ 0.88 \left(\frac{y - y_m}{y_{m/2} - y_m} \right) \right\} \quad (3.1)$$

Zona adiacentă voletului în jetul deviat prin Efect Coandă este tratată în conformitate cu reprezentarea și metodologia aplicată în teoria stratului limită, și marcată de prezența substratului viscos și a zonei exterioare acesteia de valabilitate a legii logaritmice. Pentru aceste zone sunt acceptate relațiile generale [98], [39], [56], [62]:

$$u / u_\tau = k(y u_\tau / \nu) \quad \text{substrat viscos} \quad (3.2)$$

$$u' / u_\tau = A \log(u_\tau y / \nu) + B \quad \text{legea logaritmică} \quad (3.3)$$

Cu aceasta reprezentare unanim acceptată, în cadrul unor modele teoretice sau în urma prelucrării rezultatelor experimentale s-au obținut relații cu care se pot determina anumiți parametri caracteristici câmpului de viteze.



Volet plan

T. Sarpkaya & D. C. Richardson [95], prin măsurătorile efectuate în jetul turbulent în prezența voletului plan, confirmă valabilitatea relației (3.1), fig.3.3, stabilită în ipoteza că profilele de viteze sunt afine [52].

Fig. 3.3 Profilul vitezei în semijet. Volet plan.

Pentru zona de strat limită a jetului turbulent atașat ipoteza profilelor de viteze afine nu mai este valabilă. Considerând ca, pentru aceasta zonă distribuția de viteze respectă legea exponențială. [95], [85], fig. 3. 4, arată ca, valcile acestui exponent variază $1/n \in (1/7, 1/14)$.

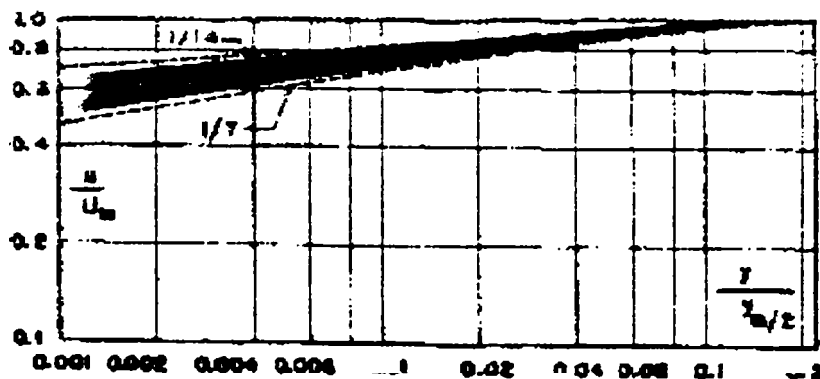


Fig. 3.4. Profilul de viteze în zona de strat limită a jetului deviat. Volet plan.

Volet cilindric

Pentru voletul cilindric B. G. Newman [78] da următoarea expresie de calcul a distanței, măsurată după normala (raza) la care în jetul turbulent deviat viteza este jumătate din cea maximă ($V_{max}/2$):

$$\frac{y_m/2}{R\theta} = 0.11 \left(1 + 1.5 \frac{y_m/2}{R} \right) \quad (3.4)$$

la care se pot adăuga și diagramele date de Fernholz [39], care pun în evidență și influența dimensiunilor ajutorului (înălțimea h și lățimea b), fig.3.5, și verifică valabilitatea relațiilor (3.1), fig. 3.6, și (3.3), fig.3.7.

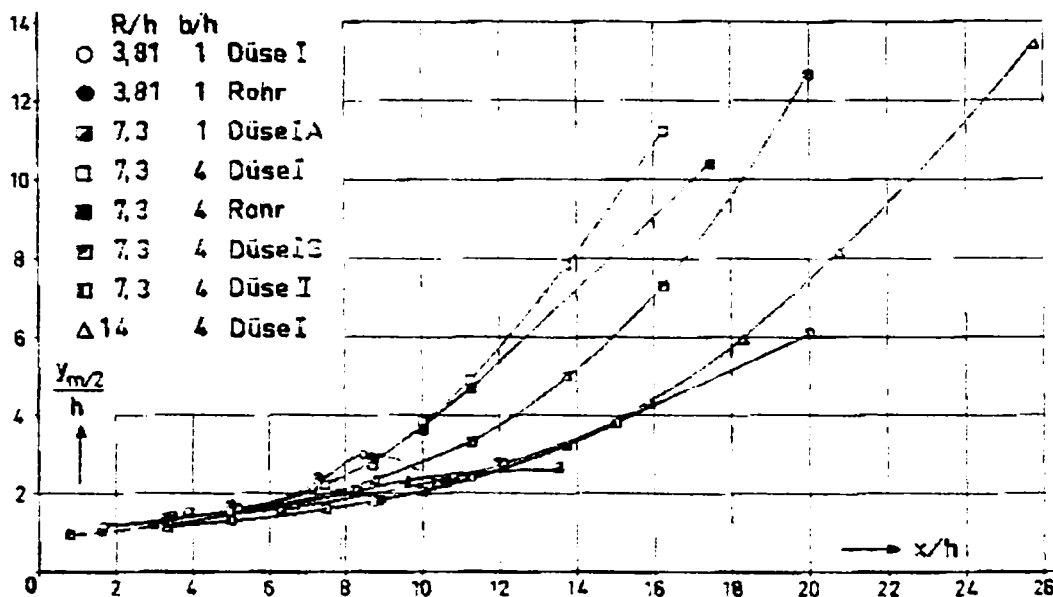


Fig. 3.5 Volet cilindric. Poziția în profilul vitezei după normala la volet a punctului corespunzător valcii înjumătățite a vitezei maxime.

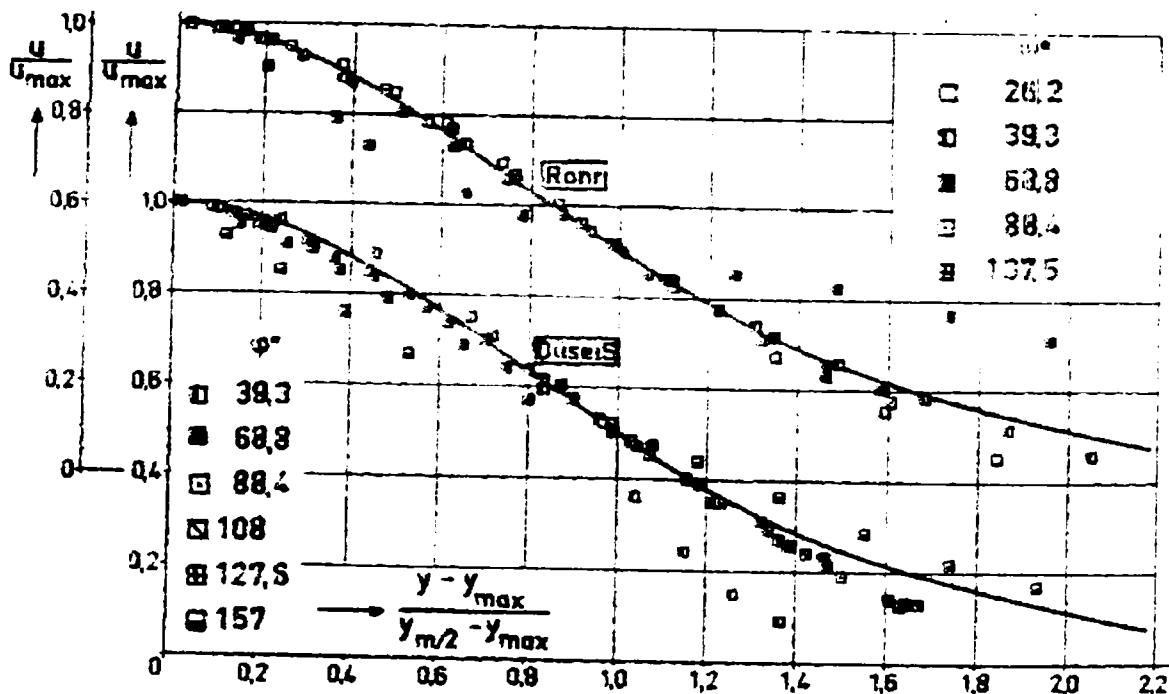


Fig. 3.6 Volet cilindric. Profilul vitezelor în semijet.

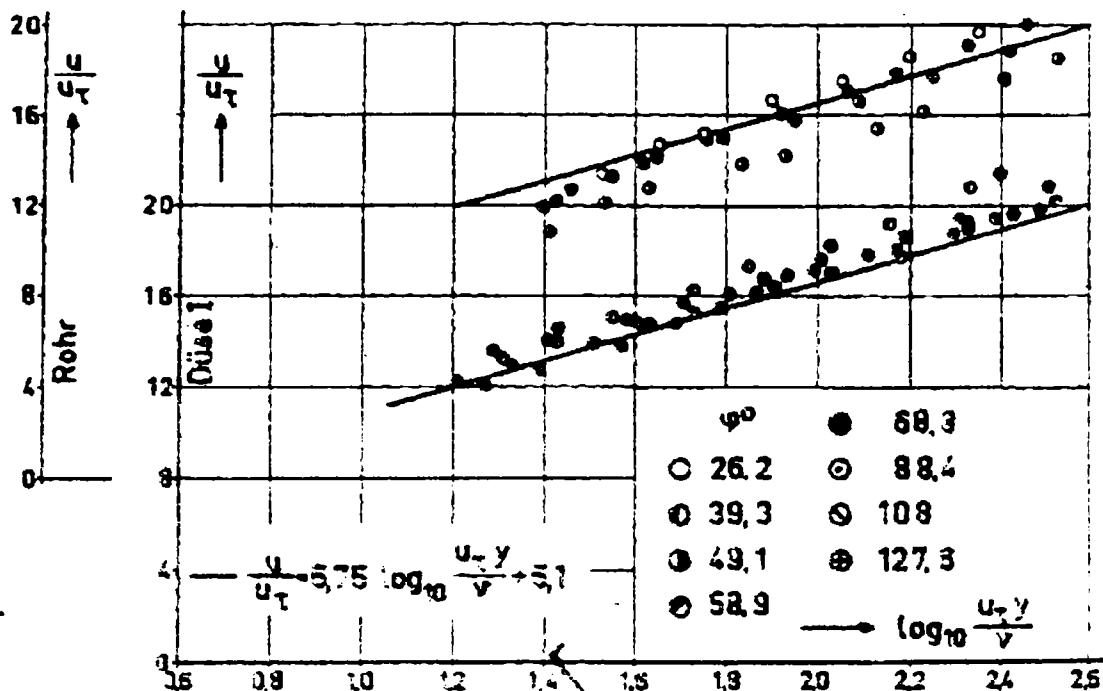


Fig. 3.7 Volet cilindric. Viteza în jetul deviat. Legea universală la perete.

P. K. Chang [27] oferă, cu notațiile din fig.3.3, pentru regiunea de strat limită și pentru semijetul exterior relații distincte pentru regimul laminar și cel turbulent

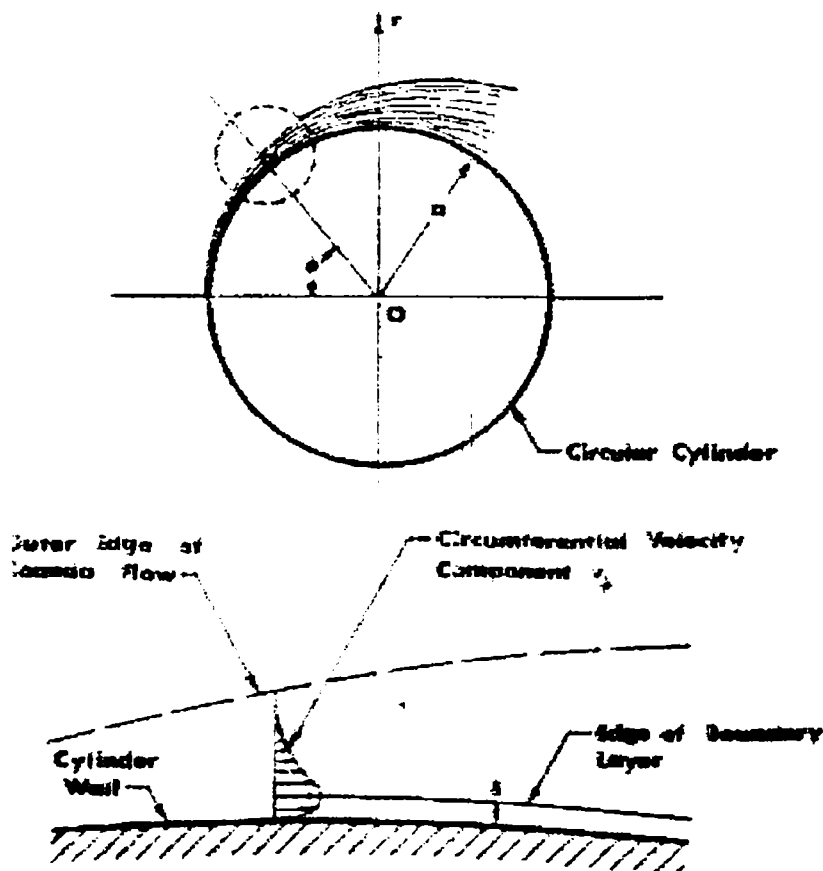


Fig. 3.8 Volet cilindric. Profilul vitezei.

$$\left. \begin{aligned} \frac{v_\phi}{\alpha^2} &= \frac{2}{3} \phi^{-1/3} [1 - \tanh^2 \xi_L] \\ \frac{\delta}{a} &= 1.065 \frac{\phi^{2/3}}{(\text{Re} \alpha^2)^{1/2}} \end{aligned} \right\} \text{ laminar} \quad (3.5)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{v_\phi}{\left(\frac{K\sigma}{a}\right)^{1/2}} &= 0.866 \phi^{-1/2} [1 - \tanh^2 \xi_T] \\ \frac{\delta}{a} &= \left(1.065 \frac{\varepsilon_\theta}{\sqrt{aK\sigma\theta}}\right)^{1/2} \phi \end{aligned} \right\} \text{ turbulent} \quad (3.6)$$

cu: $\eta = \ln(r/a)$ $\xi_L = \frac{\alpha}{3} \left(\frac{v}{a}\right)^{-1/2} \phi^{-2/3} \eta$ $\xi_T = \sigma \frac{n}{\phi}$ cu α o constantă empirică care rezultă din condiția: $0.825 \left[\frac{K}{(\alpha v)^{1/2}}\right]^{1/2} = \text{cr.}$ unde cu $K = \int_0^a \rho v_\phi^2 dr = cr$ s-a notat impulsul jetului.

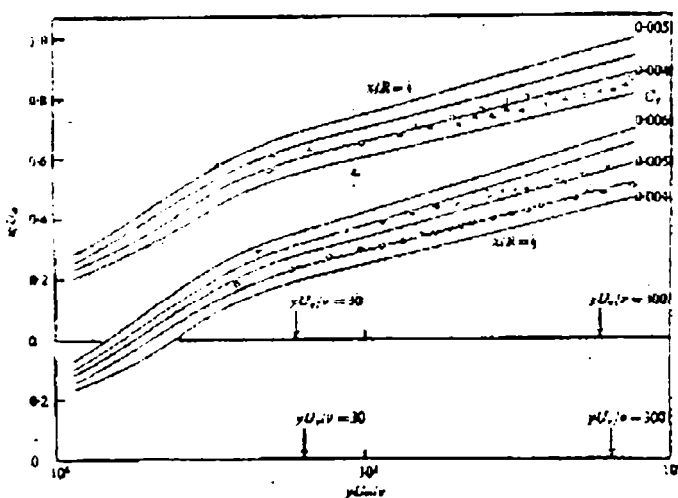
Volet spirală logaritmică.

Pentru voletul de tip spirala logaritmică la care raza de curbura este proporțională cu distanța, $x/R = ct$, D. E. Guitton & B. G. Newman [56] stabilesc din măsurători că:

- este satisfăcută relația:

$$dy_{1/2m} / dx = 0.071 + 0.8y_{1/2m} / R \quad (3.7)$$

unde $y_{1/2m}$ are aceeași semnificație ca și la voletul cilindric, iar R este raza locală de curbură;



- viteza maximă în jetul deviat de-a lungul voletului variază cu distanța x, dar depinde de coeficientul de frecare și de curbură:

$$u_m \propto x^\alpha, \alpha \approx -1.2 \quad (3.3)$$

- legea logaritmică la perete (3.3) este valabilă, fig. 3.9, cu $A = 5.5$ și $B = 5.45$, pentru $30 \leq yu_\infty / \nu \leq 300$

Fig. 3.9 Profilul vitezei în zona de strat limită a jetului deviat prin Efect Coandă. Volet spirală logaritmică ($x/R=ct$). Legea logaritmică la perete.

Pentru aceeași geometrie de volet de tip spirală logaritmică dar pentru alte valori ale raportului x/R , la Kamemoto [62] diferențele apar doar în ceea ce privesc constantele din legea universală la perete (3.3), $A = 5.2$, $B = 7.8$, fig.3.10.

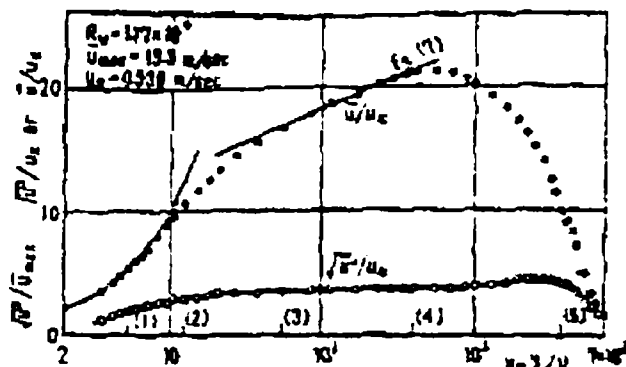


Fig. 3.10 Profilul vitezei în zona de strat limita a jetului deviat prin Efect Coandă. Volet spirala logaritmică ($x/R = ct$). Ecuațiile (3.2) și (3.3).

3.2 Distribuția presiunii pe volet.

Repartiția presiunii pe volet evidențiază prezenta și caracterizează "intensitatea" Efectului Coandă. Aceasta repartiție influențată și de impulsul jetului, unghiul de bracare, dimensiunile ajutorului (relative) este determinată de geometria voletului. Pentru un volet cu geometrie data alura distribuției presiunii constituie un criteriu de apreciere a "intensității" Efectului Coandă. Din acest punct de vedere U. H. von Glahn [53], [54], considera ca optima repartiția, fig. 3. 11, caracterizată, de extinderea zonei depresionare pe întreaga "lungime" a voletului .

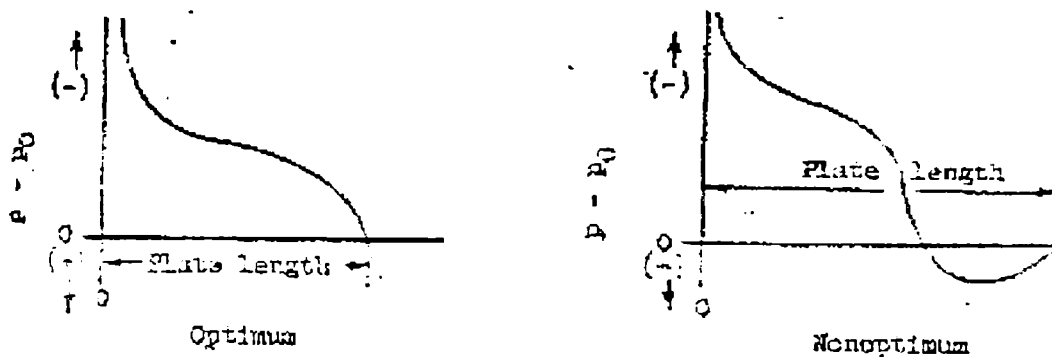


Fig. 3.11 Repartiția optimă a presiunii pe volet.

În general, în condițiile producerii Efectului Coandă, pentru orice geometrie a voletului, indiferent dacă se realizează sau nu repartiția optimă, elementul esențial și comun în distribuția presiunilor este prezenta zonei depresionare din vecinătatea secțiunii de eflux a ajutorului. La reprezentarea distribuției de presiuni și în calcule se utilizează coeficientul de presiune: $C_p = (p - p_\infty) / \rho V_\infty^2 / 2$, unde p_∞ este presiunea mediului ambiant, iar V_∞ , viteza jetului în secțiunea de eflux a ajutorului.

Volet plan.

Pentru voletul plan și poligonal nu sunt date care sa permită estimarea distribu iei de presiuni pe întreaga lungime, dar toate măsurătorile, fig. 3.12, fig. 3.13, fig. 3.14, au eviden iat prezenta și influența zonei depresionare, din imediata vecinătate a sec iunii de eflux a ajutorului.

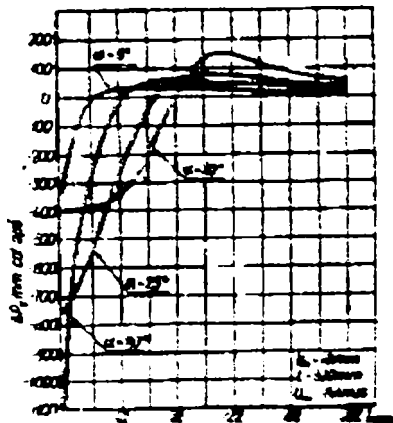


Fig. 3.12 Distribu ia de presiuni pe voletul plan pentru diferite valori ale unghiului de bracare.

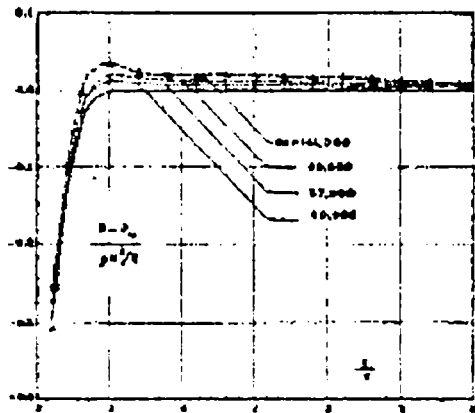


Fig. 3.13 Distribu ia de presiuni. Volet plan.

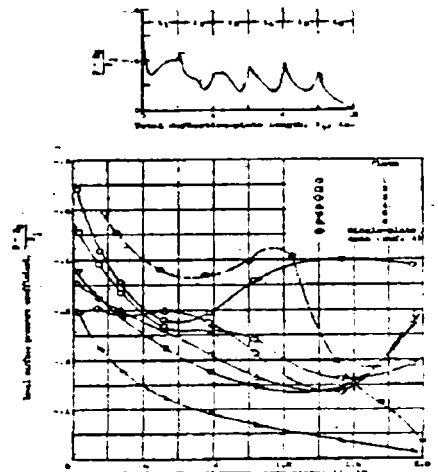


Fig. 3.14 Distribu ia de presiuni. Volet poligonal.

Extinderea acestei zone poate fi determinata cu ajutorul diagramei data de C. Bourque [23], fig. 3.15.

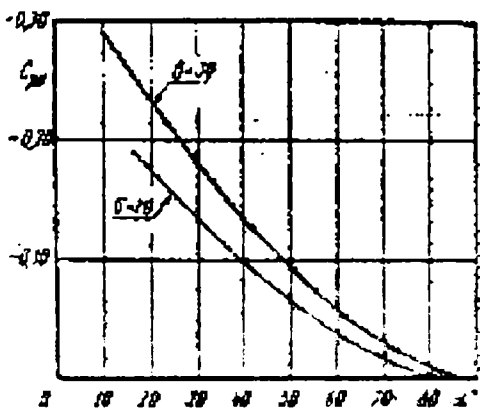


Fig. 3.15 Volet plan.

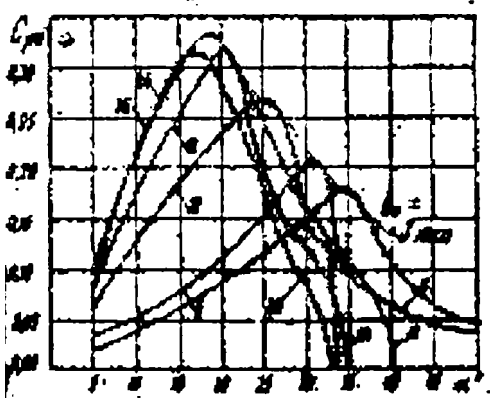
Extinderea zonei depresionare.

Pentru aceasta zona se considera ca se poate aproxima coeficientul de presiune cu rela iile[23], [78]:

$$C_p = - \frac{12\alpha}{\sigma \left(\frac{1}{t^2} - 1 \right)} \tag{3.9}$$

$$t^2 - 3t + 2 \cos \alpha = 0$$

in care α este unghiul de bracare, σ o constantă ($\sigma \in (10,30)$) iar parametrul t rezulta ca solutie a ecua iei de gradul doi.



Cu aceste rela ii în fig. 3.16 sunt prezentate valorile coeficientului de presiune calculate de C. Teodorescu-intea [106], din care rezultă pentru unghiul de bracare valoarea limită maximă $\alpha \leq 90^\circ$.

Fig. 3.16 Varia ia coeficientului de presiune în vecinătatea sec iunii de eflux a ajutorului, cu unghiul de bracare. Volet plan.

Aceste valori sunt orientative având în vedere că nu depind decât de unghiul de bracare. Pentru ajustarea acestora pot fi folosite măsurătorile efectuate de C. Teodorescu-Țintea [106], [110], pentru un volet cu lungimea $L = 520$ mm, fig. 3.17.

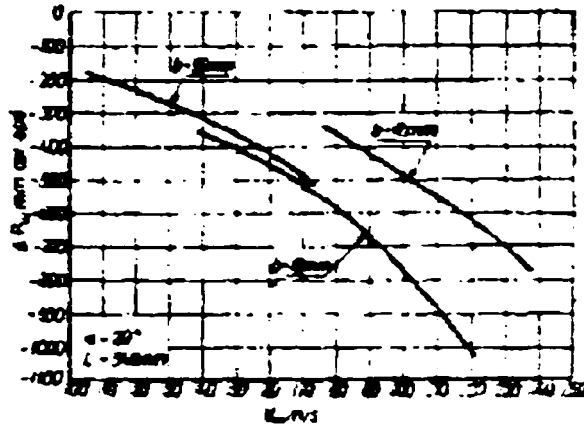


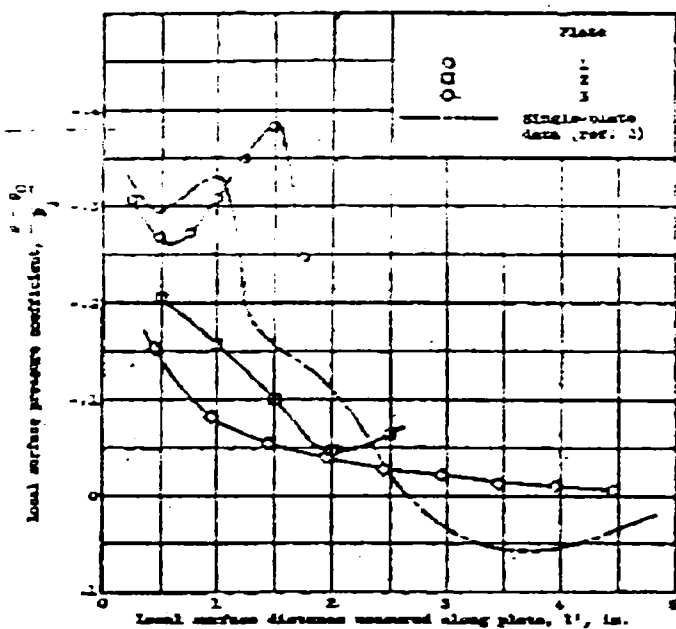
Fig. 3.17 Variația coeficientului de presiune în vecinătatea secțiunii de eflux a ajutorajului în funcție de unghiul de bracare și înălțimea ajutorajului. Volet plan $L = 520$ mm.

Din aceste figuri rezultă că depresiunea pe volet în vecinătatea secțiunii de eflux a ajutorajului scade cu creșterea unghiului de bracare, atinge un minim, după care crește către valoarea corespunzătoare unghiului de bracare zero.

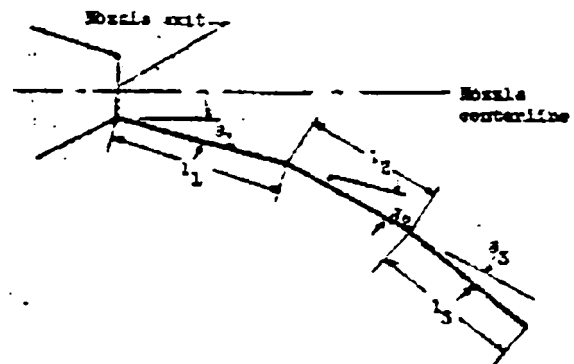
Volet poligonal.



Voletul poligonal, fig.3.18, pentru configurații care asigură atașarea jetului rezintă, com arativ cu voletul plan, din punctul de vedere al distribuției presiunii o repartiție favorabilă în ciuda faptului că aparent gradientul de presiune pozitiv în avalul fiecărui vârf ascuțit constituie un factor ce favorizează desprinderea.



Distribuția de presiuni



Volet poligonal

Fig. 3.18

Figurile 3.14 si. 3.18, date de U. H. von Glahn, [53], [54], prezintă distribu ii de presiuni pentru doi vole i poligonali cu trei și respectiv șase laturi. Configura ia vole ilor - lungimea segmentelor și unghiurile de bracare - a rezultat din încercări în ideea ob inerii unor reparti ii "optime".

Volet cilindric.

Pentru voletul cilindric se acceptă cvasiunanim că zona depresionară se extinde pe întreaga "lungime". În aceste condi ii coeficientul de presiune C_p este practic constant și se exprima doar în func ie de dimensiunile relative ale ansamblului ajutoraj-volet [106], [69], [93]:

$$C_p = -\frac{2b}{R} \left(1 + \frac{2b}{R} \right) \tag{3.10}$$

cu: R - raza cilindrului și b - înăl imea ajutorajului. Expresia (3.10) și altele de același tip pot fi utilizate și considerate ca acceptabile pe o mare por iune din "lungimea" voletului, deși distribu ia presiunilor este marcata de prezenta oscila iilor, fig. 3. 19.

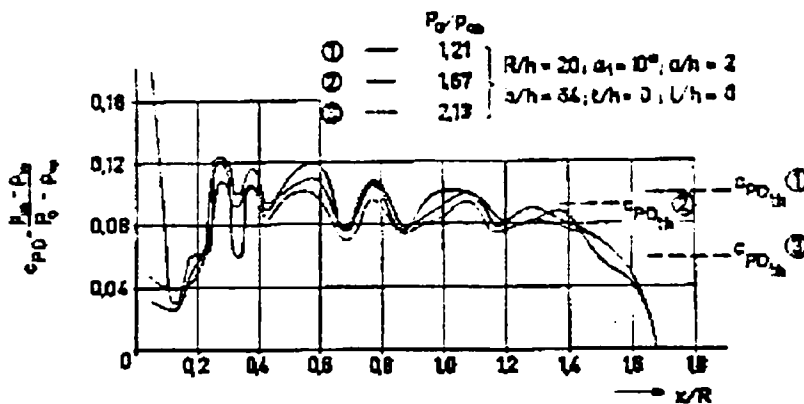


Fig. 3.19 Distribu ia de presiuni. Volet circular.

Pentru calculul coeficientului de presiune E. G. Newman [78] dă c expresie în func ie de coordonata asociată vitezei $V_{max}/2$, data de (3.4), de raza cilindrului și înăl imea ajutorajului.

$$C_p \frac{R}{b} = \frac{3 \ln \left(1 + \frac{4 y_m / 2}{3 R} \right)}{\left[\left(\frac{4 y_m / 2}{3 R} + 1 \right)^2 - 1 + 2 \ln \left(1 + \frac{4 y_m / 2}{3 R} \right) \right]} \tag{3.11}$$

Volet spirală logaritmică.

Pentru voletul de tip spirala logaritmică nu s-a putut stabili o expresie care sa coreleze valorile coeficientului de presiune cu geometria ajutorajului Coandă și viteza în jetul deviat. Dar distribu iile de presiuni măsurate de D. E. Guitton & B. G. Newman [56], fig.3.20 și K. Kamemoto [62], fig. 3.21

evidențiază influența curburii și faptul că, indiferent de valorile raportului $x/R = ct$, voletul de tip spirală logaritmică este "optim".

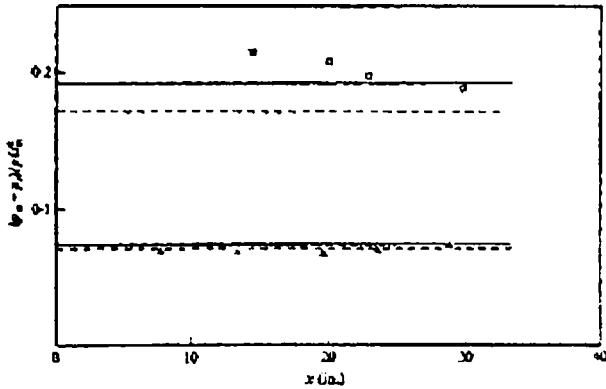


Fig. 3.20 Distribuția de presiuni. Volet spirală logaritmică.

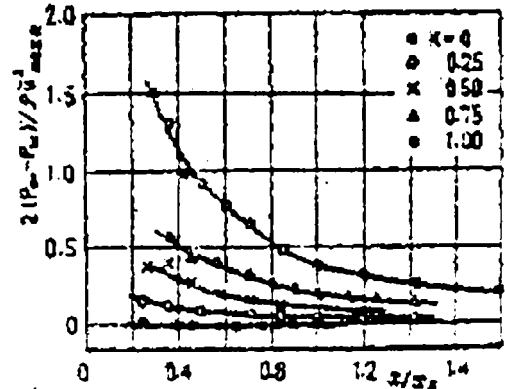


Fig. 3.21 Distribuția de presiuni. Volet spirală logaritmică

3.3 Forța superficială generată. "Eficiența" Efectului Coandă.

Depresiunea generată prin Efect Coandă pe frontiera voletului, ∂v , provoacă apariția unei forțe aerodinamice: $\vec{F}(\partial v) = - \int_{\partial v} (p - p_\infty) \vec{n} da$ Evaluarea

acesteia respectiv a componentelor, normală - sustentatoare și axială, definite în raport cu direcția inițială a jetului se poate face: prin măsurare directă cu ajutorul unor balanțe, sau prin soluționarea integralei, ceea ce presupune determinarea pe cale teoretică sau experimentală a distribuției de presiuni p pe volet. În expresia forței, p_∞ reprezintă presiunea ambientală exercitată și pe segmentul frontierei voletului care nu este în contact cu jetul. Considerând un sistem ortogonal de coordonate x, y cu axa x în sensul vitezei jetului în secțiunea inițială și y orientată spre frontiera exterioară a jetului, componentele forței sunt notate cu: F_y normală respectiv F_x . Deși în [13], [53], [54], [57], [93] determinarea acestor componente a constituit obiectivul principal, singurele relații de calcul sunt cele elaborate pentru voletul plan și cilindric de C. Teodorescu-Intea [109].

Volet plan.

$$\begin{aligned} F_y &= -\rho \frac{V_j^2}{2} \left[C_p x_k + 2b \sin \varepsilon_k \cos \delta_k \right] \\ F_x &= -\rho \frac{V_j^2}{2} \left[C_p \left(x_k - \frac{b}{2} \right) + 2b \sin \varepsilon_k \sin \delta_k \right] \end{aligned} \tag{3.12}$$

unde C_p este dat de relația (3.10) și cu:

$$\theta_k = \arctg\left(-C_p \frac{x_k}{2b}\right) \quad \varepsilon_k = \theta_k - \alpha$$

$$x_k = \frac{-4btg\alpha - b\sqrt{16tg^2\alpha - 8C_p}}{2C_p} \quad \delta_k = \alpha \quad (3.13)$$

Volet cilindric.

$$F_x = 2\rho V_{aj}^2 b \left(1 + \frac{b}{2R}\right) \sin \frac{\beta}{2} \cos\left(\frac{\pi - \beta}{2} - \alpha_0\right)$$

$$F_y = 2\rho V_{aj}^2 b \left(1 + \frac{b}{2R}\right) \sin \frac{\beta}{2} \sin\left(\frac{\pi - \beta}{2} - \alpha_0\right) \quad (3.14)$$

în care β este unghiul la centru care delimitază segmentul cilindric, α_0 , unghiul dintre axa ajutorului și tangenta la primul element al voletului, C_p este dat de rela ia (3.11).

Dar, pentru compararea rezultatelor ob inute pentru dimensiuni și condi ii diferite, valorile în sine ale for ei superficiale generată prin Efect Coandă nu sunt relevante. De aceea s-a introdus termenul de "eficien ă". În condi iile curgerii bidimensionale, cu b înăl imea ajutorului, "eficien a" se definește, în principiu, prin raportarea componentelor F_y F_x la for a de impuls a jetului nedeviat asociat sec iunii de eflux a ajutorului:

$$\eta_x = \frac{F_x}{\rho V_{aj}^2 b}$$

$$\eta_y = \frac{F_y}{\rho V_{aj}^2 b} \quad (3.15)$$

Volet plan.

Cu θ - unghiul de bracare, pentru voletul plan U. H. von Glahn [53], stabilește pentru rela iile (3.15) expresii simple, confirmate experimental, fig.3.22, dar .

$$\eta_y = \sin \theta$$

$$\eta_x = 1 - \sin \theta \tan \theta \quad (3.16)$$

și corela ii între parametrii geometrici care realizează valorile necesare pentru a ob ine eficien a teoretică maximă, fig.3.23, fig.3.24.

Pentru calculul "eficien ei" se pot apela și expresiile ce rezulta imediat din (3.13) în conformitate cu defini iile (3.16)

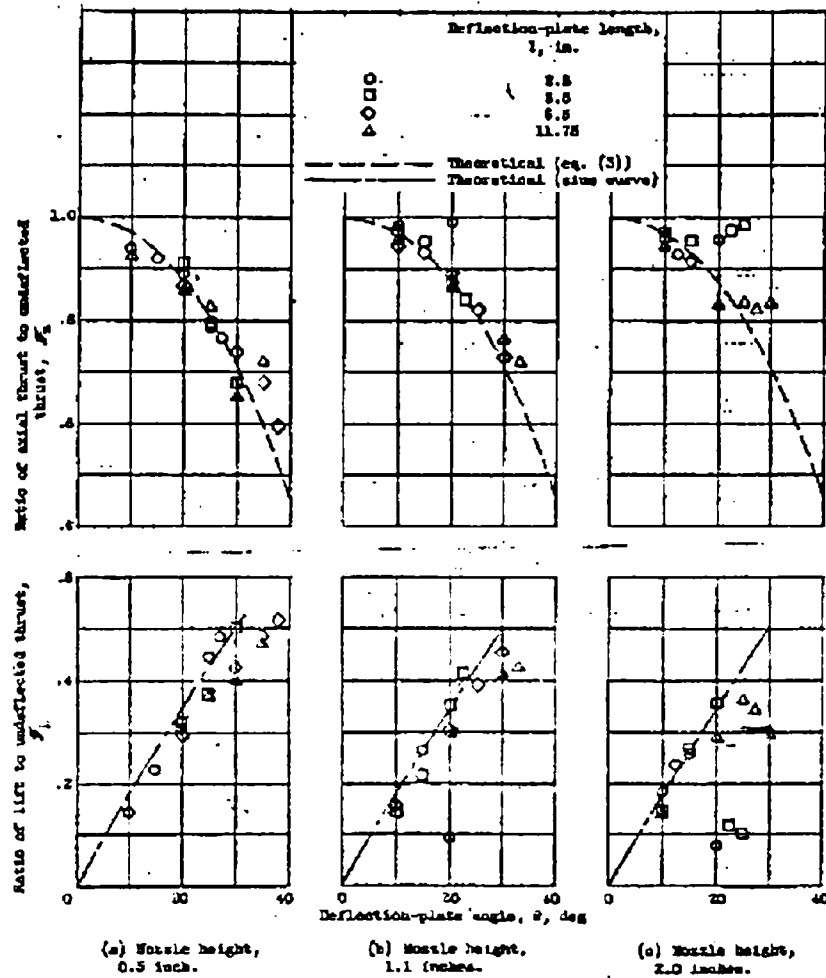


Fig. 3.22 Eficiența ajutorului Coandă cu volet plan.

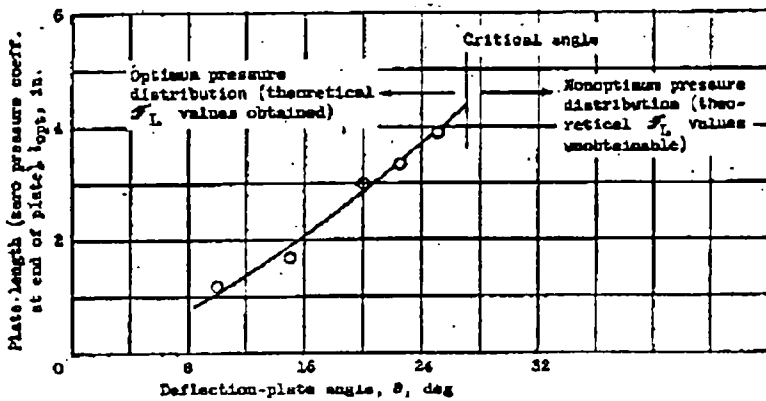


Fig. 3.23 Volet plan. Variația lungimii voletului care asigura eficiența maximă cu unghiul de bracare.

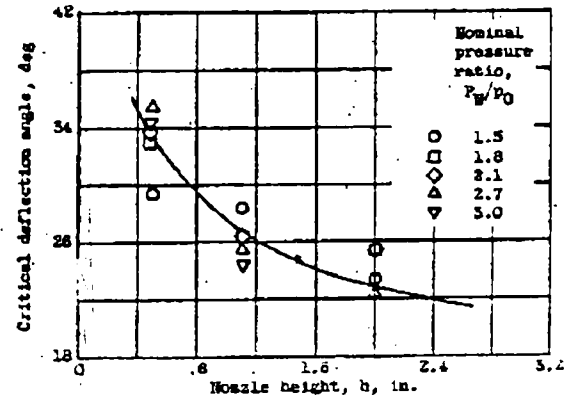


Fig. 3.24 Volet plan. Variația unghiului de bracare limită care asigură eficiența maximă cu înălțimea ajutorului.

Volet poligonal.

Pentru voletul poligonal nu s-au putut stabili relații generale de evaluare a "eficienței" ținând cont că aceasta depinde de numărul segmentelor, lungimea acestora și unghiul de bracare. Din această cauză sunt necesare pentru fiecare configurație determinări experimentale, cum sunt cele efectuate de U.H. von Glahn[54], [53], fig.3.25.

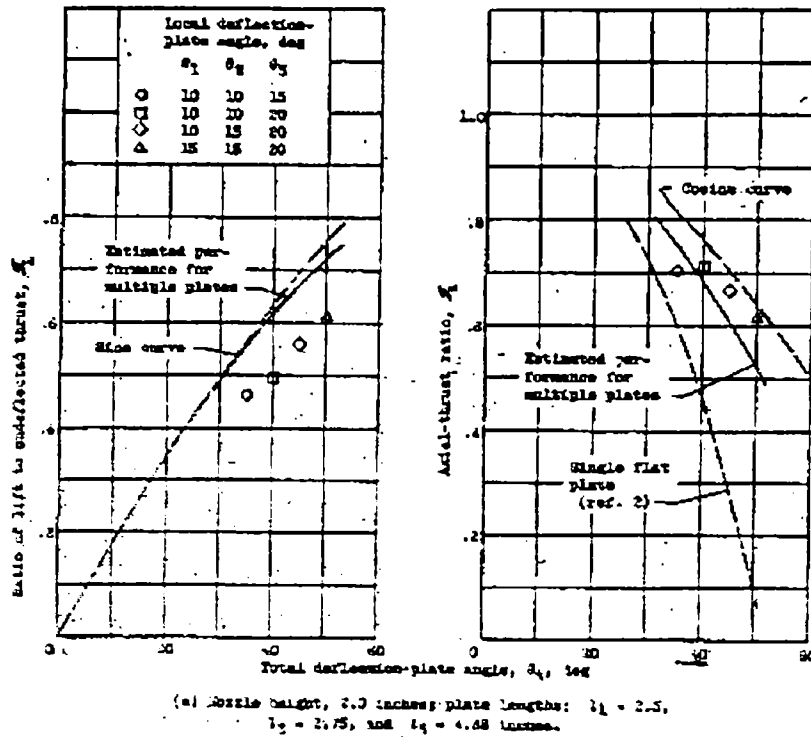


Fig. 3.25 Eficiența ajutorului Coandă cu volet poligonal constituit din trei segmente.

Pentru voletii curbi și în speță pentru voletul cilindric, cel mai studiat și din punct de vedere al "eficienței" [13], [57], [69], [93], nu s-a reușit stabilirea unor relații de calcul. U. H. von Glahn [53], [54], concentrează rezultatele obținute pentru mai multe configurații ale voletului. Din fig.3.26, prin comparație se poate aprecia, ținând cont și de simplitatea geometriei, că voletul cilindric realizează valori η_x, η_y care-l recomandă ca soluție în dispozitivele sustentatoare cu Efect Coandă [37], [65].

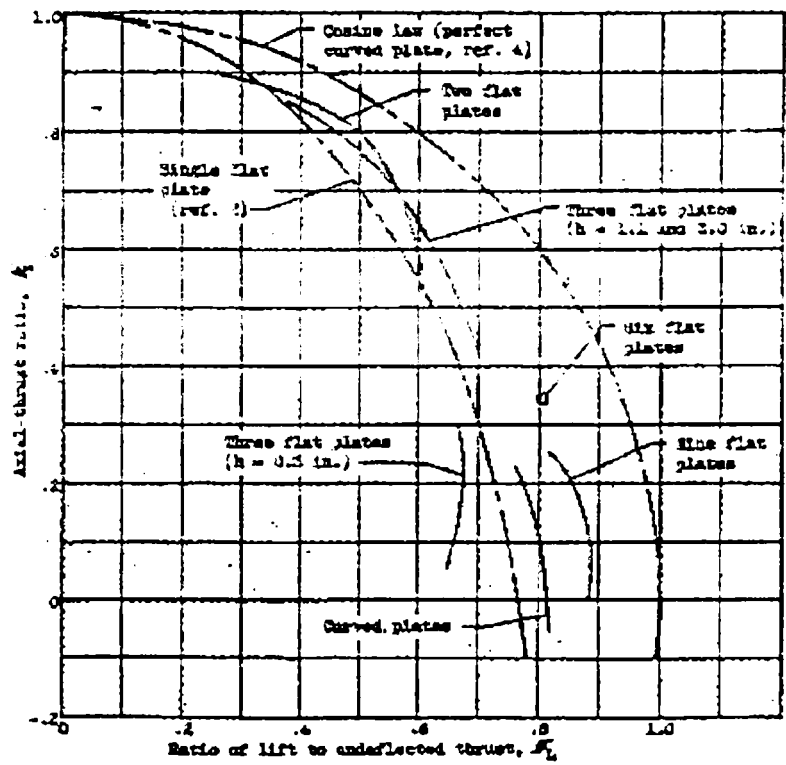


Fig. 3.26 Eficiența ajutorului Coandă cu volet plan, poligonal și curb. Comparație.

3.4 Concluzii. Observatii. Recomandări.

1. Datele prezentate au fost ob inute în condi iile în care s-a admis sau s-a asigurat caracterul bidimensional al mișcării homocore ($\rho = ct$) în jetul deviat.

2. Elementele prezentate sunt tributare ipotezelor în cadrul abordărilor teoretice, sau condi iilor concrete pentru cele rezultate din prelucrarea datelor experimentale. Cu toate acestea utilizarea lor și a altora la proiectarea dispozitivelor poate asigura func ionalitatea din punctul de vedere al evolu iei Efectului Coandă.

3. Efectul Coandă este specific jeturilor sub iri. Termenul este relativ și se referea la raportul dintre înăl imea jetului în sec iunea de eflux a ajutorajului și "lungimea voletului". Pot fi luate în considerare următoarele recomandări:

- pentru voletul plan de lungime L, [106], [78]: $b/L \leq 0,01$
- pentru voletul cilindric de rază R, [39], [78] $b/R \leq 0,07$
- pentru voletul de tip spirală logaritmică cu $x/R = ct$, [56]: $b/L \leq 0,04$

4. Efectul Coandă se manifestă pentru jeturile sub iri laminare și turbulente. Regimul de mișcare în jet este identificat în func ie de valoarea numărului Reynolds definit prin intermediul vitezei medii asociată sec iunii de eflux a ajutorajului, astfel:

- $Re = V_{aj}b/\nu$ pentru voletul plan, poligonal și de tip spirală logaritmică, cu b înăl imea ajutorajului;
- $Re = V_{aj}(bR)^{1/2}/\nu$ pentru voletul cilindric de raza R.

Mișcarea este turbulentă în jetul deviat prin Efect Coandă pentru valori ale numărului Reynolds: $Re = V_{aj}b/\nu \geq 5 \cdot 10^3$, [78], [56], [93] respectiv $Re = V_{aj}(bR)^{1/2}/\nu \geq 4 \cdot 10^4$, [78], [68].

5. Prezen a Efectului Coandă este marcată în principal și în primul rând de devierea și atașarea jetului la volet. Experien ele au relevat că indiferent de natura fluidului - lichid sau gaz, de tipul jetului - înecat sau nu, în condi iile favorizante ale asigurării caracterului bidimensional al mișcării apari ia și evolu ia Efectului Coandă este determinată de corela iile dintre parametrii energetici ai jetului și cei geometrici ai ansamblului ajutoraj-volet. Totodată, în context trebuiesc precizate și valorile limită ale acestor parametri. În general aceste corela ii și limite nu sunt oferite explicit. De altfel problema se pune pregnant la voletul plan și implicit și la cel poligonal, deoarece la voletul cilindric și cel de tip spirală logaritmică devierea și atașarea este asigurată în prezenta jeturilor sub iri [13], [22], [56], [62]. Pentru voletul plan sunt valabile următoarele constatări [106]:

- unghiul limită de bracare este cu atât mai mic cu cât înălțimea ajutorajului este mai mare;
- înălțimea limită a ajutorajului până la care se produce atașarea este cu atât mai mare cu cât unghiul de bracare este mai mic.

În conformitate cu aceste constatări pot fi consultate pentru aprecieri valorice diagramele obținute de C. Teodorescu-Țintea [106], fig. 3.27, fig.3.28.

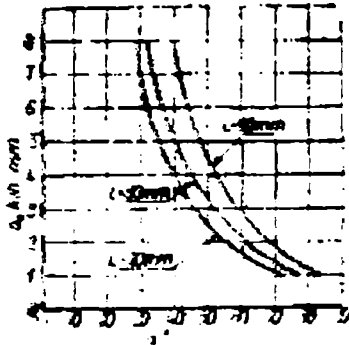


Fig. 3.27 Variația înălțimii limită a ajutorajului pentru care se produce devierea jetului în funcție de unghiul de bracare.

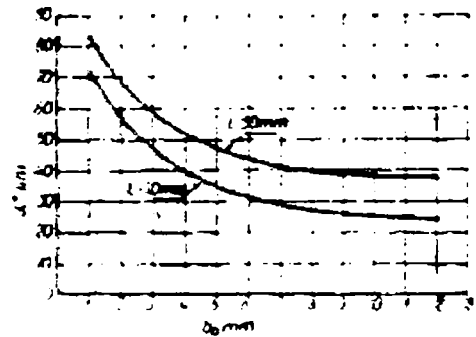


Fig. 3.28 Variația unghiului de bracare limită cu înălțimea ajutorajului.

6. Pentru voletul plan, zona depresionară este limitată la un segment x_R din imediata vecinătate a ajutorajului după care, indiferent de lungime, presiunea pe volet este practic egală cu cea ambientală (atmosferică). Pe de altă parte extinderea segmentului depresionar depinde de lungimea L a voletului, de înălțimea ajutorajului b și de unghiul de bracare α . Pentru numere Reynolds $Re > 5.5 \cdot 10^3$, raportul x_R/b depinde doar de unghiul α și poate fi obținut din diagrama lui C. Bcurque [23], fig.3.29.

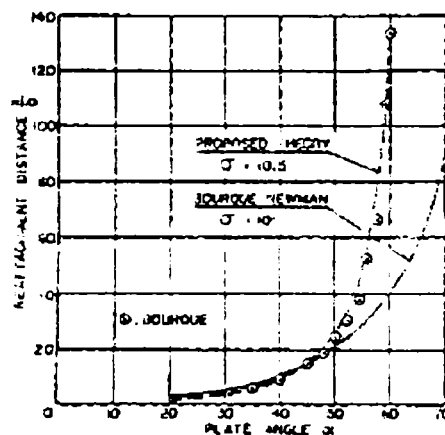


Fig. 3.29 Volet plan. Segmentul zonei depresionare x_R/b .

7. Considerațiile de mai sus deși în principiu valabile și pentru voletul poligonal sunt dificil de transpus, ținând cont de evazarea jetului și de modificarea profilului vitezei în lungul segmentelor voletului. Ca atare nu s-au stabilit criterii de dimensionare a acestor segmente. La acest tip de volet din punct de vedere al caracteristicilor Efectului Coandă și în speță al devierii

jetului importanta este alegerea unghiurilor de înclinare a segmentelor. H. Coandă [59] recomandă:

- pentru primul segment, bracara fa ă de direc ia vitezei jetului în sec iunea de eflux a ajutorajului la unghiul de 31°;
- următoarele sunt decalate unghiular fata de precedentul cu 3°.

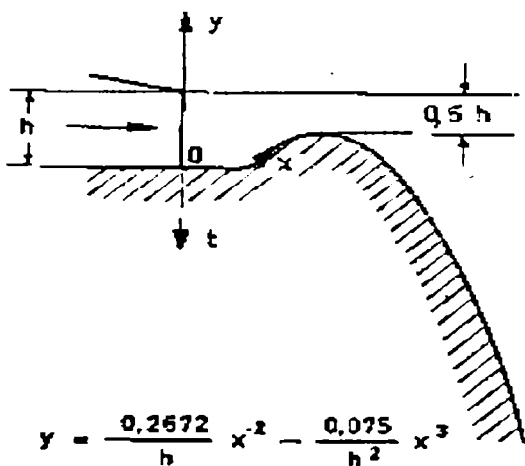
8. Referitor la devierea jeturilor sub iri prin Efect Coandă, voletul cilindric realizează, comparativ cu celelalte, valori maxime care pot atinge și chiar depăși 180° [39], [78]. Unghiul maxim de deviere, poate fi calculat Indirect cu formula dată de B. G. Newman [78] care determină unghiular pozi ia punctului de desprindere:

$$\theta_{desp.} = 245 - 391 \frac{\frac{b}{R}}{1 + \frac{9b}{8R}} \quad (3.17)$$

9. Procesul de absorbie și antrenare de către jetul deviat a fluidului din mediul ambiant constituie o caracteristică importantă a Efectului Coandă. Deși fructificat practic în toate aplica iile procesul ca atare nu este stăpânit datorită complexității sale. Totuși, din aplica ii și experien e s-au desprins, indiferent de tipul voletului, următoarele constatări:

- debitul absorbit și antrenat de jetul deviat crește cu valoarea presiunii maxime și cu cât zona depresionară de pe volet este mai extinsă;
- efectul de absorbie este maxim în regiunea din imediata vecinătate a sec iunii de eflux a ajutorajului;
- antrenarea fluidului ambiant este, comparativ cu cel laminar, mai intensă la jetul turbulent.

10. Nu sunt încă stabilite criteriile de selectare a geometriei voletului. Voletul plan, poligonal, cilindric, de tip spirală logaritmică dar și cel sugerat de



I. Fekete [39] (fig.3.30) și altele, în condi iile generale men ionate, asigură producerea Efectului Coandă.

În aplica iile concrete, la ale erea geometriei voletului intervin și restric ione privind gabaritul și execu ia tehnologică. Indiferent de tipul voletului, în condi iile respectării criteriilor și aplicării la dimensionare a rela iilor și datelor disponibile, viabilitatea și eficien a solu iei trebuie verificată și confirmată prin încercări.

Fig. 3.30 Volet Coandă.

4 Aplicații ale Efectului Coandă la turbinele și mașinile hidraulice

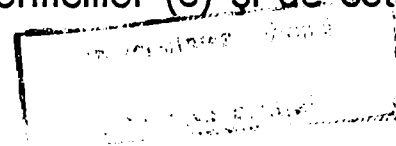
4.1 Traductor pneumatic cu Efect Coandă

4.1.1 Dispozitive pneumatice pentru control dimensional

În contextul robotizării și automatizării proceselor tehnice și tehnologice, dispozitivele pneumatice de măsură și control dimensional cunosc o largă răspândire. Rolul acestor dispozitive este de a controla și/sau măsura indirect, cu un traductor, prin intermediul unui parametru pneumatic: presiune, viteză sau debit, poziția și/sau distanța față de un obiect sau o suprafață. La dispozitivele pneumatice la care parametrul măsurat este presiunea, în majoritatea soluțiilor constructive traductorul este de tip ajutor-clapetă. Aceste dispozitive necesită elemente auxiliare care au rolul de a regla anumite mărimi sau de a transmite semnalul de măsură [76], fig. 4.1. Clasificarea din fig. 4.1 s-a completat cu un nou tip de traductoare: traductoarele cu Efect Coandă [33], [46].

4.1.2 Traductor pneumatic cu Efect Coandă pentru control dimensional.

În fig. 4.2 este prezentată o variantă de traductor pneumatic pentru control dimensional [46], la care parametrul măsurat este depresiunea generată prin Efect Coandă. Traductorul este constituit din două piese filetate (1) și (2), care prin îmbinare realizează un ajutor Coandă inelar. Alimentarea ajutorului, de la compresor se face prin orificiul (3). Jetul inelar, prin atașarea la voletul tronconic (4) creează o zonă depresionară (5). Aceasta absoarbe aerul din imediata sa vecinătate dar și din spațiul interstital (6) de înălțime "d", cuprins între traductor și suprafață (7), prin orificiile (8). În consecință și în acest spațiu presiunea va fi mai mică decât cea ambientală (atmosferică). Orificiul central (9) are menirea de a măsura această depresiune. Valoarea acestei depresiuni este determinată de capacitatea de aspirație a zonei (5), respectiv de viteza jetului inelar, de dimensiunile orificiilor (8) și de cota "d".



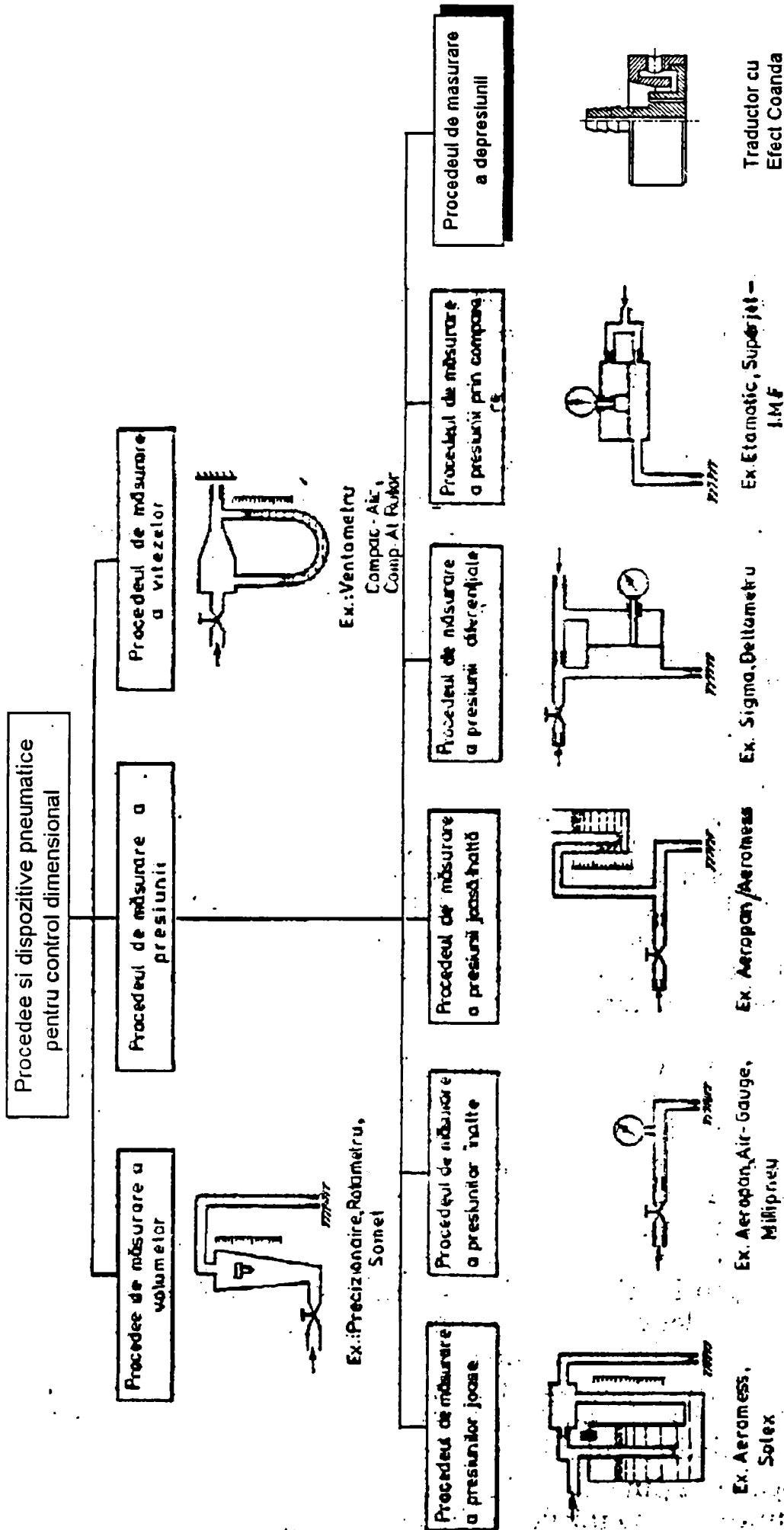


Fig. 4.1 Procedee și metode de măsurări pneumatice.

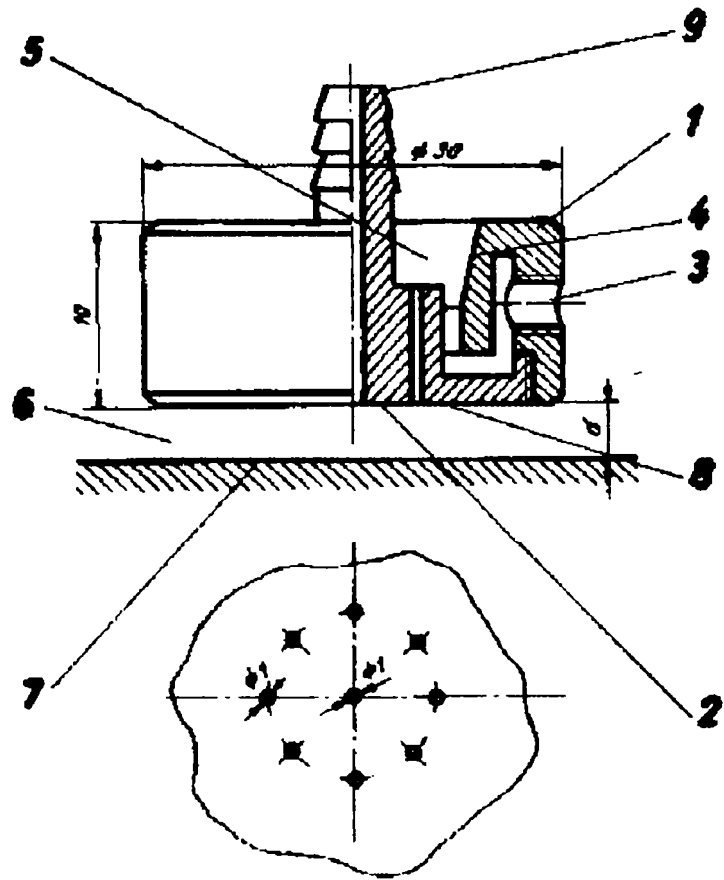


Fig. 4 2 Traductor pneumatic cu Efect Coandă.

Liniile de curent și câmpul de presiuni, fig. 4.3, rezultate – în ipoteza axial simetriei – prin modelare numerică [31], oferă o imagine sugestivă a mișcării aerului în traductor și în interstitiul "d".

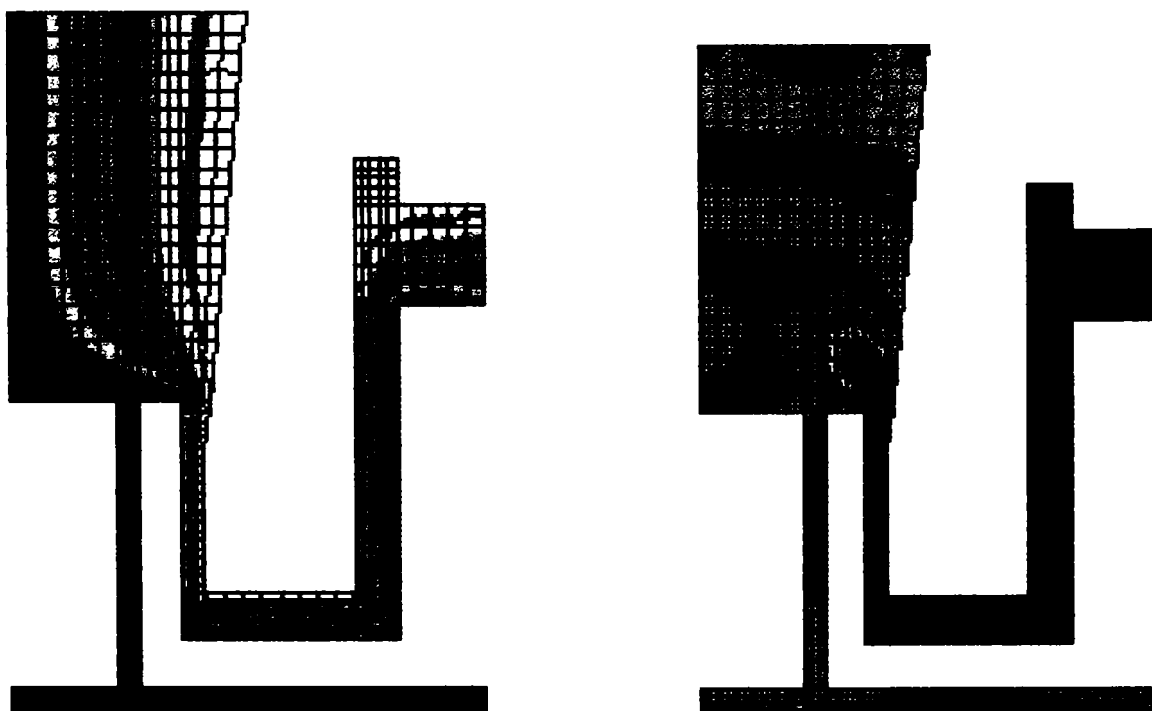


Fig. 4.3 Liniile de curent și câmpul presiunilor în traductorul pneumatic cu Efect Coandă

4.1.3 Caracteristica statică a traductorului pneumatic cu Efect Coandă pentru control dimensional.

Caracteristica statică a unui traductor pneumatic exprimă dependenta dintre valorile parametrului sesizat și a celui măsurat. Pentru traductorul cu Efect Coandă acești parametri sunt: depresiunea, respectiv cota "d".

Pentru determinarea caracteristicii statice a traductorului s-a conceput instalatia din fig. 4.4. Compresorul (1) asigură prin intermediul grupului FRU (2) o presiune constantă de alimentare a traductorului (3). Traductorul a fost montat în stativul unui ortotest pe a cărei masa (4) s-a plasat caia (5). Pentru o pozitie fixă a traductorului, schimbând cala și implicit distanta "d" fata de dispozitiv s-a măsurat depresiunea sesizată de orificiul (8), fig. X.2, conectat prin intermediul punții tensometrice (7) la numărătorul electronic (8), [76]. Caracteristica statică prezintă, fig. 4.5, o alură similară cu cea a altor sciutii existente [63].

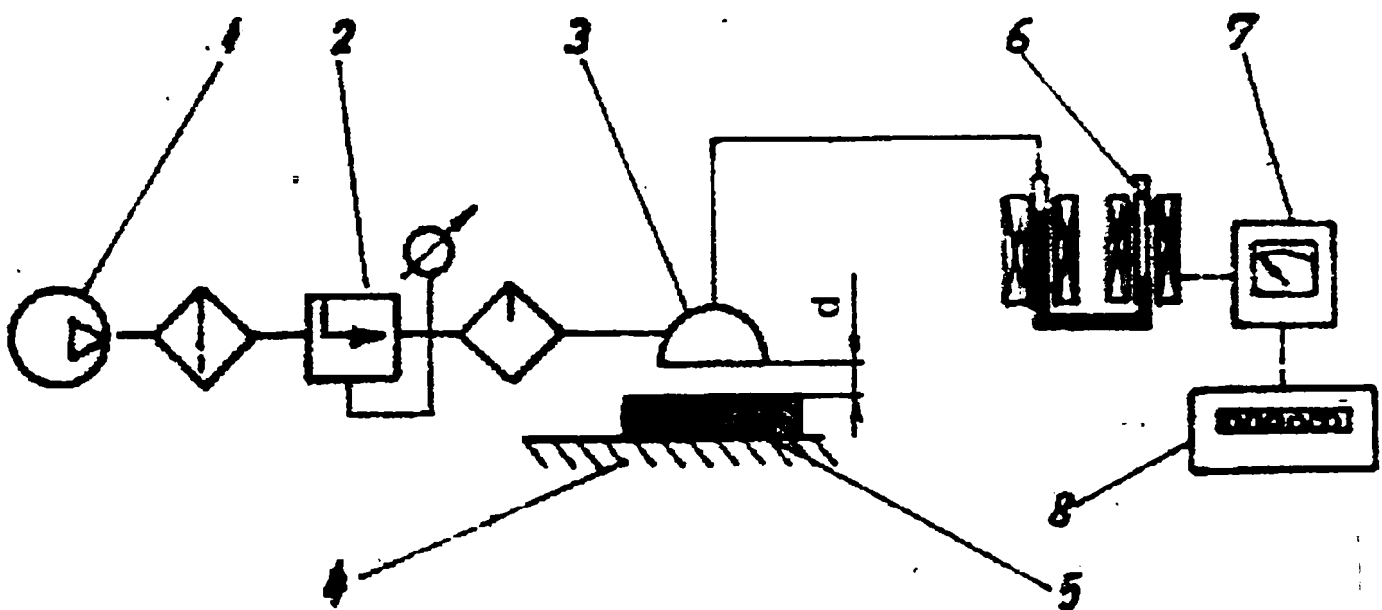


Fig. 4.4 Instalatie pentru testarea traductorului pneumatic cu Efect Coandă.

Obs. Măsurătorile efectuate au urmărit doar să evedentieze și să confirme valabilitatea conceptului functional și a solutiei constructive.

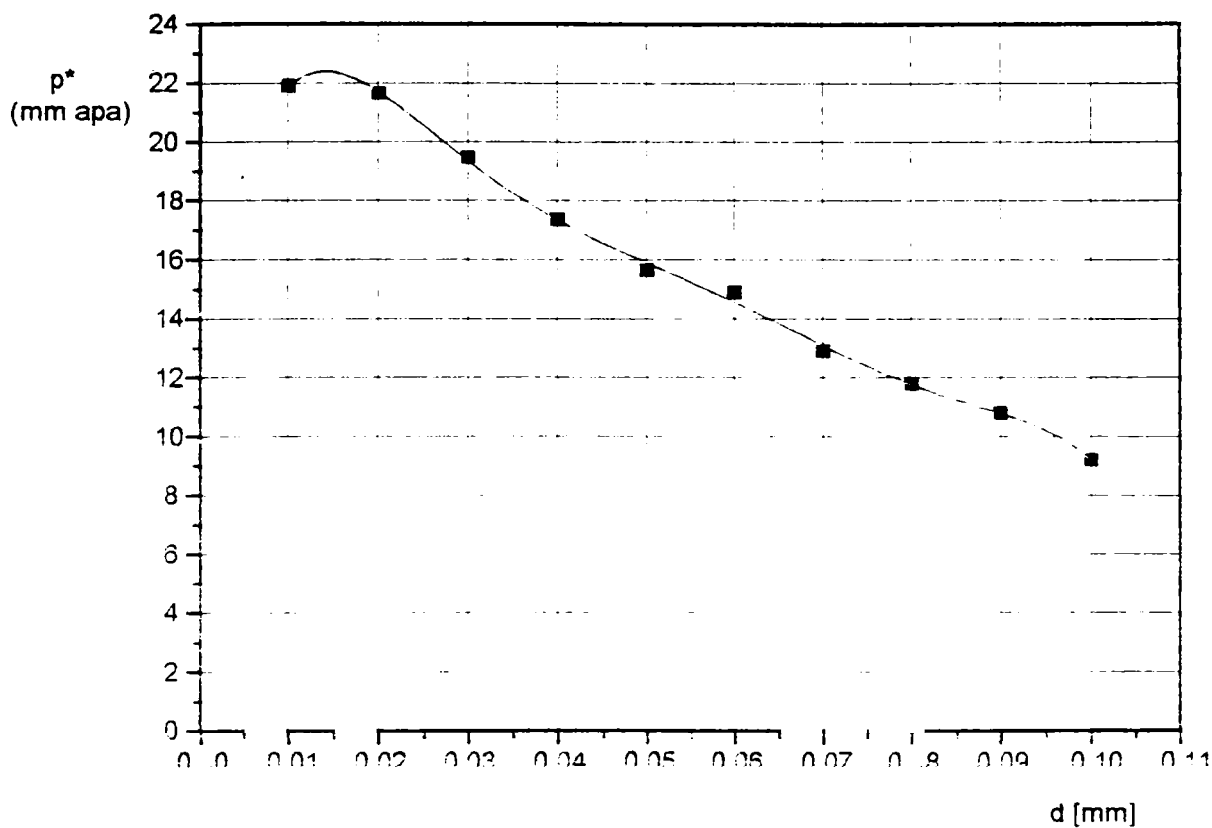


Fig. 4.5 Caracteristica statică a traductorului pneumatic cu Efect Coandă

4.1.4 Concluzii

- Efectul Coandă este aplicat și în domeniul dispozitivelor pneumatice de control dimensional.
- S-a conceput și realizat un traductor pneumatic la care parametrul sesizabil este depresiunea generată prin Efect Coandă, fig. 4.5. Ideea aplicării Efectului Coandă a fost susținută și de posibilitatea utilizării traductorului cu lichid magnetic brevetat de I. Potencz, E. Suci, L. Vekas, [88], Colectivul de lichide magnetice, Laboratorul de mașini hidraulice, Timișoara. Prin utilizarea acestui traductor precizia de măsură crește considerabil.



- Caracteristica statică a traductorului este similară cu cea a altor soluții constructive, relevând și în acest caz posibilitatea obținerii unei dependente liniare, fig. 4.7, cel puțin pentru un anumit domeniu de lucru. Pentru determinarea acestei caracteristici s-au aplicat principiile metodologice elaborate de I. Anton, A. Dreucsan, I. De Sabata, L. Vekas, I. Pctencz, M. Ghita, G. Paulescu în [10] și [11].
- Precizia și repetabilitatea măsurătorilor cu traductorul pneumatic cu Efect Coandă este condiționată de menținerea constantă a presiunii de alimentare, dar, spre deosebire de alte soluții constructive, valoarea acesteia poate fi nelimitată.
- Traductorul pneumatic cu Efect Coandă nu necesită elemente de preluare a semnalului măsurat (presiunea), prezintă o mare simplitate constructivă și se pretează miniaturizării.

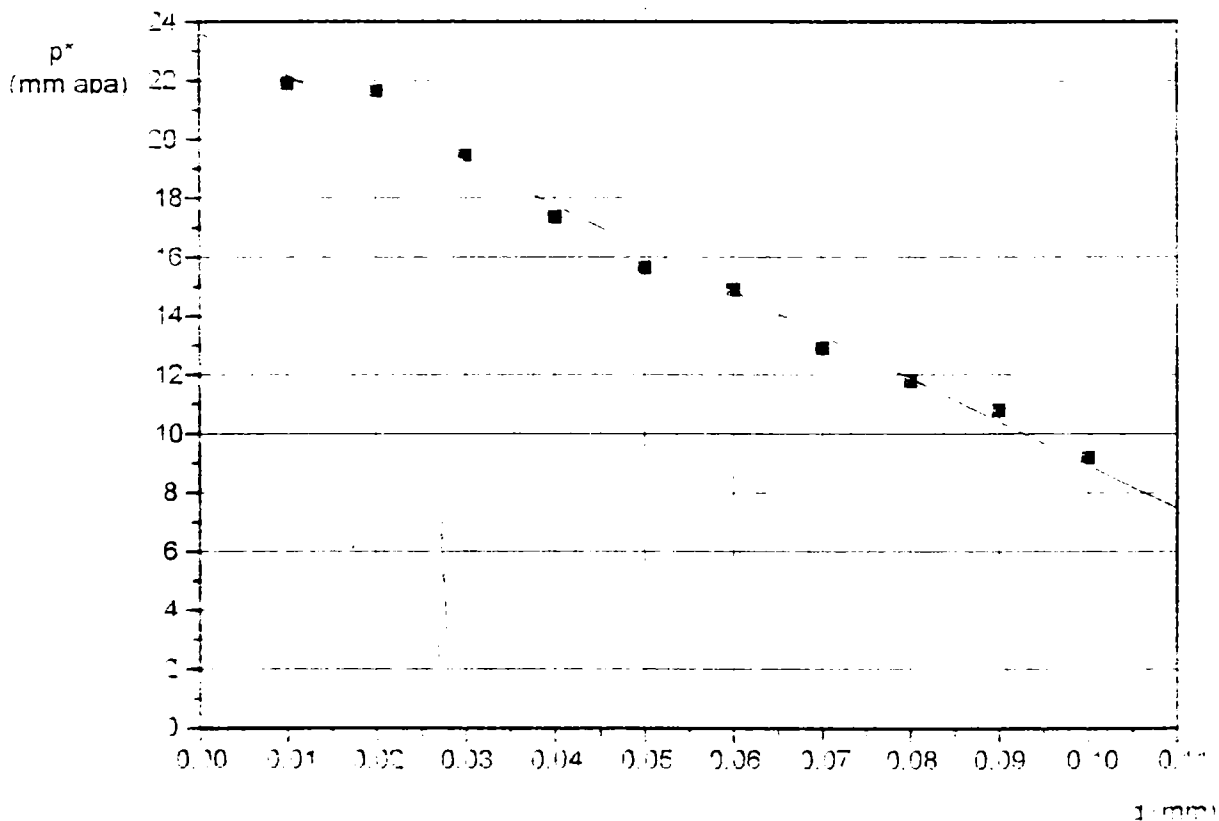
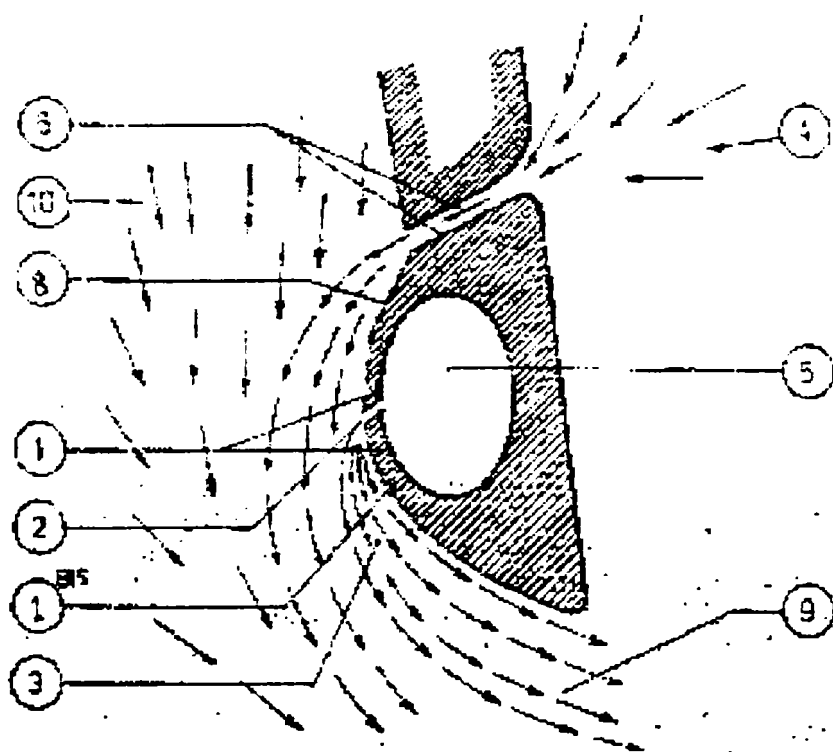


Fig. 4.7 Caracteristica statică a traductorului pneumatic cu Efect Coandă – aproximare liniară.

4.2 Efectul Coandă în cazul jeturilor inserate

4.2.1 Ajutaje Coandă etajate. Aplicatii

La producerea efectului Coandă, zona depresionară este în general redusă la un segment limitat situat pe volet în imediata vecinătate a ajutorului [106], [84]. Pentru a extinde această zonă H. Coandă a propus [58], [59], în cadrul invenției intitulată "Ajutaj etajat", fig.4.8 soluția principală a dispunerii succesive a ansamblului ajutoraj-volet.



Caracteristica invenției din fig. 4.8 constă în utilizarea unui ajutoraj primar, alimentat, care generează o zonă depresionară ce "avorzează" prin absorbția fluidului din exterior și alimentarea ajutorajului secundar. Generalizând ideea ajutorajelor etajate H. Coandă [46] a brevetat soluția din fig. 2, la care voletii curbi erau dispuși pe o circumferință, ajutorajele succesive fiind alimentate de la o sursă unică.

Fig. 4.8 Ajutaj etajat.

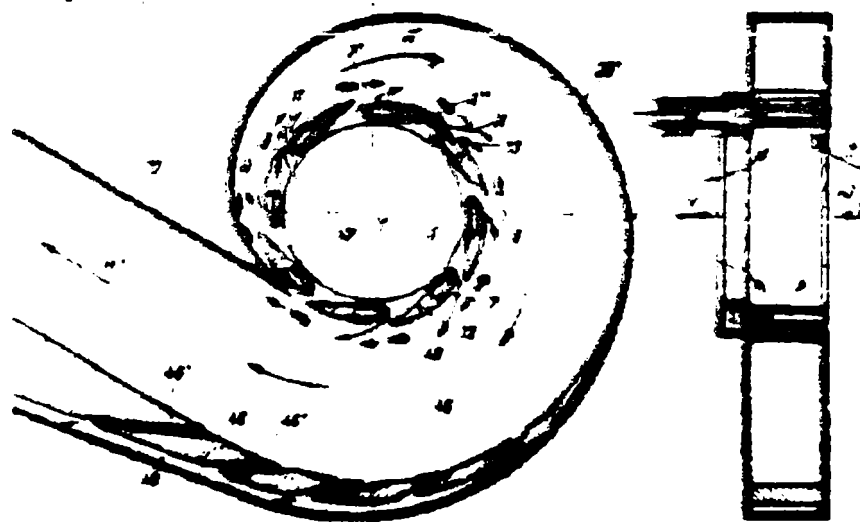


Fig. 4.9 Brevet Coandă. Ajutaje etajate. Voletii dispuși pe o circumferință.

Această soluție a fost preluată și aplicată la dispozitive cu diverse obiective dintre care s-au selectat:

- dispozitiv de separare a unui fluid de particule în suspensie H. Coandă [58], fig. 4.10.

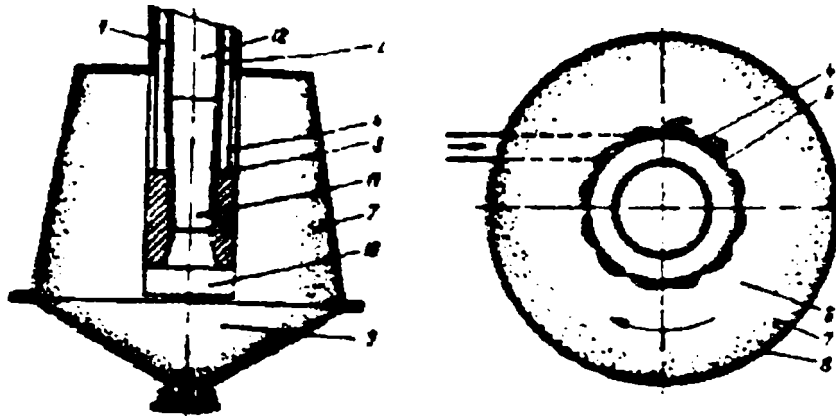


Fig. 4.10 Dispozitiv de separare a unui fluid de particule în suspensie.

- tub Ranque-Hirsch, cu vârtej I. Anton, D. Ionescu, V. Bălășoiu [7], fig. 4.11.

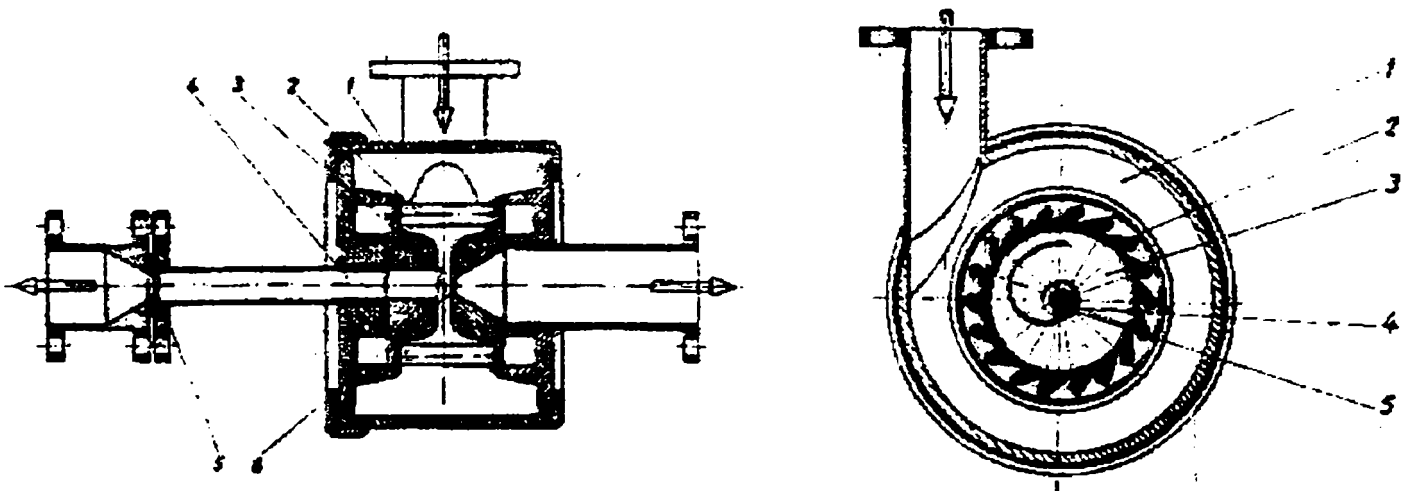


Fig. 4.11 Tub cu vârtej Ranque-Hirsch

1.2 Cercetări și rezultate experimentale.

Soluțiile prezentate utilizează efectele globale ale proceselor de interacțiune turbulent-disipativă a jeturilor atașate specifică ajutorajelor Coandă etajate. Mecanismul acestor procese este complex și este determinat de parametrii corelați jet-volet [107], [23] [106], care conditionează producerea Efectului Coandă și este specific manierei de dispunere a ajutorajelor și geometriei voletilor. În literatură sunt puține date experimentale referitoare la mecanismele care generează aceste efecte. Pentru voletii curbi dispuși pe o circumferință I. Anton, D. Ionescu, V. Bălășoiu [6], [7] evidențiază prezenta

profilelor de tip jet parietal și valori mari ale intensității turbulente în vecinătatea voletilor. fig. 4.12

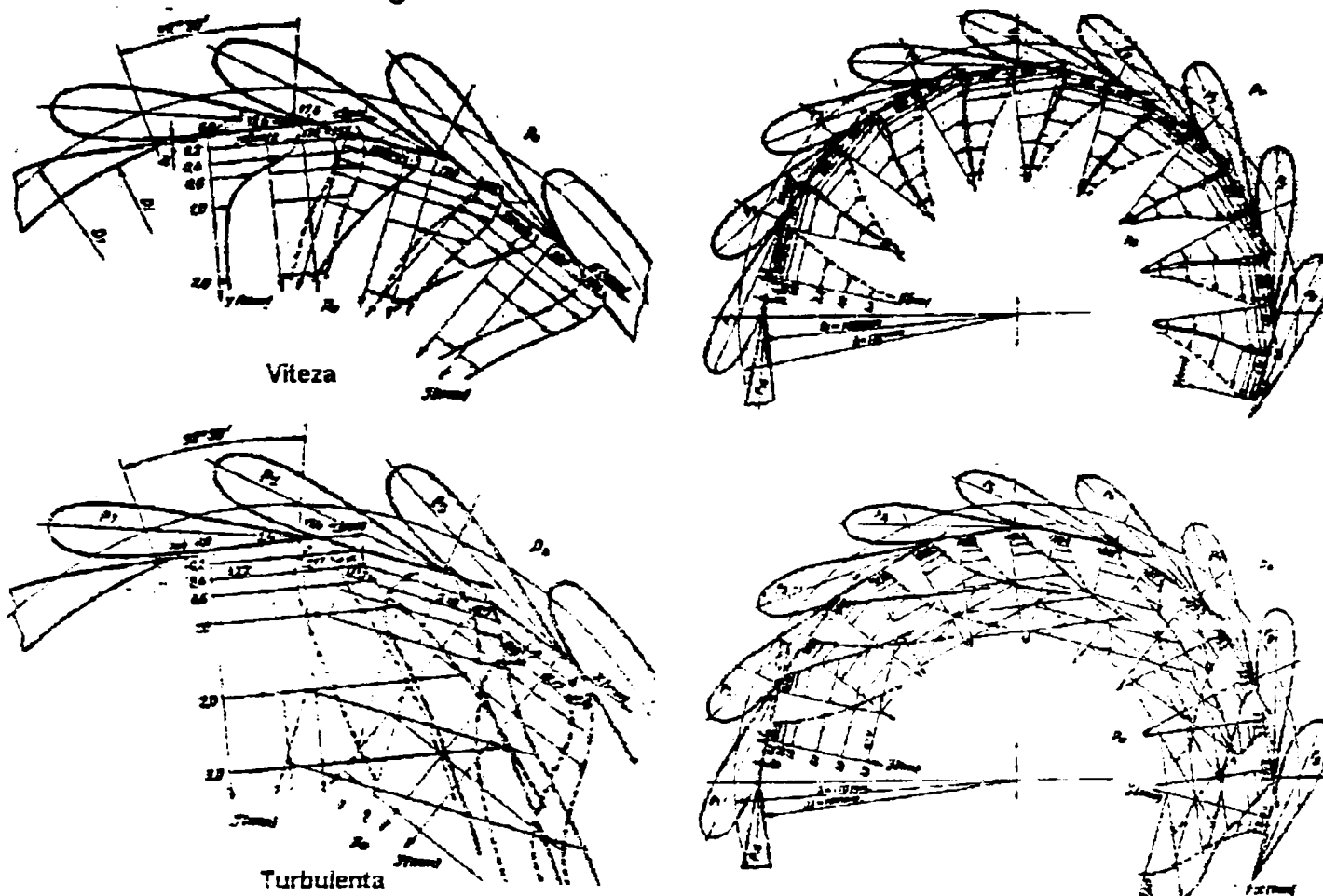


Fig. 4.12 Ajutaje Coandă etajate. Voleti curbi dispuși circular. Măsurători de viteze și turbulenta.

Pentru voleti plani, în ideea invenției Coandă a ajutajelor etajate C. D. Galeriu și F. Berinde au efectuat în premieră cercetări experimentale [42]. Instalatia conceputa, fig. 4.13, permite modificarea următorilor parametri: viteza în secțiunea de eflu: a ajutajelor, înălțimea jeturilor și unghiul de bracare ai voletilor.

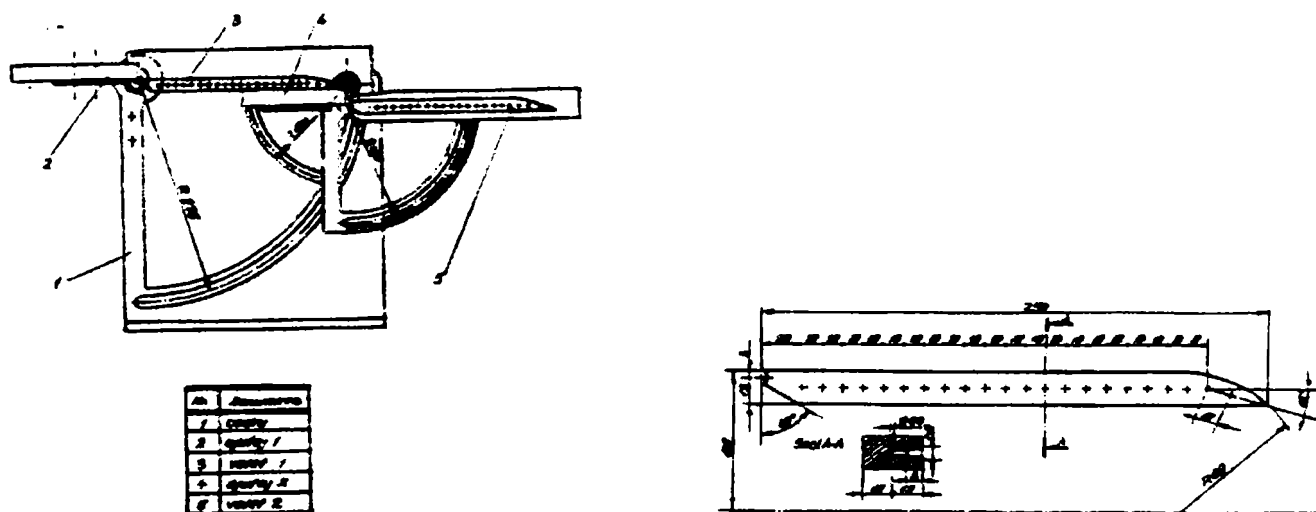


Fig. 4.13 Dispozitiv pentru studiul ajutajelor inserate - voleti plan.

Cei doi voleti identici au fost prevăzuti cu prize de presiune statică și pereti laterali care asigură caracterul plan al mișcării. Înălțimea jeturilor de secțiune dreptunghiulară ($b = 0,024 \text{ m}$) s-a modificat prin intermediul peretelui superior al ajutorajelor. Alimentarea ajutorajelor a fost asigurată de un compresor printr-un traseu ramificat prevăzut cu doua debitmetre (ajutaje profilate), fig. 4,14

Pentru valorile parametrilor de mai jos:

aiutaj	h(mm)	b(mm)	Q(m ³ /s)	V(m/s)
1	2	24	0.0028	58.4
2	4	24	0.0028	29.2
3	6	24	0.0028	19.46
4	8	24	0.0028	14.8

s-a pus în evidență și analizat mecanismul producerii efectului Coandă și influența unghiurilor de bracare și a înălțimii jeturilor (vitezei initiale) prin:

- vizualizare. fig. 4.15,
- simulare numerică [31], fig. 4.16,
- măsuratori de viteză în jet, fig.4.17 și de presiuni pe voleti, fig. 4.18.

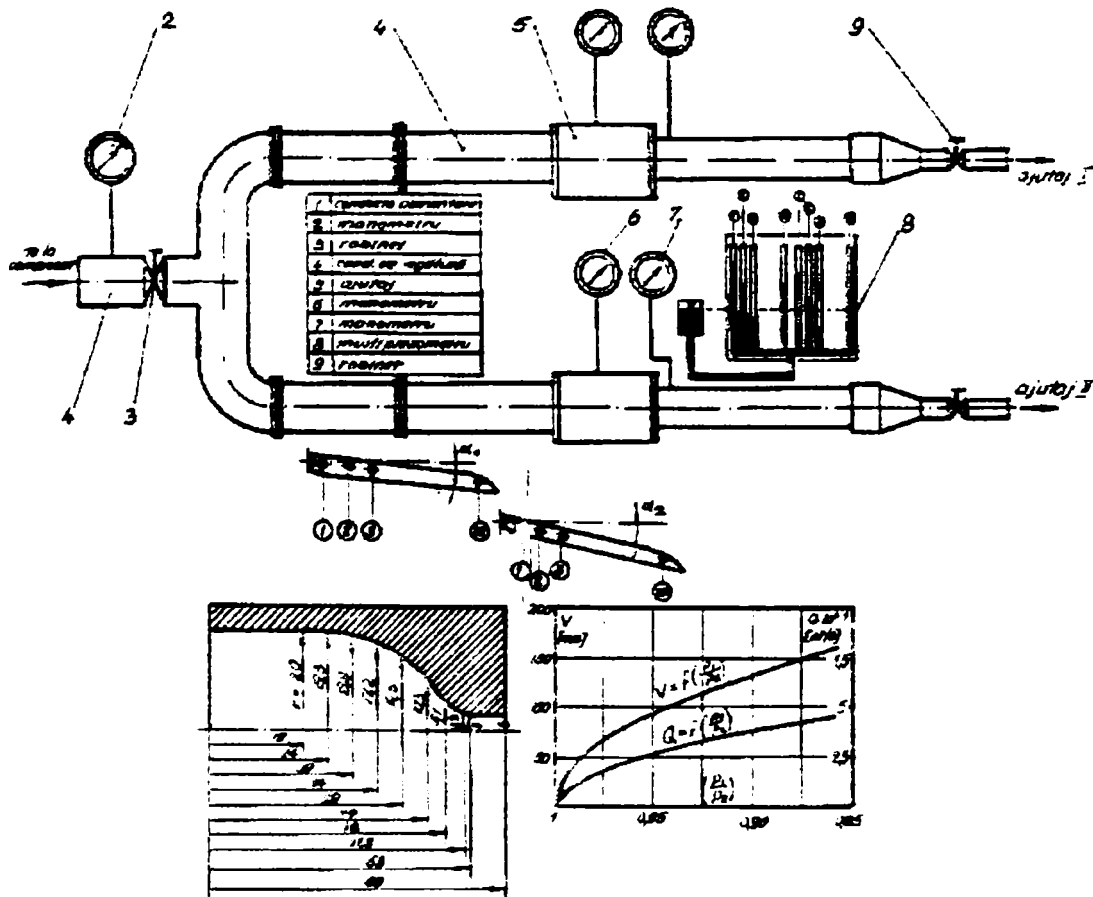


Fig. 7 Stațiune pentru studiul ajutorajelor inserate voleti plani.

Obs. Pentru dimensiunile ansamblului ajutoraj-volet ($b = 0,024 \text{ m}$, $h = 0,002 \text{ m}$, $L = 0,256 \text{ m}$), debitul furnizat de compresor nu asigură condițiile optime de producere a efectului Coandă.

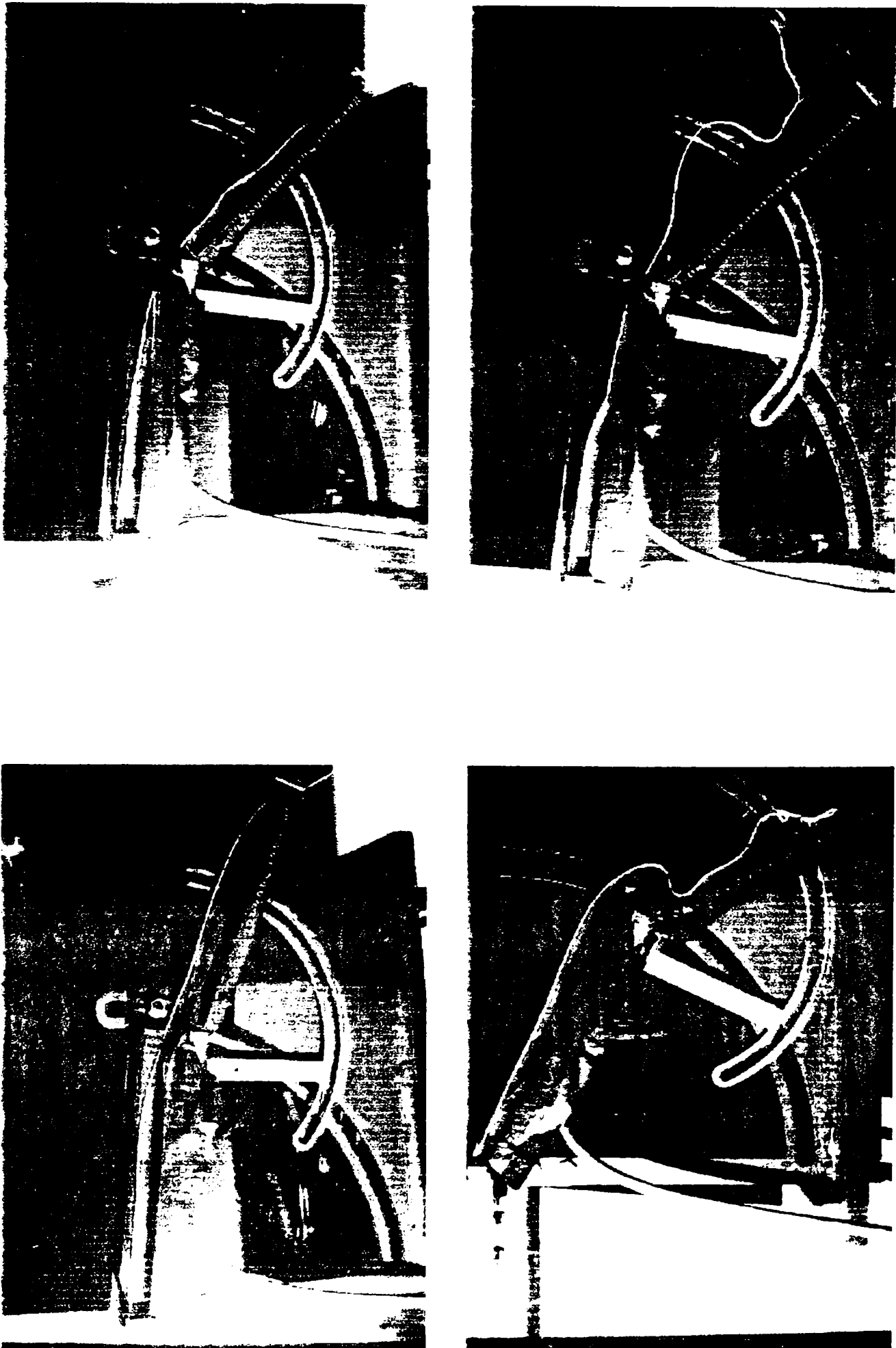


Fig 4.15 Ajutaje etajate. Volet: plani. Vizualizarea mișcării

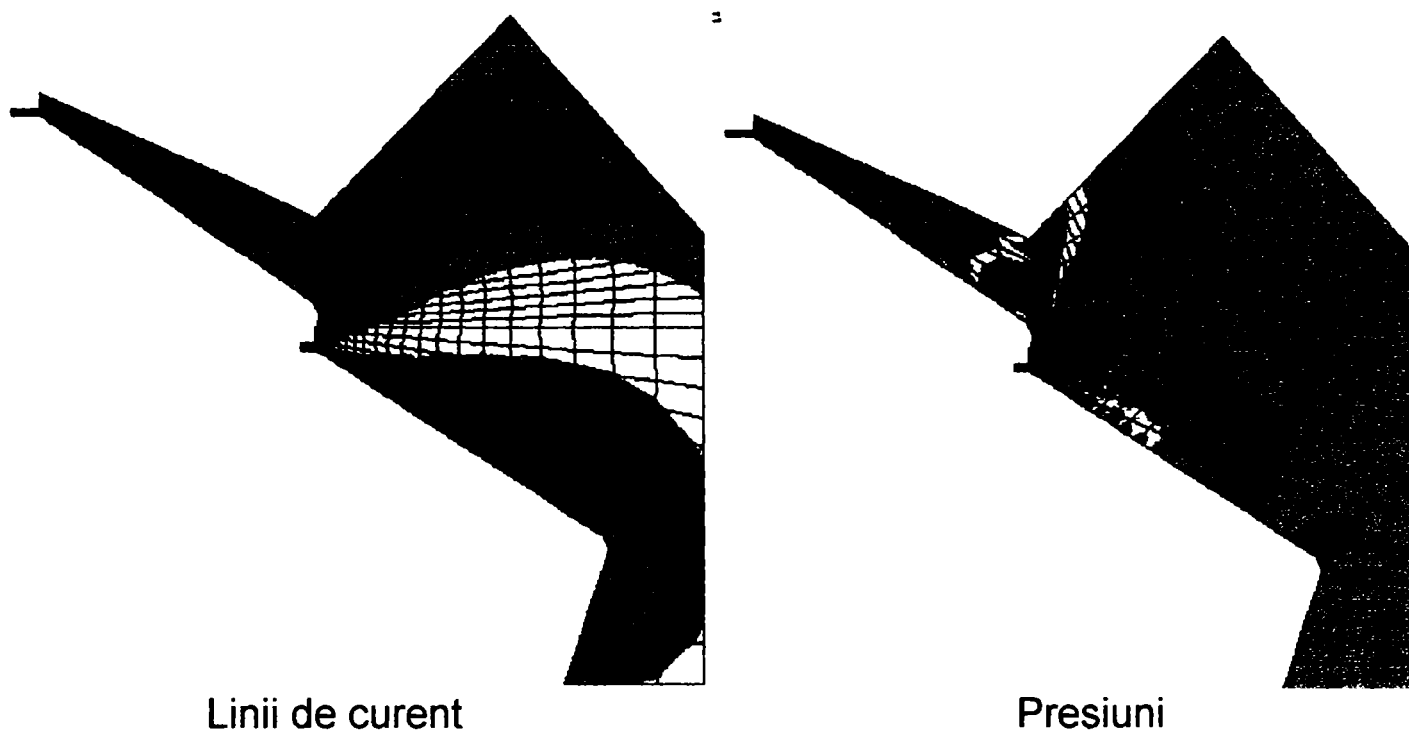


Fig. 4.16 Ajutaje etajate. Voleti plani. Simulare numerică, $b_1 = 2 \text{ mm}$, $b_2 = 2 \text{ mm}$, $\alpha_1 = 30^\circ$, $\alpha_2 = 30^\circ$.

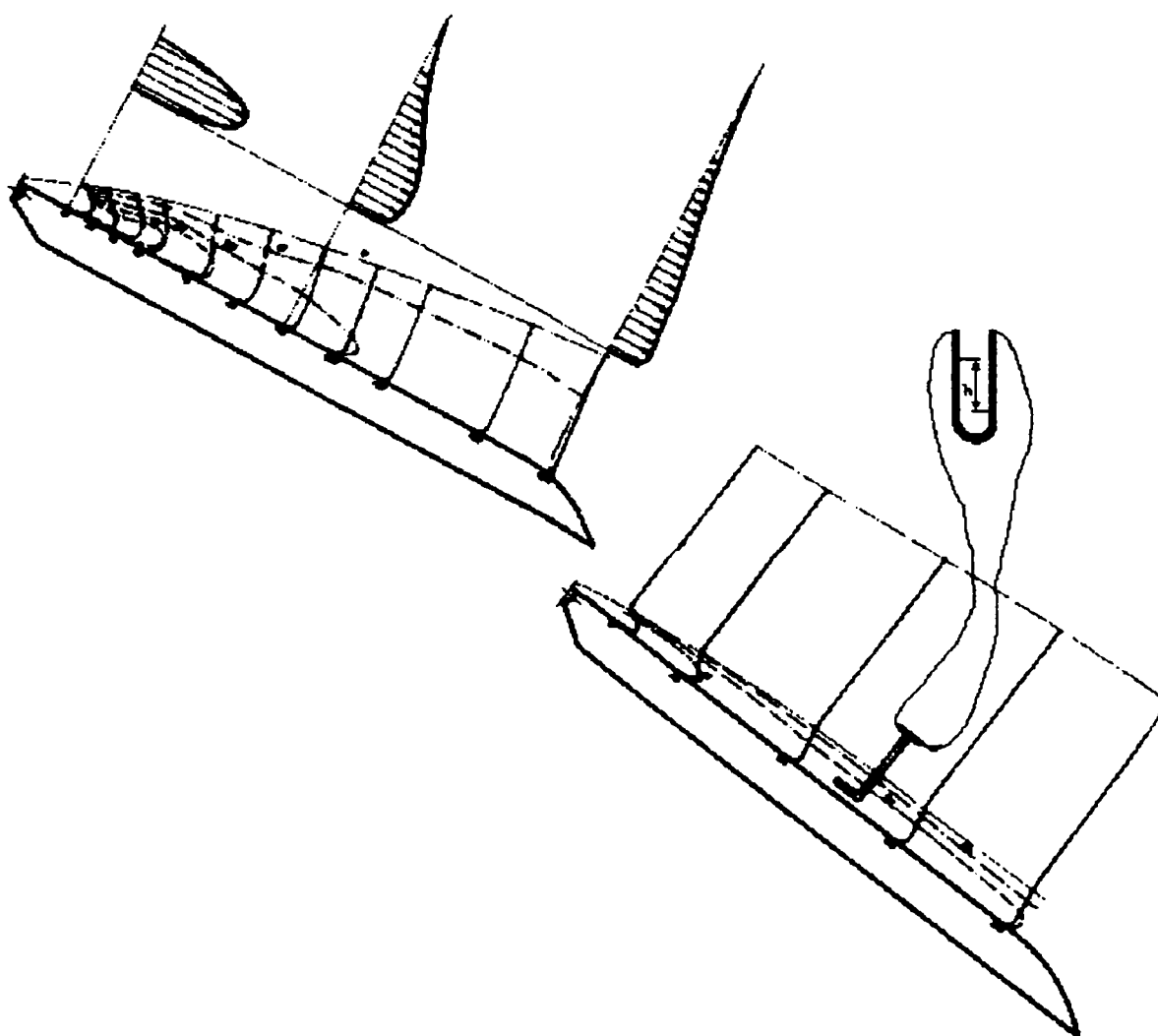


Fig. 4.17 Ajutaje etajate. Voleti plani. Distributii de viteze în jet.

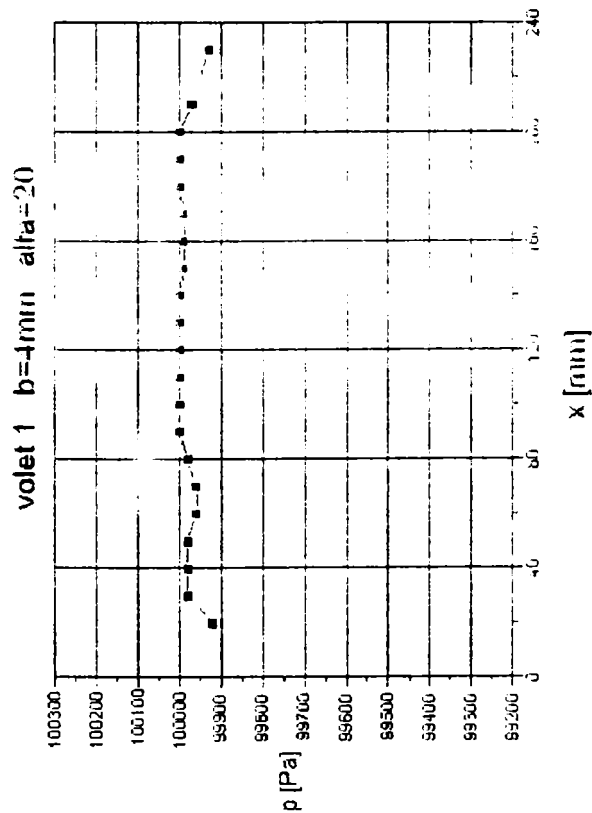
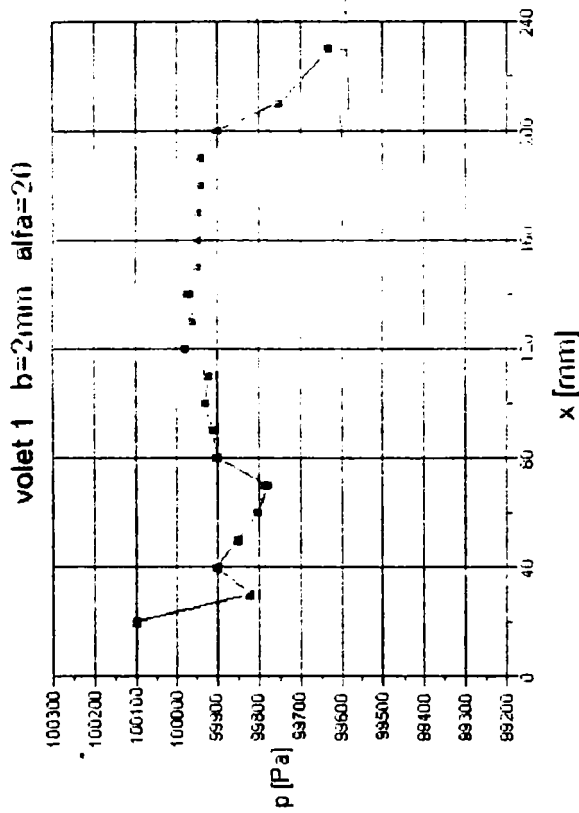
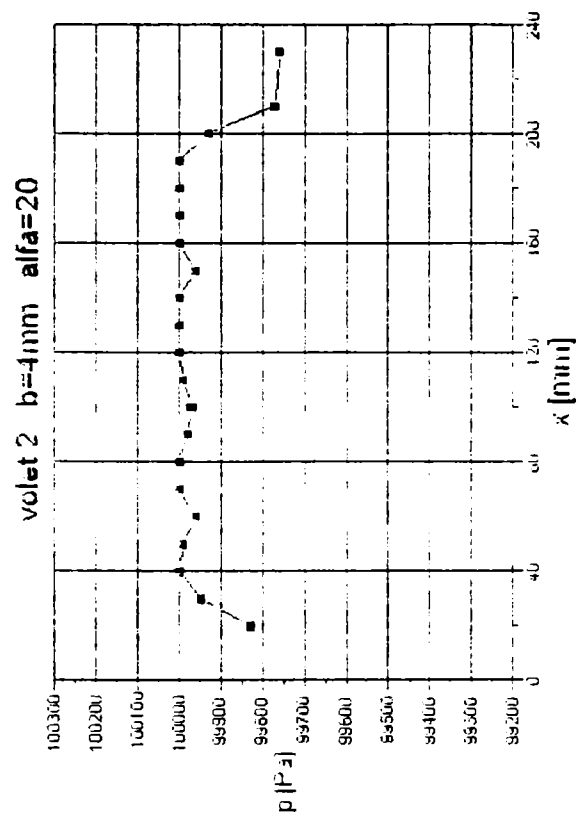
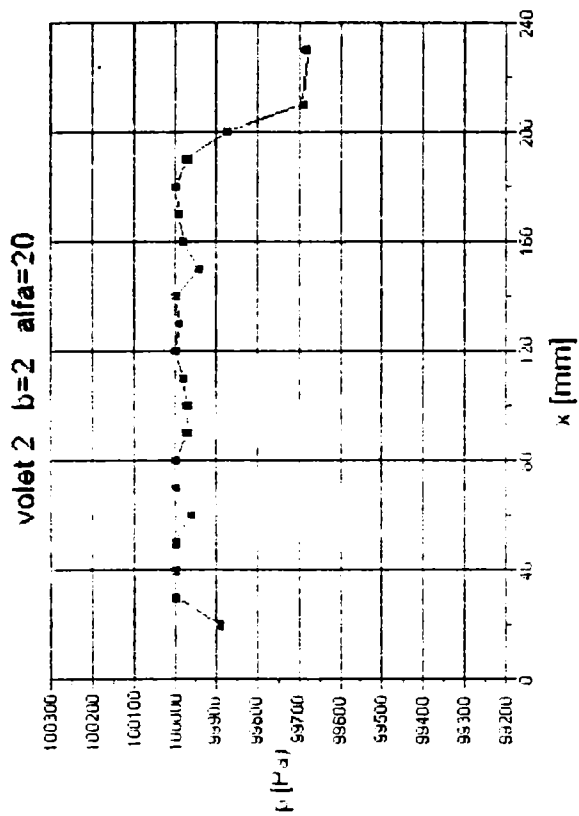


Fig. 4.18 Ajutaje etajate. Voleti plani. Distributii de presiuni.

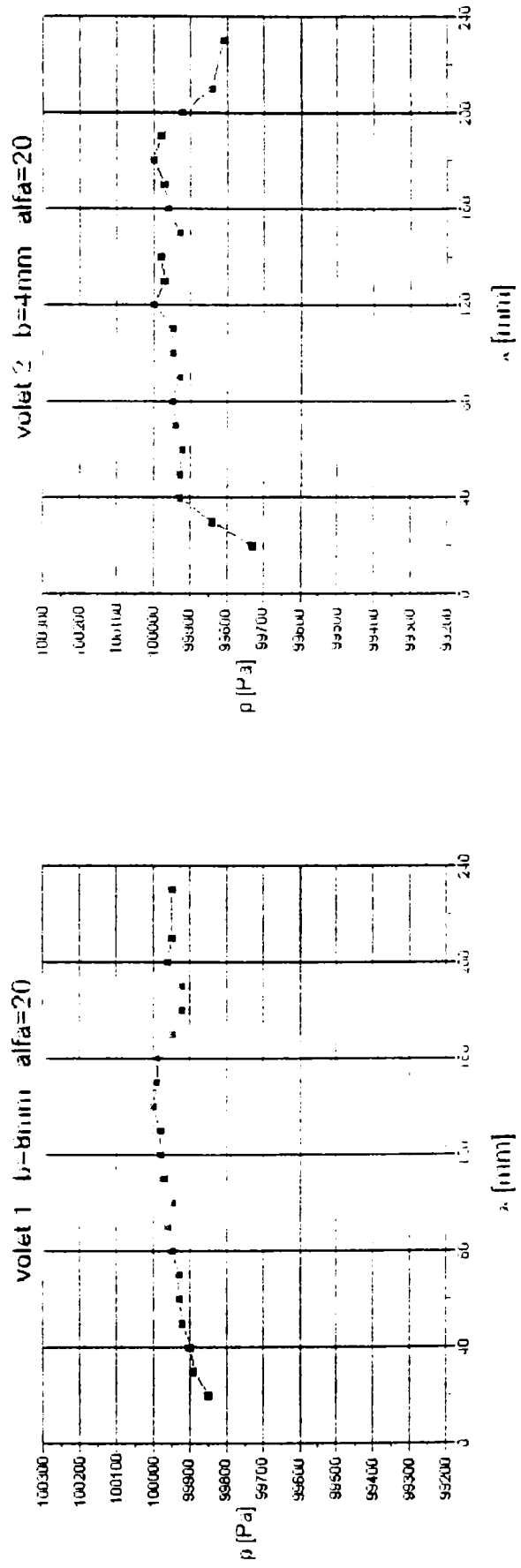
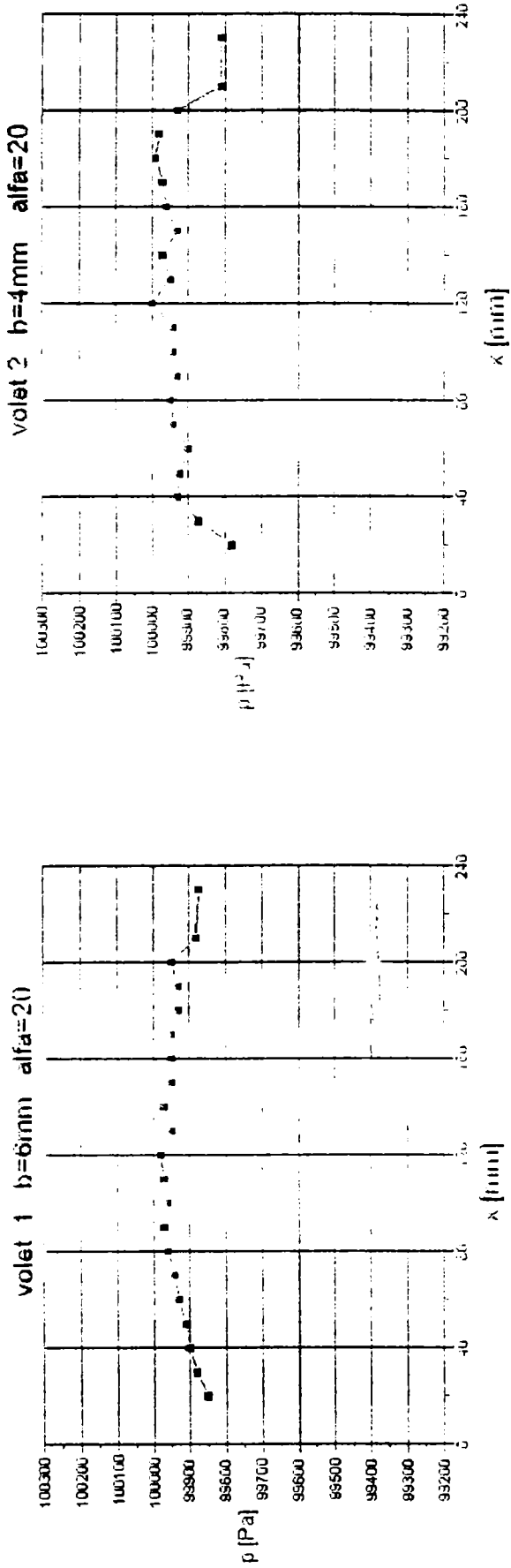


Fig. 4.18. Ajustaje etajate. Voleti plani. Distribuții de presiuni.

Pentru solutia analizată, fig. 4.13, - ajutaje Coandă etajate cu voleti plani - au rezultat următoarele concluzii:

- efectul de atașare al celor două jeturi conduce la valori ale deviației totale de până la 90° , fig. 4.15;
- în jetul atașat distribuția vitezei după normala la suprafața voletului - specifică jetului parietal [52], [98] - se modifică pe măsura îndepărtării de ajutaj, fiind marcată de scăderea rapidă a valorii vitezei maxime; totodată pe prima porțiune a voletilor în jetul deviat viteza este superioară celei din ajutaj, fig. 4.17;
- repartitia de presiuni pe voletul aval este influențată sesizabil doar pentru valori mici ale unghiului de bracare și viteze initiale mari ale jetului provenit din ajutajul amonte, fig. 4.18;
- zona depresionară este limitată pe volet la un segment cu o extindere de $(15 \dots 20)b$, din imediata vecinătate a ajutajului; în rest, chiar dacă jetul se menține atașat, presiunea este apropiată de cea exterioară (atmosferică), fig. 4.18;
- în distribuția presiunilor, indiferent de valorile unghiului de bracare și înălțimea ajutajului apar fluctuații determinate de desprinderea și reatașarea jetului, fig. 4.15, fig. 4.18.

Obs. Simularea numerică utilizată [5] oferă posibilitatea de a analiza calitativ solutia geometrică în vederea optimizării. În fig. 12 ,13 sunt prezentate liniile de curent, câmpul vitezelor și distribuția presiunilor, pentru două configurații - voleti plani și voleti circulari.

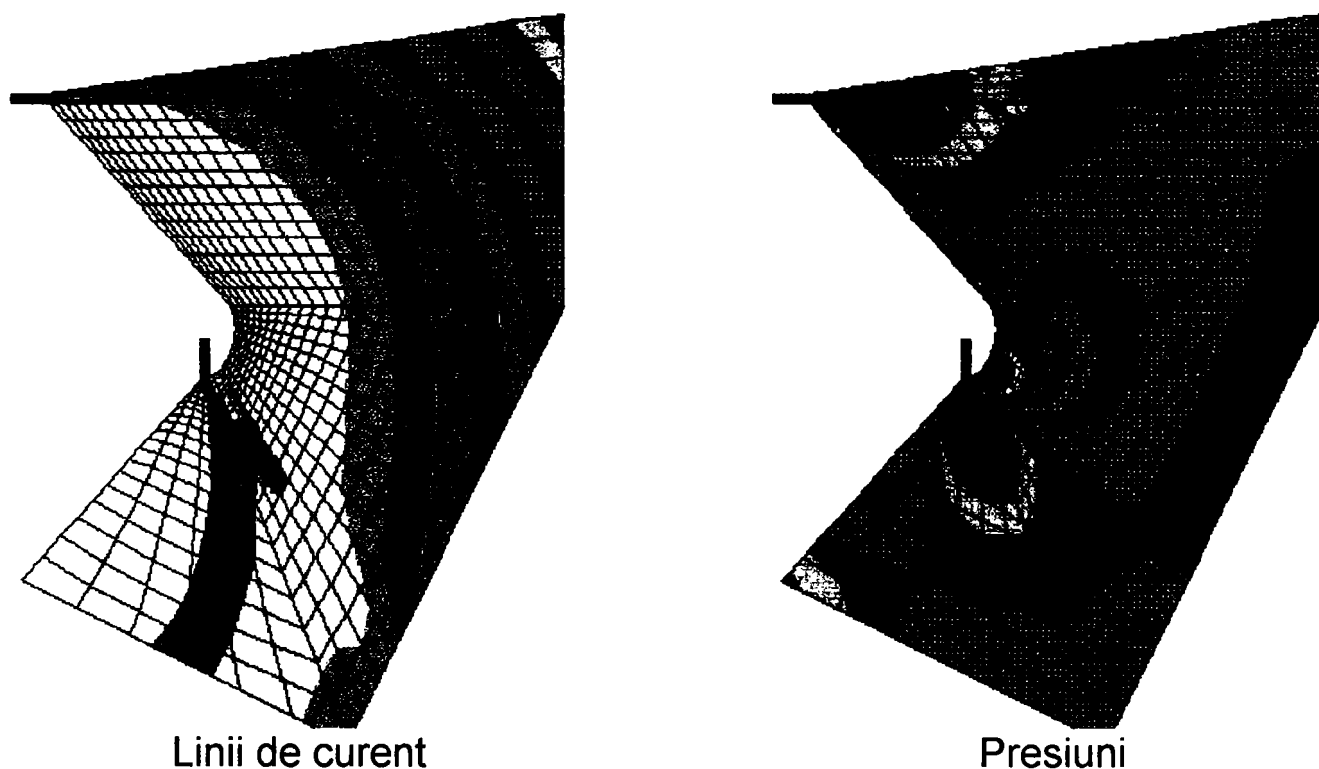


Fig. 4.19 Ajutaje Coandă etajate. Simulare numerică.

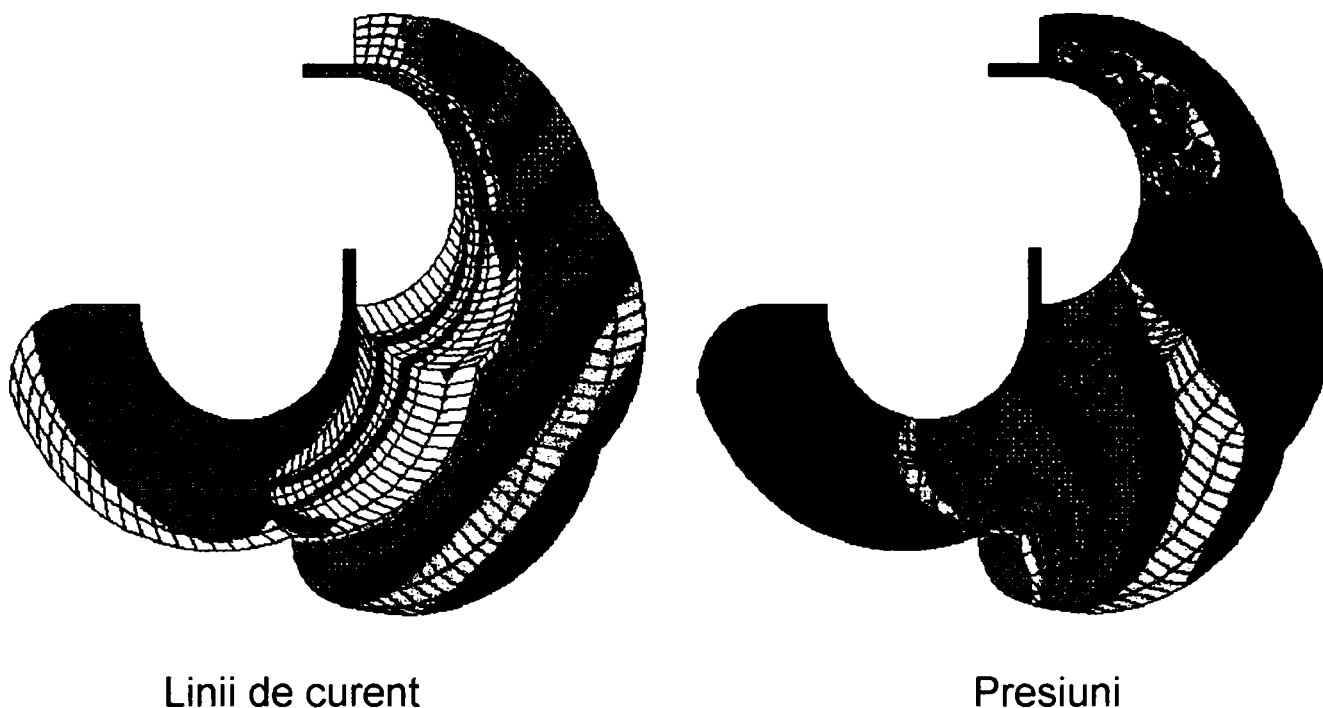


Fig. 4.12 Ajutaje Coandă etajate. Simulare numerică.

Prin utilizarea sistemului de ajutaje Coandă etajate se pot obtine efecte cumulate constând în:

- amplificarea depresiunii create și extinderea zonei depresiionare pe volet;
- creșterea unghiului de deviere a jetului;
- sporirea debitului antrenat;
- generarea unor mișcări circulatorii.

În lucrare, abordând aspectul aplicativ al ajutajelor etajate se prezintă un procedeu de generare prin Efect Coandă și de simulare a efectului Magnus.

4.3 Generarea Efectului Magnus prin Efect Coandă

4.3.1 Efectul Magnus

Mișcarea permanentă și uniformă a unui fluid viscos în prezența unui cilindru în rotație în jurul axei sale este caracterizată de apariția unei forțe superficiale - Efect Magnus [16], [92], determinată de distribuția de presiuni, generată de circulația indusă de antrenarea fluidului din vecinătatea frontierei cilindrului. Valoarea relativă a forței depinde de raportul dintre viteza periferică u a cilindrului și viteza asimptotică V_∞ a fluidului [25], [104].

În ipoteza mișcării plane - cilindru de anvergură infinită - pentru componenta acestei forțe după normala la direcția vitezei asimptotice - portanța A - s-a stabilit în cadrul unui model matematic [25] expresia:

$$C_A = \frac{A}{\rho V_\infty^2 2r} = 2\pi \frac{u}{V_\infty}$$
 din care rezultă posibilitatea obținerii unor coeficienți de

portanță C_A superiori celor realizați de profilele aerodinamice performante și recomandă aplicarea Efectului Magnus ca soluție în dispozitivele de propulsie și sustentare. Valorile mari ale rezistenței la înaintare W - componenta forței superficiale după direcția vitezei asimptotice - dar mai ales dificultățile tehnice legate de antrenarea în vederea obținerii unor viteze periferice respectiv a unor rapoarte u/V_∞ mari au limitat utilizarea cilindrului rotitor (generator al Efectului Magnus) ca organ de propulsie sau sustentare [104].

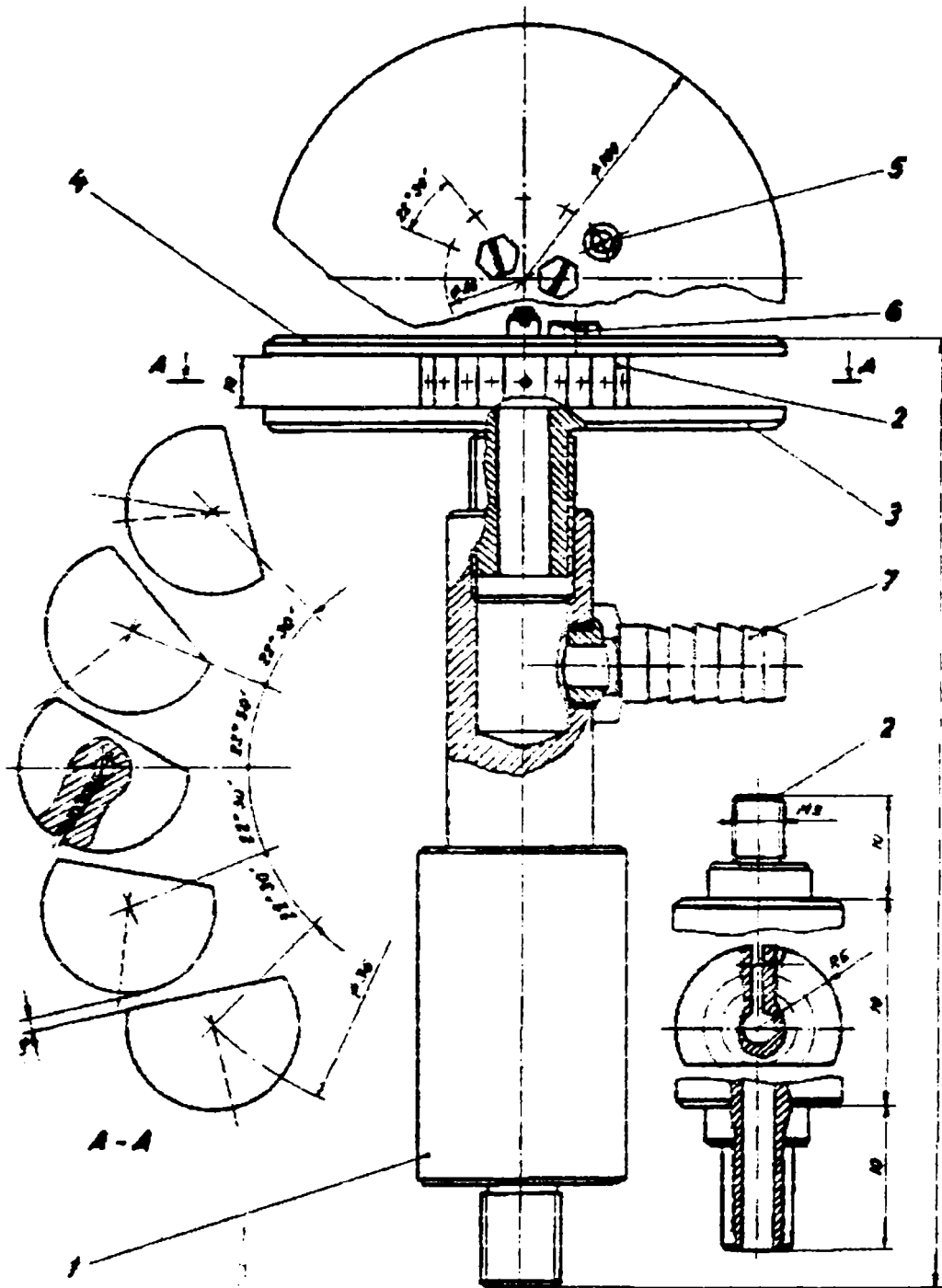
Cu aceste elemente se prezintă un procedeu de generare prin efect Coandă și de simulare experimentală a efectului Magnus.

4.3.2 Instalația experimentală

Dispozitivul conceput pentru utilizarea Efectului Coandă la generarea Efectului Magnus denumit cilindru Coandă-Magnus este prezentat în fig. 4.21.

Frontiera "cilindrică" este materializată de ansamblul voletilor Coandă echidistante (2) dispuse circular între discurile (3) și (4) care au rolul de a asigura condiția de anvergură infinită. Prin Efect Coandă [58], ca urmare a atașării jeturilor provenite din interstiul (ajutajul) δ dintre doi voleti consecutivi este generată o mișcare circulatorie. Ansamblul din fig. 4.21 se constituie de fapt ca o "rețea circulară" de "ajutaje - volet Coandă". Debitul de alimentare a ajutajelor, furnizat de un compresor este preluat de racordul (7).

Măsurătorile s-au efectuat în tunelul aerodinamic în circuit închis cu venă liberă din Laboratorul de Aerodinamică, Facultatea de Mecanică Timisoara [15]. În zona de lucru a tunelului, fig. 4.22, este plasat cilindru Coandă-Magnus (1), alimentat de compresorul (2), pe un traseu care conține grupul FRU (3), droselul reglabil (4), și debitmetrul (5), (ajutaj profilat [103], [32]).



1. Suport, 2. Vane Coandă, 3. Disc interior, 4. Disc superior, 5. Surub #3, 6. Pățică, 7. Ștuf

Fig. 4.21 Cilindru Coandă-Magnus

Debitul furnizat de compresor rezultă prin calcul [103], [16], în funcție de căderea de presiune pe ajutoraj măsurată cu piezometrul diferentia cu apă (13) și de manometrul (15). Voletii sunt drenati în secțiunea mediană, fig. 4.21, prizele de presiune fiind legate la piezometrul multiplu (14). Măsurarea vitezei s-a efectuat cu traductorul cu fir cald DISA P15 (6), conectat la termoanemometrul DISA 55 A01 [48]. Deplasarea traductorului s-a realizat prin intermediul ansamblului constituit din tija (7), suportul (9), și dispozitivul (8). Viteza asimptotică V_{∞} a rezultat [37] din căderea de presiune pe ajutorajul tunelului aerodinamic (11) măsurată cu micromanometrul (12).

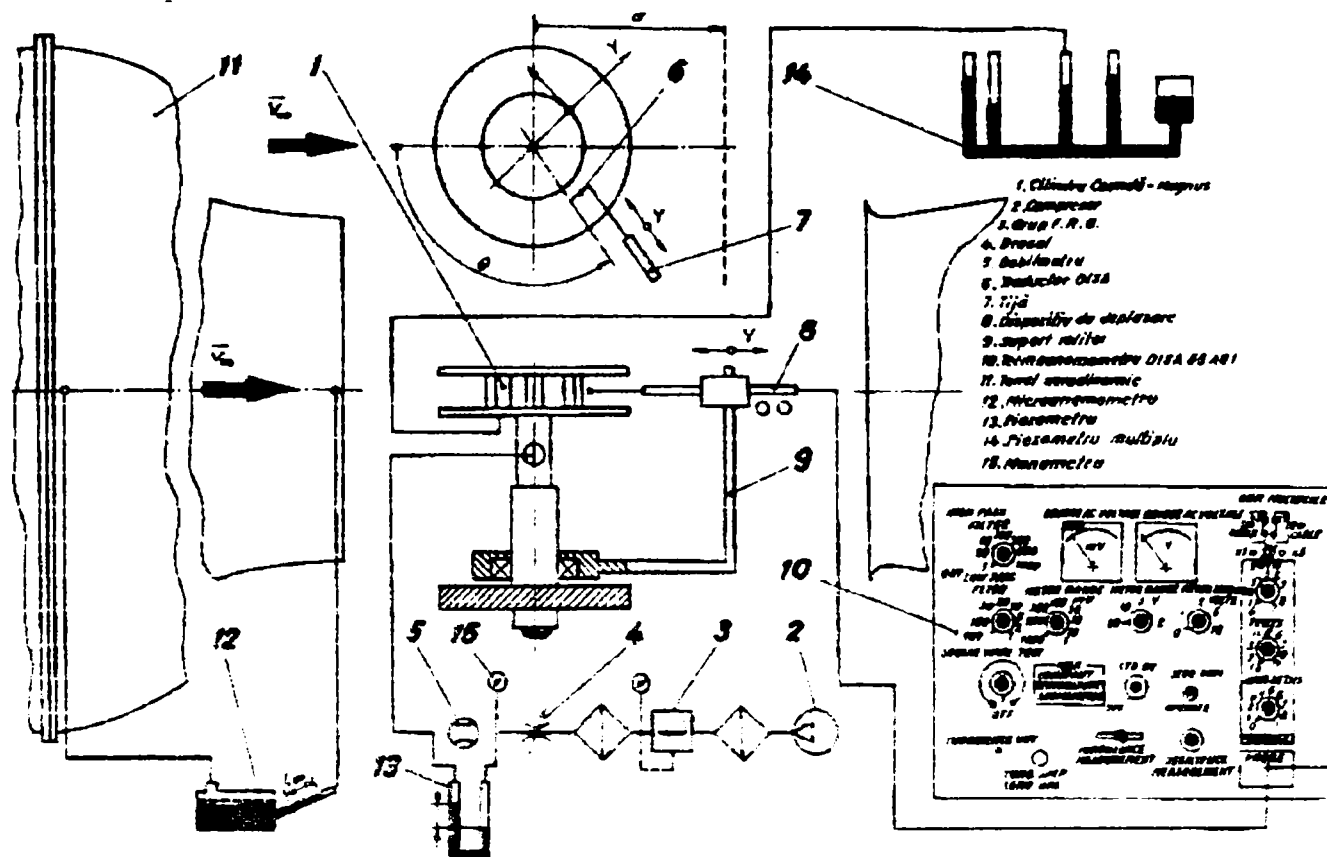


Fig. 4.22 Instalatia experimentală

Observatii:

1. Soluția constructivă a cilindrului Coandă-Magnus, fig. 4.21, permite modificarea și controlul interstițiului δ . În continuare sunt prezentate doar rezultatele corespunzătoare pentru $\delta = 0.8 \text{ mm}$, valoare constantă pe întreaga circumferință. În această situație diametrul "cilindrului" este $D = 0.05 \text{ m}$. S-a admis totodată ca debitul furnizat de compresorul volumic (2), fig. 4.22, a fost egal distribuit și că în secțiunea δ , fig. 4.21, viteza jetului V_j a fost aceeași indiferent de poziția unghiulară a ajutorului Coandă. Pentru debitul compresorului volumic, viteza calculată [24] $V_j = 28.56 \text{ m/s}$ a fost asimilată și egalată valoric cu o viteză periferică u : $V_j = u = \omega D/2$ ce ar corespunde unei rotații ipotetice a cilindrului $n = 3191 \text{ rot/min}$. Ținând cont de dimensiunile relative raportate la diametrul "cilindrului" ale vuleților și interstițiului δ această asimilare este justificată și confirmată de câmpul vectorilor viteză rezultat prin calcul numeric - metoda elementului finit - utilitarul CCSMOS, varianta didactică [31], fig. 4.23.

2. Regimul de curgere este caracterizat de numărul Reynolds $Re = V_\infty D/\nu = 1,09 \cdot 10^5$ și corespunde vitezei asimptotice $V_\infty = 32.47 \text{ m/s}$.

3. În condițiile menționate și pentru raportul $u/V_\infty = 0.667$, parametrii măsurati au fost presiunea pe frontieră, viteza de-a lungul razei (la diferite valori ale unghiului θ) și viteza în dără la distanța d față de centrul cilindrului, fig. 4.22.

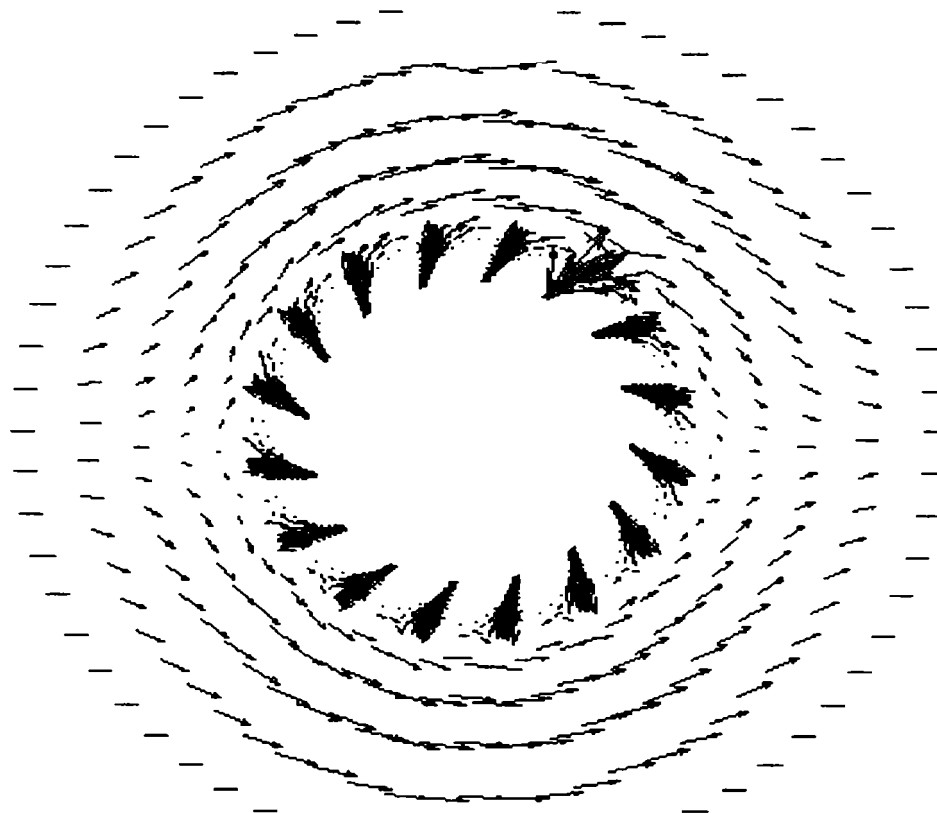


Fig. 4.23 Câmpul vitezelor în prezența cilindrului Coandă-Magnus

4.3.3 Reprezentări grafice. Interpretarea rezultatelor

În reprezentare carteziană și polară fig. 4.24 prezintă suprapuse variația coeficientului de presiune C_p [30], pe frontiera cilindrului pentru următoarele condiții:

	V_∞	V_j	Re
a	32.47	-	$1.09 \cdot 10^5$
b	32.47	28.56	$1.09 \cdot 10^5$
c	-	28.56	-

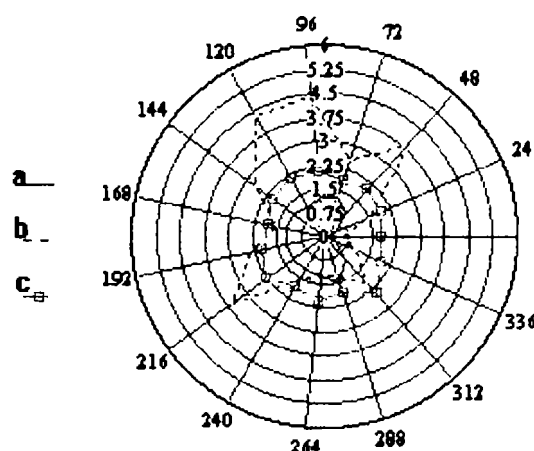
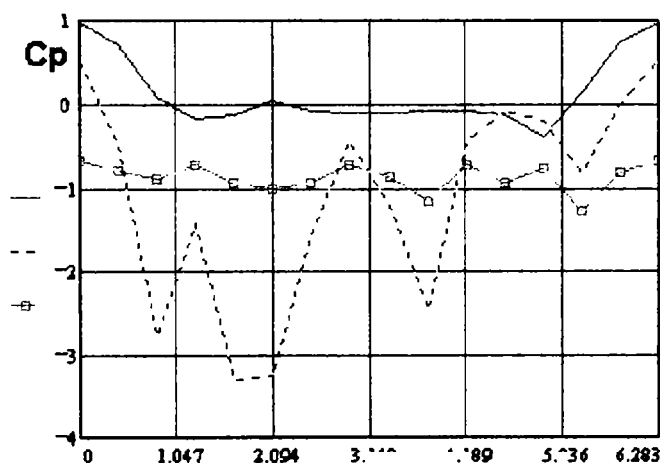
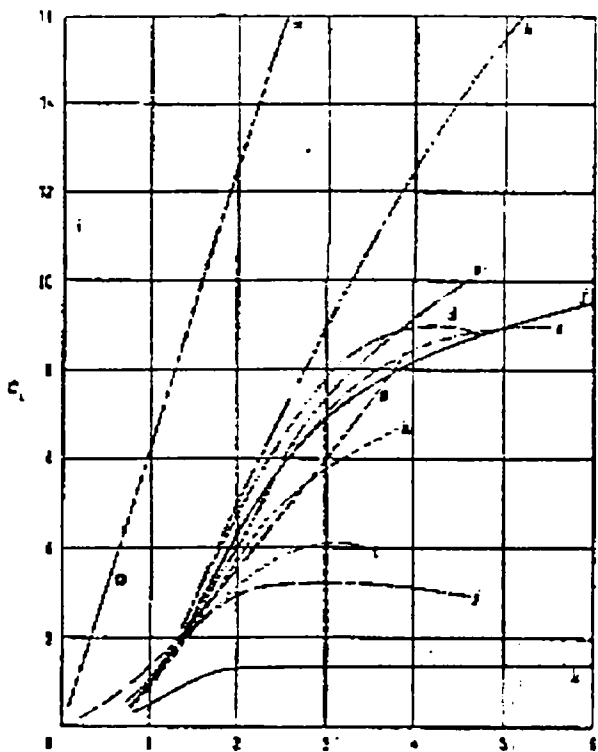


Fig. 4.24 Variația coeficientului de presiune C_p pe frontieră

Curba "c" evidentiază pentru cilindrul dispus în fluidul în repaus - $V_\infty = 0$ depresiunea creată de mișcarea circulatorie generată prin efect Coandă. Curba "a" prezintă distribuția de presiuni pe frontiera cilindrului în fluidul în mișcare uniformă și permanentă. Pentru cilindrul Coandă-Magnus această distribuție se modifică substanțial datorită mișcării circulatorii generată prin Efect Coandă și este prezentată de curba "b". Se remarcă valori comparativ mari ale coeficientului de presiune C_p pentru cilindrul Coandă-Magnus. Pentru cilindrul Coandă-Magnus s-au determinat prin integrare numerică coeficienții de portantă $C_A = \int_0^{2\pi} C_p \sin \theta d\theta = 3.24$ și de rezistență $C_W = \int_0^{2\pi} C_p \cos \theta d\theta = 1.206$. Valoarea rezultată a coeficientului de portantă este marcată în fig. 4.25 [104], care concentrează rezultatele obținute experimental pentru cilindrii în rotație.



	u/V_∞	Re
a. fluid ideal	∞	∞
b. Thom	12.5	$(5.3-8.8) 10^3$
c. Reid	13.3	$(3.9-11.6)10^4$
d. Göttingen	4.7	$5.2 10^4$
e. Thom	8	$1.6 10^4$
f. Swanson	∞	$3.5 10^4 - 3 10^5$
g. Thom	5.7	$(3-9) 10^4$ rugos
h. Thom	5.7	$(3-9) 10^4$ neted
i. Göttingen	4.7	$5.2 10^4$
j. Schwarzenberg	4.5	$(5.4-11.6) 10^4$
k. Swanson	2	$5 10^4$
l. Galeriu	0.67	$1.09 10^5$

Fig. 4.25 Coeficienti de portantă comparati

Pentru cilindrul Coandă-Magnus această valoare este superioară pentru $u/V_\infty = 0.667$ celor corespunzătoare cilindrilor rotitori și se apropie de curba teoretică.

Observatie:

Alura curbei de variație a coeficientului de presiune pe cilindrul Coandă-Magnus (fig. 4.24 curba "b") poate fi explicată prin prezenta în anumite porțiuni ale frontierei ale unor fenomene de desprindere și reatașare ale jeturilor provenite din ajutaje. Totodată suprapunerea celor două mișcări, uniformă de translație (principală) și circulatorie (secundară) provoacă în zona de influență determinată de prezenta cilindrului Coandă-Magnus o mișcare rezultantă complexă. O imagine a acestei mișcări obținută prin calcul numeric [31] este prezentată în fig. 4.26. Această imagine este completată cu măsurători ale

Se observă că:

- Influenta acestei mișcări se manifestă, după rază, pe o distanță aproximativ egală cu $D/4$.
- Profilul vitezelor după normala la frontiera cilindrului marchează în unele zone prezenta mișcărilor de recirculație.
- Distribuția vitezelor în dâră indică formarea și desprinderea nucleelor de vârtejuri.

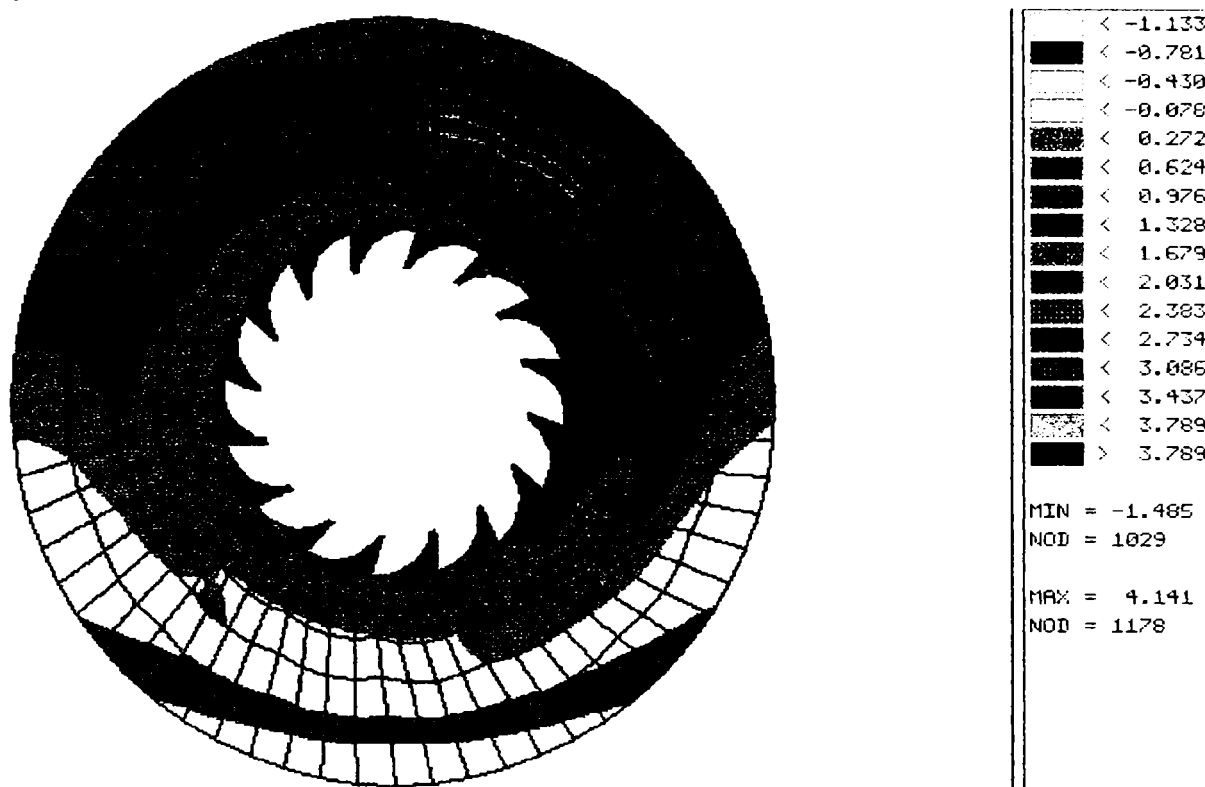


Fig. 4.26 Tabloul mișcării fluidului în prezenta cilindrului Coandă-Magnus

4. Concluzii.

- Într-un fluid în mișcare uniformă și permanentă în prezenta unui cilindru imobil, lucrarea prezintă un procedeu și o soluție prin care se obține o forță de tip Magnus.
- Procedeu constă în generarea prin Efect Coandă a unei mișcări circulatorii care simulează rotația.
- Măsurătorile de presiuni și viteze și modelările numerice justifică procedeul și oferă o imagine a tabloului mișcării fluidului.
- Pentru regimul analizat coeficientul de portanță, superior celui obținut la cilindrii rotitori, recomandă aplicarea procedurii și soluției în dispozitivele de propulsie sau sustentare.
- Modificând viteza jetului (δ), maniera de dispunere (θ) și poziția ajutoarelor se pot controla valorile portanței realizate de cilindru Coandă-Magnus,

deoarece parametrii mentionati influentează distributia de presiuni, fig. 4.28 și distributia de viteze, fig. 4.29, 4.30.

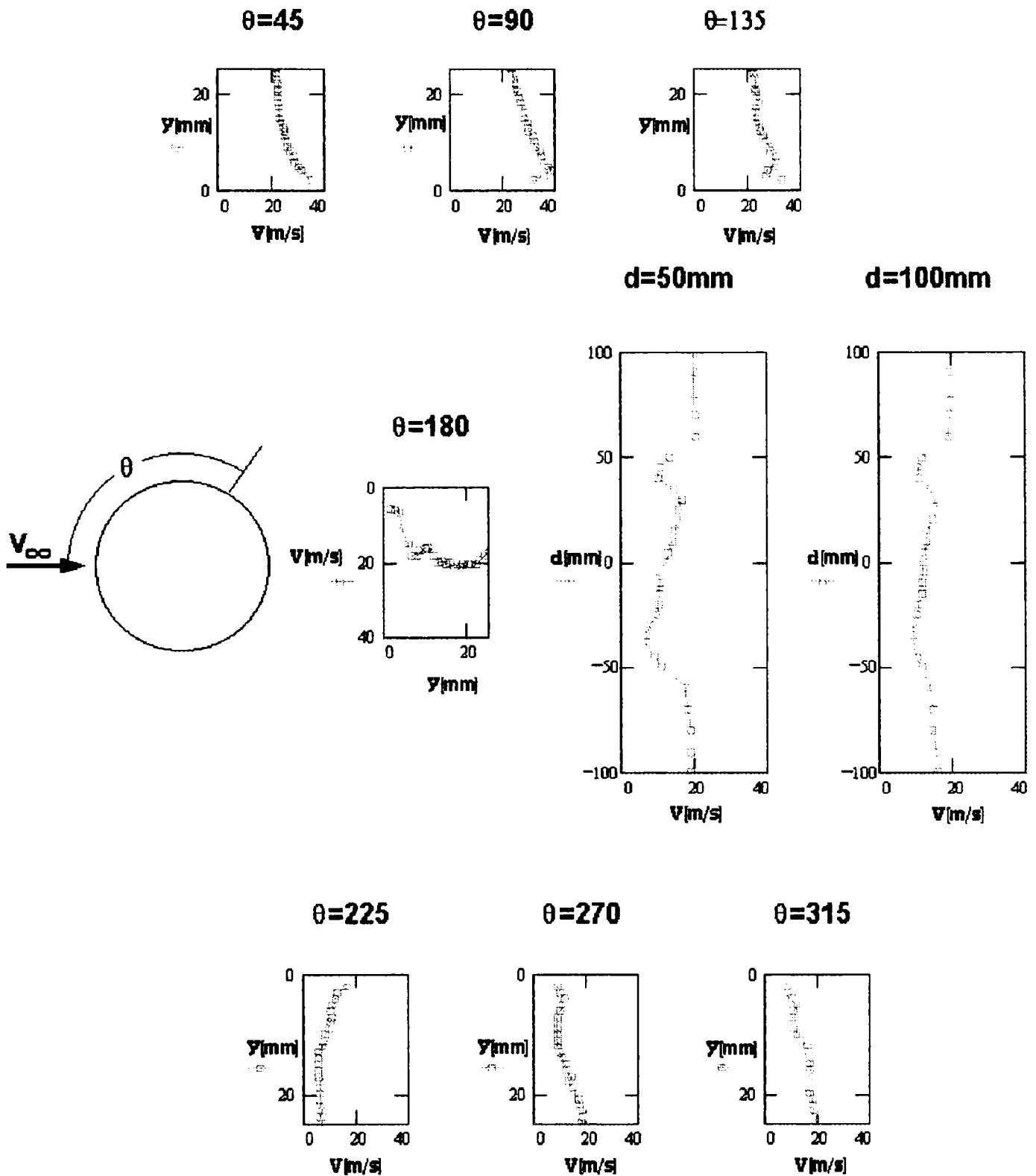


Fig. 4.27 Distribuții de viteze după rază și în dâra cilindrului Magnus.
 $\theta = 360^\circ, \delta = 0,8 \text{ mm}$

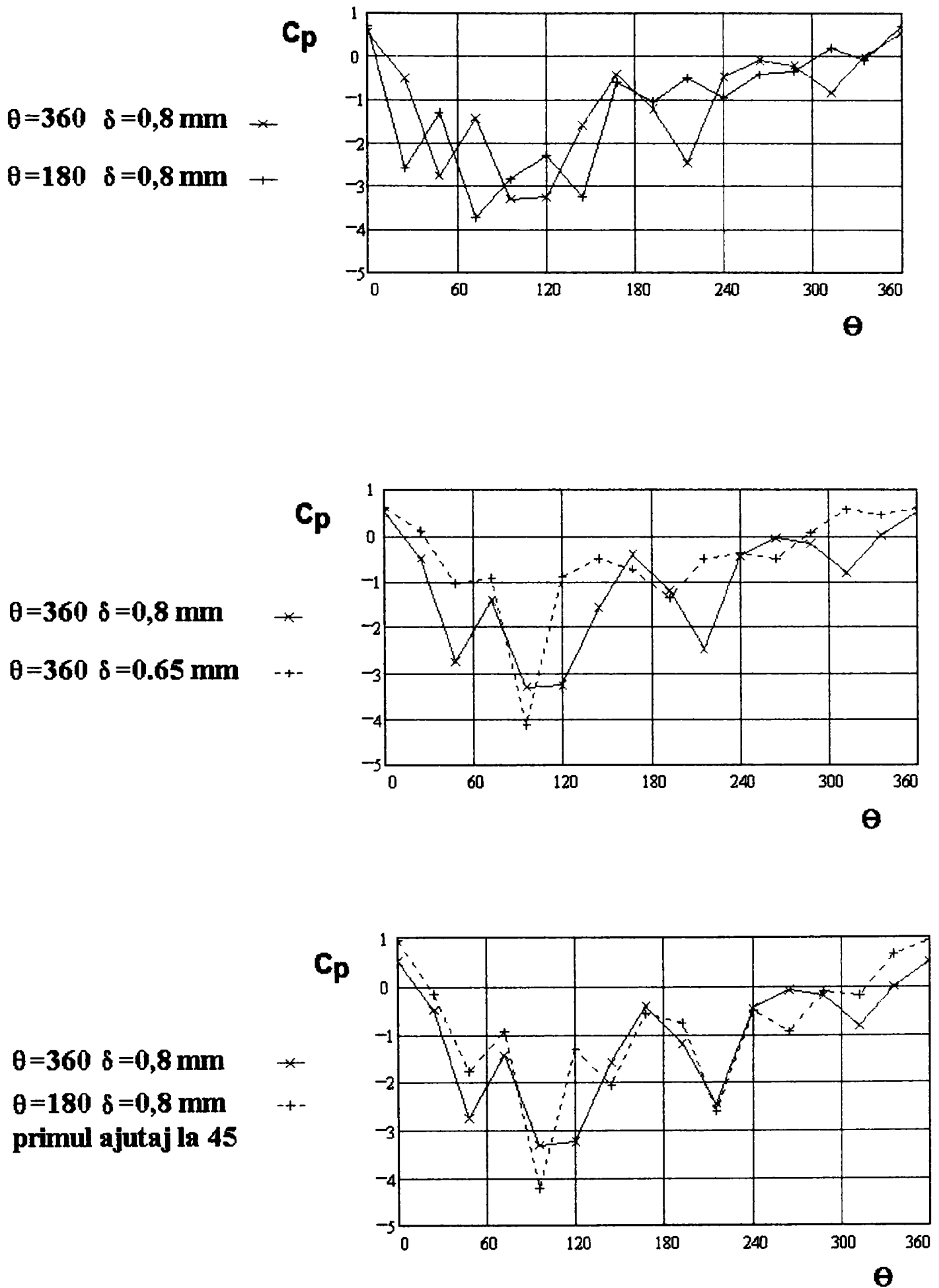


Fig. 4.28 Variatia coeficientului de presiune. Influenta parametrilor δ și θ .

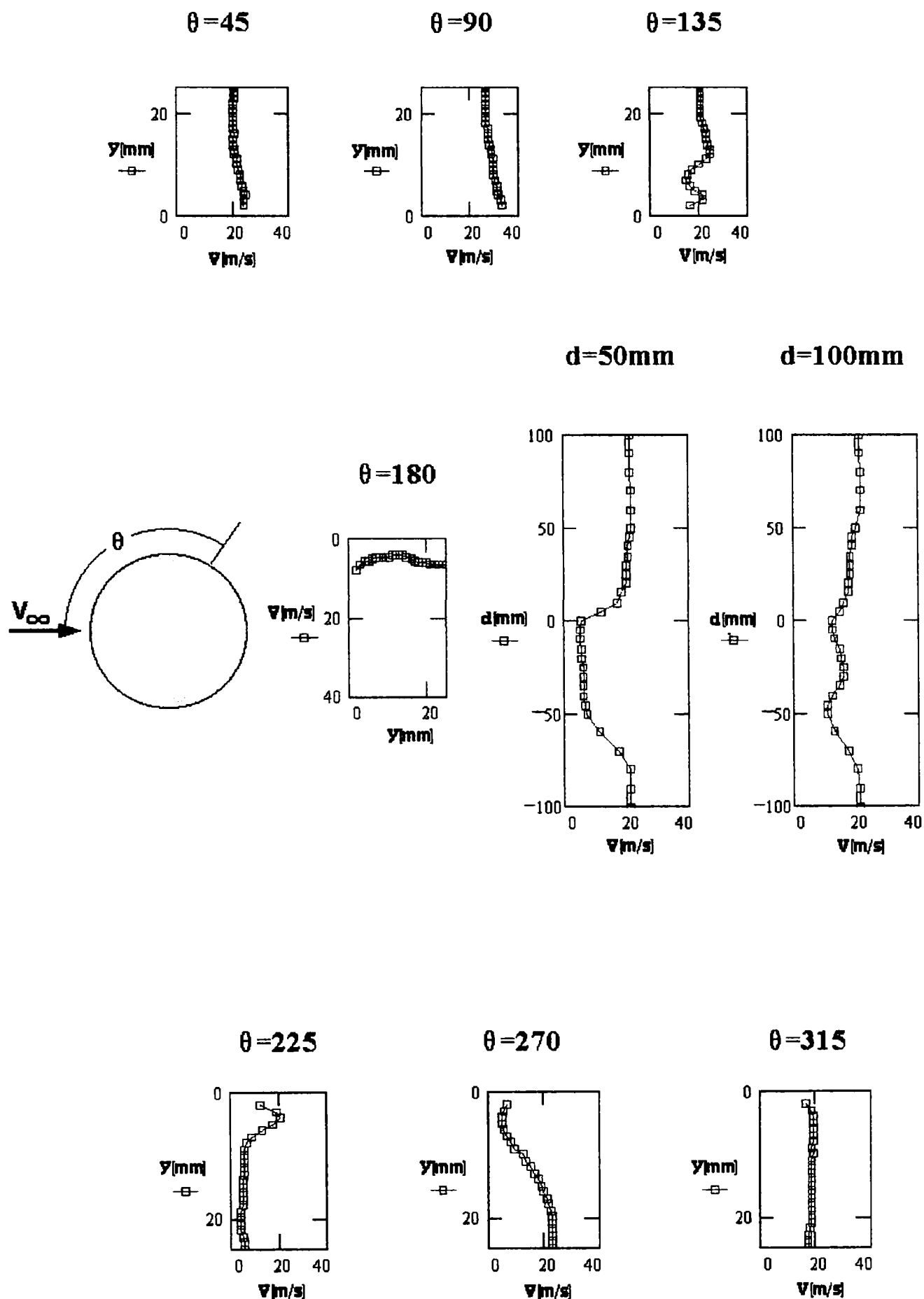


Fig. 4.29 Distribuții de viteze după rază și în dâra cilindrului Magnus.
 $\theta = 360^\circ$, $\delta = 0,65$ mm

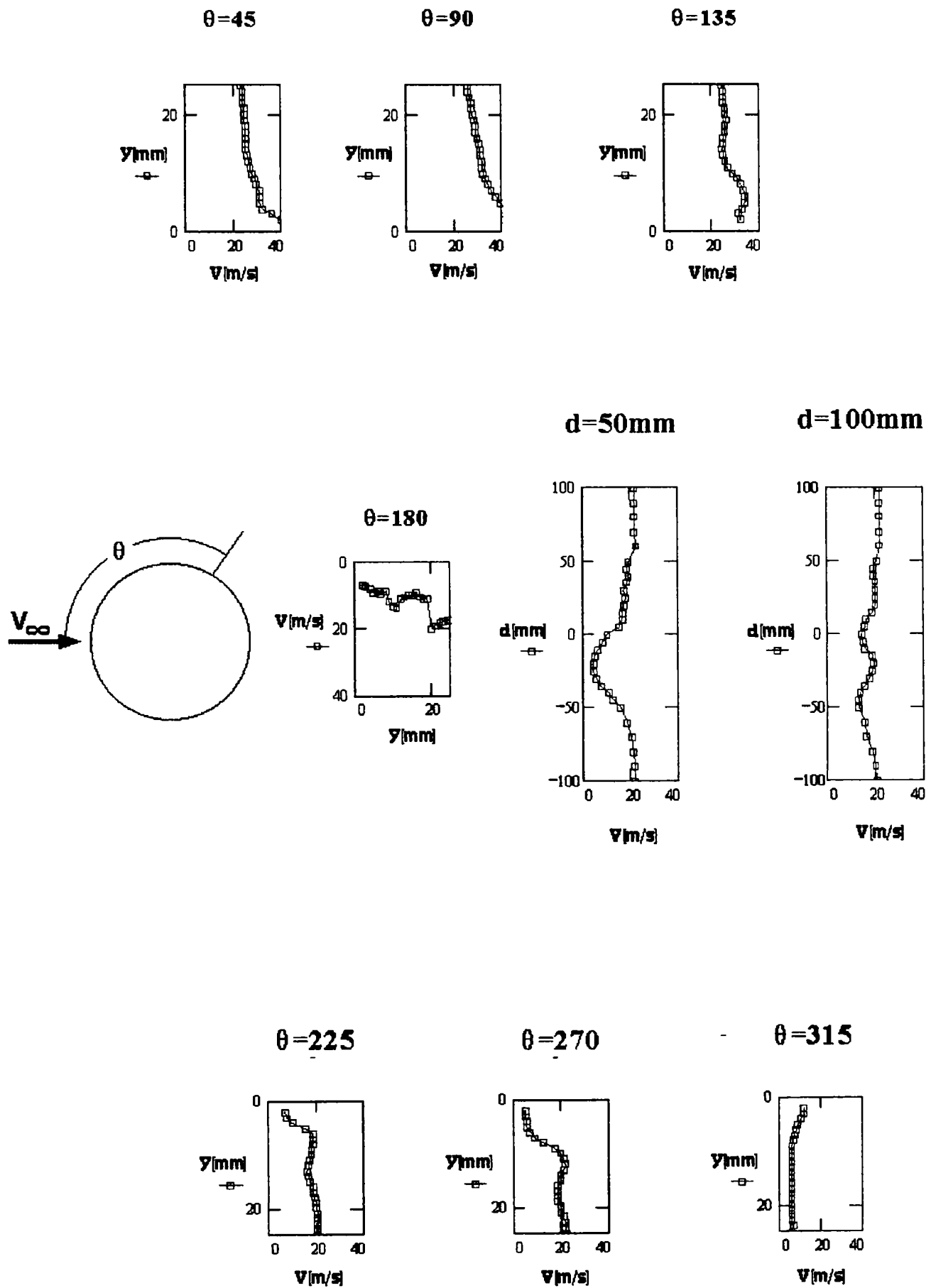


Fig. 4.30 Distribuții de viteze după rază și în dâra cilindrului Magnus.
 $\theta = 180^\circ$, $\delta = 0,8\text{ mm}$

Fig. 4.31 și 4.32 prezintă dispozitivul de generare a Efectului Magnus prin Efect Coandă, respectiv mecanismul de deplasare a traductorului cu fir cald.

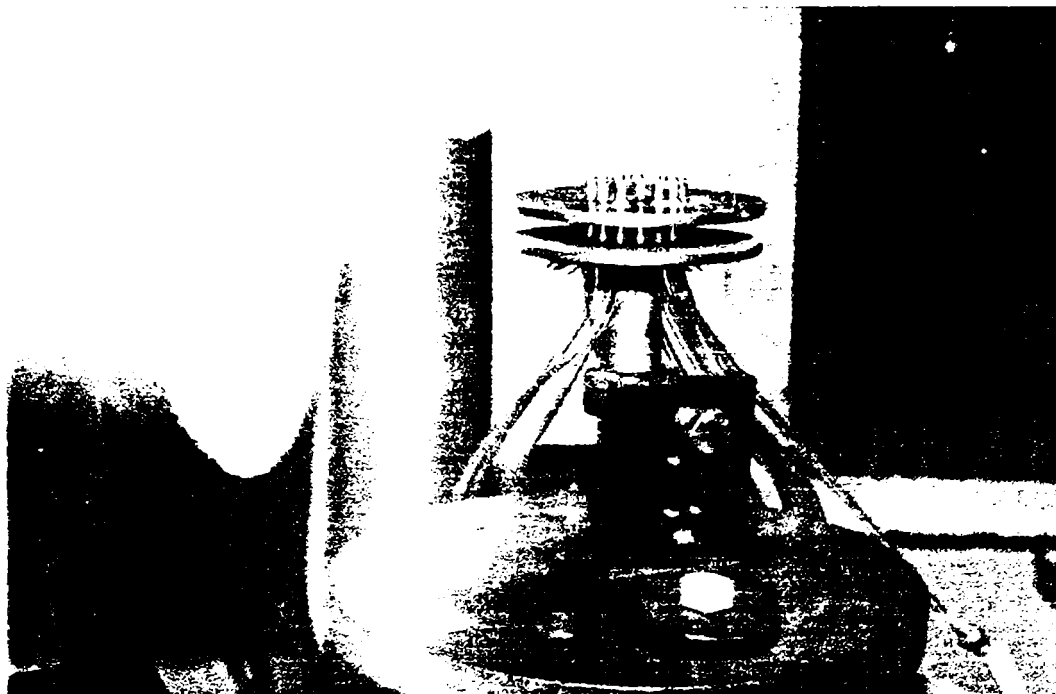


Fig. 4.31 Dispozitivul de generare a Efectului Magnus prin Efect Coandă.

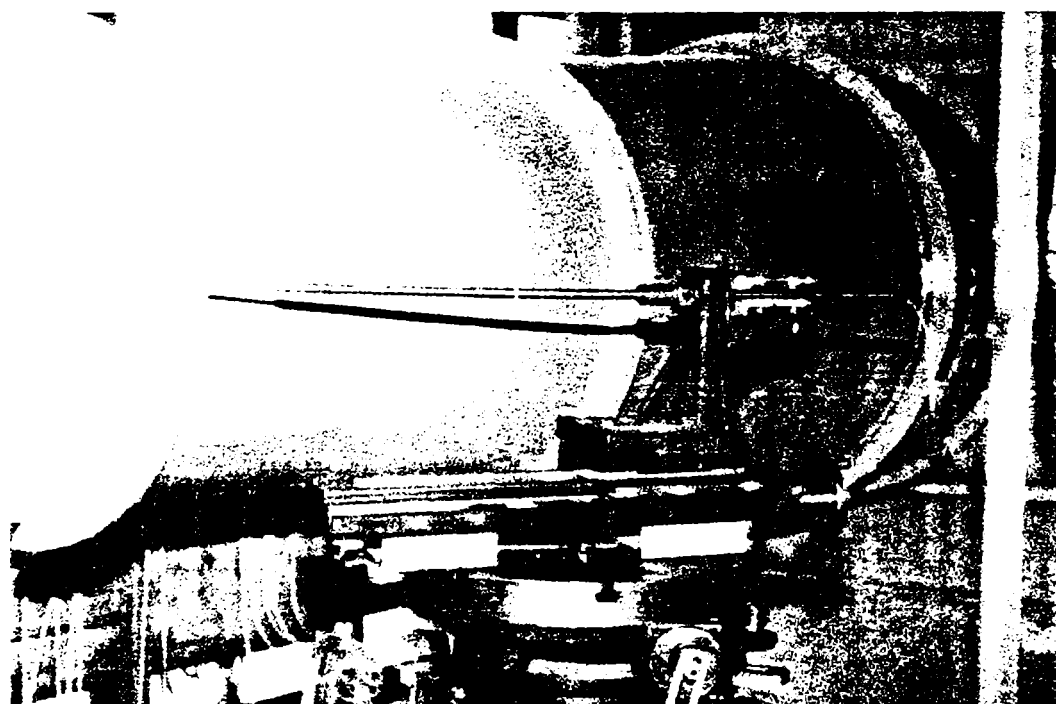


Fig. 4.32 Mecanismul de deplasare a traductorului cu fir cald.

4.4 Ejector Coandă cu dublu flux

4.4.1 Ejectoare. Principii functionale. Soluții constructive

Ejectoarele sunt dispozitive stationare (fără piese în mișcare), în care au loc procese de transfer între două fluide, fluidul motor (primar), cu nivel energetic superior și cel secundar (antrenat). Aceste procese de transfer - energetic și masic - sunt generate de mișcarea de tip jet a fluidului primar, mișcare care se desfășoară într-o zonă delimitată de frontiere solide, fig. 4.33.

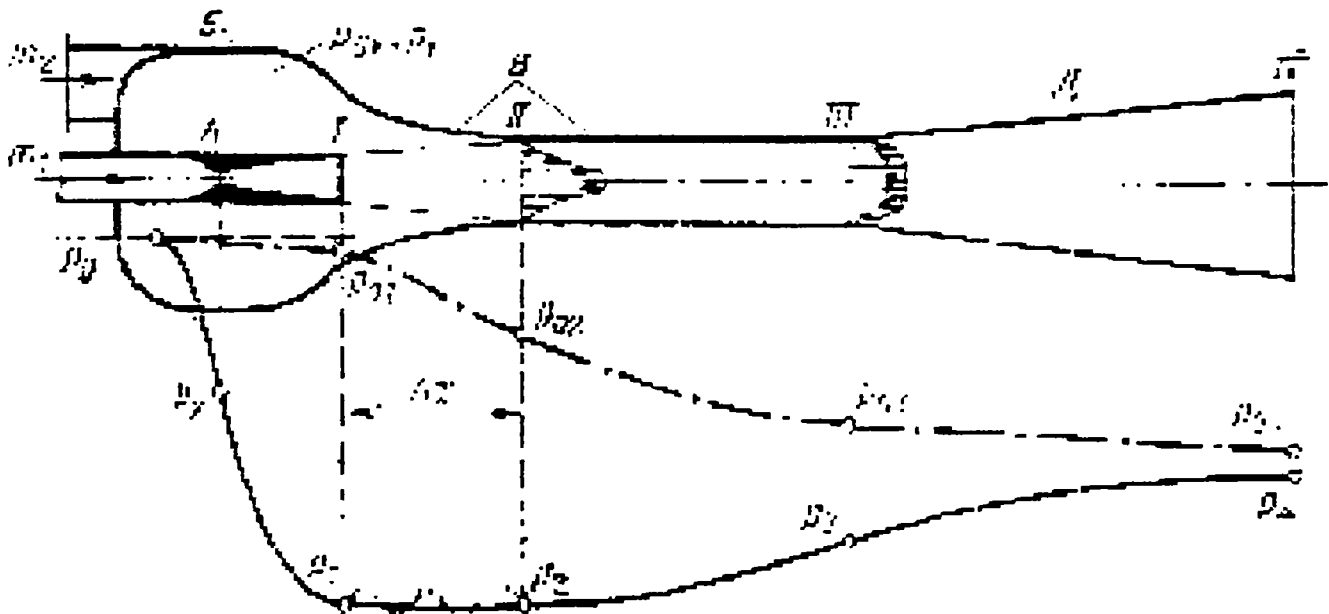


Fig. 4.33 Ejector, Schema funcțională.

La acest tip de mișcare o parte din energia jetului (în principal din componenta cinetică) este transferată fluidului secundar absorbit și antrenat. Transferul, provocat în esență de tensiunile viscoase și turbulente prezente și în mișcarea rezultantă a celor două fluide este afectat de disipatii. Aceste disipatii limitează eficiența ejectoarelor. Cu toate acestea ejectoarele au fost și sunt utilizate în variate soluții constructive, fig. 4.34, mai ales ca generatoare aerohidraulice sau pompe de vid, datorită și următoarelor avantaje:

- fluidul motor și cel antrenat pot avea densități diferite;
- soluțiile constructive sunt simple și fiabile;
- există posibilitatea folosirii unei surse de energie primară pentru fluidul motor, natural disponibilă - energia geopotentială;
- pentru unii parametri - în special depresiunea rezultată ca o consecință a absorbției și antrenării - se pot atinge performanțe deosebite dificil de obținut prin alte metode.

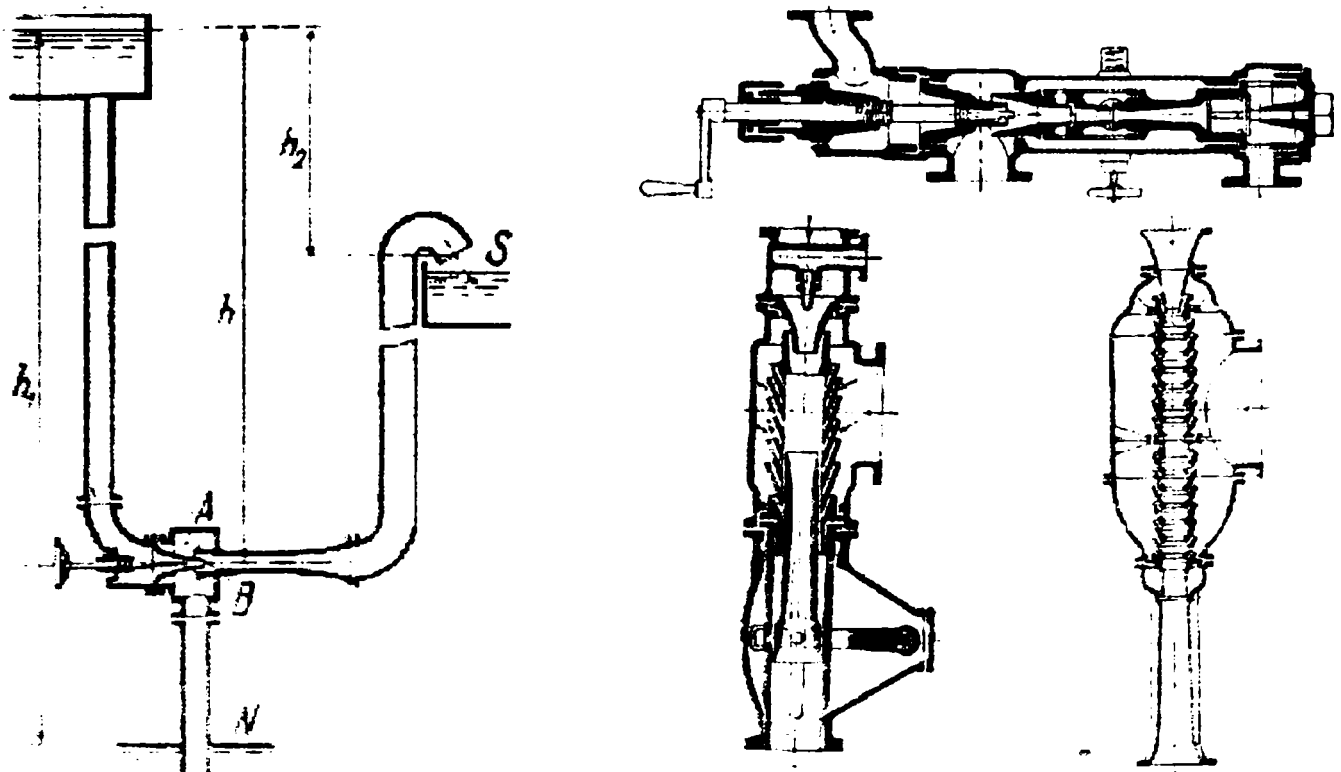


Fig. 4.34 Ejectare. Soluții constructive.

4.4.2 Ejectoare Coandă

Particularitățile Efectului Coandă au fost exploatate și în domeniul ejectoarelor. H. Coandă brevetează primele soluții și în raport de poziția suprafeței volet le clasifică în intericare și extericare, fig. 4.35

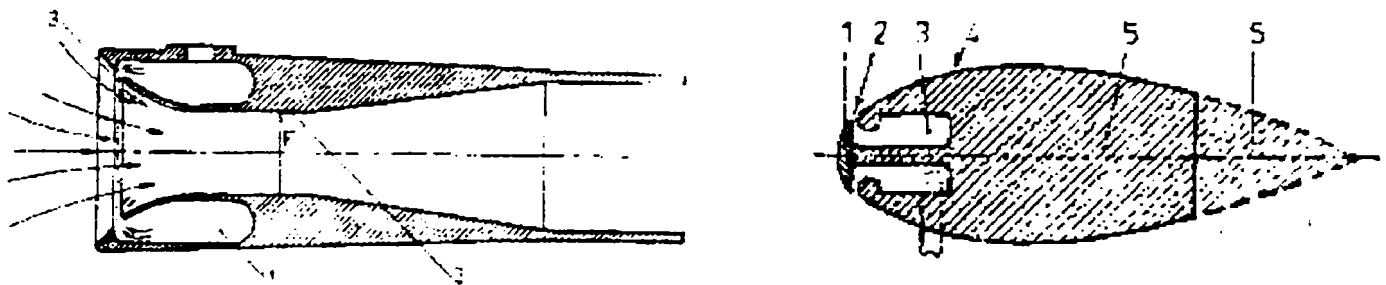


Fig. 4.35 Ejector Coandă interior și exterior.

Primele cercetări sistematice pentru ejectorul Coandă interior, fig. 4.35 au fost efectuate de A. Metral [100] [101]. Se observa că ca ejectorul Coandă propriu-zis este prelungit cu un difuzor. Pentru diferite variante ale geometriei suprafeței volet, modificând presiunea de alimentare și grosimea jetului inelar s-au determinat: debitul total, debitul antrenat, distribuția presiunilor pe volet.

V. Benche, L. Benche, S. Fota, Z. Balog [19], [20] și V. Benche, V. Barbu, L. Ungurianu [21] analizează mai multe variante, cu elemente novatoare, de ejectoare Coandă de interior și exterior, fig. 4.36.

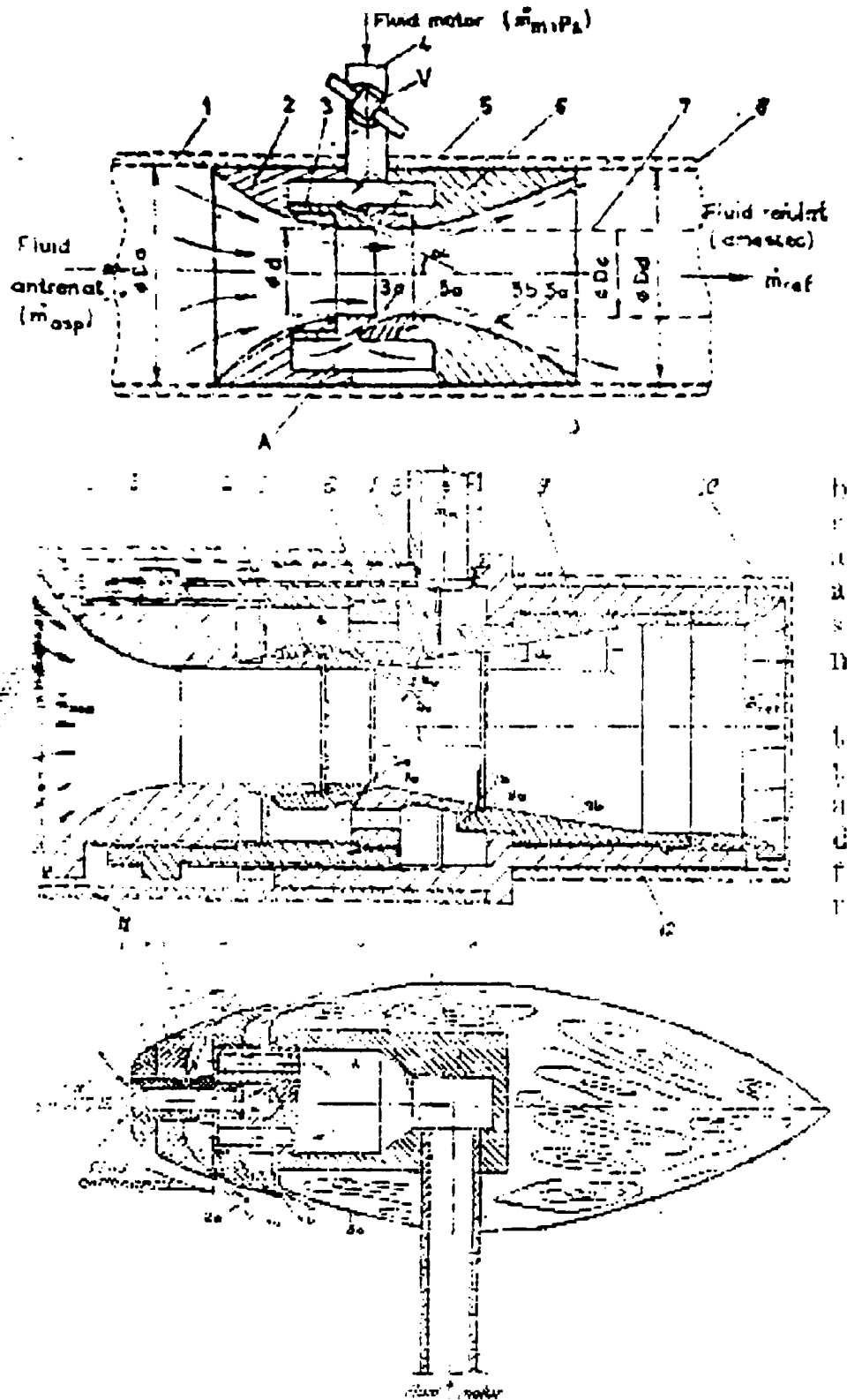


Fig. 4.36 Ejectoare Coandă. Universitatea Braşov.

Caracteristicile acestor ejectoare, respectiv variația debitului (primar, total, antrenat) și a coeficientului de eiecție definit ca raport între debitul absorbit și cel motor, cu presiunea de alimentare, s-au determinat în instalația din fig. 4.37.

Pentru reprezentarea acestor caracteristici, fig. 4.38, autorii au introdus indicatorul funcțional K denumit modul de debit, definit ca raportul:

$$K = \frac{Q_{masic}}{\sqrt{P_{alimentare}}}$$

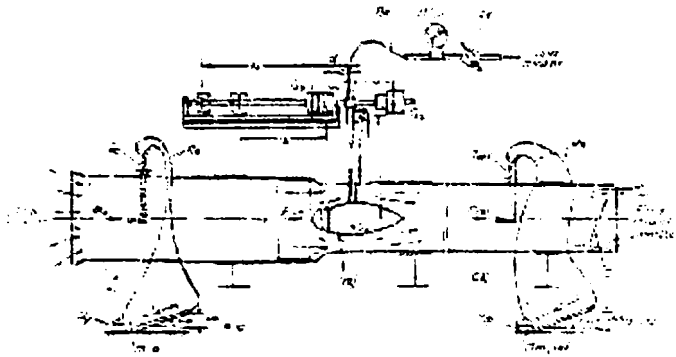


Fig. 4.37 Instalatie pentru studiul ejectoarelor Coandă. Universitatea Braşov.

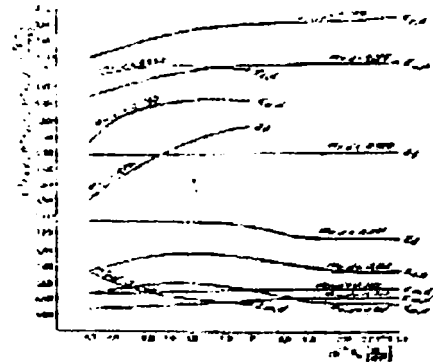


Fig. 4.38 Caracteristicile functionale ale ejectorului Coandă interior. Universitatea Brasov.

În instalatia din fig. 4.37, s-a urmărit de asemenea functionarea ejectorului Coandă interior ca generator aerohidraulic și s-a măsurat pentru cel exterior forta axială. Lucrările efectuate la Universitatea Braşov și cele elaborate de A. Metral tratează, printre putinele, problematica ejectoarelor Coandă ca dispozitive pneumo-hidraulice distincte. Dar, pe aceeași bază principială, în ideea utilizării Efectului Coandă, de generare a forțelor sustentatoare la aparatele cu decolare și aterizare scurta (ADAS) sau pe verticala (ADAV), [87], [40] și în probleme de ventilatie se încadrează și lucrările desfășurate în cadrul U. T. I. A. S. de C. D. Hoppe-Gill [57], T. Mehus [73] fig. 4.39 și Y. Nishimura [79] fig. 4.40.

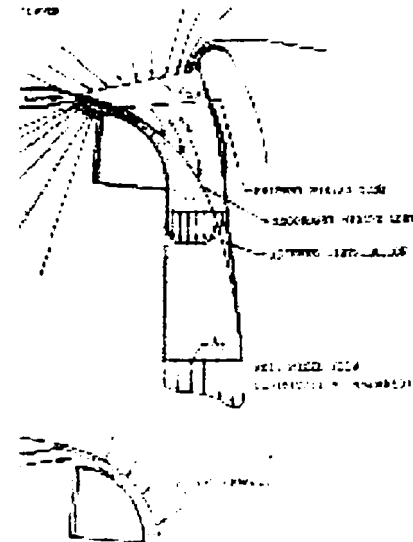
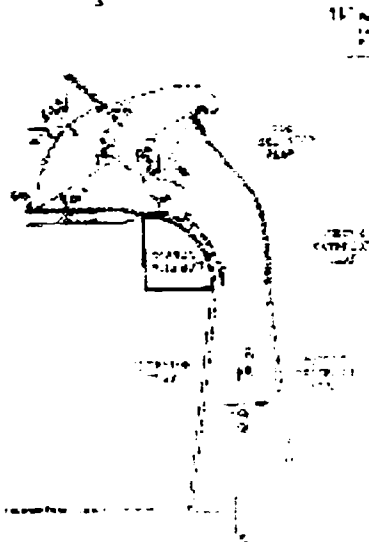


Fig. 4.39 Dispozitiv sustentator de tip ejector. C. D. Hoppe-Gill, T. Mehus.

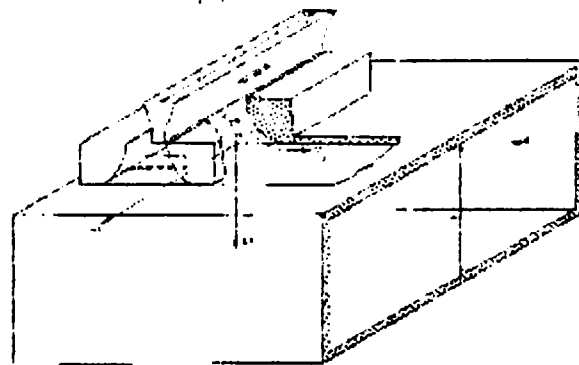


Fig. 4.40 Soluție de ventilatie prin ejectie Coandă Y. Nishimura .

Analizând datele disponibile se poate concluziona ca performanțele ejectoarelor Coandă sunt legate de geometria suprafeței volet și că determinant în aprecierea acestor performanțe este câmpul de viteze în secțiunea de eflux a ejectorului. Din acest punct de vedere ejectorul Coandă poate fi considerat ca un dispozitiv propulsiv generator de jet. În cadrul lucrării este analizat un astfel de dispozitiv denumit *ejector Coandă cu dublu flux*.

4.4.3 Ejector Coandă cu dublu flux

Ejectorul Coandă cu dublu flux, este constituit din doua etaje - extern și intern - de ejectoare Coandă intericare, dispuse în echicurent. La cel extern, fig. 4.41, sursa (compresorul), ce furnizează debitul motor este legată la camera spirală (1), ce alimentează ajutorul (2). Jetul inelar provenit din ajutoraj este deviat prin Efect Coandă la suprafața volet formată din segmentul sferic (3) și segmentul cilindric (4). Camera spirală induce în jet o componentă circumferențială a vitezei.

La etajul intern, fig. 4.42, suprafața volet (3) ca reuniune de segmente cilindrice, are în plan meridional un profil poligonal iar ajutorajul (2) este alimentat de la compresor prin camera inelara (1).

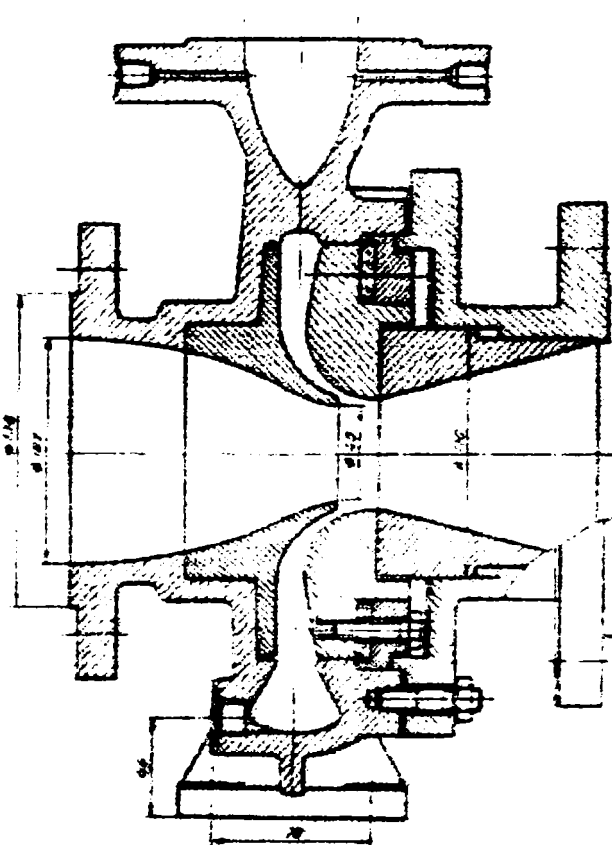


Fig. 4.41 Etajul extern al ejectorului Coandă cu dublu flux.

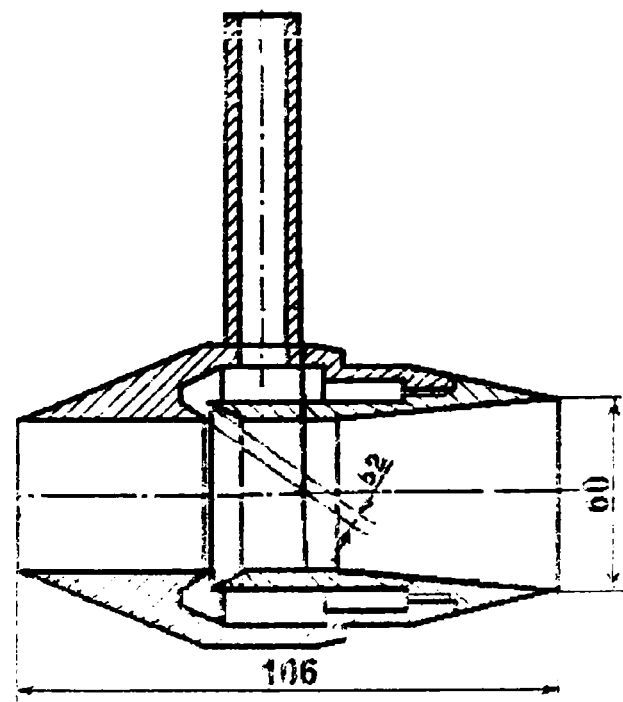


Fig. 4.42. Etajul intern al ejectorului Coandă cu dublu flux

Au fost analizate doua variante functionale de ejector Coandă cu dublu flux - El fig. 4.43, respectiv IE fig. 4.44 - deosebite prin pozitia celor doua etaje în raport cu sensul de curgere al miscării principale

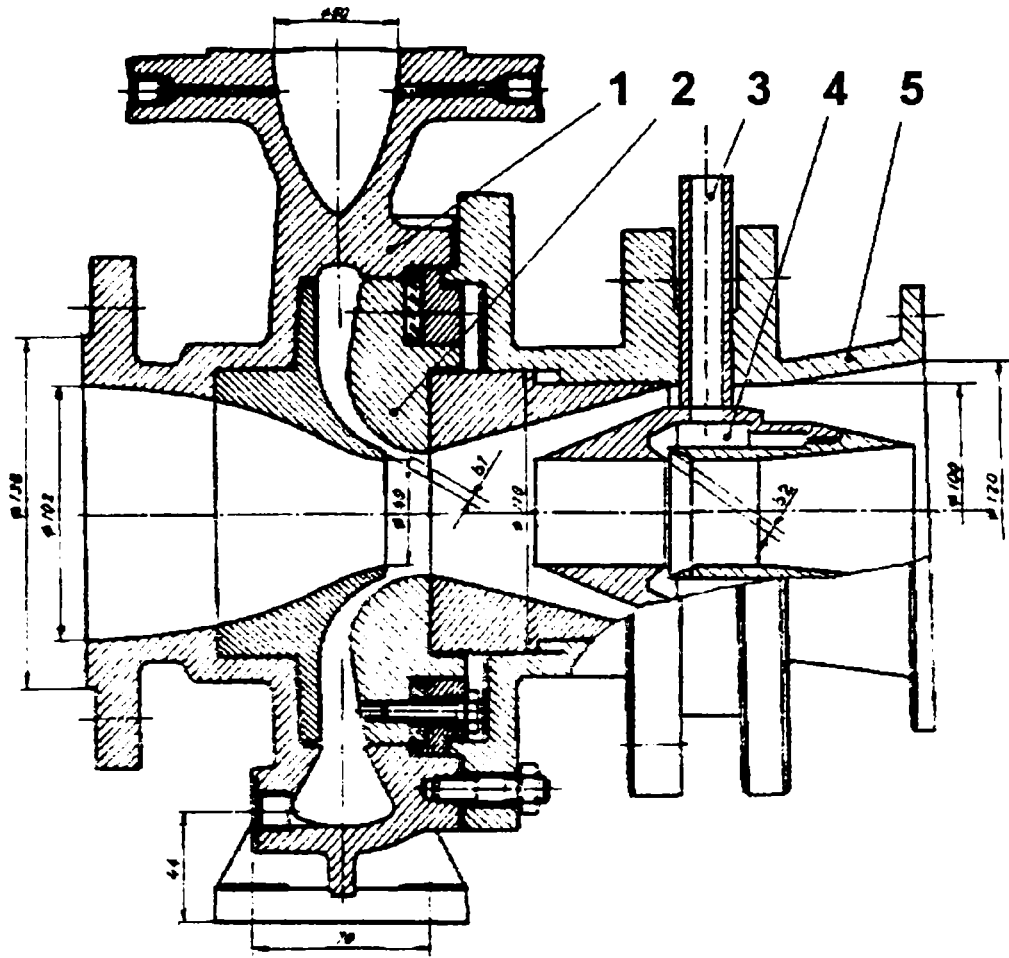


Fig. 4.43 Ejectorul Coandă cu dublu flux - varianta EI.

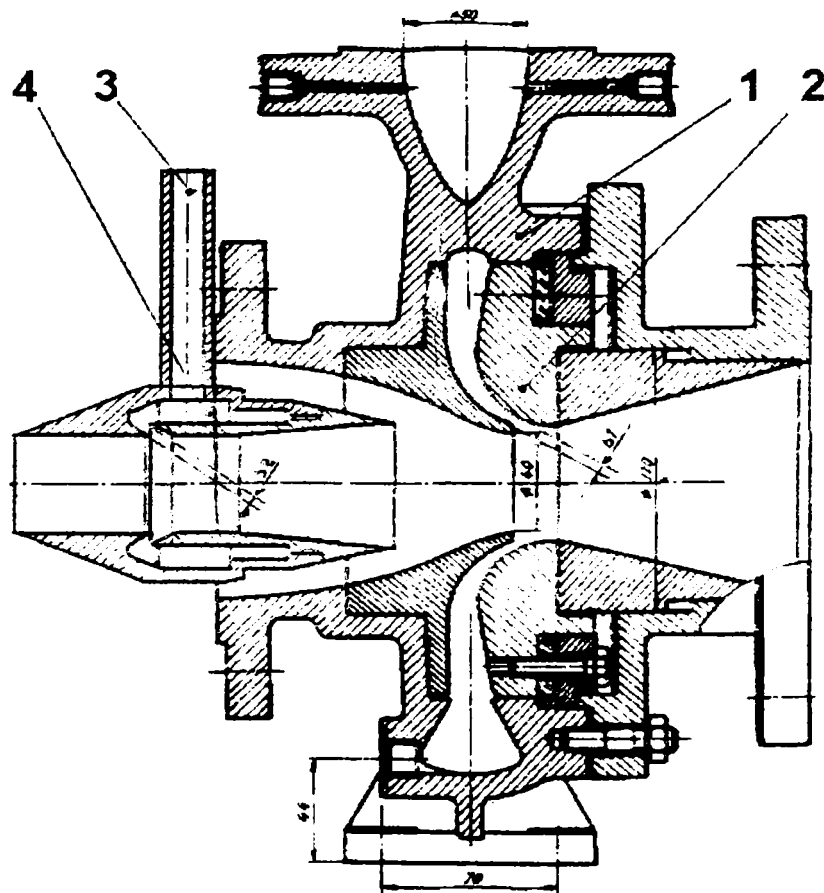


Fig. 4.44 Ejectorul Coandă cu dublu flux - varianta IE.

4.4.4 Statiunea experimentală pentru studiul ejectorului Coandă cu dublu flux.

Pentru a determina performanțele ejectorului Coandă cu dublu flux, ca generator de jet a fost concepută și realizată instalația din fig. 4.45. Parametrii măsurați au fost: debitul de alimentare al celor două ejectoare Coandă intericare - extern și intern, și profilul de viteze în jetul generat de ejectorul Coandă cu dublu flux.

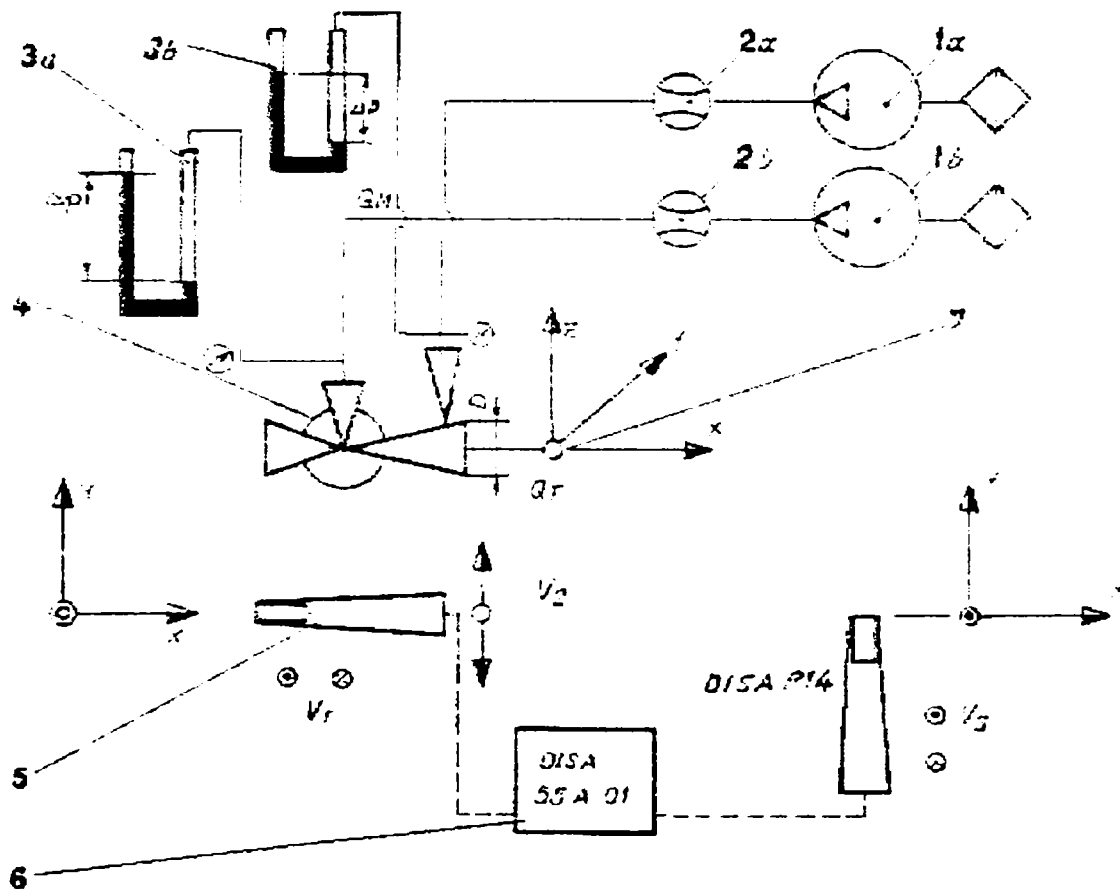


Fig. 4.45 Statiunea experimentală pentru studiul ejectorului Coandă cu dublu flux.

Debitul de alimentare $Q_{AE} = Q_{AI}$ furnizat de generatoarele volumice (1a) și (1b) este măsurat cu debitmetrele (2a) și (2b). Iar viteza în secțiunea de eflux a ejectorului Coandă cu dublu flux, rezultă din indicația termocinemometrului DISA 55 A 01 (6) la care este conectat traductorul cu fir cald DISA P 15 (5). Traductorul este poziționat cu ajutorul dispozitivului de deplasare (7). În condițiile în care debitul de alimentare furnizat de mașinile volumice celor două ejectoare $Q_{AI} = 110 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{AE} = 11 \text{ m}^3/\text{h}$ este constant, s-a măsurat după diametru în plane perpendiculare pe axa jetului, viteza. Poziția acestor plane s-a definit în raport cu secțiunea de eflux a ejectorului Coandă extern.

4.4.5 Ejectorul Coandă cu dublu flux. Rezultate experimentale

Pentru varianta IE s-a evidentiat prin vizualizare, fig. 4.46, efectul de rotație imprimat de camera spirala a ejectorului Coandă extern (primul etaj) și de evazare a jetului în fig. 4.47. Componenta de rotație-tangentială a vitezei, fig. 4.48, favorizează antrenarea fluidului din exterior și evazarea jetului, care este sesizată și în distribuția componentei axiale a vitezei. Mișcarea rezultantă este însă extrem de complexă și intens turbulentă după cum rezultă și din valorile și variația gradului de turbulență, fig. 4.49

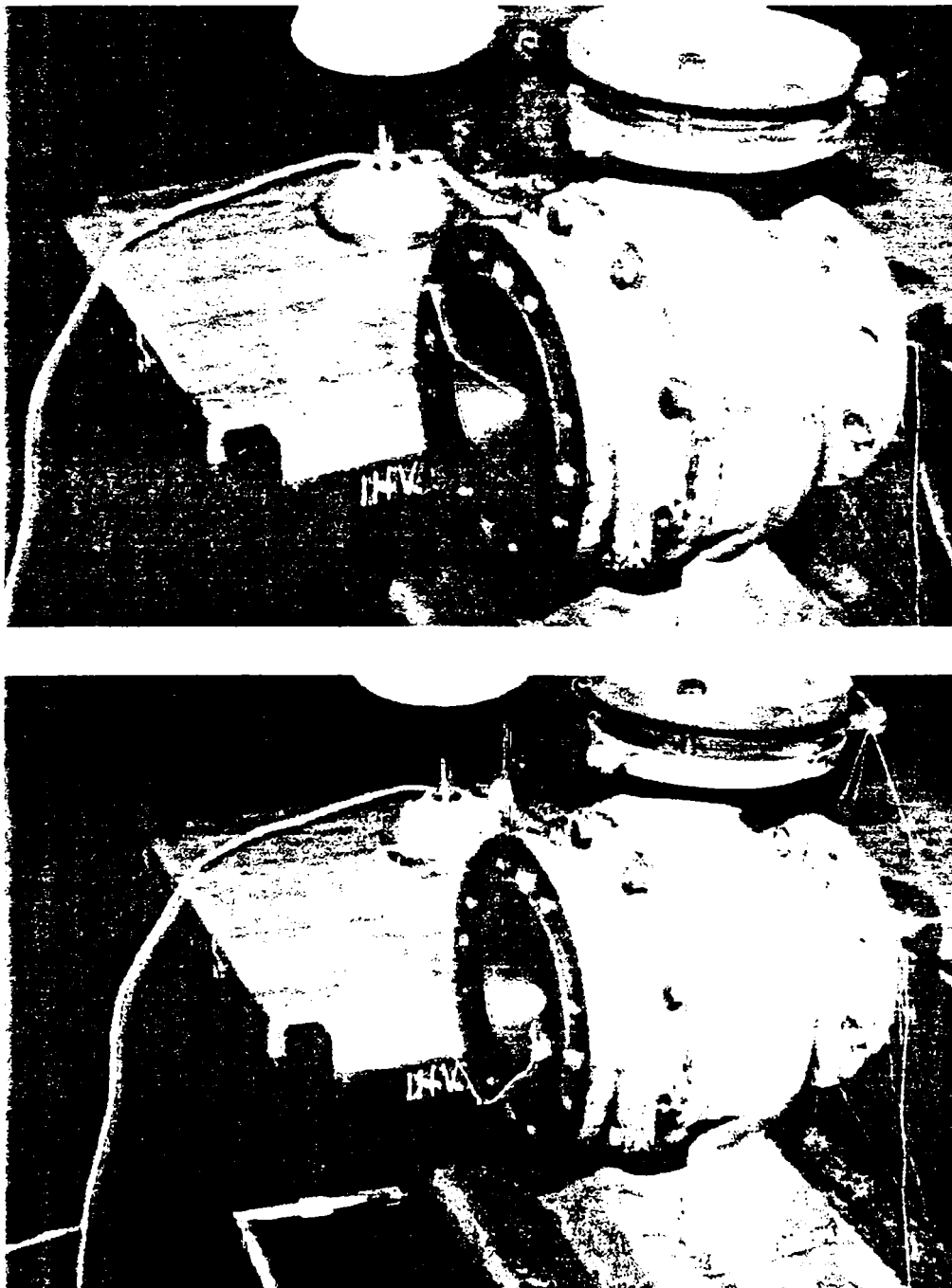


Fig. 4.46 Efectul de rotație în jetul generat de ejectorul Coandă cu dublu flux, Varianta IE. Vizualizare.

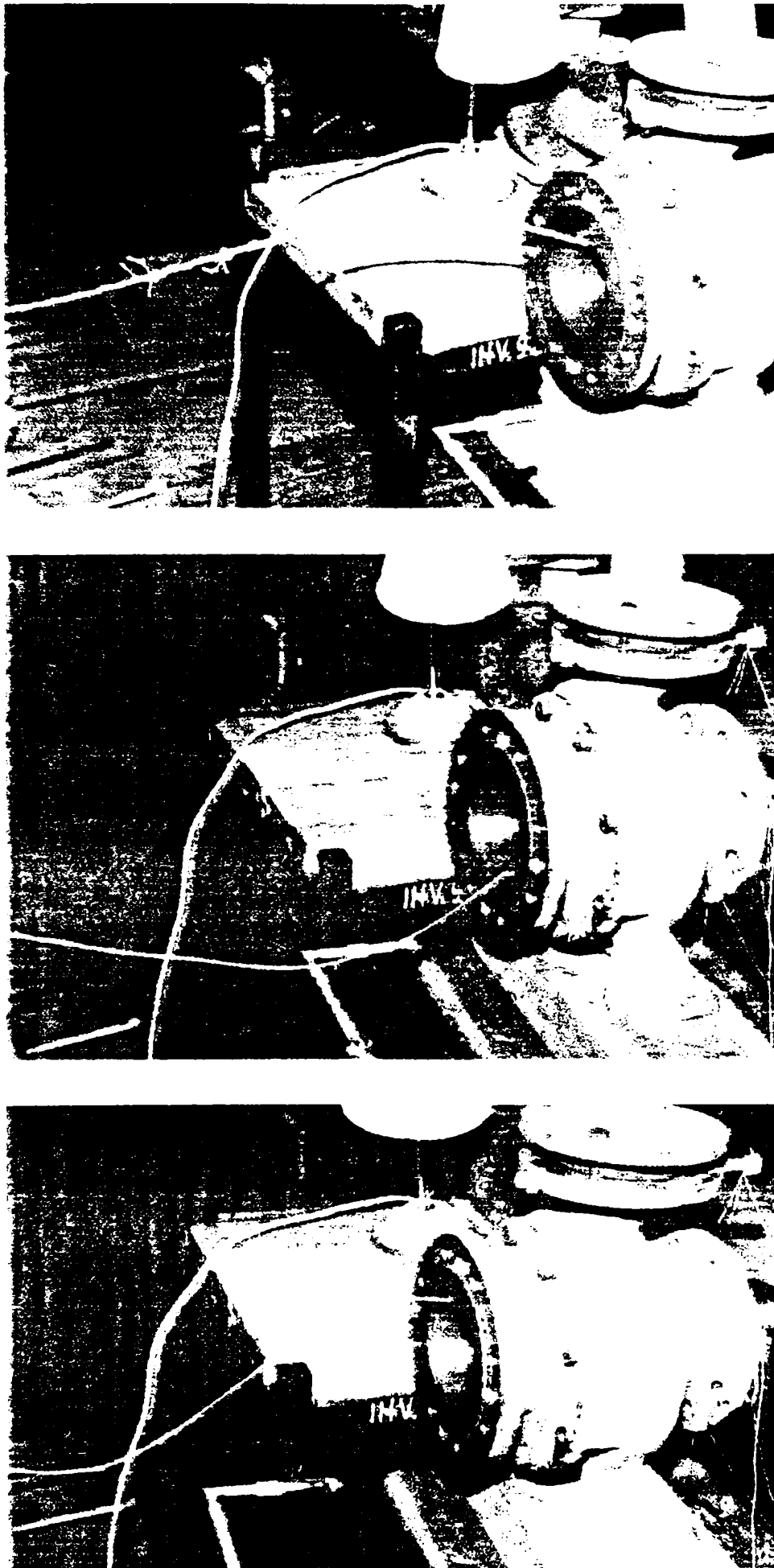


Fig. 4.47 Evazarea jetului generat de ejectorul Coandă cu dublu flux. Varianta IE. Vizualizare.

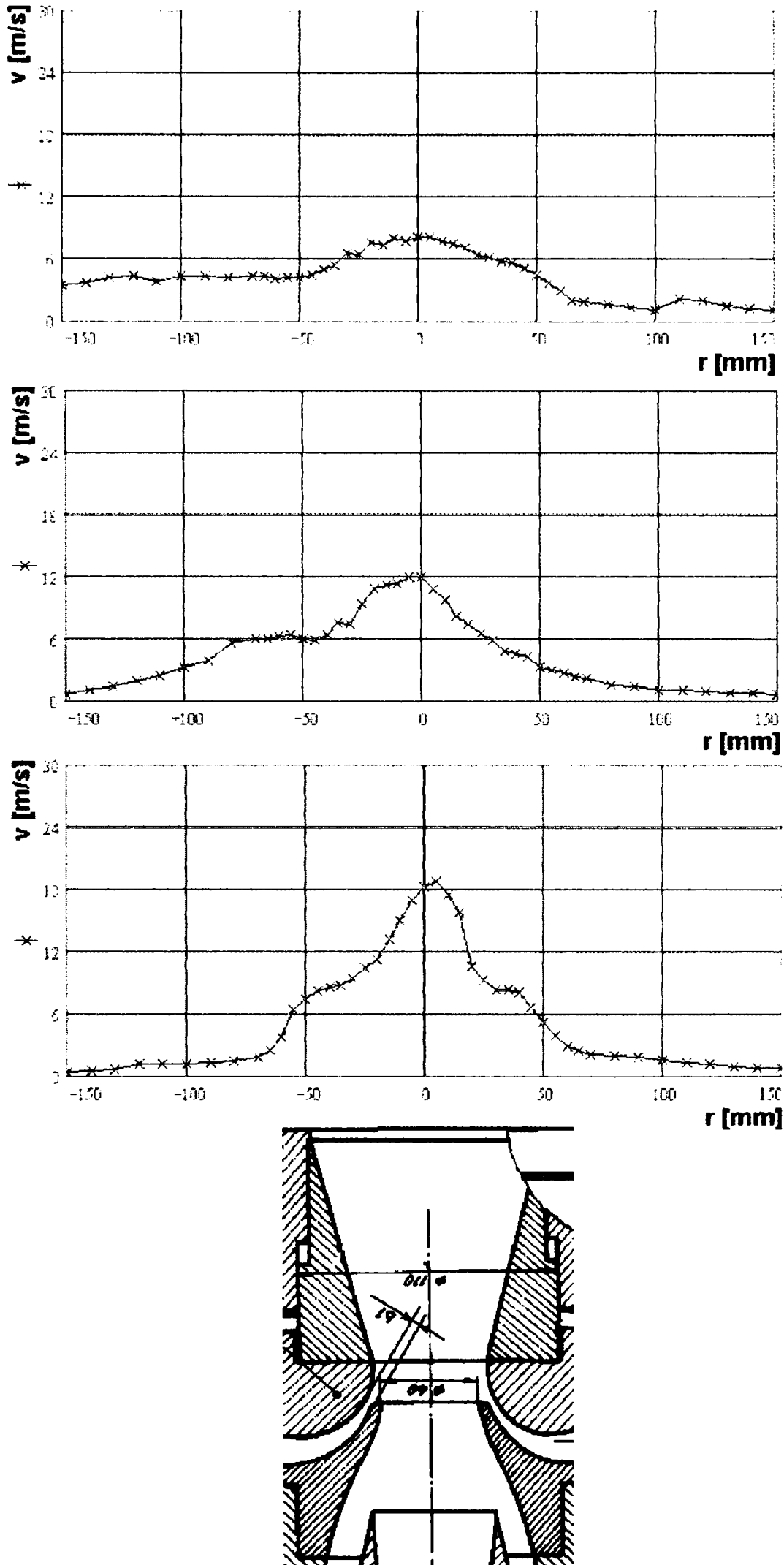


Fig. 4.51 Componenta tangentială a vitezei în jetul generat de ejectorul Coandă cu dublu flux, Varianta I.E.

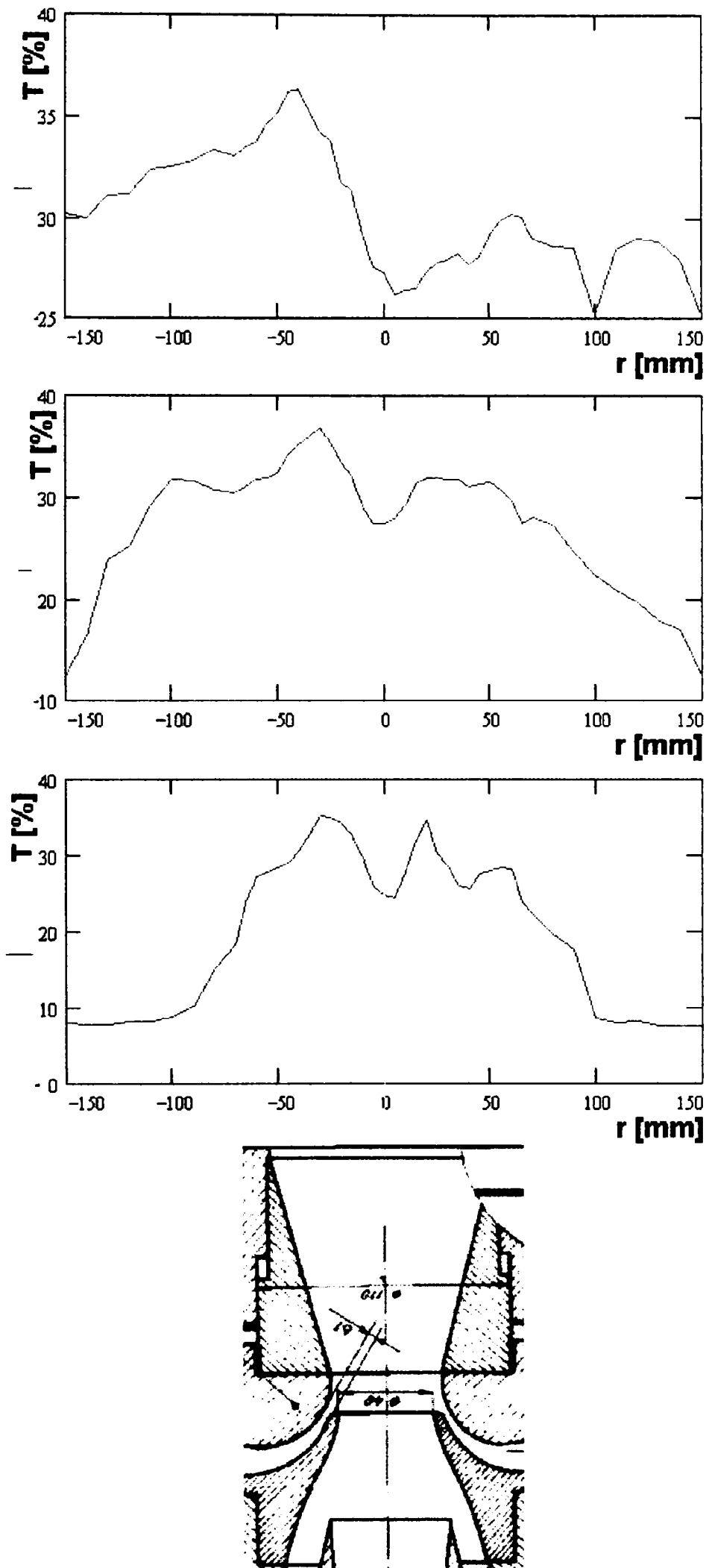


Fig. 4.52 Variatia gradului de turbulenta în jetul generat de ejectorul Coandă cu dublu flux, Varianta IE

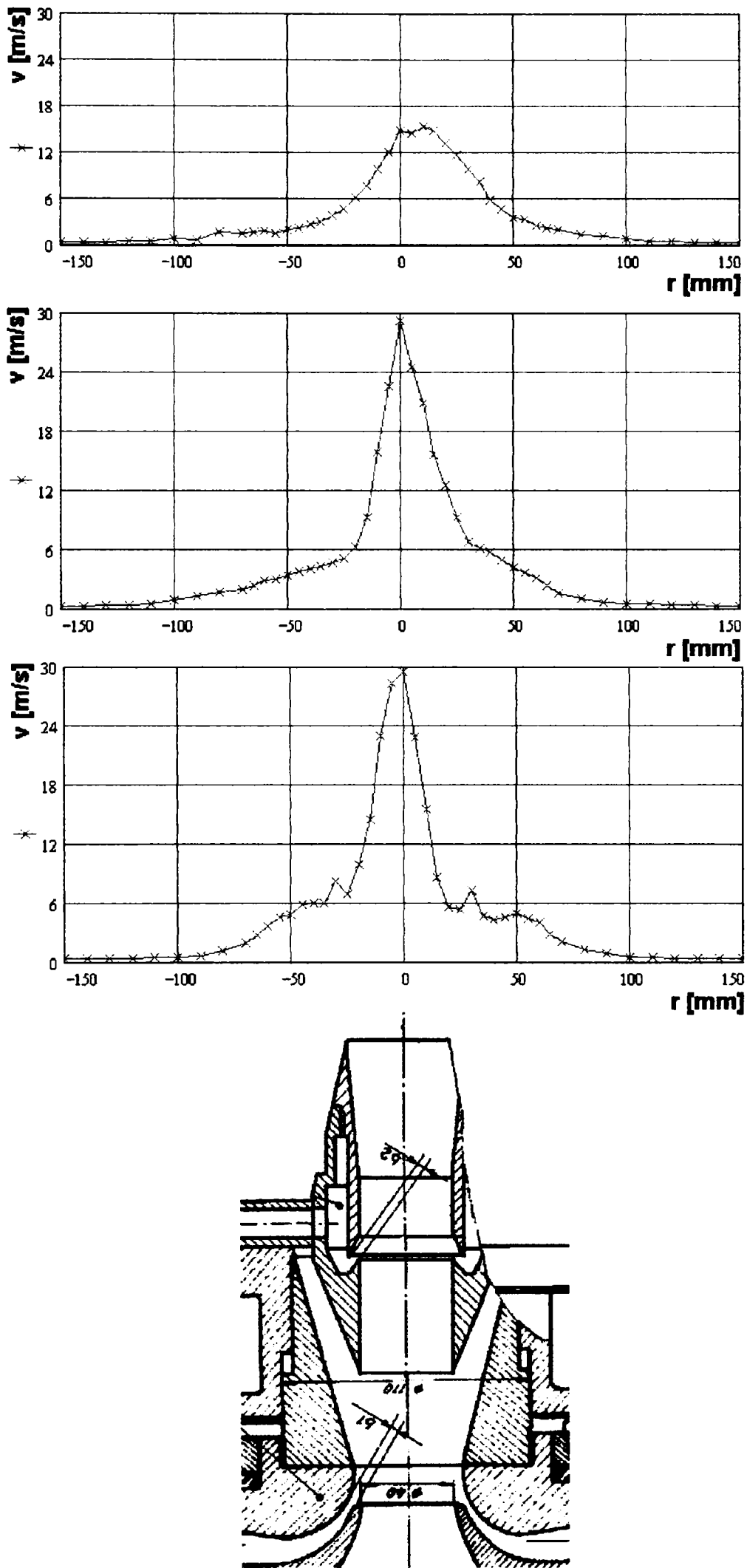


Fig. 4.53 Câmpul vitezei - componenta axială în jetul generat de ejectorul Coandă cu dublu flux. Varianta EI.

Pentru varianta EI, pentru valorile mentionate ale debitelor de alimentare, distributia vitezei - componenta axială fig. 4.50, este determinată major, în sectiunile de masură considerate de ejectorul intern contributia ejectorului extern fiind sesizabilă doar în prima sectiune. Totodată efectul de rotatie imprimat mișcării de ejectorul extern deși prezent este atenuat. Și în acest caz ca și pentru varianta IE parametrii jetului sunt determinati de mișcarea generata prin Efect Coandă în interiorul ejectorului Coandă cu dublu flux. O imagine a acestei mișcări obținută prin simulare numerica [31], fig. 4.54, evidentiază procesul de atașare și sugerează, datorită prezentei unor zone de recirculatie, necesitatea optimizării traseului de aspiratie.

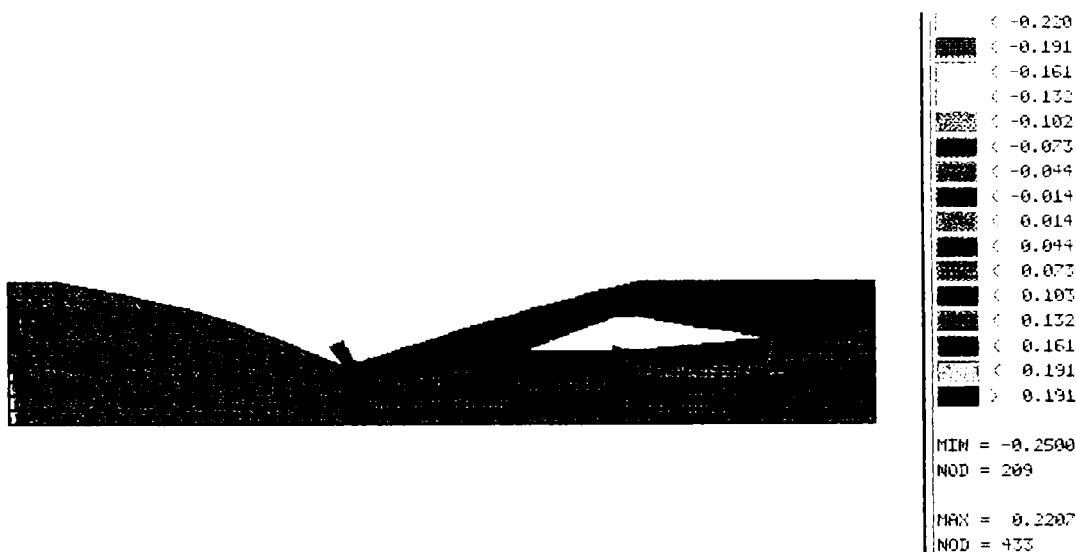


Fig. 4.54 Ejectorul Coandă cu dublu flux. Varianta EI. Tabloul mișcării. Simulare numerică.

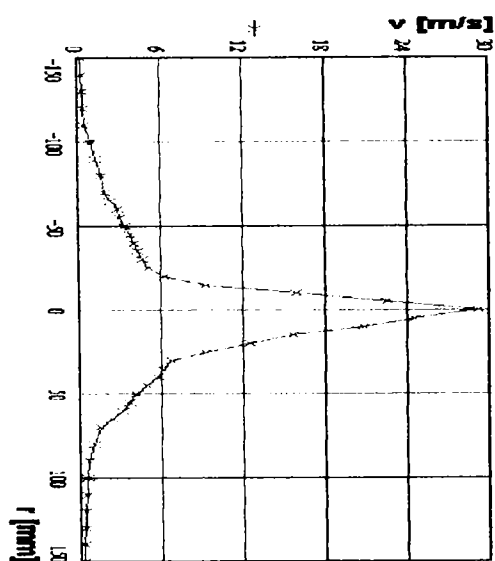


Fig. 4.55 Variatia vitezei în jetul generat de ejectorul Coandă cu dublu flux. Varianta EI. (d = 0,140 m).

Sectiunea dispusă la distanta d = 0,140 m a fost considerată ca reprezentativă fiind situată la extremitatea zonei initiale a jetului [90].

Pentru aceasta sectiune în ipoteza mișcării axial simetrice [12] s-a calculat debitul total și modulul fortei axiale (de impuls) prin integrarea numerică a relatiilor:

$$Q = \int_0^R 2\pi r v dr \tag{1}$$

$$F = \rho \int_0^R 2\pi r v^2 dr \tag{2}$$

În relatiile de mai sus, $\rho = 1,205 \text{ kg/m}^3$, $R = 0,150 \text{ m}$, iar $v = v(r) = \frac{v_{+r} + v_{-r}}{2}$ reprezintă componenta axială a vitezei (dirijată după normala la planul sectiunii de masură), fig. 4.55.

Cu valorile obtinute pentru Q : $Q_{EI} = 0,10862 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{IE} = 0,09246 \text{ m}^3/\text{s}$ și respectiv F : $F_{EI} = 0,58903 \text{ N}$; $F_{IE} = 0,3104 \text{ N}$ s-a calculat coeficientul de ejectie:

$$K = \frac{Q}{Q_{AI} + Q_{AE}} \quad (3)$$

și "eficienta":

$$\eta = \frac{F}{\rho(Q_{AI}v_I + Q_{AE}v_E)} \quad (4)$$

unde $v_I = Q_{AI}/S_I$ și $v_E = Q_{AE}/S_E$ sunt vitezele medii rezultate din debit asociate secțiunii inițiale a jetului $S_I = \pi D_I b_I$, $S_E = \pi D_E b_E$ corespunzătoare celor două etaje. Cu: $D_I = 0,052 \text{ m}$, $b_I = 0,002 \text{ m}$, fig. 4.44, $D_E = 0,0450 \text{ m}$, $b_E = 0,004 \text{ m}$, fig. 4.42, au rezultat următoarele valori:

Ejector Coandă cu dublu flux	K	η
EI	3.26	0.98
IE	2.775	0.75

4.4.6 Concluzii și observații.

1. A fost concepută și realizată o soluție originală de ejector Coandă - ejectorul Coandă cu dublu flux - constituit din două etaje de ejectare Coandă intericare dispuse în echicurent.

2. Preconizat ca dispozitiv propulsiv, pentru două variante funcționale s-au efectuat măsurători care au vizat doar parametrii jetului generat: viteza, gradul de turbulentă, debitul, forța de impuls.

3. La încercările efectuate în și cu aer, fig. 4.56 debitul motor pentru fiecare etaj a fost constant fiind furnizat de două mașini volumice cu rotor excentric și palete culisante. Aceste mașini, la origine pompe de vid, la funcționarea drept compresor au asigurat la refulare suprapresiuni $p_{ref} \leq 1 \text{ bar}$.

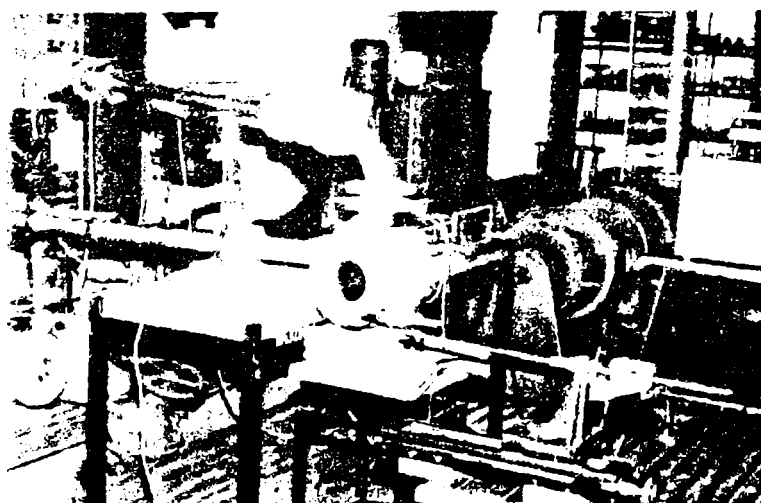


Fig. 4.56 Stațiune pentru încercarea ejectoarelor Coandă.

4. Profilul vitezei în jetul generat este determinat de poziția și "contribuția" fiecărui etaj. În funcție de debitul și presiunea fluidului motor (de alimentare) al fiecărui etaj se poate regla și controla distribuția vitezelor în jet. Fig. 4.57 prezintă pentru varianta EI la care a fost alimentat doar etajul extern ($Q_{AI} = 0$) [47] câmpul de viteze al componentei axiale, ca valori adimensionalizate

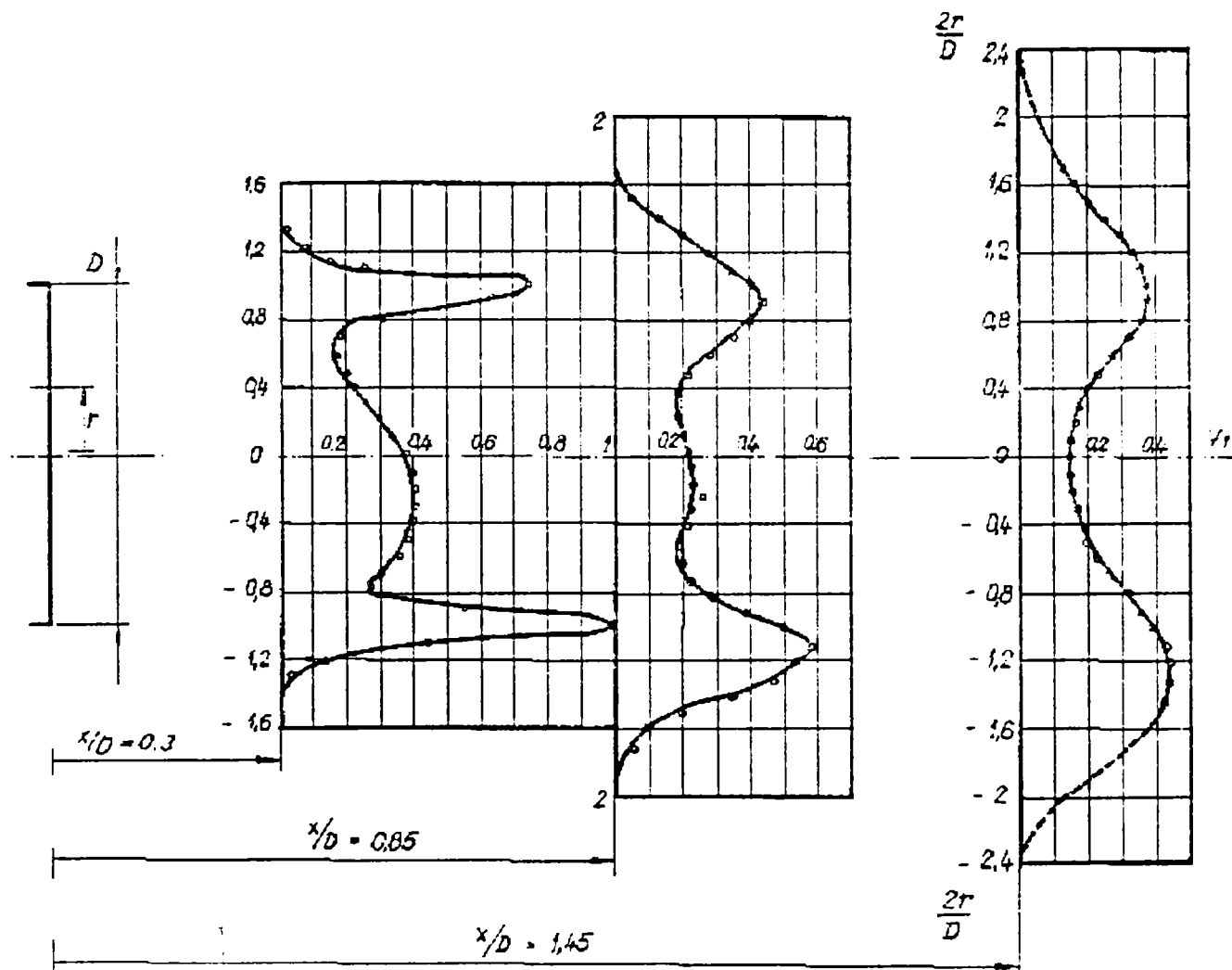


Fig. 4.57 Ejectorul Coandă cu dublu flux. Distribuția vitezei în jet. Componenta axială. $Q_{AI} = 0$.

5. În soluția utilizată la etajul extern, fig. 4.41, camera de alimentare - spirala, induce o mișcare de rotație, care influențează, mai ales la varianta IE, curgerea în jet, fig. 4.47, fig. 4.49.

6. Pentru ambele variante - EI și IE - au rezultat conform definițiilor (3), (4), pentru coeficienții de ejectie și eficiență valorile: $\eta \approx 3$; $K \approx 0,25$. Aceste valori sunt mai mici decât cele obținute în [100], [101], [19], [20], dar în următoarele condiții:

- parametrii fluidului motor: presiunea și debitul, reglabili variați valoric în intervalele: $p \in (1; 5)$ bar, $Q_A \in (0,1; 1)$ m³/s.

- debitul total (motor + absorbit) a fost estimat, considerând că în secțiunea de calcul viteza medie este egală cu cea măsurată de sonda Pitot-Prandtl dispusă în axa ejectorului.

7. În cadrul conceptului de ejector Coandă cu dublu flux se poate materializa și varianta utilizării ca etaj intern a unui ejector Coandă de exterior, fig. 4.58.

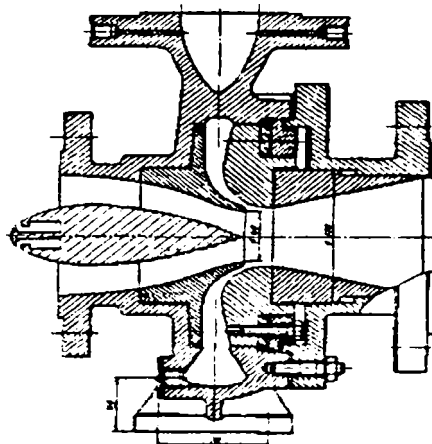


Fig. 4.58 Ejector Coandă cu dublu fluxcu etajul intern ejector Coandă exterior.

8. Aria de aplicare a ejectoarelor s-a extins și în domeniul naval al propulsiei prin jet [113], fig. 4.59.

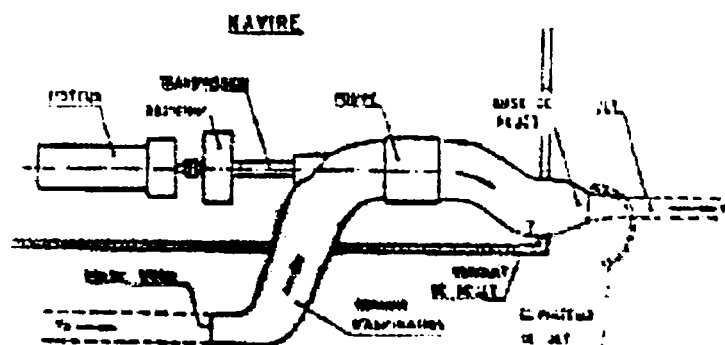


Fig. 4.59 Principiul propulsiei navale prin jet.

În acest domeniu, ejectorul Coandă cu dublu flux poate fi utilizat ca dispozitiv vectorial și în cadrul unor soluții de propulsie bifazică [14] fig. 4.60.

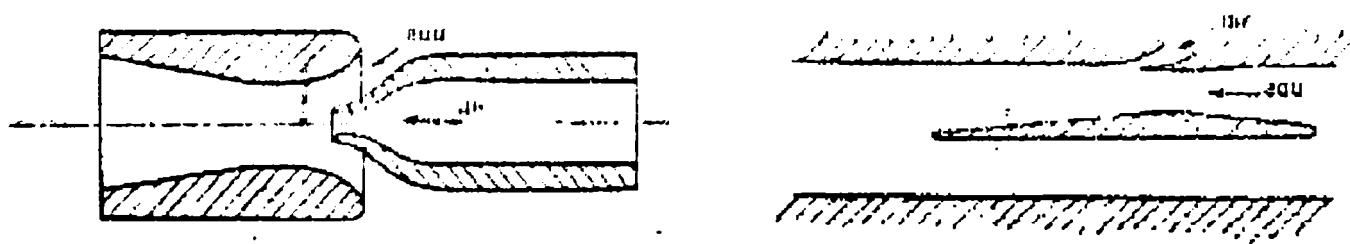


Fig. 4.60 Propulsie navală bifazică.

9. În urma unor analize optimizatoare se poate aprecia că ejectorul Coandă cu dublu flux constituie o soluție viabilă și promițătoare de ejector Coandă.

4.5 Profile aerodinamice cu Efect Coandă

4.5.1 Efectul Coandă aplicat la dispozitivele de hipersustentație

Profilele aerodinamice - corpuri de minimă rezistență la înaintare într-un mediu fluid - utilizate la materializarea unor componente esențiale ale agregatelor de zbor și ale mașinilor aerohidraulice - sunt caracterizate prin coeficienți de portanță C_A ridicați și coeficienți de rezistență C_W mici, pentru un domeniu al unghiurilor de incidență α relativ restrâns ($-6 \div 15^\circ$), [25], [30], [89].

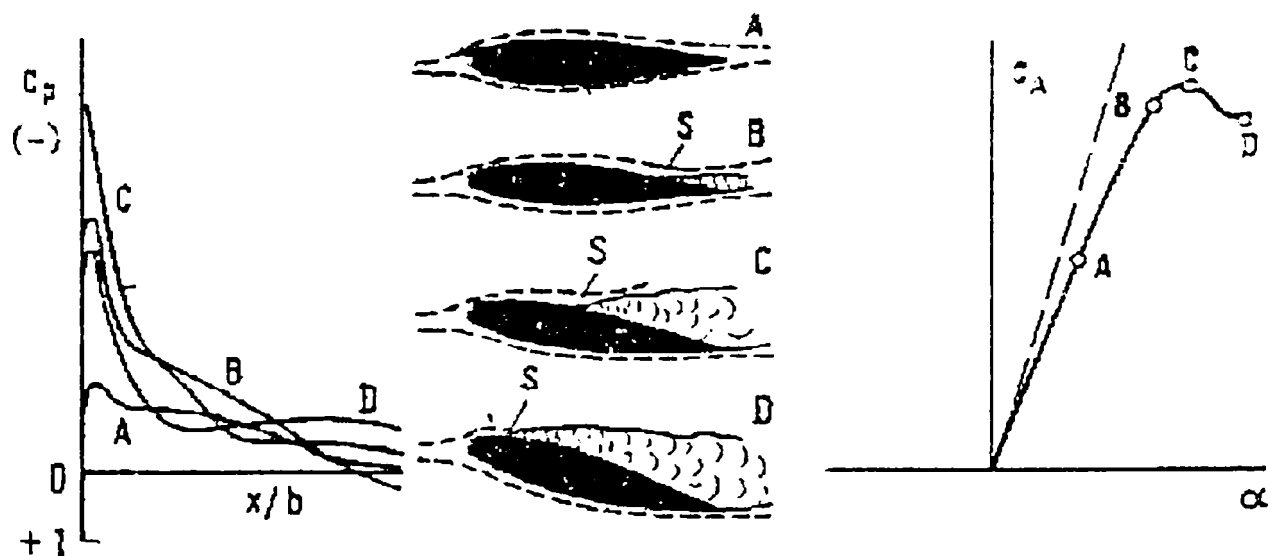


Fig. 4.61 Distribuția de presiuni pe profil (extrados). Efectul viscozității.

Valorile maxime ale acestui domeniu sunt, datorita efectelor viscozității, limitate de apariția desprinderii stratului limită, care modifică distribuția de presiuni pe profil și o îndepărtează de cea teoretică (potențială), rezultată din calcul în ipoteza fluidului ideal fig.4.61 [25]. În vederea îmbunătățirii performanțelor profilelor aerohidrodinamice în sensul creșterii valorilor coeficienților de portanță se utilizează și procedee și dispozitive de hipersustentație [83]. **Efectul Coandă** este aplicat la materializarea unor dispozitive de hipersustentație potențiale active. Dispozitivele potențiale active sunt după Patraulea [83] acelea care prin aport de energie caută să realizeze o apropiere a mișcării fluidului real în prezența unui profil aerodinamic, de mișcarea potențială (irotațională). De fapt prin **Efect Coandă** are loc și un proces de suflaj al stratului limită, strat care este înlocuit de jetul parietal atașat. La aceste dispozitive, prin atașarea jetului se poate genera și eventual controla distribuția de presiuni pe frontiera adiacentă (extradosul profilului) și în anumite condiții este posibilă, prin absorbție și antrenare, realipirea fluidului desprins. Primele soluții de aplicare a **Efectului Coandă** la dispozitivele de

hipersustentație, au fost concepute de Valensi [85], [75]. Profilul Morane 120, fig. 4.62, avea posibilitatea de a-și modifica curbura fiind prevăzut cu o porțiune bracabilă - volet. Pe extradocsul voletului se producea prin **Efect Coandă** devierea unui jet provenit dintr-o fantă.

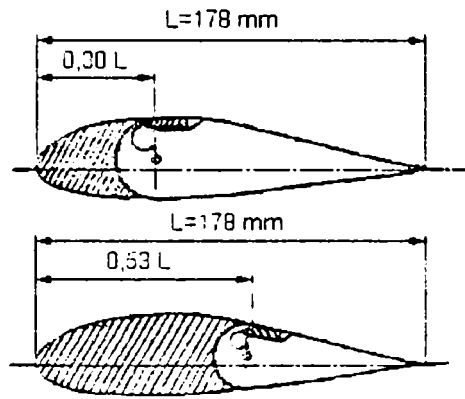


Fig. 4.62 Profil aerodinamic cu Efect Coandă.

Din măsurători s-au obținut valori ridicate ale coeficientului de portanță și s-a evidențiat influența presiunii de alimentare (ca măsură a intensității jetului), a poziției și a dimensiunilor fantei și a unghiului de bracare.

Combinând voletul de curbură cu o fantă Handley-Page, Valensi a realizat [75] dispozitivul de hipersustentație din fig. 4.63, aplicat la aripa unor modele de avion, care a condus la un spor al coeficientului de portanță, C_A .

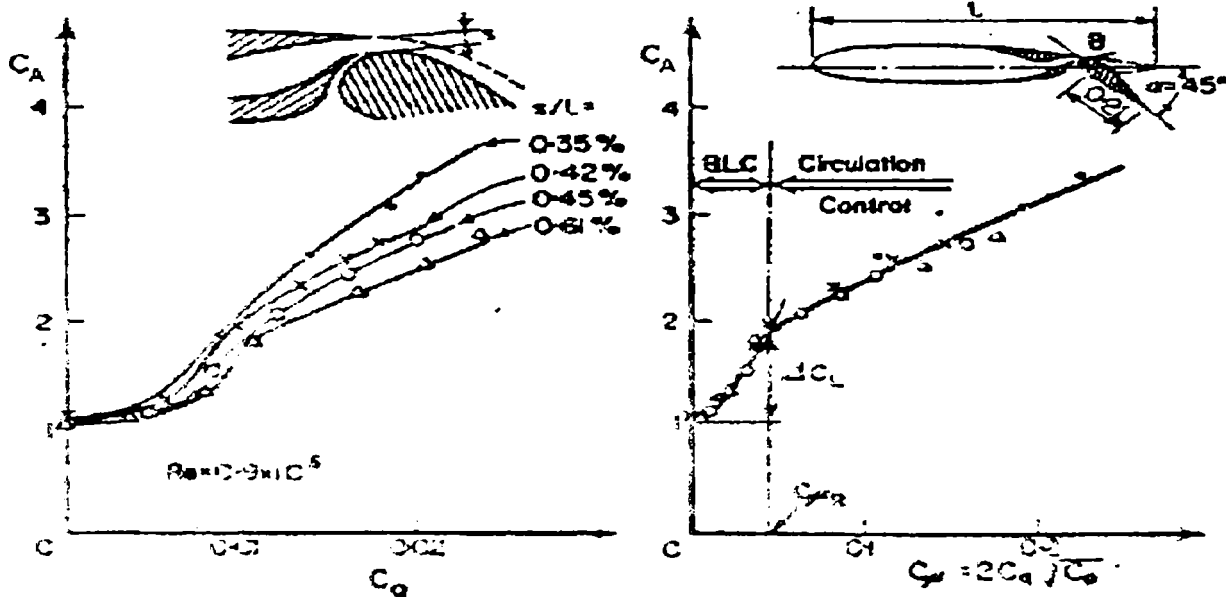


Fig. 4.63 Dispozitiv de hipersustentație cu Efect Coandă și fanta Handley-Page.

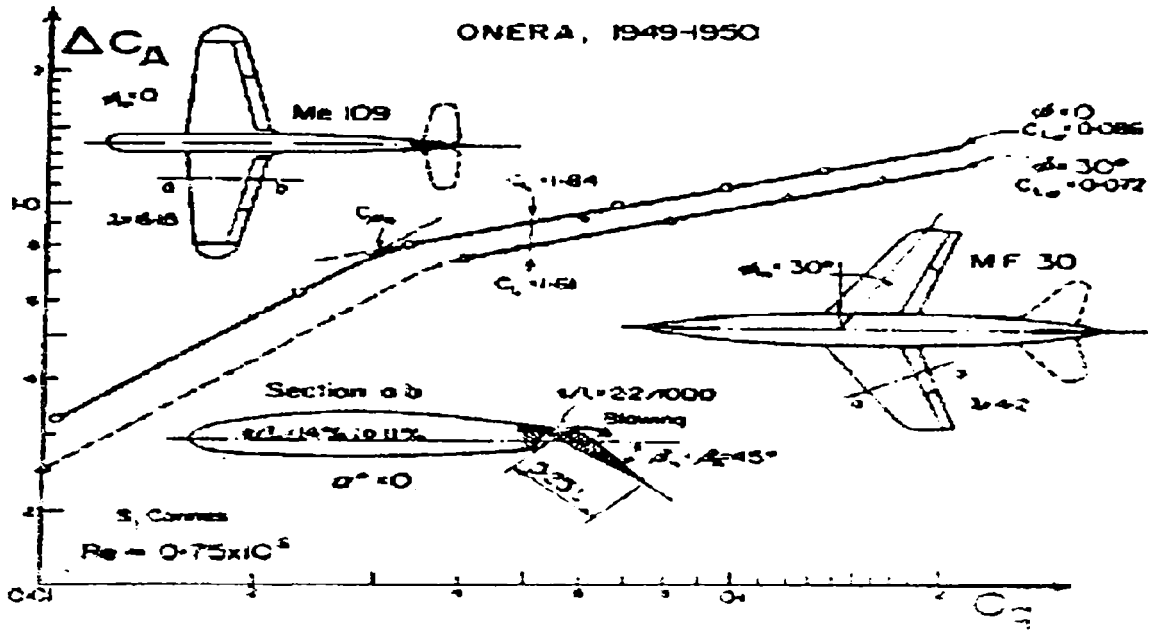


Fig. 4.64 Aripi de avion cu profile Coandă.

Fig. 4.64 pune în evidență efectul dimensiunilor fantei și delimitează - după valorile coeficientului de impuls al jetului - domeniul de control al stratului limită de cel al supercirculației generate de jet. H. Coandă a preconizat [58], soluția din fig. 4.65, adoptată de L. Malavard ș.a., [85] la profilul NACA 0018, prevăzut la bordul de fugă cu un mic (0.125L) volet de curbura, fig. 4.66.

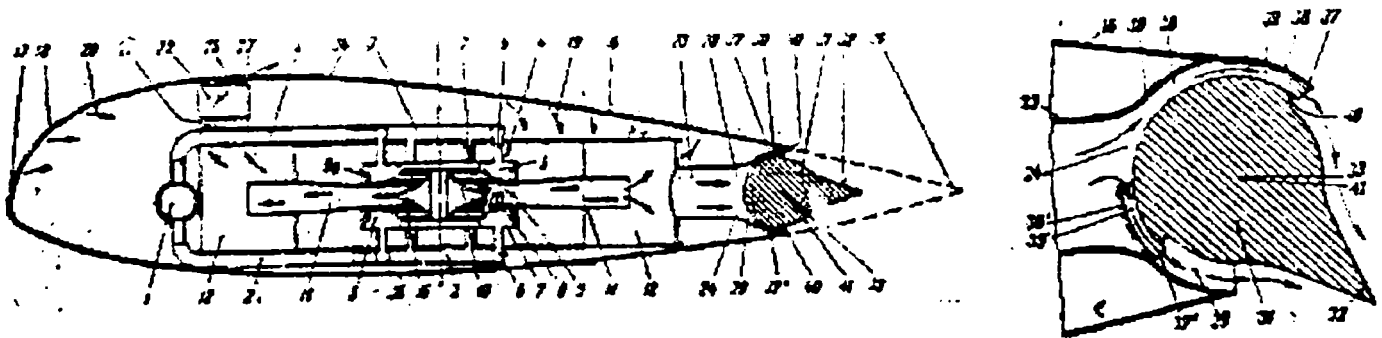


Fig. 4.65 Brevet Coandă.

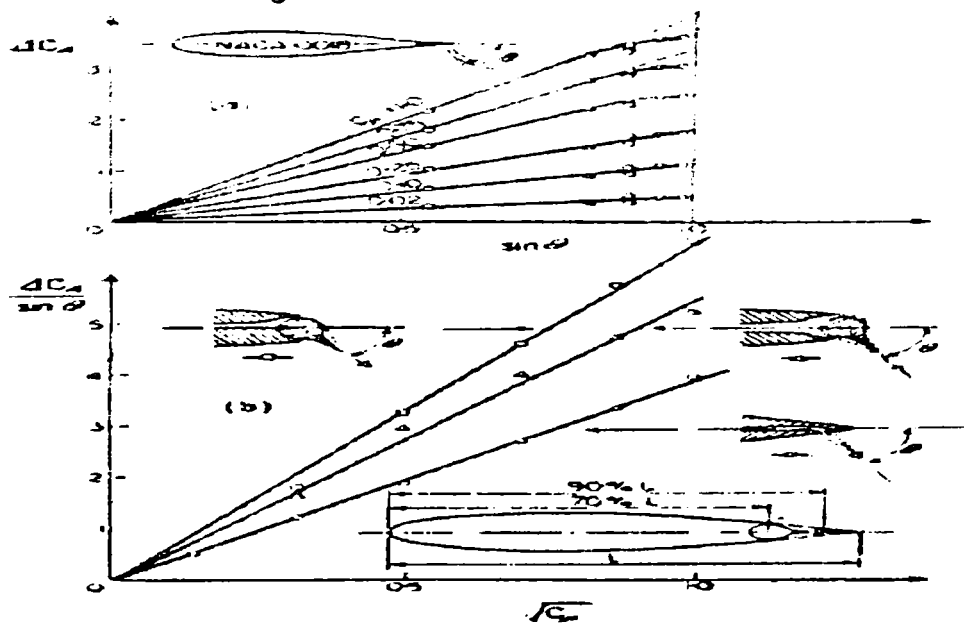


Fig. 4.66 Profil cu volet Coandă la bordul de fugă.

Kind [65], [66], Kind & Dvorak [67] aplică o soluție similară la un profil simetric de secțiune eliptică cu bord de fugă semicilindric, fig. 4.67. Jetul atașat prin

Efect Coandă modifică pe extradosul profilului distribu ia ini ială a presiunilor și în consecin ă portan a, valorile coeficientului de portan ă pentru același unghi de inciden ă crescând cu creșterea coeficientului de impuls al jetului C_{μ} , fig. 4.68. Coeficientul de impuls al jetului C_{μ} este definit de:

$$C_{\mu} = \frac{a}{b} \tag{5.1}$$

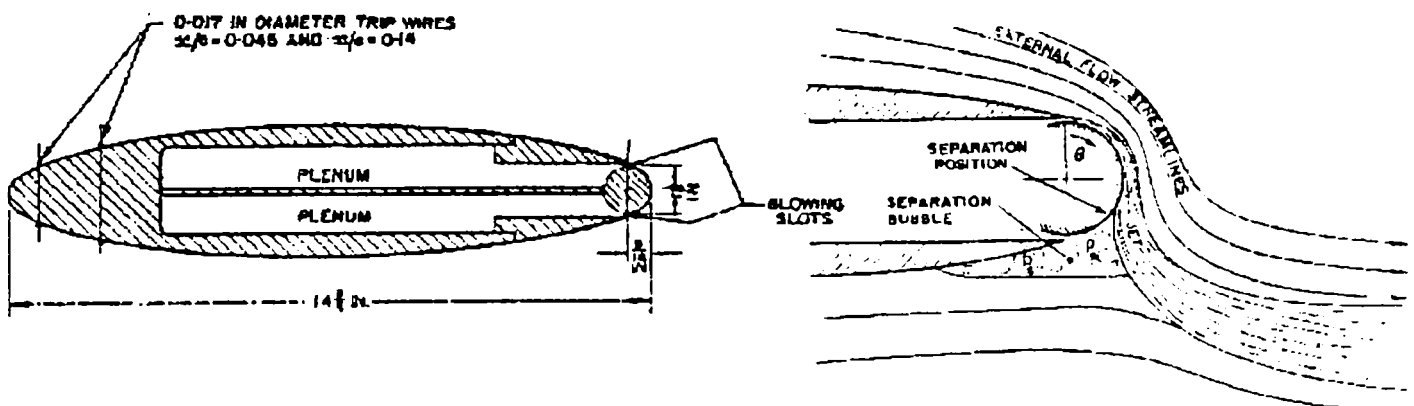


Fig. 4.67 Profil de sec iune eliptică cu volet semicilindric la bordul de fugă.

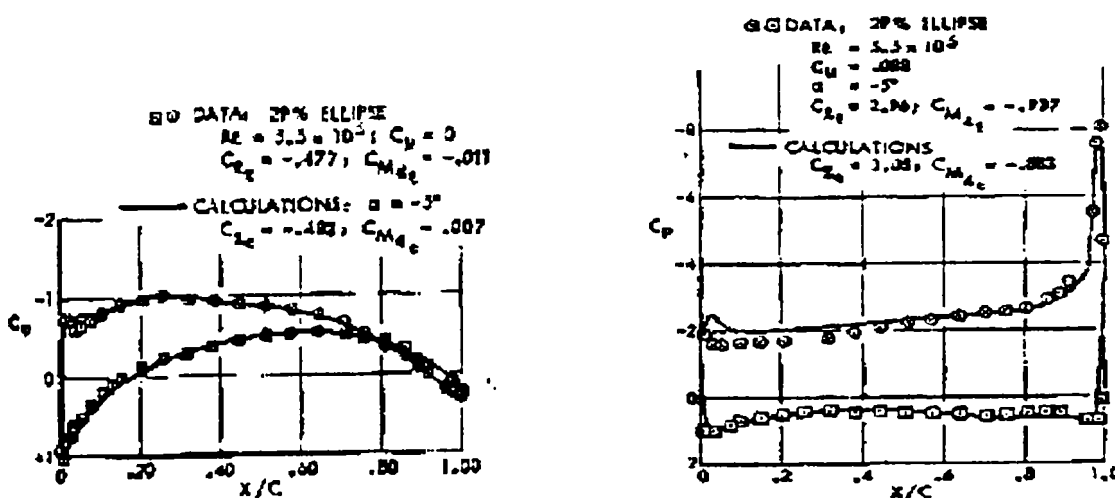


Fig. 4.68 Efectul voletului semicilindric cu Efect Coandă la bordul de fugă.

Solu ia utilizată de Kind [64], Kind & Dvcrak [38], este aplicată la un profil particular de sec iune eliptică. Celelalte, ce se constituie ca dispozitive de hipersustenta ie cu **Efect Coandă**, presupun modificarea (mecanică) a geometriei profilului.

Observa ie: Dispozitivele de hipersustenta ie cu jet, provoacă o creștere a portan ei și prin formarea în prelungirea profilului a unui "volet fluid" (jet-flap) [83], [85]. fig. 4.69.

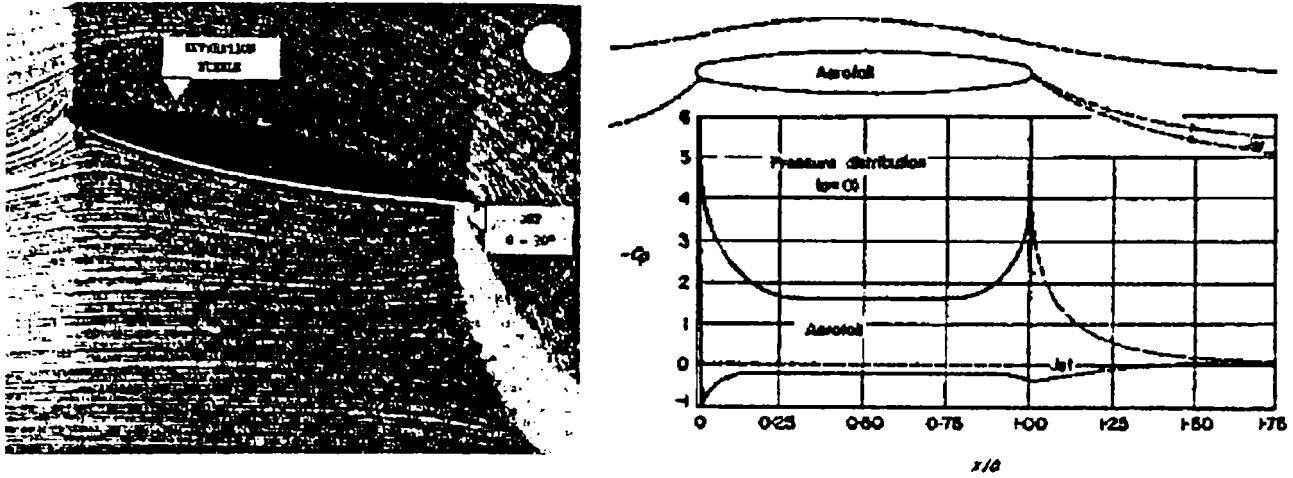


Fig. 4.69 Volet fluid.

În acest domeniu N. N. Patraulea [83] a efectuat experimente cu profilul biconvex NACA 0015, fig. 4.70.

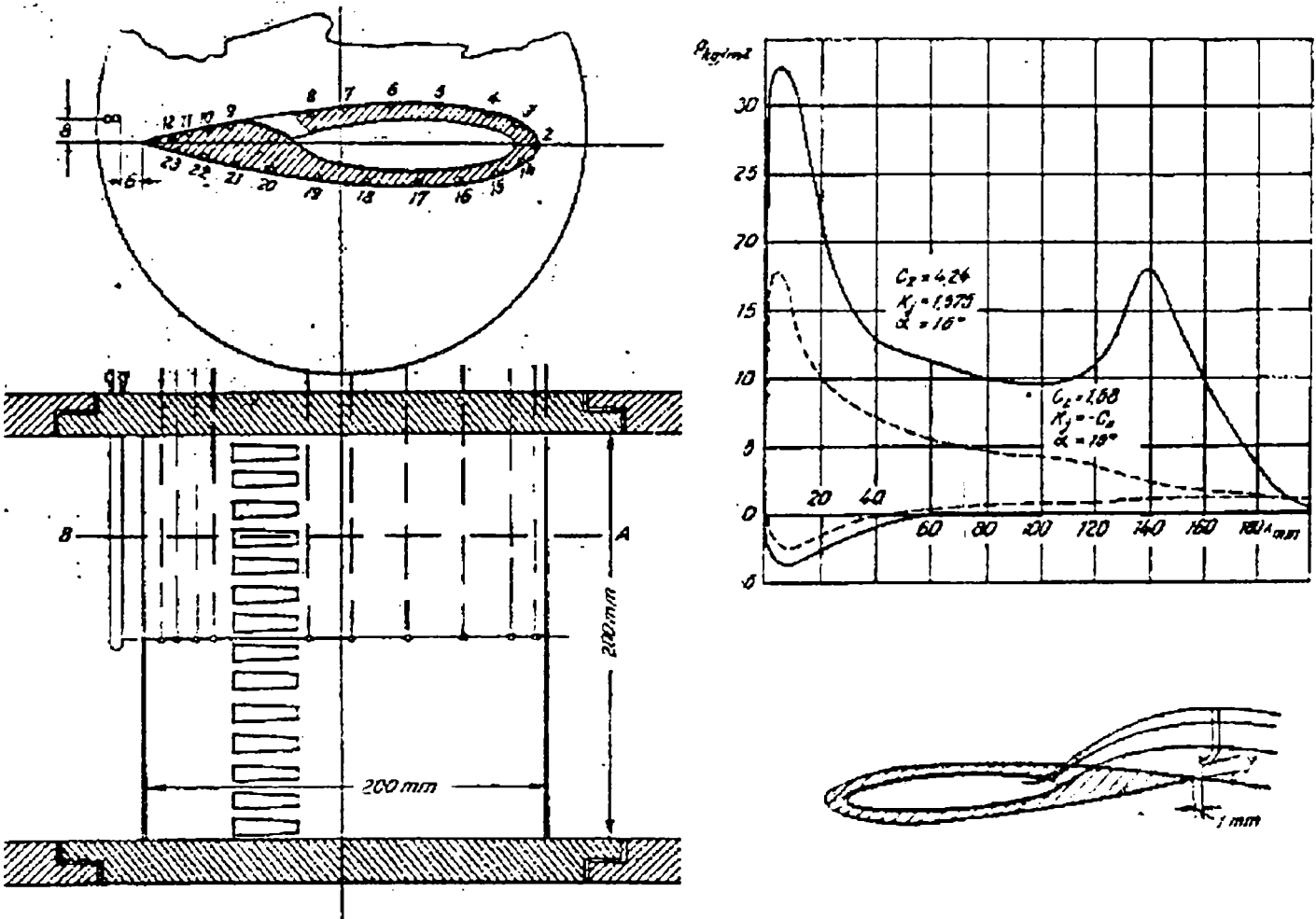


Fig. 4.70 Volet fluid. Profil NACA 0015. Distribuția presiunilor pe frontieră.

Măsurătorile au pus în evidență efectul suflajului, generator al voletului fluid, și influența vitezei jetului, fig. 4.70. Voletul fluid nu a influențat desprinderea care pentru profilul studiat apare la unghiul de incidență $\alpha = 18^\circ$.

Avantajele utilizării procedeeilor de hipersustentatie au trezit și interesul proiectanților și cercetătorilor din domeniul mașinilor hidraulice. Printre primele aplicații și investigații în această direcție pot fi menționate cele efectuate în laboratorul și catedra de Mașini hidraulice, Facultatea de Mecanică Timisoara în anul 1960. A. Barglazan, V. Anton, O. Popa [15], au aplicat procedeul de suflaj al stratului limita, fig.4.71, la paletelr rotorului unei turbine Kaplan.

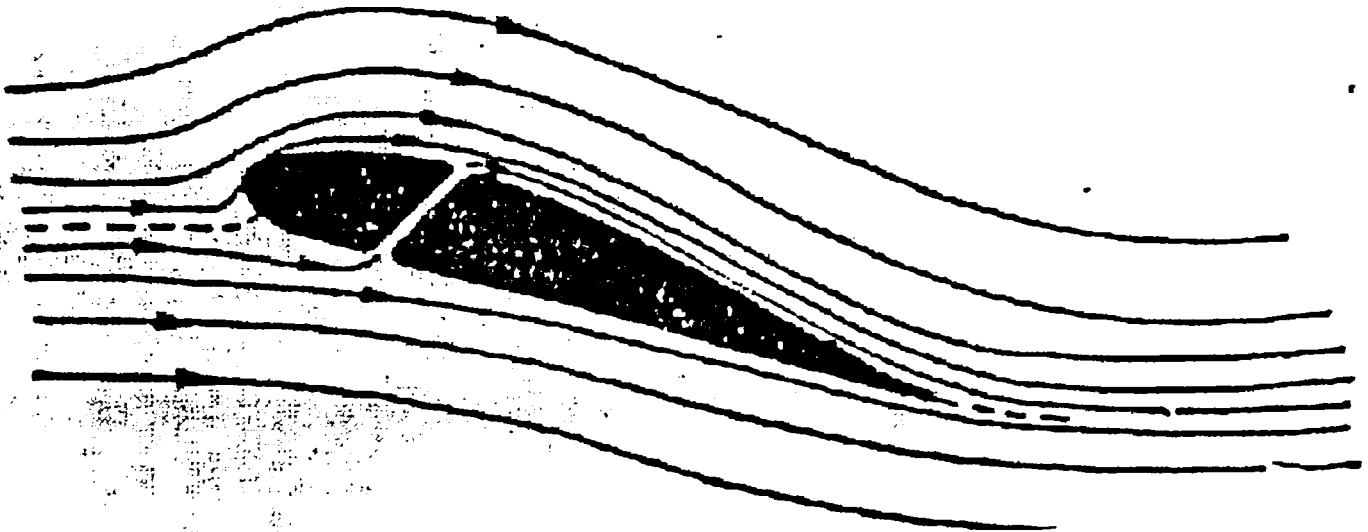


Fig.4.71. Proceeu de suflaj al stratului limita, aplicat la paletelr unui rotor de turbina

Incarcarile efectuate pentru doua variante au evidentiat în principal o stabilitate mai mare în functionare pentru turbina cu palete cu fante decât cea cu palete normale, fig.4.72, fig.4.73.

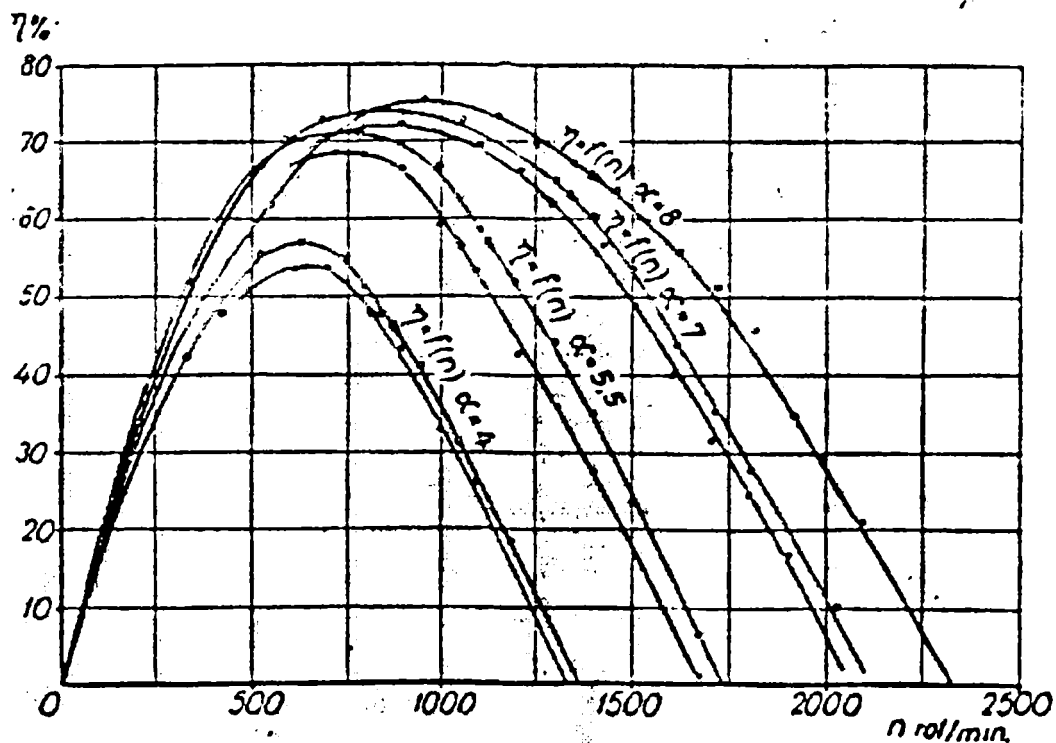


Fig.4.72. Variatia cu turatia a randamentului turbinei Kaplan cu palete cu fante

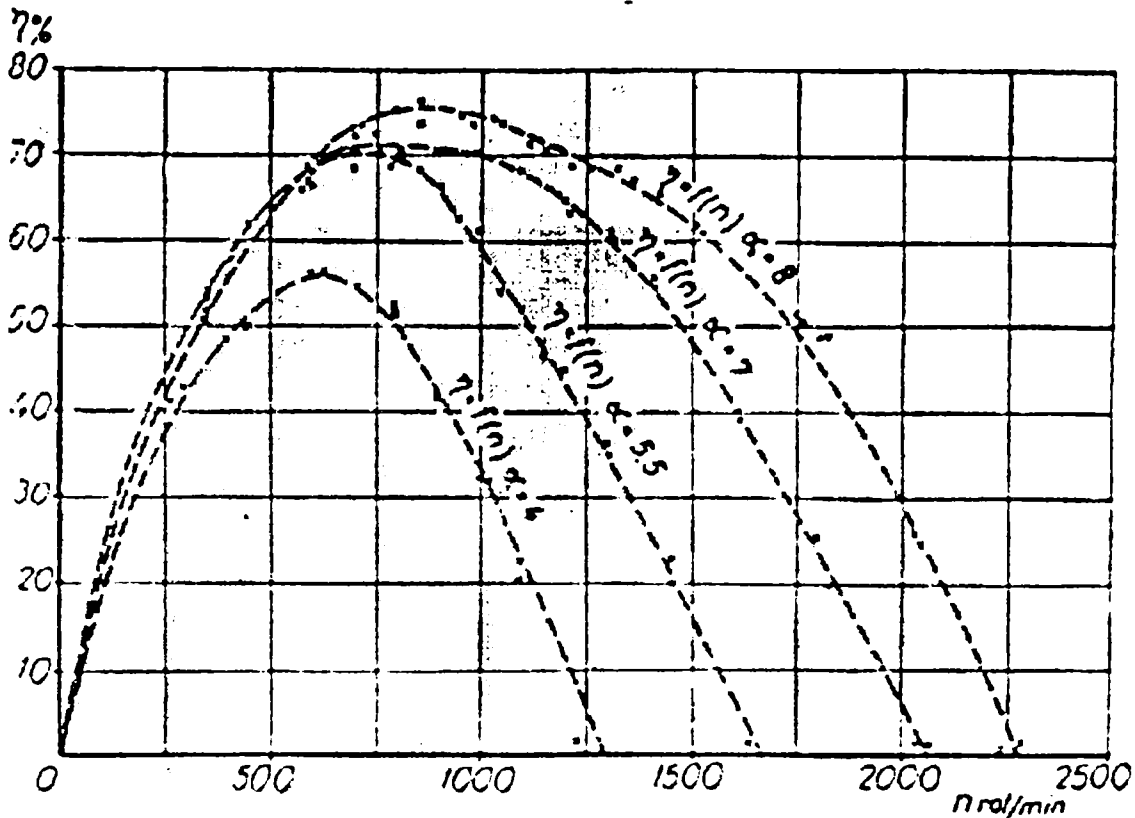


Fig.4.73.Variatia cu turatia a randamentului turbinei Kaplan cu palete fara fante

Se remarca deasemenea faptul ca in cele doua cazuri randamentele ca valori si alura sunt aceleasi si deci modificarile aduse geometriei paletei prin practicarea fantelor imbunatatesc functionarea masinii mentinanda aceleasi randamente.

4.5.2 Profile Coandă

În lucrare se introduce, ca solu ie în cadrul dispozitivelor de hipersustenta ie conceptul de **Profile Coandă** - *profile aerodinamice prevăzute cu ajutaje Coandă, voletul fiind materializat printr-un segment sau reuniune de segmente apar inând extradosului. În acest context în principiu orice profil aerodinamic cu geometrie și caracteristici cunoscute, poate genera un profil Coandă, fiind recomandabil ca solu ia concreta de materializare a ajutajelor să nu modifice esen ial geometria. Prin Efect Coandă, ca urmare a antrenării de către jetul atașat a fluidului exterior la aceste profile:*

- cresc fa ă de cele ob inute la profilul original, valorile depresiunii pe extrados și în consecin ă crește portan a,
- se pot ob ine coeficien i de portan ă mari (supraunitari) pentru unghiuri de inciden ă ce depășesc cu mult pe cele critice.
- are loc o modificare a tabloului mișcării care face posibilă evitarea și chiar controlul desprinderii.

Pentru a ilustra conceptul de Profil Coandă și a pune în evidența dezideratele de mai sus s-au efectuat măsurători în tunelul aerodinamic în circuit deschis cu venă liberă, Laboratorul de Aerodinamică, Facultatea de Mecanică [15], [48], fig. 4.74.

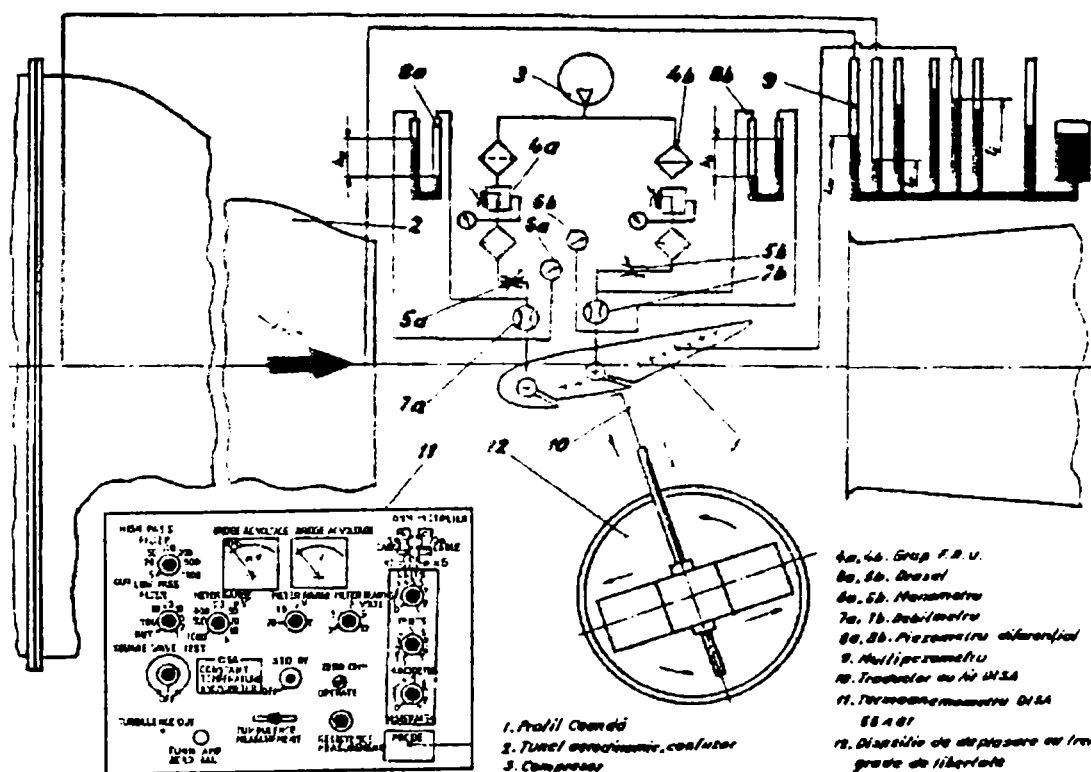


Fig. 4.74 Sta iunea experimentală.

Obiectivul principal l-a constituit determinarea coeficienților de portanță C_A și de rezistență C_W [89], fig. 4.75, pentru diferite unghiuri de incidență α , pentru profilul original și profilul Coandă derivat:

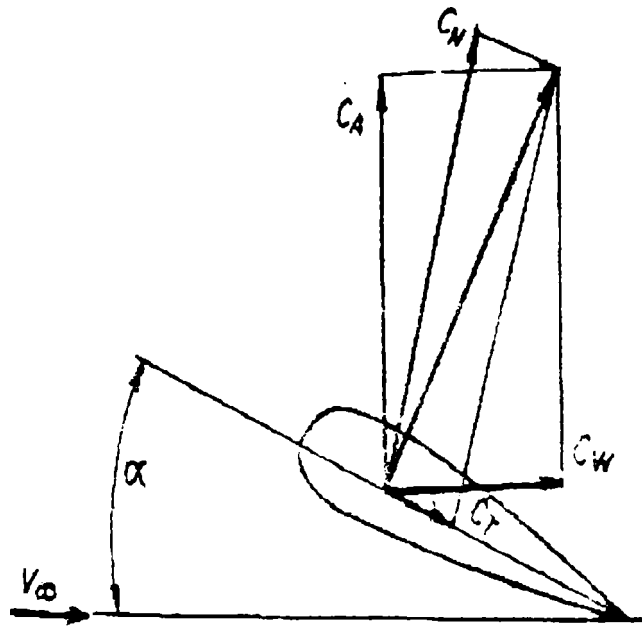


Fig. 4.75 Componentele for ei superficiale pe profil.

$$C_A = C_N \cos \alpha - C_T \sin \alpha \tag{4.6}$$

$$C_W = C_N \sin \alpha + C_T \cos \alpha \tag{4.7}$$

$$C_N = \frac{1}{L} \int C_p dx \tag{4.8}$$

$$C_T = \frac{1}{L} \int C_p dy \tag{4.9}$$

unde C_p este coeficientul de presiune și este definit de:

$$C_p = (p - p_\infty) / \rho (V_\infty^2 / 2) \tag{4.10}$$

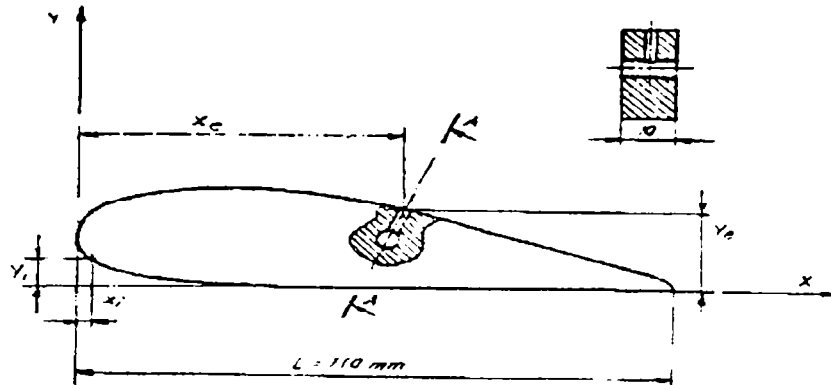
În zona de lucru a tunelului, fig. 4.74, este dispus profilul aerodinamic (1). Confuzorul (2) asigură în secțiunea de eflux o distribuție uniformă a vitezei, a cărei valoare rezultată prin calcul din căderea de presiune pe confuzor deține viteza asimptotică amonte de referință V_∞ pentru profilul aerodinamic:

$$V_\infty = \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{D_a}{D_b}\right)^4\right]} \sqrt{\frac{p_a - p_b}{\rho \frac{V_\infty^2}{2}}} \tag{4.11}$$

Repartiția presiunilor pe profil se exprimă prin intermediul coeficientului de presiune C_p și rezultă din indicațiile multipiezometrului (9):

$$P_i = \frac{P_i - P_\infty}{\frac{\rho v_\infty^2}{2}} = \frac{1}{1 - \left(\frac{D_a}{D_b}\right)^4} \frac{l_a - l_i}{l_b - l_a} \quad (4.12)$$

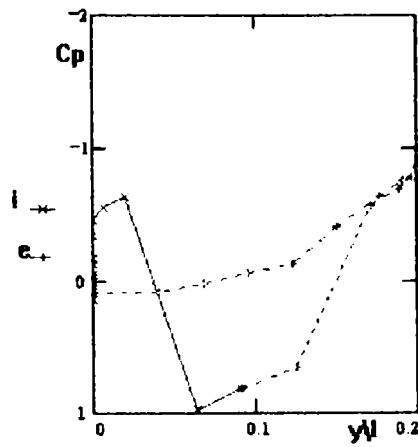
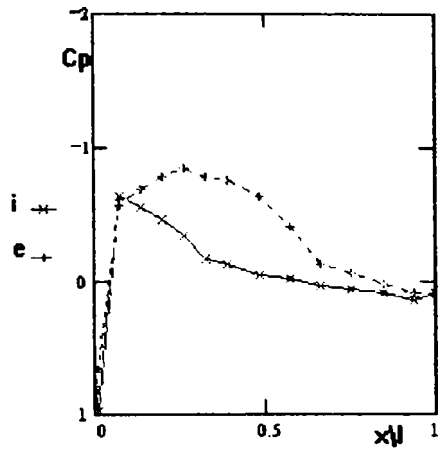
S-a considerat ca original profilul aerodinamic drenat, din fig. 4.76.



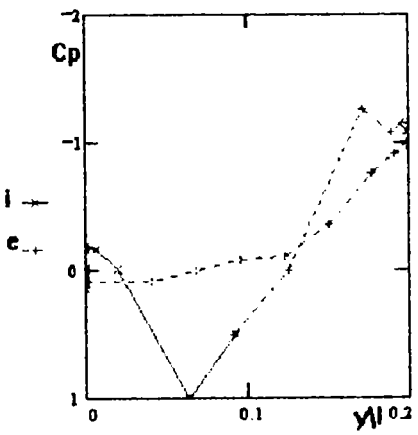
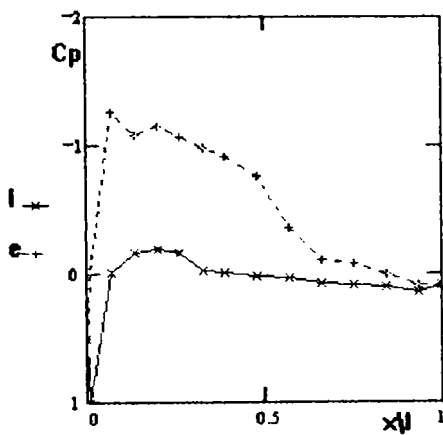
X	y _e	y _i	x/L	y _e /L	y _i /L
110	0	0	1	0	0
103	4.5	0	0.936	0.041	0
93	7.5	0	0.845	0.068	0
83	10.5	0	0.755	0.095	0
73	13.5	0	0.664	0.123	0
63	16.5	0	0.573	0.15	0
53	19.4	0	0.482	0.176	0
43	21	0	0.391	0.191	0
36	21.89	0	0.327	0.199	0
29	21.93	0	0.264	0.199	0
22	21.6	0	0.2	0.196	0
15	20.8	0.7	0.136	0.189	0.006
8	18.8	2.2	0.073	0.171	0.02
1	13.3	7	0.009	0.125	0.064
0	10	10	0	0.091	0.091

Fig. 4.76 Profilul original PO.

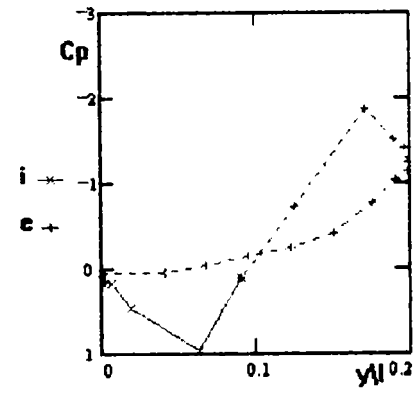
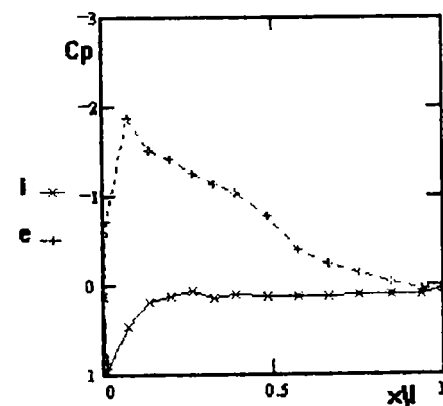
În fig. 4.77 se prezintă distribuția de presiuni pentru profilul original în condiții de anvergură infinită.



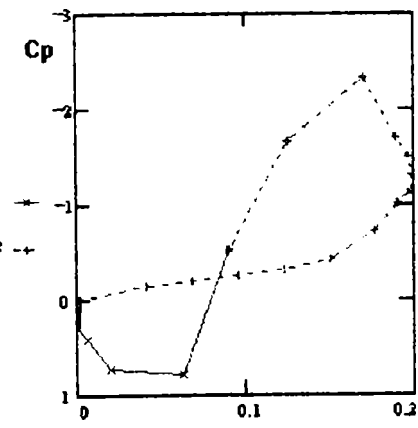
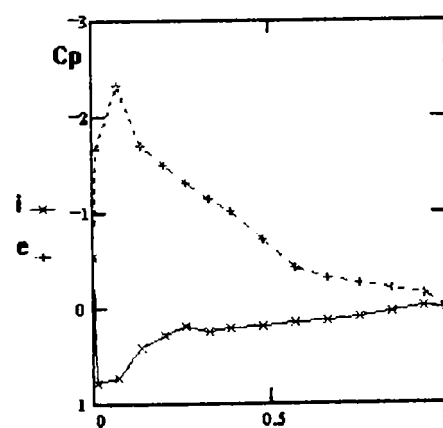
$\alpha = 0^\circ$



$\alpha = 5^\circ$



$\alpha = 10^\circ$



$\alpha = 15^\circ$

Fig. 4.77 Profilul original PO. Distributia presiunilor pe frontieră.
 $Re \cong 1,09 \cdot 10^6$

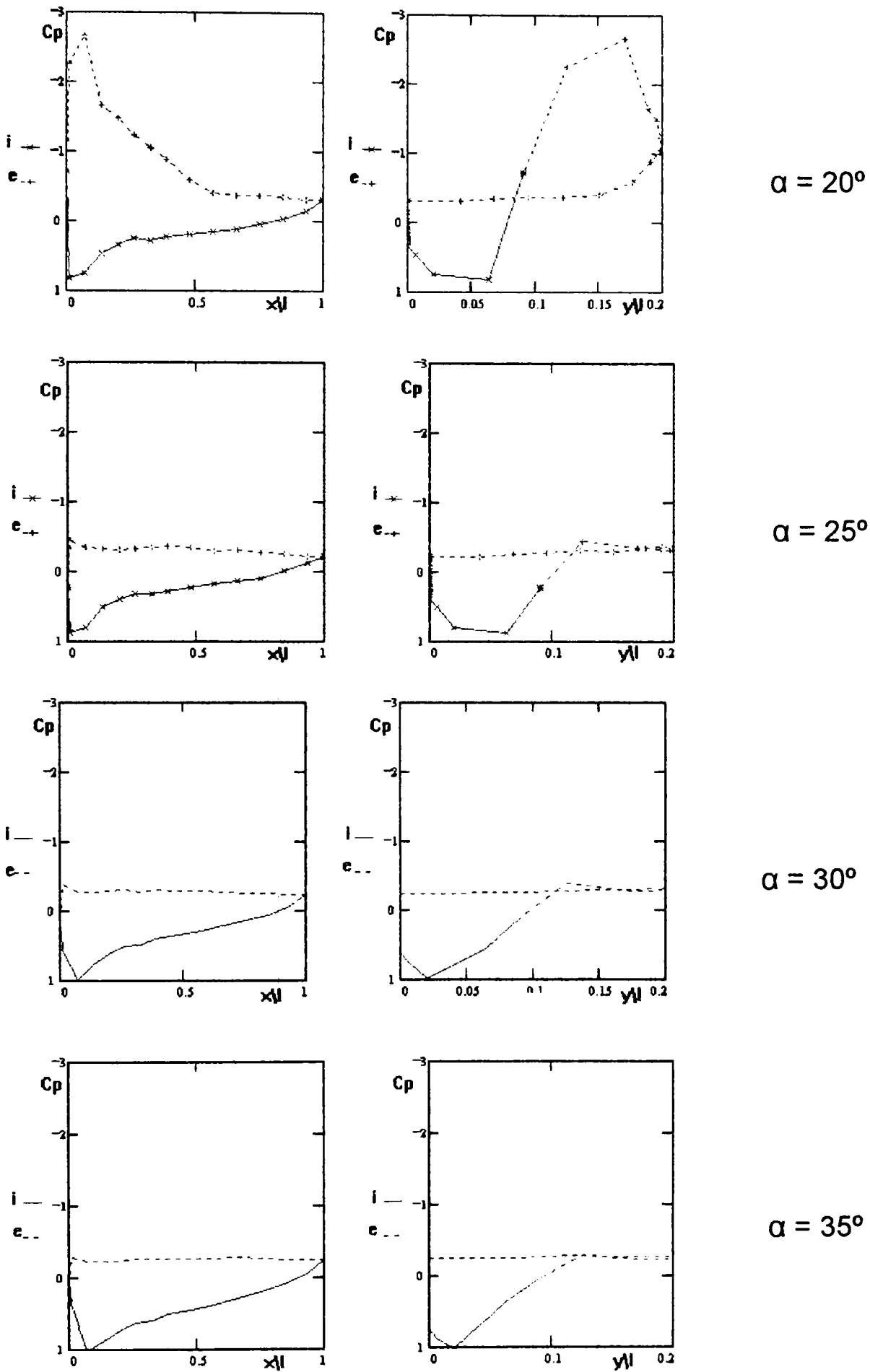


Fig. 4.77 Profilul original PO. Distribuția presiunilor pe frontieră.
 $Re \cong 1,09 \cdot 10^6$

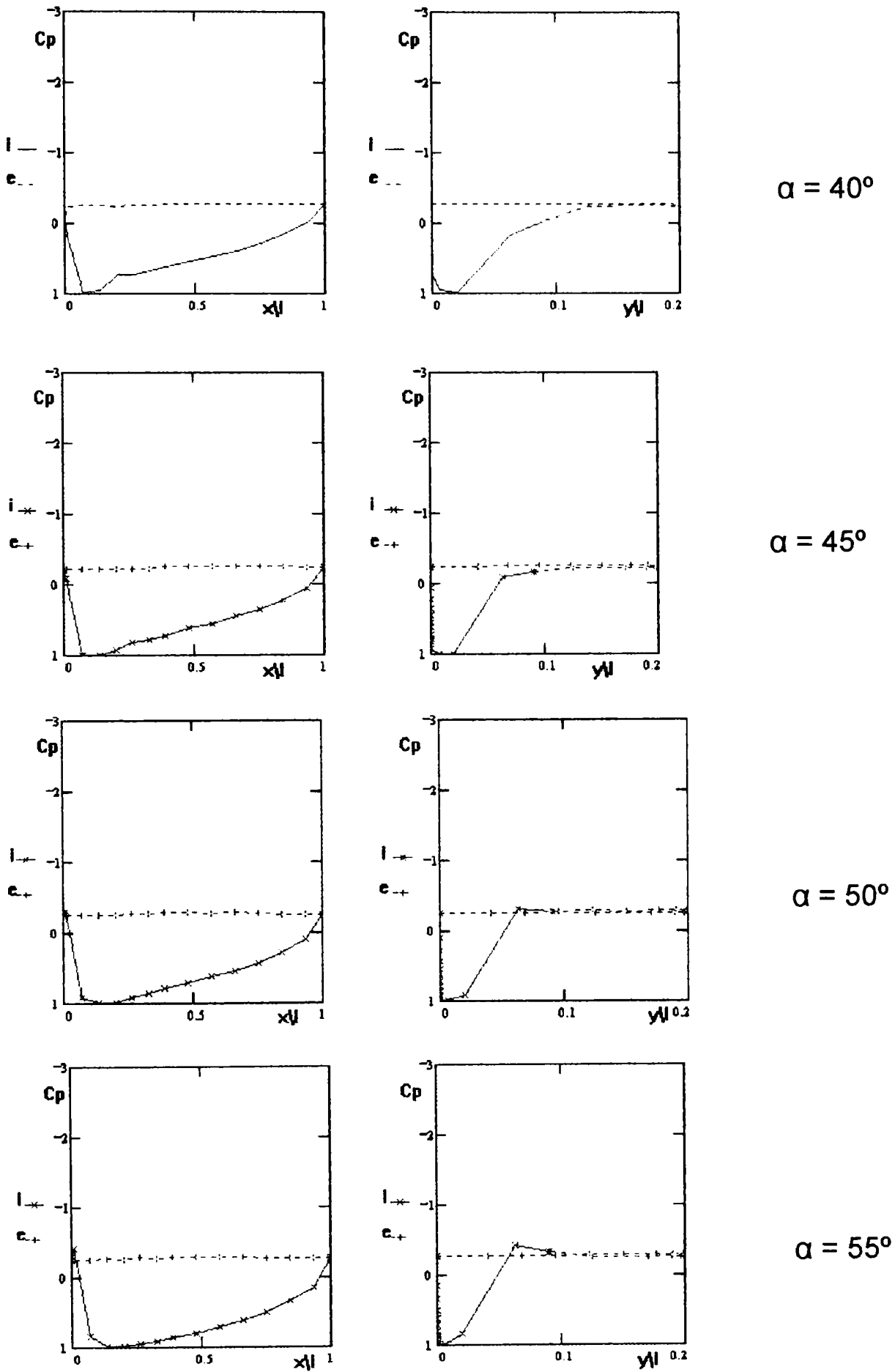
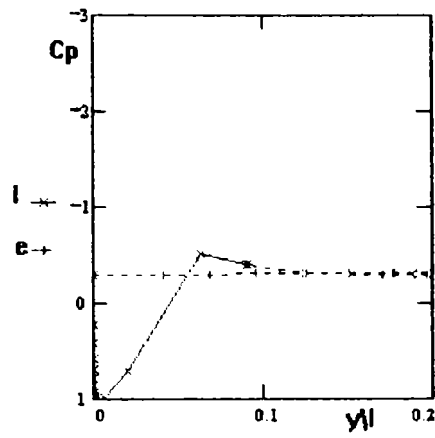
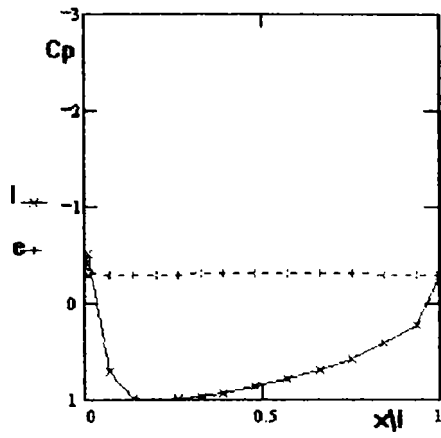
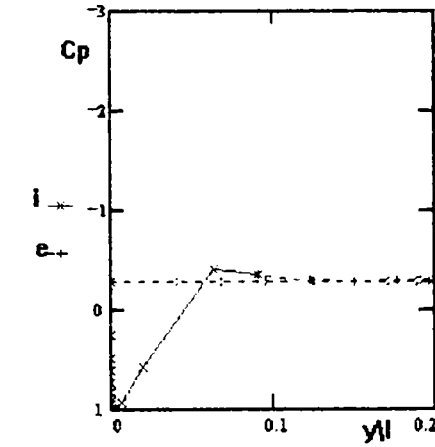
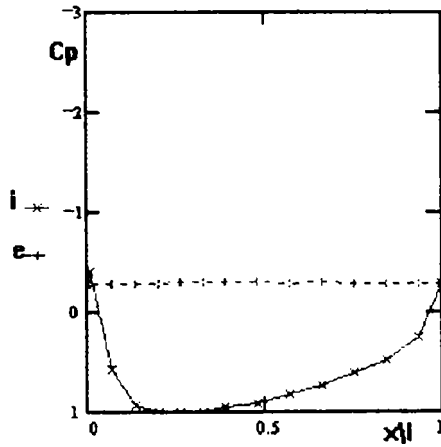


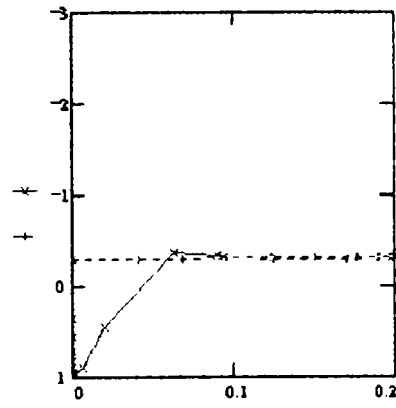
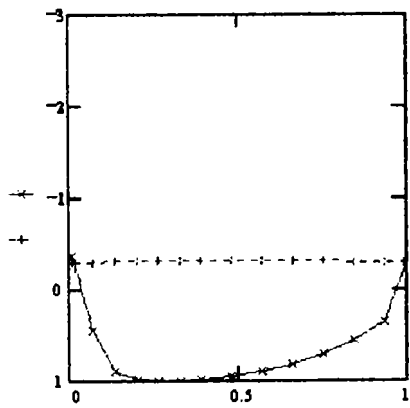
Fig. 4.77 Profilul original PO. Distribuția presiunilor pe frontieră.
 $Re \cong 1,09 \cdot 10^6$



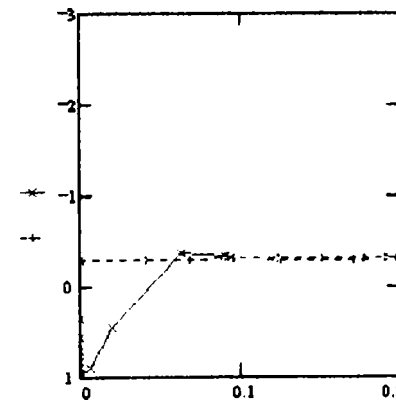
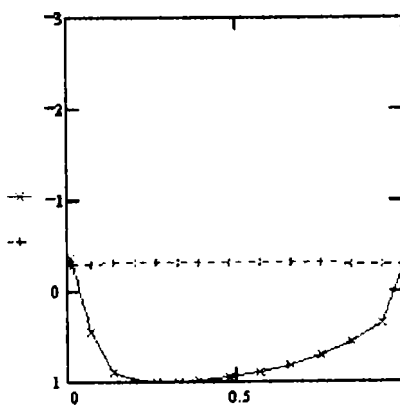
$\alpha = 60^\circ$



$\alpha = 65^\circ$



$\alpha = 70^\circ$



$\alpha = 75^\circ$

Fig. 4.77 Profilul original PO. Distribuția presiunilor pe frontieră.
 $Re \cong 1,09 \cdot 10^6$

Din distributia de presiuni, în conformitate cu (4.6), (4.7), (4.8), (4.9) a rezultat variatia cu incidenta a coeficientului de portantă, fig. 4.78, de rezistentă fig. 4.79 și polara fig. 4.80.

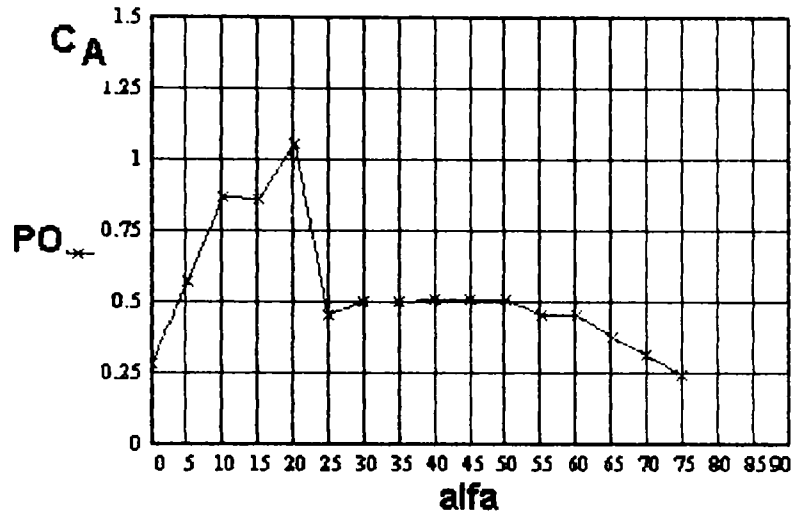


Fig. 4.78 Profilul originar. $C_A = C_A(\alpha)$

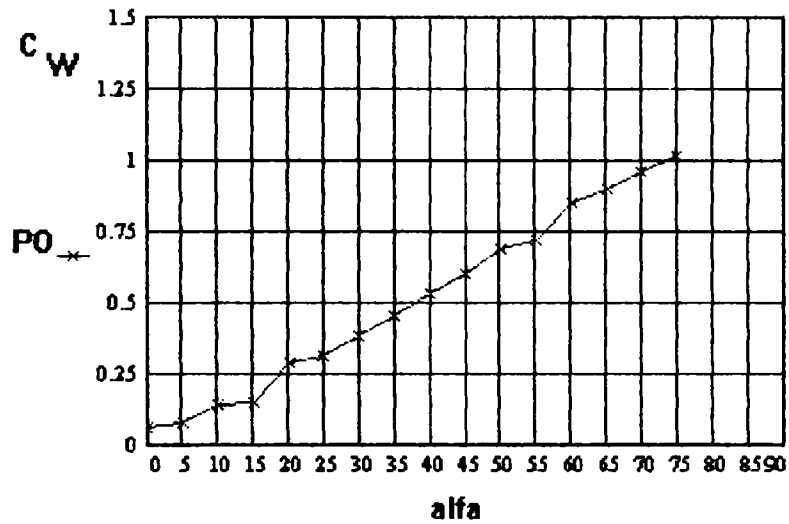


Fig. 4.79 Profilul originar. $C_W = C_W(\alpha)$

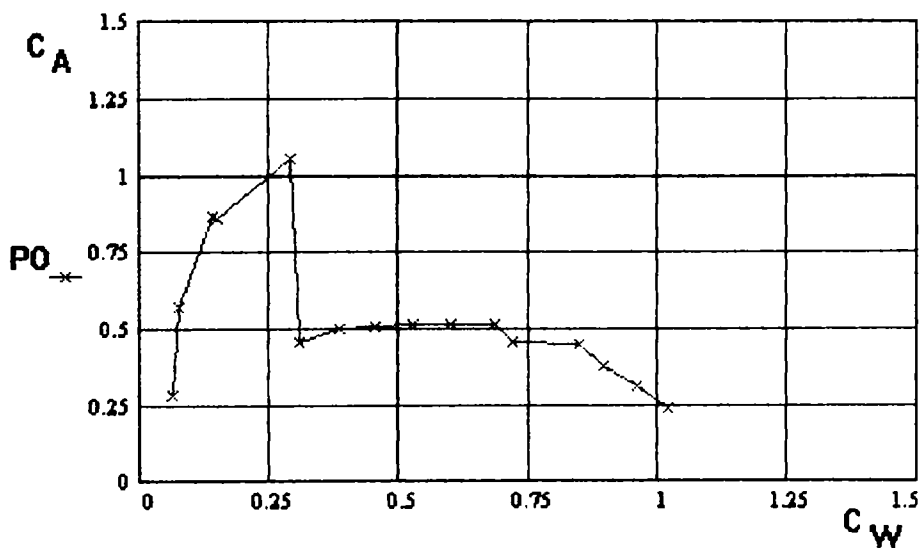


Fig. 4.80 Profilul originar. Polara $C_A = C_A(C_W)$

Coeficientii de portanta si de rezistenta s-au determinat si prin masurarea directa a fortelor superficiale respective. In acest scop a fost proiectata si realizata o balanta aerodinamica. Dintre variantele utilizate in cadrul testelor efectuate in tunelele aerodinamice [15], [16], [56], [72] s-a ales, tinand cont de particularitatile constructive ale modelului, si de posibilitatile de incadrare in zona de lucru a tunelului aerodinamic L.M.H.T., [15], [16], solutia tensometrica. Metoda tensometrica consta in stabilirea unei legaturi intre variata relativa a doua marimi fizice: rezistenta electrica si deformatia elastica [55]:

$$\frac{\Delta R}{R} = F\left(\frac{\Delta l}{l}\right) \quad (4.13)$$

Aceasta legatura este realizata prin intermediul unui traductor rezistiv cu fir care este atasat si preia deformatia unui element elastic. Notand cu R rezistenta electrica, l -lungimea, S -sectiunea si ρ_r rezistivitatea, firului, din:

$$R = \rho_r \frac{l}{S} \quad (4.14)$$

rezulta:

$$\frac{dR}{R} = \frac{dl}{l} - \frac{dS}{S} + \frac{d\rho_r}{\rho_r} \quad (4.15)$$

unde:

$$\frac{dS}{S} = 2\mu \frac{dl}{l} \quad (4.16)$$

$$\frac{d\rho_r}{\rho_r} = \kappa_p (1 - 2\mu) \frac{dl}{l} \quad (4.17)$$

cu:

μ -coeficientul lui Poisson, si

κ_p -un coeficient de proportionalitate.

Tinand cont de ponderea ultimilor termeni relatia (2) se scrie sub forma:

$$\frac{\Delta R}{R} = k \frac{\Delta l}{l} \quad (4.18)$$

din care rezulta ca intre variatiile relative ale rezistentei electrice si alungirii firului exista o dependenta liniara si, intrucat, deformatia (alungirea) este provocata de forte respectiv momente $\frac{\Delta R}{R}$ este o masura a acestora. Cu

aceste elemente a fost proiectata si executata balanta din fig.4.81 care, permite identificarea a trei componente, P_N , P_T , P_Z .

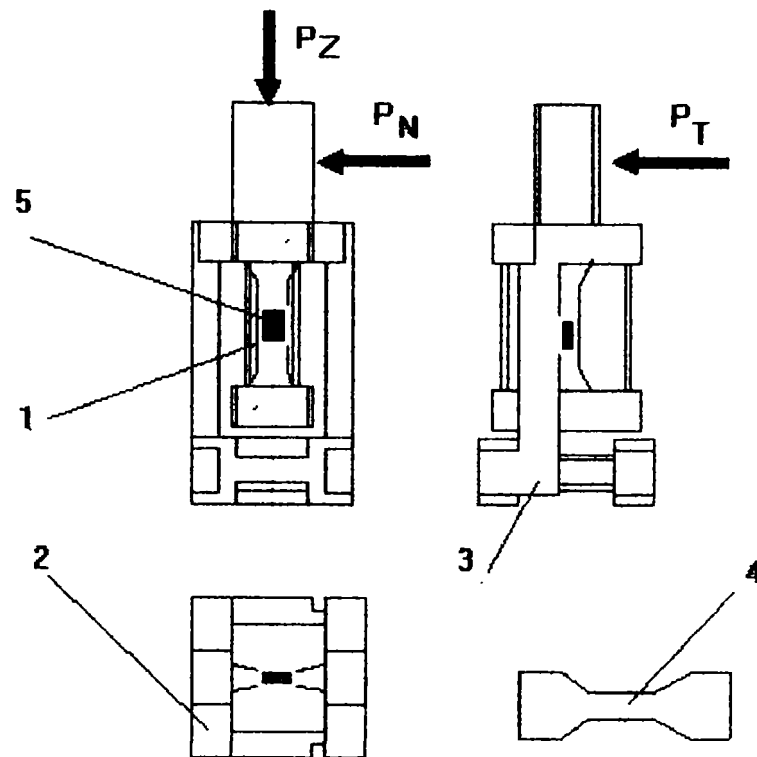


Fig .4.81. Balanta aerodinamica tensometrica cu trei componente.

Fiecare componenta a fortei exercitate, este preluata in cadrul unui modul independent (1), (2), si (3) si provoaca prin incovoiere deformarea a doua elemente elastice(4). Pe fiecare element sunt lipite timbre tensometrice (5). Deformarea elementelor elastice sesizata de timbre este citita la o punte tensometrica. Profilul aerodinamic este fixat pe balanta. In maniera de fixare aleasa P_N corespunde componentei fortei superficiale aerodinamice perpendiculara pe coarda profilului iar P_T celei orientate dupa coarda. Balanta este montata pe un suport fig.4.82, care asigura prin rotire si posibilitatea modificarii unghiului de incidenta... Pentru acest montaj si in conditia in care miscarea poate fi considerata bidimensionala componenta P_Z este nerelevanta din punct de vedere aerodinamic In acest context balanta a fost conectata la doua punti tensometrice, In prealabil efectuarii masuratorilor, s-au ridicat curbele de etalonare, fig.4.83 , pe abscisa fiind marcate diviziunile citite la puntea tensometrica [28] iar pe ordonata componentele vizate , P_N , si P_T . Ansamblul constituit din profilul originar PO de anvergur $L=0.1m$ si balanta tensometrica, fig. 4.84, a fost dispus, fig.4.85 in zona de lucru a tunelului aerodinamic .Cunoscand componentele dupa normala la coarda P_N si paralela cu coarda P_T rezulta in conformitate cu fig. 4.75 portanta A si rezistenta W , [89],[105] :

$$A = P_N \cos \alpha - P_T \sin \alpha \quad (4.19)$$

$$W = P_N \sin \alpha + P_T \cos \alpha \quad (4.20)$$

Si respectiv coeficientii asociati:

$$C_A = \frac{A}{\frac{\rho}{2} V_\infty^2 L l} \quad C_W = \frac{W}{\frac{\rho}{2} V_\infty^2 L l} \quad (4.21)$$

In relatiile anterioare s-a notat cu $L=0.1\text{m}$ anvergura profilului, si cu $l=0.110\text{m}$ coarda.

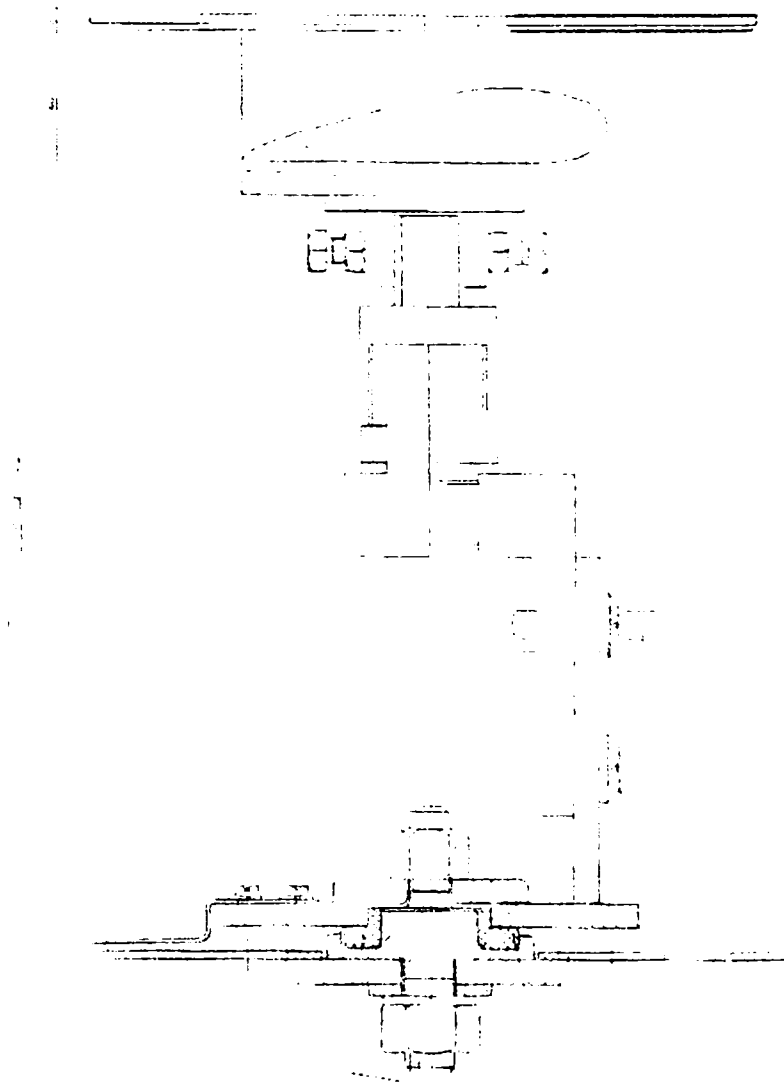


Fig.4.82. Ansamblu constituit din profilul original PO, balanta aerodinamica si suportul rotitor.

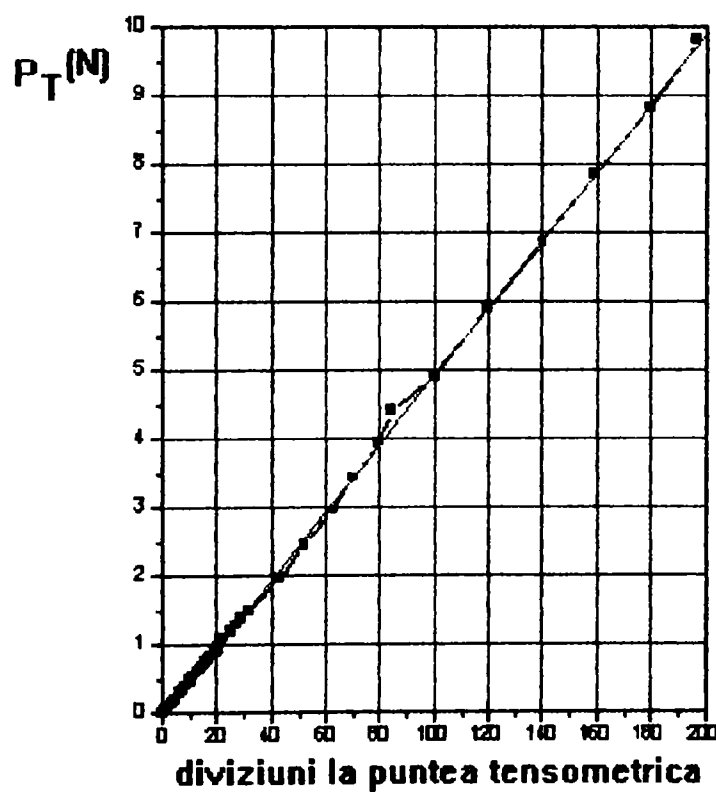
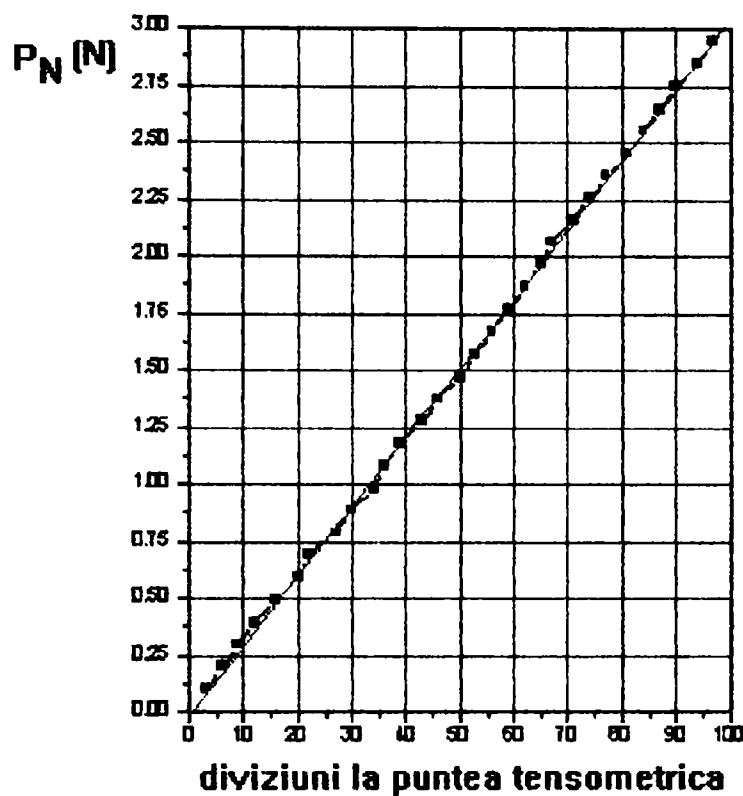


Fig.4.83 Curbele de etalonare ale balantei tensometrice, Componentele P_N si P_T .

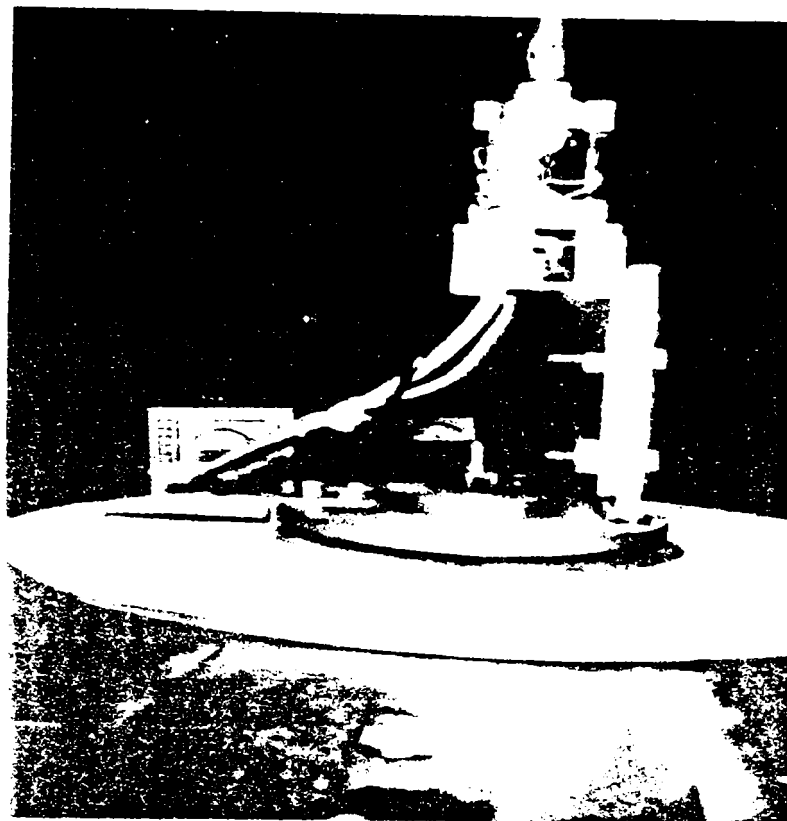


Fig.4.84. Profilul original PO si balanta tensometrica

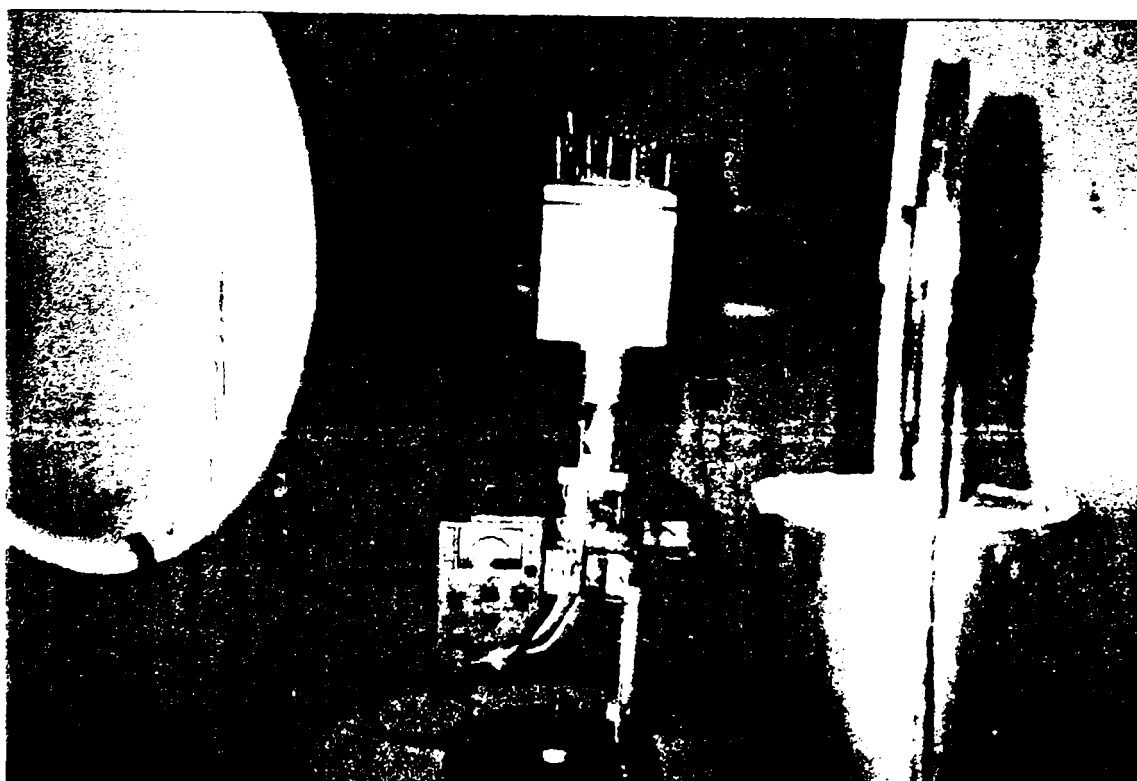


Fig.4.85. Zona de lucru a tunelului aerodinamic, profilul original PO fixat in balanta pe dispozitivul suport si puntile tensometrice utilizate la masurarea componentelor P_N si P_T .

Cu valorile obtinute s-au reprezentat figurile 4.86, 4.87, 4.88, 4.89., 4.90 in care sunt marcate si valorile corespunzatoare determinate din distributiile de presiuni pe frontiera.

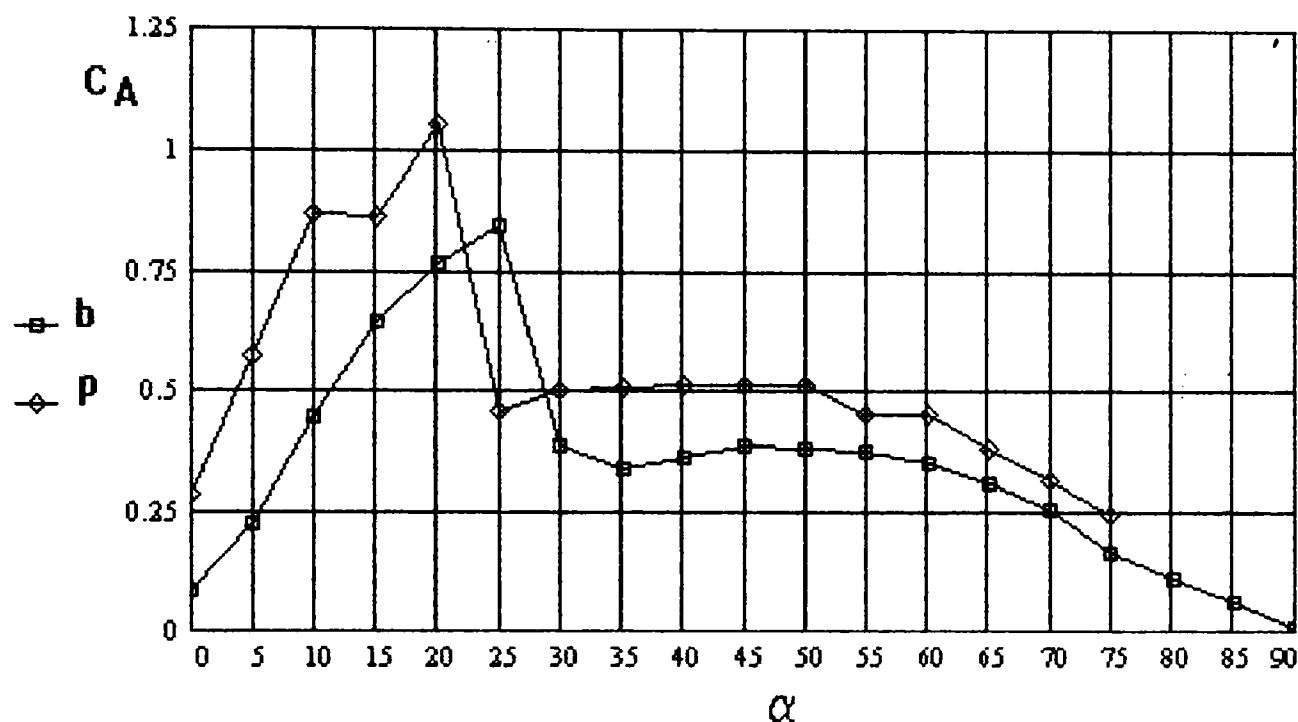


Fig.4.86.Profilul original PO.Variatia cu incidenta a coeficientilor de portanta C_A (b-masuratori cu balanta, p-rezultati din distributia de presiuni)

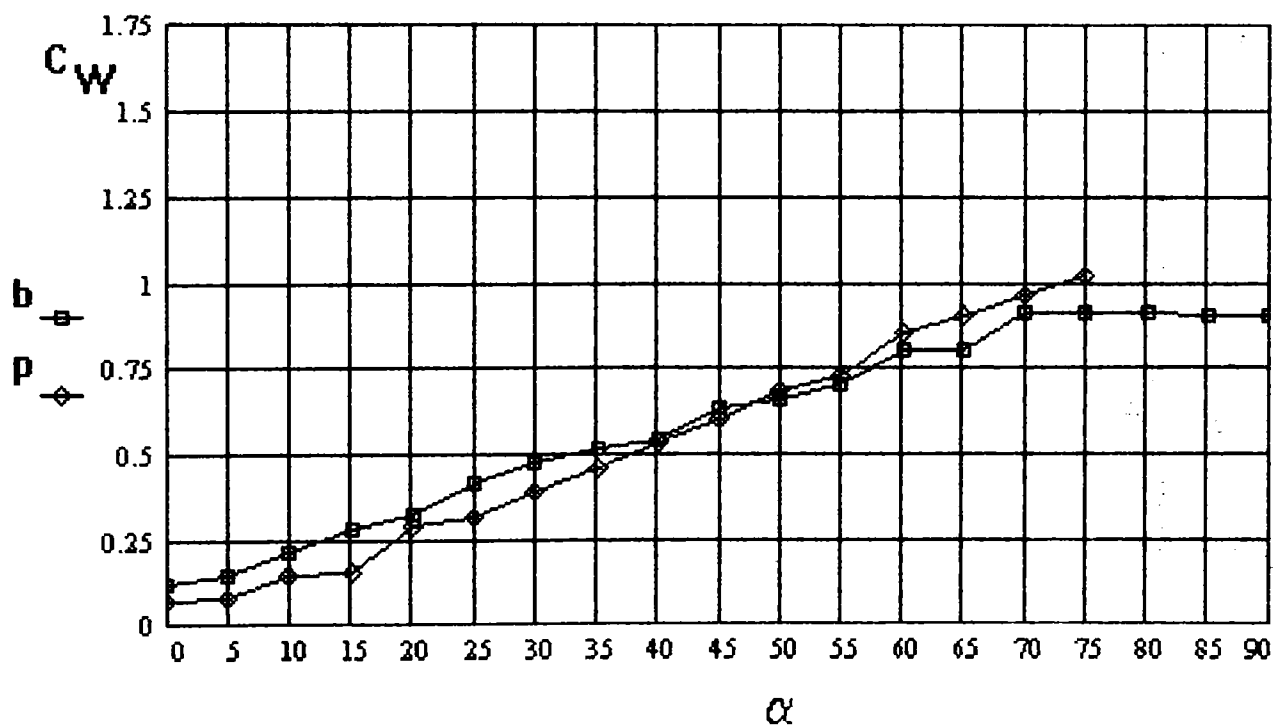


Fig.4.87.Profilul original PO.Variatia cu incidenta a coeficientilor de prezidenta C_W (b-masuratori cu balanta, p-rezultati din distributia de presiuni)

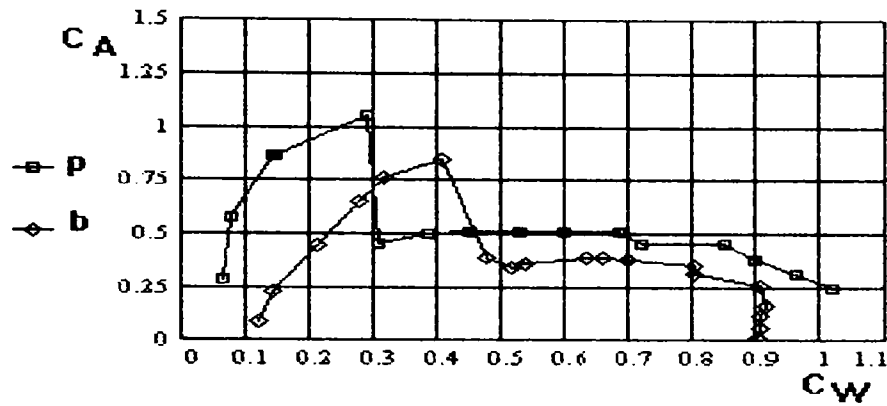


Fig.4.88.Profilul originar PO. Polara(**b**-masuratori cu balanta, **p**-rezultati din distributia de presiuni .

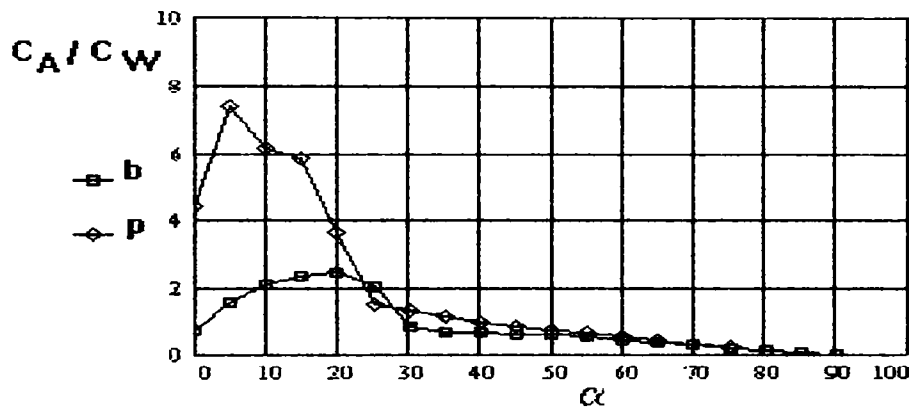


Fig.4.89.Profilul originar PO. Coeficientul de calitate CA/CW(**b**-masuratori cu balanta, **p**-rezultat din distributia de presiuni)

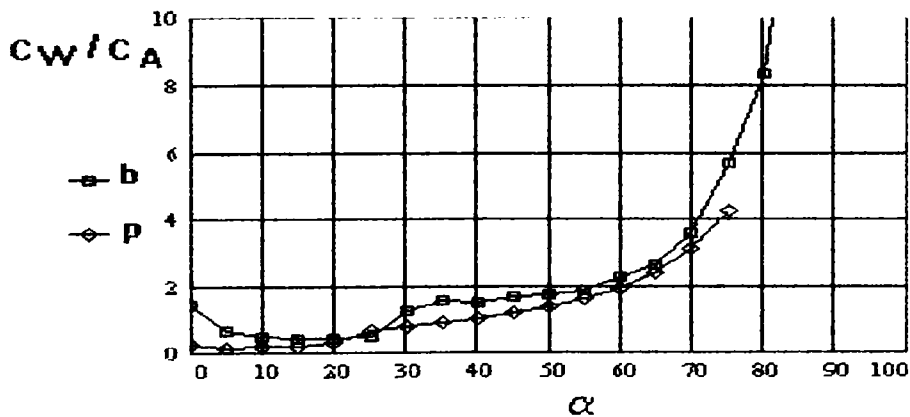


Fig.4.90.Profilul originar PO. Finetea. CW/CA(**b**-masuratori cu balanta, **p**-rezultata din distributia de presiuni)

Urmarind valorile si alura marimilor reprezentate se poate concluziona ca cele doua metode de determinare a parametrilor vizati-cu balanta respectiv din distributia de presiuni- sant concordante.

Intrucat profilul originar PO nu este incadrrat in cataloage s-au comparat coeficientii de portanta si de rezistenta determinati, cu cei ai unor profile cunoscute cu o configuratie geoemetrica apropiata, cum ar fi Gö 383 (33)si TAGI Bs-14 (105), fig.4.91.

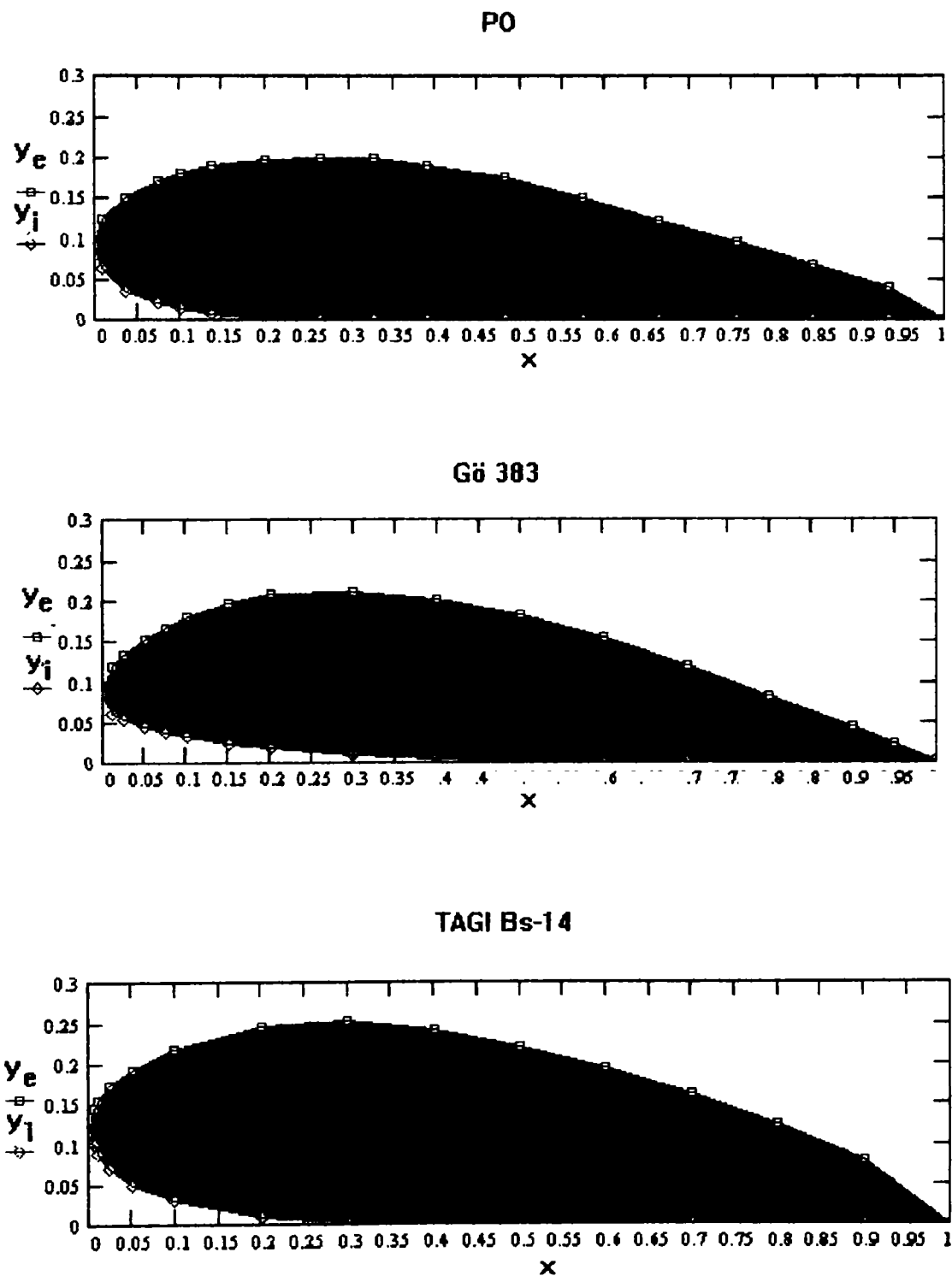


Fig.4.91. Profilele aerodinamice PO , Gö 383, si TAGI Bs-14 .

Profilele reprezentate in fig.4.91, sant caracterizate prin coordonatele si parametrii geometrici prezentati in Tabelul 1.

PO			Gö 383			TAGI Bs-14		
x	y_e	y_i	x	y_e	y_i	x	y_e	y_i
0	0.091	0.091	0	0.087	0.087	0	0.113	0.113
0.009	0.125	0.064	0.013	0.12	0.061	0.007	0.145	0.1
0.035	0.15	0.035	0.025	0.124	0.054	0.01	0.155	0.09
0.073	0.171	0.02	0.05	0.153	0.044	0.025	0.173	0.07
0.1	0.18	0.014	0.075	0.163	0.037	0.05	0.193	0.05
0.156	0.187	0.006	0.1	0.177	0.032	0.1	0.213	0.03
0.2	0.196	0	0.15	0.197	0.024	0.2	0.245	0.01
0.264	0.199	0	0.2	0.207	0.013	0.3	0.272	0.003
0.327	0.199	0	0.3	0.212	0.009	0.4	0.241	0.001
0.391	0.191	0	0.4	0.203	0.004	0.5	0.221	0
0.482	0.176	0	0.5	0.184	0.001	0.6	0.195	0
0.573	0.15	0	0.6	0.155	0	0.7	0.161	0
0.664	0.123	0	0.7	0.12	0	0.8	0.124	0
0.755	0.095	0	0.8	0.083	0	0.9	0.079	0
0.845	0.062	0	0.9	0.043	0	1	0	0
0.936	0.041	0	0.95	0.022	0			
1	0	0	1	0.002	0.002			

Profil	f/l	x_f/l	d/l	x_d/l
PO	0.1	0.3	0.2	0.3
Gö 383	0.11075	0.3	0.2215	0.3
TAGI Bs-14	0.1275	0.3	0.255	0.3

Tabelul 1. Coordonatele si parametrii geometrici caracteristici pentru profilele: PO, Gö, Tagi Bs-14.

Pentru aceste profile s-au reprezentat pentru comparatie, fig.4.92, fig.4.93, variatiile cu incidenta a: coeficientilor de portanta C_A , de rezistenta C_W , a finetii (C_W/C_A), a coeficientului de calitate (C_A/C_W) si a polarei. Pentru profilele Gö 383 si TAGI Bs-14, valorile acestor coeficienti au fost extrase din [33] respectiv [105].

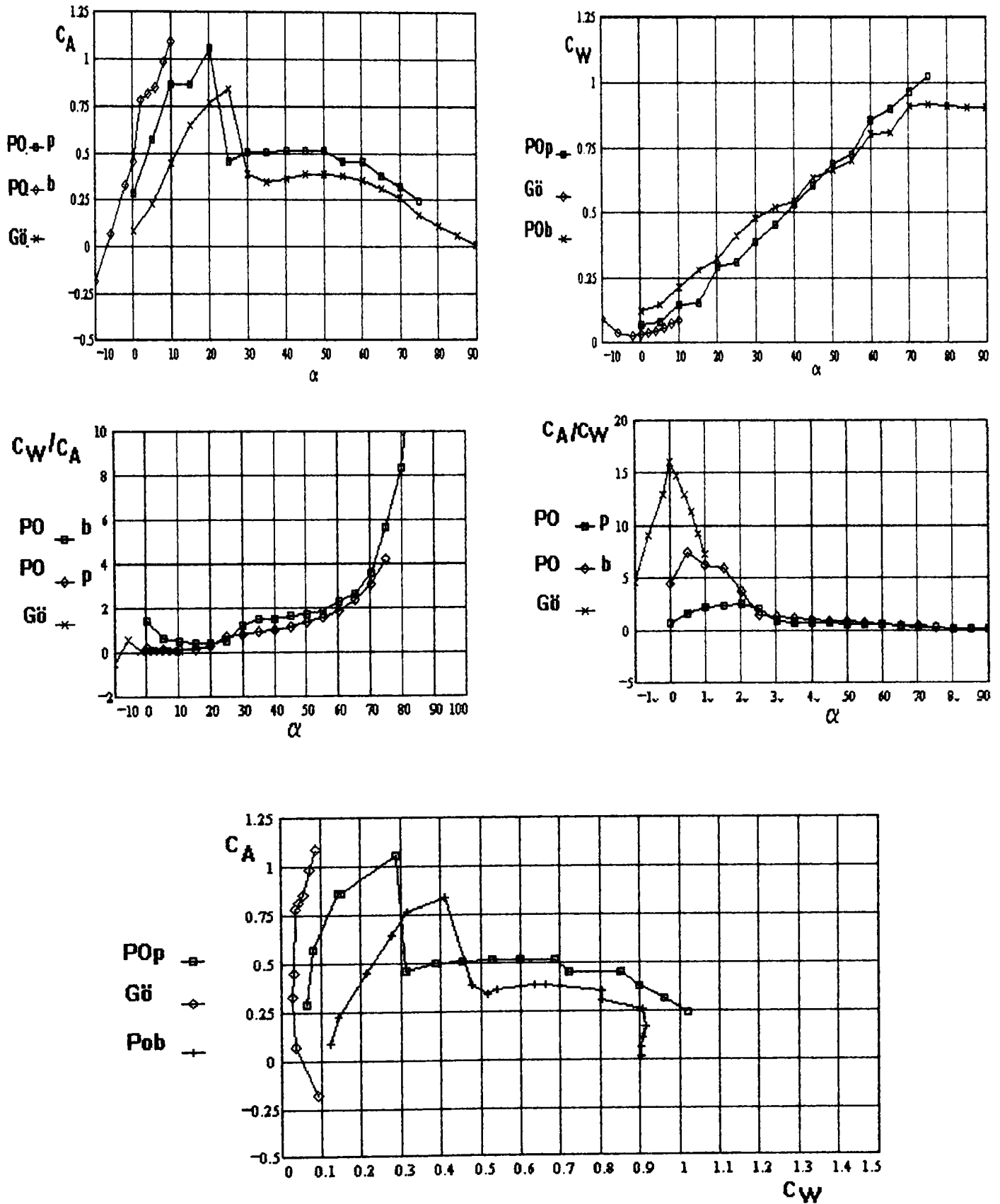


Fig.4.92.Comparatie intre caracteristicile energetice ale profilului Gö 383 si ale profilului original PO masurate cu balanta (b) si rezultate din distributia de presiuni (p)

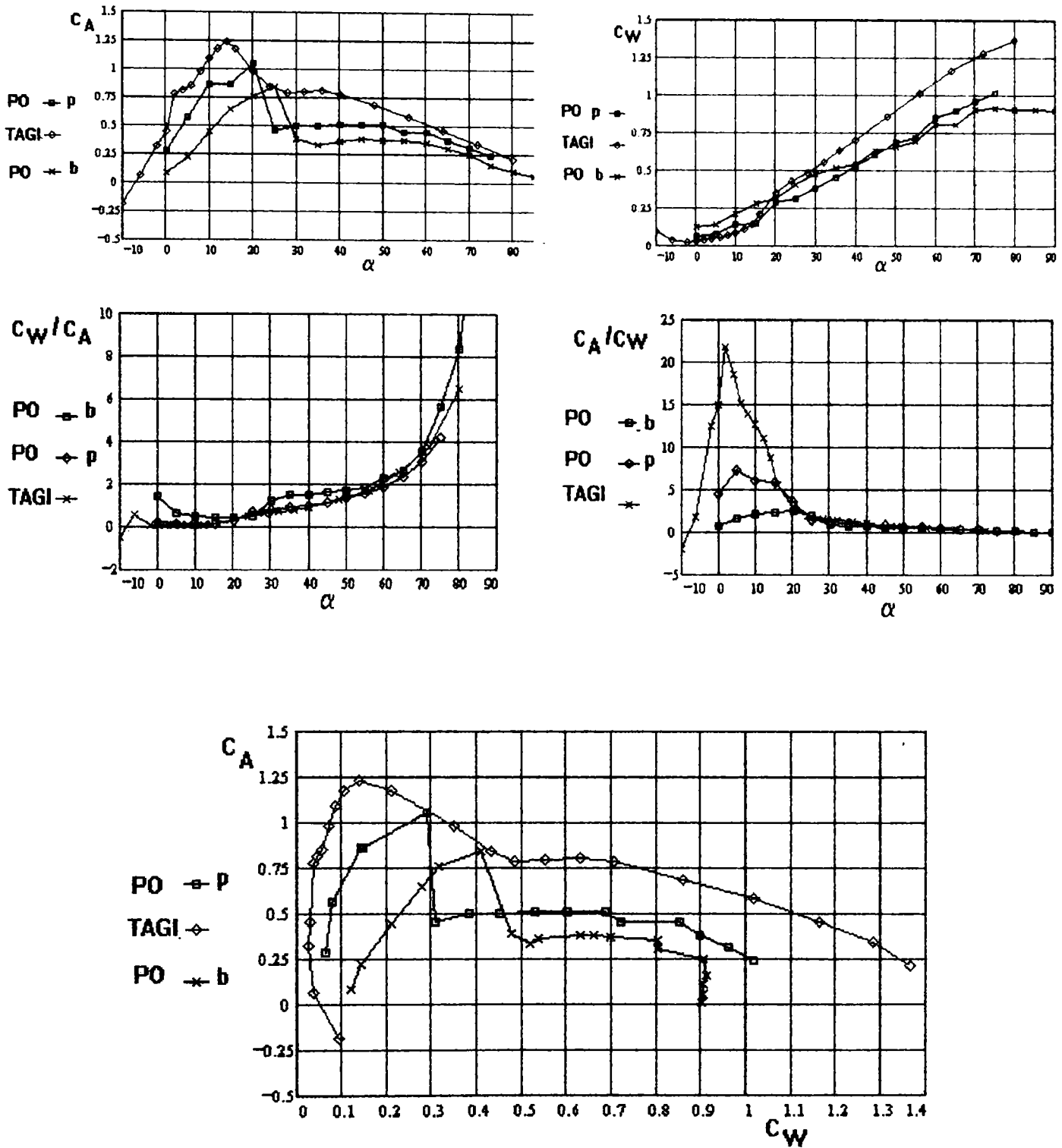


Fig.4.93 Comparatie intre caracteristicile energetice ale profilului TAGI Bs-14 si ale profilului original PO masurate cu balanta (b) si rezultate din distributia de presiuni (p)

Din aceste reprezentari rezulta ca performantele profilului original sunt apropiate de cele ale profilelor catalogate considerate .

În concluzie din punct de vedere al performanțelor energetice ce sunt vizate în cadrul conceptului de profil Coandă se constata pentru profilul PO următoarele:

- $C_A \cong 1,2$ reprezintă valoarea maximă a coeficientului de portantă fig 15. La unghiul de incidentă corespunzător $\alpha \cong 18$ abscisa relativă a punctului de desprindere a fost estimată la $x/L = 0.1$, fig. 4.77.
- pentru unghiuri de incidenta mai mari de 20° , datorită desprinderii zona mișcării reverse [86] se extinde practic pe întreaga frontieră a extradadosului, fig. 4.77.

În cadrul geometriei disponibile a profilului original, tinând cont de constatările de mai sus, de corelataia optimă dintre parametrii ajutorajului și voletului [23], [106], [73] și de posibilitățile tehnologice s-a materializat profilul Coandă derivat -PC1 - fig. 4.94. prevăzut cu doua ajutoraje Coandă inserate.

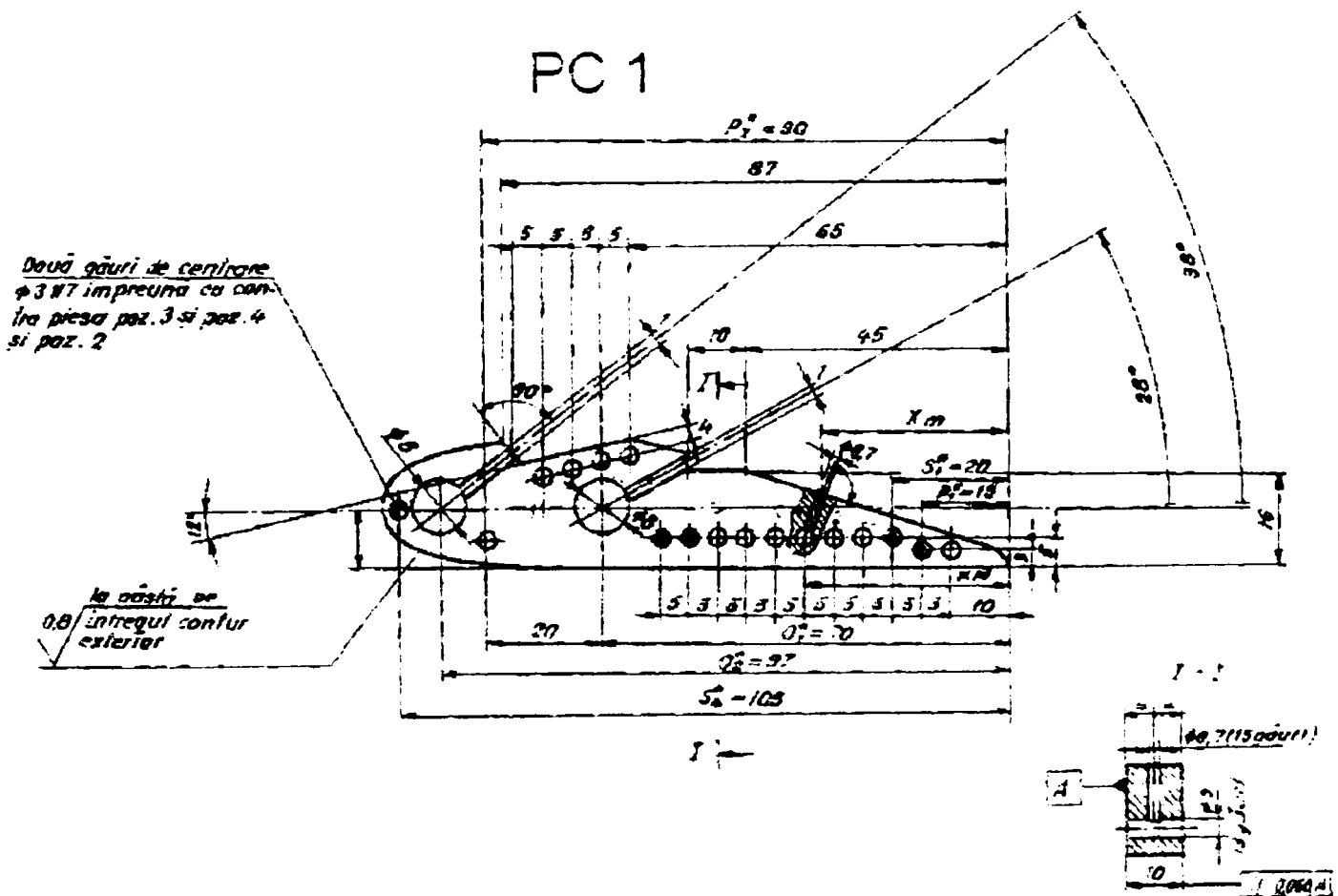
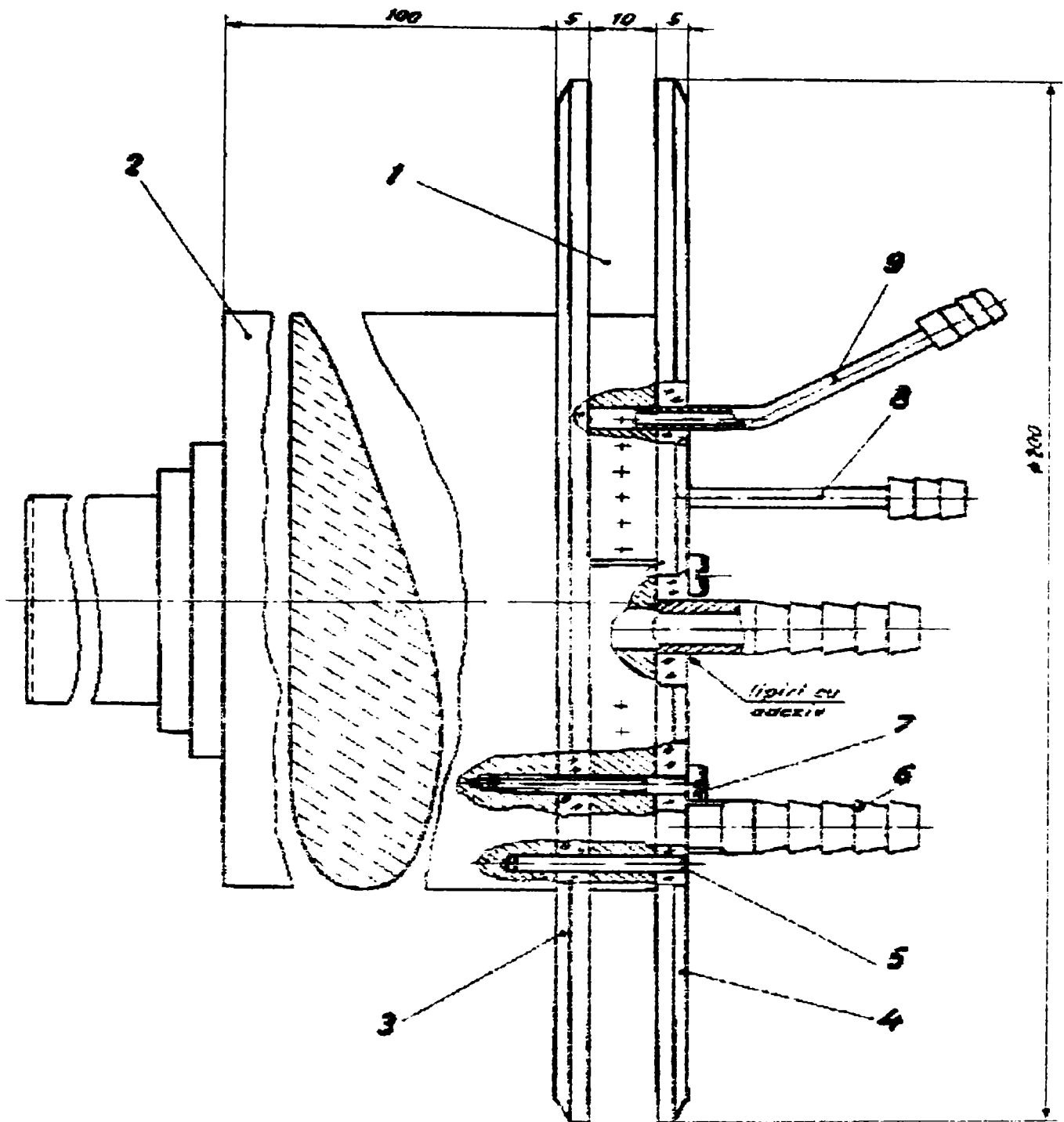


Fig. 4.94 Profilul Coandă derivat PC1

Profilul a fost încadrat în ansamblul din, fig. 4.95, în care, discurile (2) și (3) asigura conditia de anvergură infinită și implicit caracterul bidimensional al mișcării [25].



- | | |
|--------------------|----------------------|
| 1. Profil Coandă | 5. Știft centrat |
| 2. Profil original | 6. Scurt alimentare |
| 3. Disc inferior | 7. Surub M2 |
| 4. Disc superior | 8. Pizot în presiune |

Fig. 4.95 Ansamblul constituit din profilul Coandă și discurile laterale.

Racordurile (6) sunt conectate la ajutajele Coandă alimentate, fig. 4.74, de compresorul (3) prin intermediul a doua trasee "a" și "b" care contin fiecare grupul FRU (4), droselul reglabil (5), și debitmetrul (ajutaj profilat) (7). Căderea de presiune pe ajutaj [103] $\Delta p_{aj} = \rho_{apa} g h$ se măsoară cu piezometrul diferential indirect cu apă (8). Presiunea p_M în sectiunea de eflux a ajutajului, controlată și reglată de droselul (5) este indicată de manometrul (7).

La prelucrarea rezultatelor s-au calculat [1], [6] și parametrii:

a) Densitatea aerului:

$$\rho = \frac{P_{atm}}{RT} \left[1 - \chi \frac{P_{vas}}{P_{atm}} \right] \quad (4.22)$$

unde $R = 287.1 \text{ kJ/kg K}$

$T = 273,16 + t^\circ$, $t^\circ \text{ C}$ - temperatura aerului

P_{atm} - presiunea atmosferică măsurată [Pa]

P_{vas} - presiunea vaporilor de apă saturanți [Pa]

b) Coeficientul dinamic de viscozitate

$$\mu = \mu_0 \sqrt{\frac{T}{273,16}} \frac{1 + \frac{114}{273,16}}{1 + \frac{114}{T}} \quad (4.23)$$

unde $\mu_0 = 17.19 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

c) Viteza în secțiunea minimă a debitmetrului:

$$V_d = \sqrt{\frac{2\kappa RT}{\kappa - 1} \left[1 - \left(1 - \frac{\Delta p}{P_M} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right]} \quad (4.24)$$

unde $\kappa = 1.4$

d) Viteza jetului în secțiunea de eflux a ajutorului Coandă:

$$V_j = V_d \frac{\pi D_d^2}{4 b_{aj} h_{aj}} \quad (4.25)$$

unde $D_d = 0,006 \text{ m}$, $b_{aj} = 0,001 \text{ m}$ și $h_{aj} = 0,01 \text{ m}$.

Această relație rezultă din ecuația transferului masei [12] în ipoteza curgerii homocore ($\rho = \text{ct}$).

e) Numărul Reynolds

$$\text{Re} = \frac{V_\infty L}{\nu} \quad \text{cu} \quad \nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{și } L - \text{coarda profilului} \quad (4.26)$$

Mentinând constantă presiunea indicată de manometrul (7) și implicit viteza jetului în ajutorajele Coandă s-a măsurat distribuția de presiuni, reprezentată în fig. 4.96 .

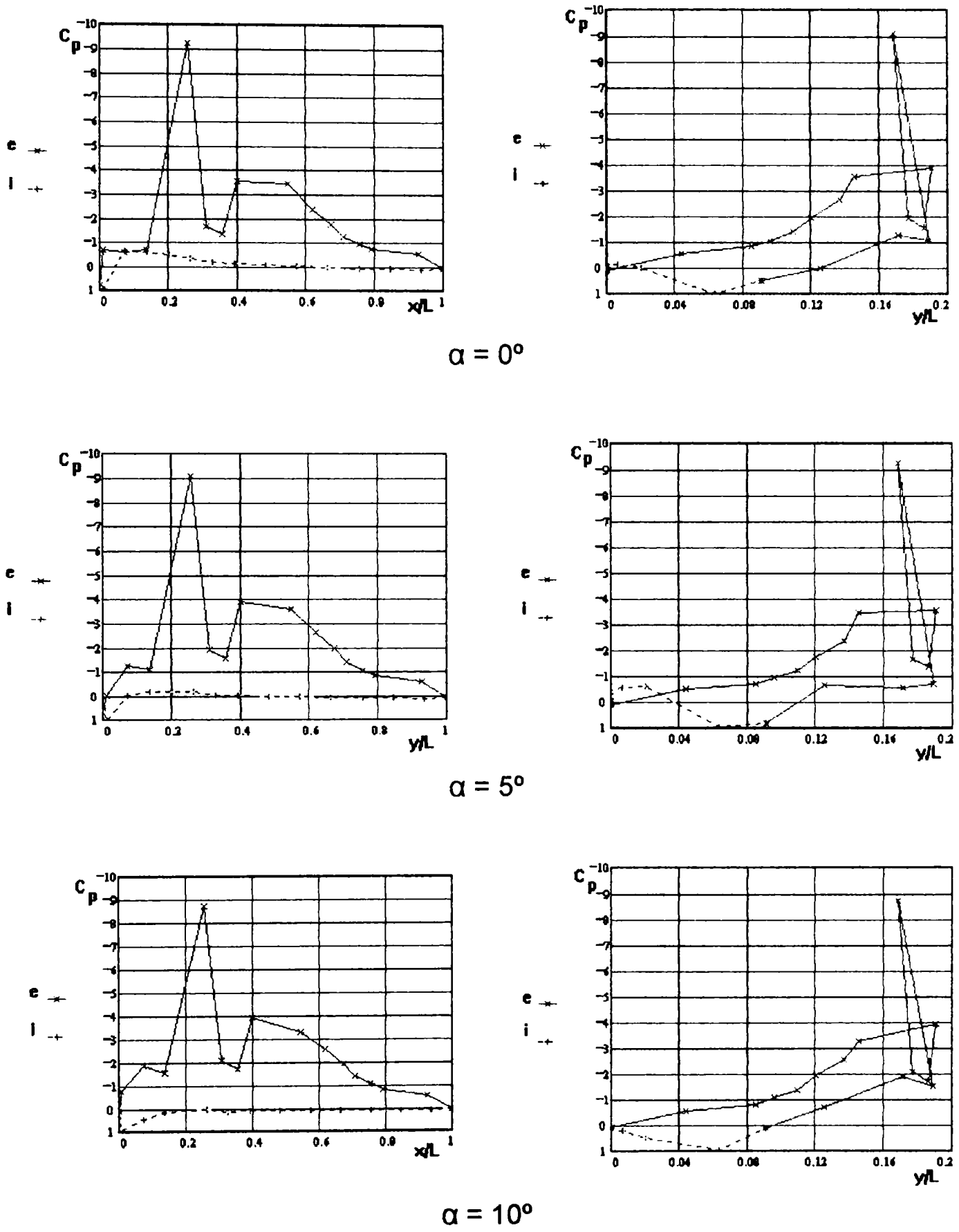
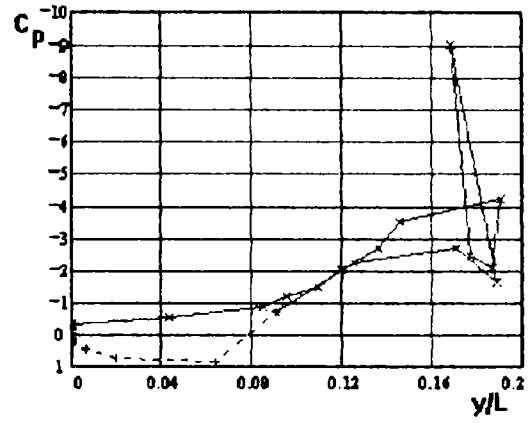
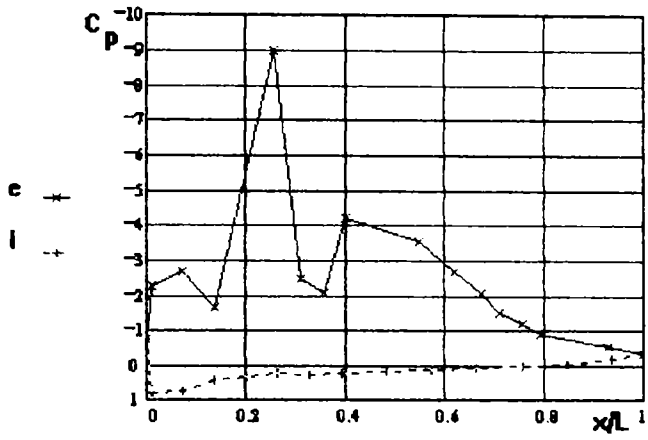
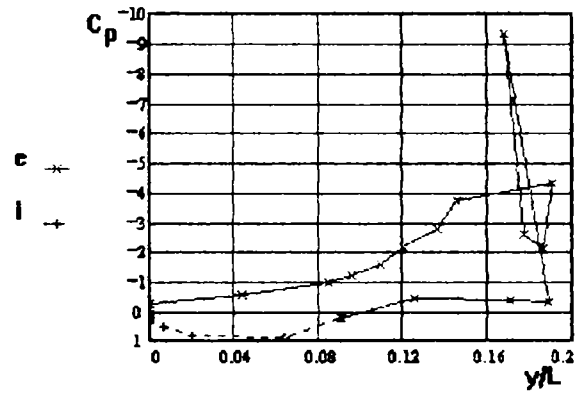
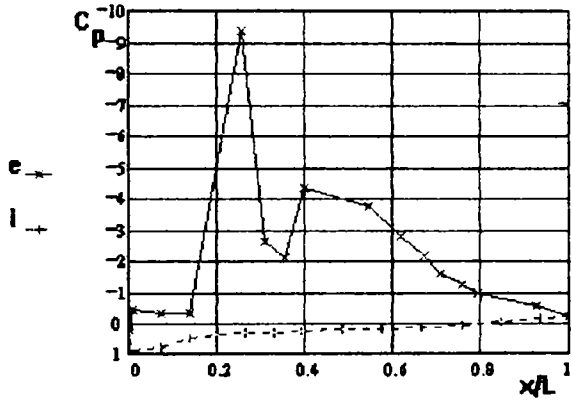


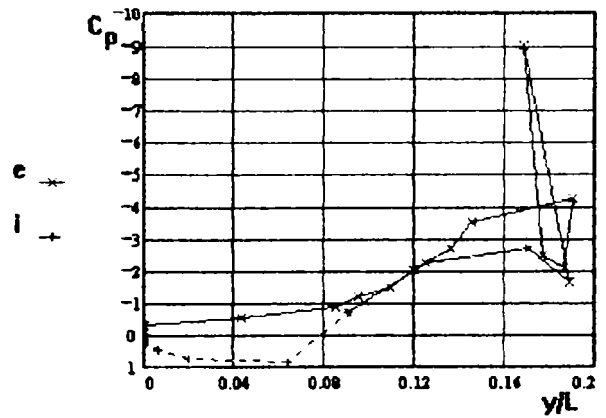
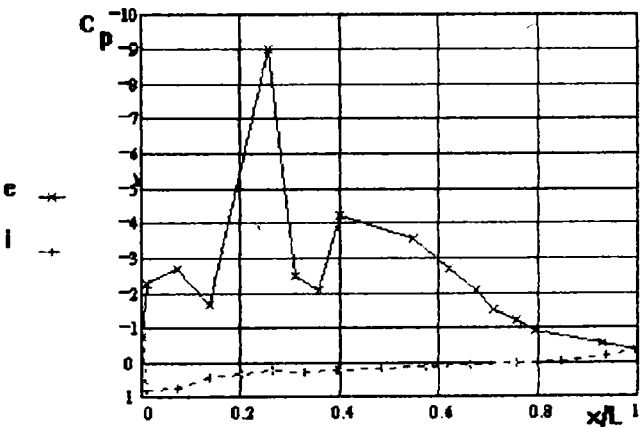
Fig. 4.96 Profil Coandă PC1. Distributii de presiuni. $Re \cong 1,09 \cdot 10^6$



$\alpha = 15^\circ$

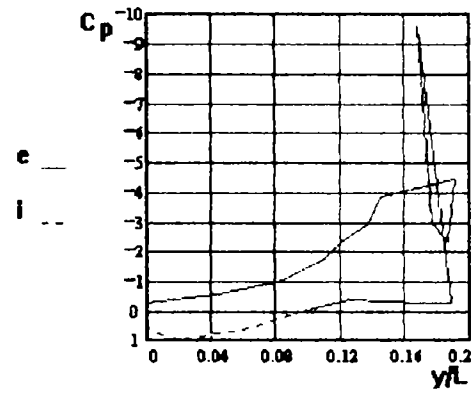
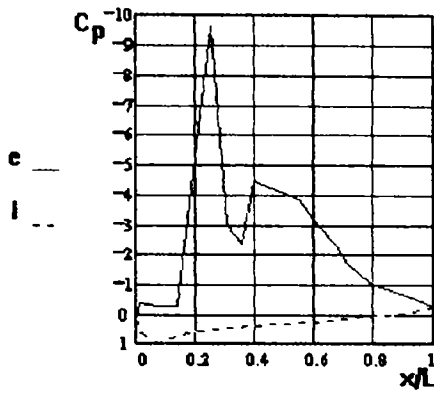


$\alpha = 20^\circ$

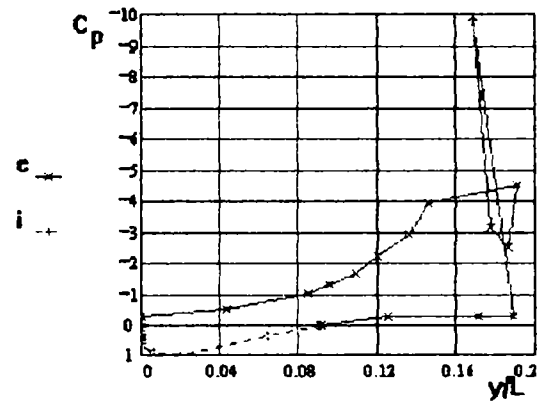
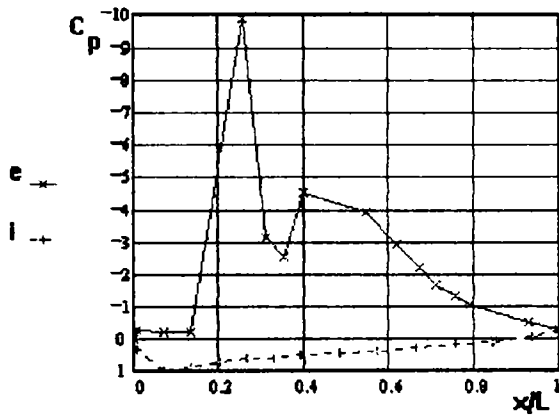


$\alpha = 25^\circ$

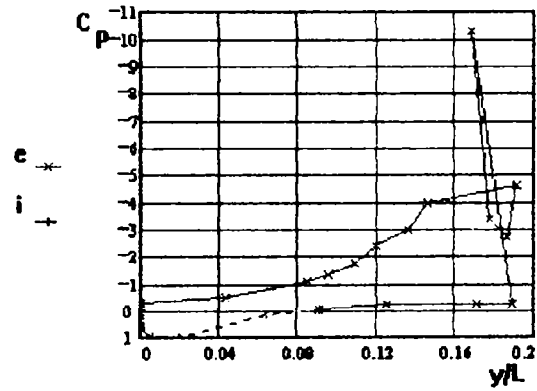
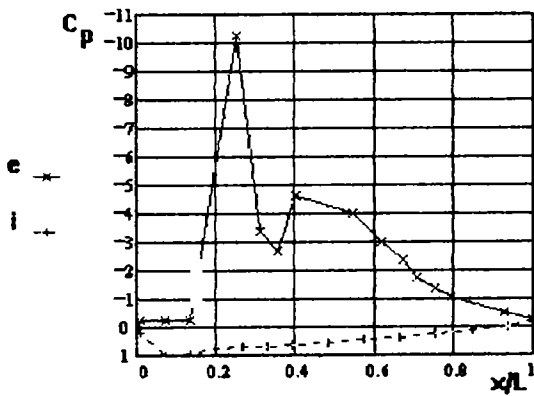
Fig. 4.96 Profil Coandă PC1. Distributii de presiuni. $Re \cong 1,09 \cdot 10^6$



$\alpha = 30^\circ$

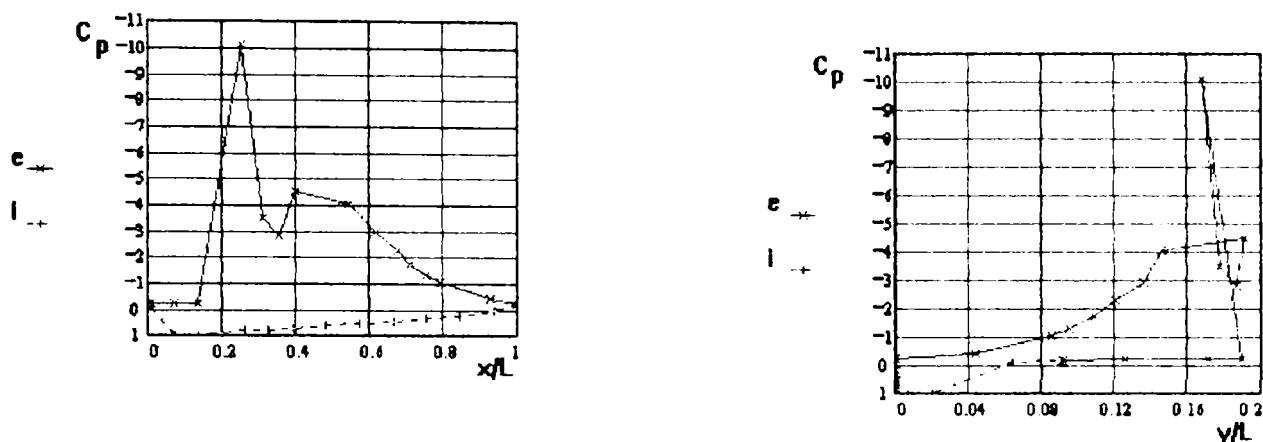


$\alpha = 35^\circ$

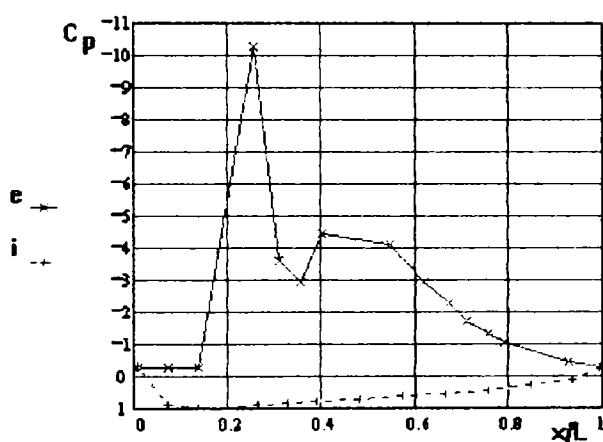


$\alpha = 40^\circ$

Fig. 4.96 Profil Coandă PC1. Distributii de presiuni. $Re \cong 1,09 \cdot 10^6$



$$\alpha = 45^\circ$$



$$\alpha = 50^\circ$$

Fig. 4.96 Profil Coandă PC1. Distribuții de presiuni. $Re \cong 1,09 \cdot 10^6$

Observatii:

- La dimensiunile date pentru profilul Coandă PC1, fig. 4.94, drenarea a fost posibilă doar pe segmentul de pe extradados cuprins între primul ajutoraj Coandă și bordul de fugă. În aceste condiții pentru porțiunea de pe extradados cuprinsă între bordul de atac și primul ajutoraj și pentru intrados, la unghiul de incidentă respectiv s-au considerat pentru reprezentare, ca valabile valorile coeficienților de presiune măsurate pe profilul original. Se poate aprecia că această soluție impusă este acoperitoare în sensul că valorile coeficienților de portanță calculate vor fi mai mici decât cele reale.
- Prin efect Coandă, comparativ cu profilul original, depresiunea pe extradados crește $C_{p \max} \cong -10$ comparativ cu profilul original la care $C_{p \max} \cong -2,8$.
- Pentru parametrii $p_a = p_b = 0,7 \text{ bar}$ respectiv $V_{ja} = V_{jb} = V_j = 90 \text{ m/s}$ distribuția de presiuni pe extradados se menține ca alura până la apariția desprinderii, care pentru profilul Coandă PC1 are loc la unghiul de incidentă $\alpha \cong 50^\circ$. Desprinderea a fost precedată de apariția unor oscilații pronunțate ale indicațiilor multipiezometrului (9) fig. 4.74 – datorate dezlipirii și reatașării curentului – și sesizată ca atare de valori ale

coeficientilor de presiune C_p , practic identice pentru unghiul de incidentă respectiv cu cele ale profilului originar PO.

- Pentru profilul originar PO și pentru profilul Coandă PC1 regimul de curgere caracterizat de numărul $Re \cong 1,09 \cdot 10^6$ corespunde unei curgeri turbulente.

Din distribuțiile de presiuni pentru unghiurile de incidentă specificate au rezultat cu (4.6), (4.7), (4.8), (4.9) coeficienții de portanță și de rezistență. În fig. 4.97, 4.98, 4.99 sunt prezentate pentru PC1 comparativ cu cele ale profilului originar PO dependentele: $C_A = C_A(\alpha)$, $C_W = C_W(\alpha)$, $C_A = C_A(C_W)$.

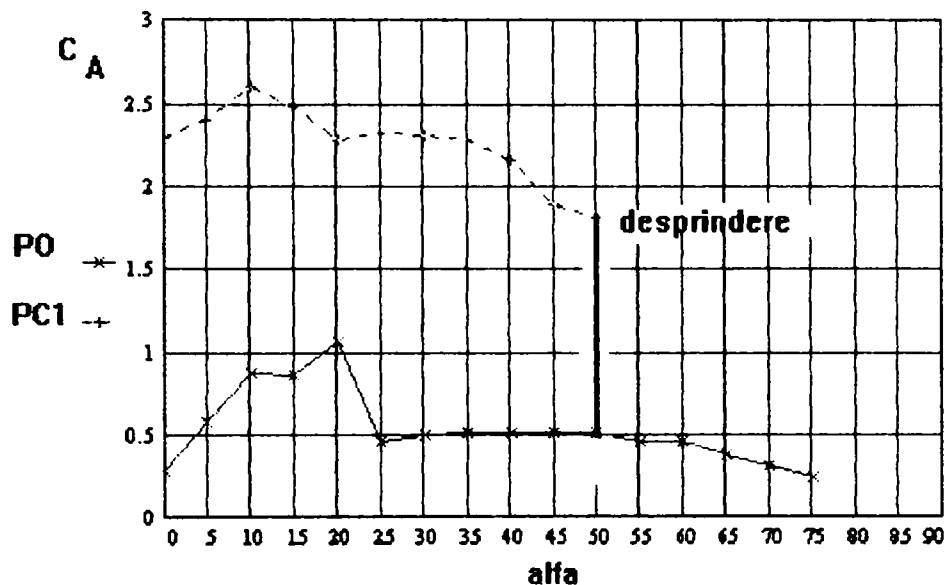


Fig. 4.97 Profil Coandă PC1. Variatia coeficientului de portanță cu incidenta.

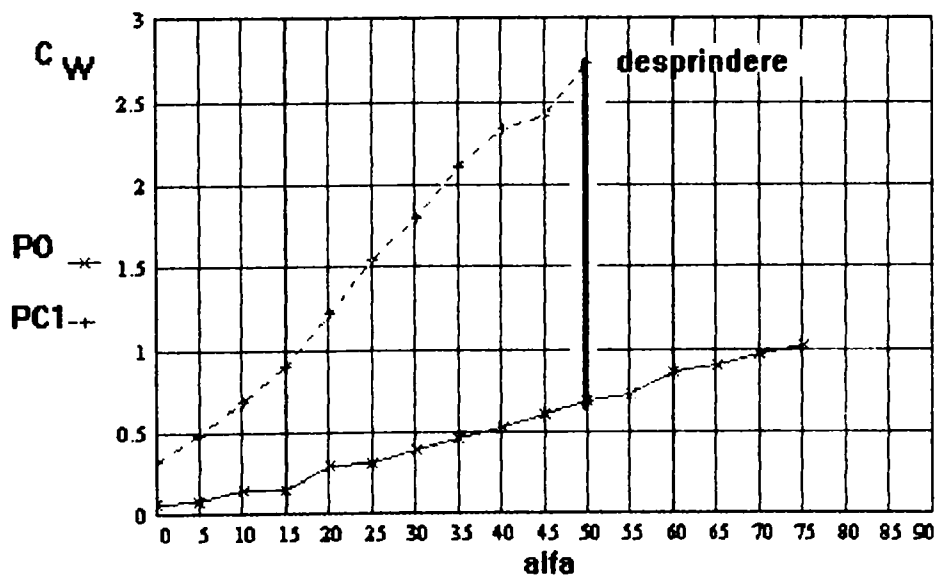


Fig. 4.98 Profil Coandă PC1. Variatia coeficientului de rezistență cu incidenta.

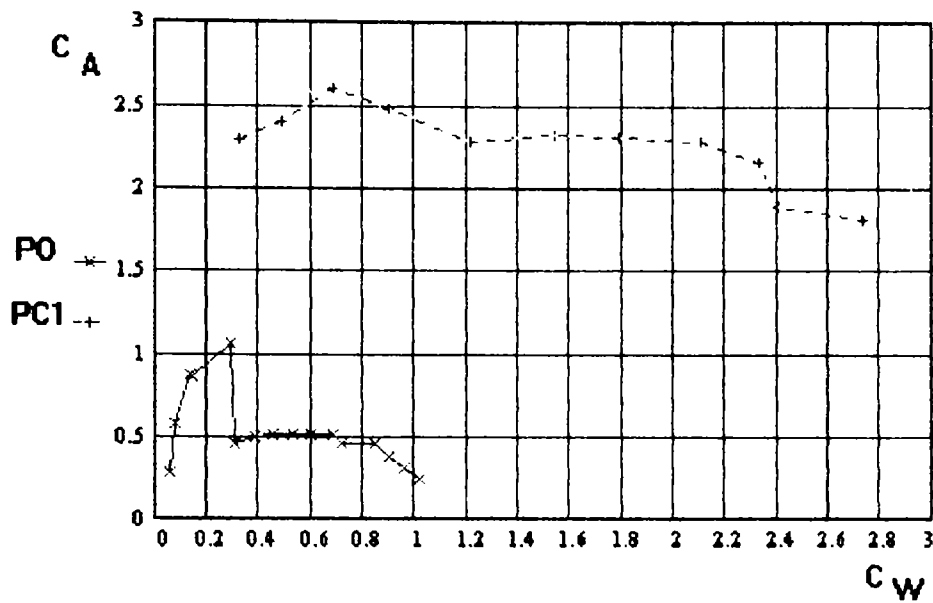


Fig. 4.99 Profil Coandă PC1. Polara.

Analizând rezultatele obtinute se constată următoarele:

- În comparatie cu profilul originar profilul Coandă PC1 realizează în domeniul $\alpha \in (0 \div 50^\circ)$ coeficienti de portantă superiori, fig. 4.97.
- Pentru același unghi de incidentă α , coeficientii de rezistență C_A pentru profilul Coandă sunt mai mari decât cei ai profilului originar și cresc cu incidenta, fig. 4.98.
- Polara profilului PC1 diferă ca alură și valori de cea a profilului originar PO, fig. 4.969
- În fig. 4.100, s-a reprezentat comparativ și variația cu incidenta a coeficientului de calitate al profilului [19]: $K = C_A / C_W$. Pentru profilul Coandă PC1 curba $K = K(\alpha)$ este netedă dar valorile sunt mai mici decât cele corespondente la profilul originar.

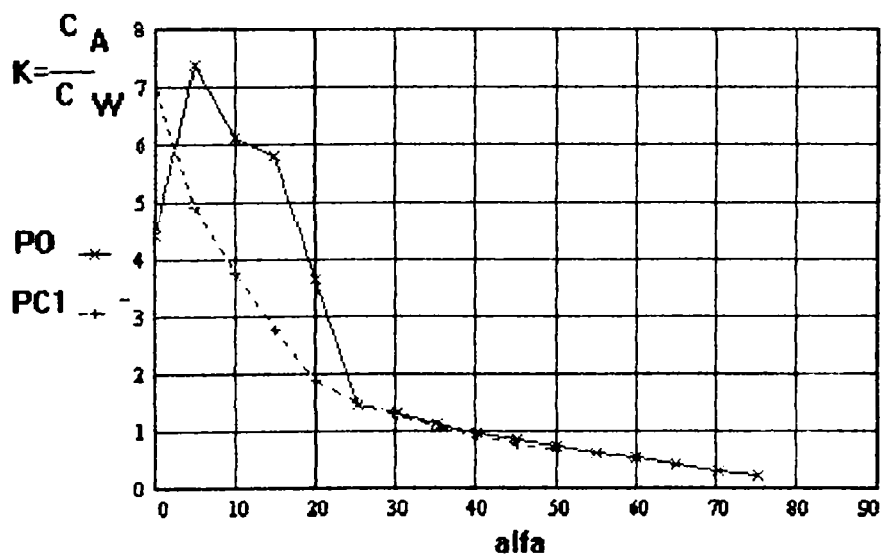


Fig. 4.100 Profil Coandă PC1. Coeficientul de calitate.

Si pentru profilul Coanda PC1, cu dispozitivul de fixare, fig.4.101 si metodologia aplicata pentru profilul original PO, s-au efectuat determinari cu balanta tensometrica a coeficientilor de portanta si de rezistenta.

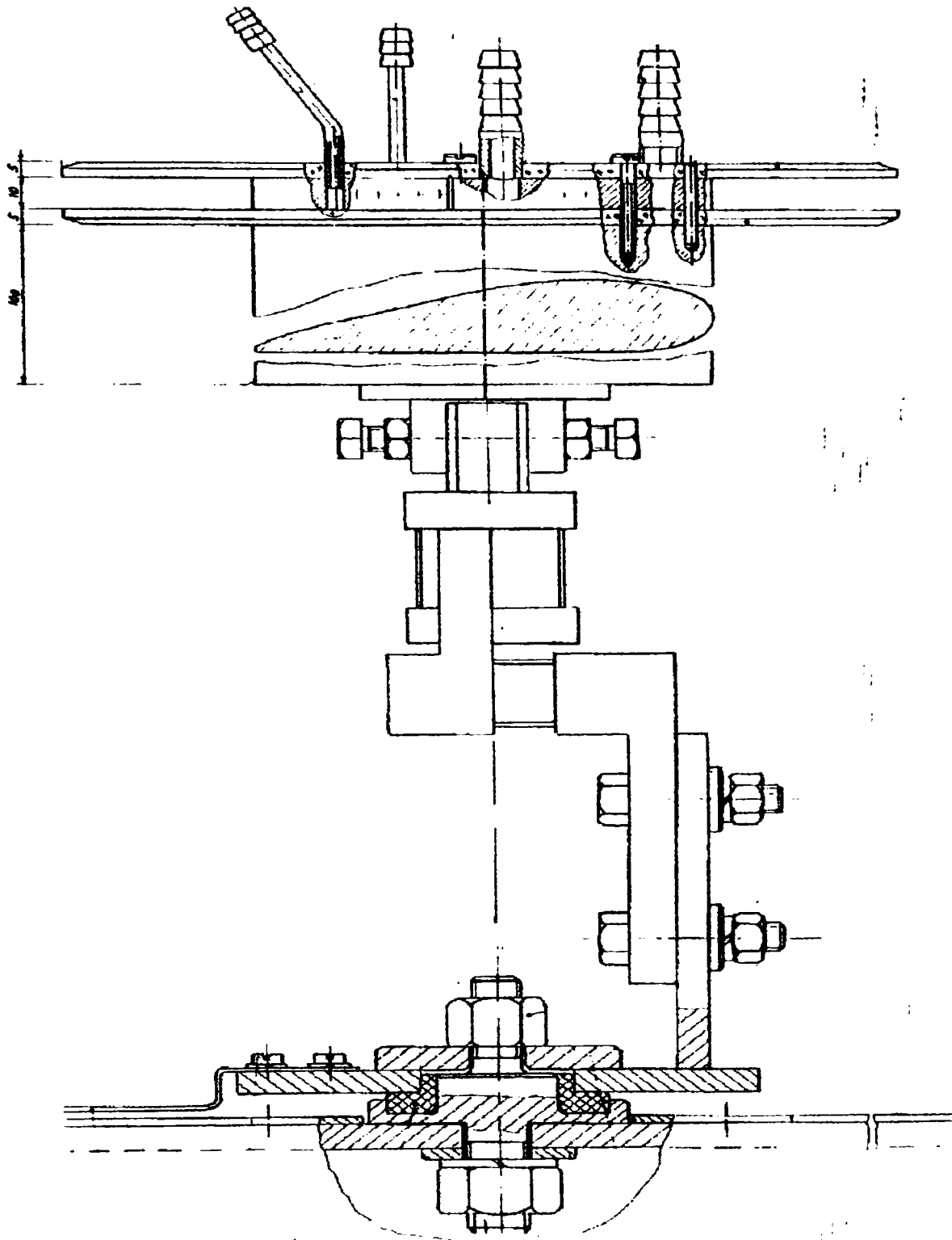


Fig.4.101. Profilul Coanda PC1, balanta tensometrica si suportul rotitor.

In montajul din figura de mai sus se disting doua segmente profilate: o portiune de anvergura $L_{PO}=110\text{mm}$, avand ca sectiune transversala profilul original PO si, segmentul de anvergura $L_{PC1}=20\text{mm}$, cu profilul Coanda PC1.

In domeniul unghiurilor de incidenta $\alpha \in (0 \div 90)^\circ$ s-au masurat cu balanta componentele fortei superficiale P_N si P_T , fig.4.102. Pentru intreg ansamblu aceste componente s-au determinat in doua ipostaze in ceace priveste segmentul L_{PC1} : in prezenta Efectului Coanda (cu jet) si in absenta acestuia (fara jet).

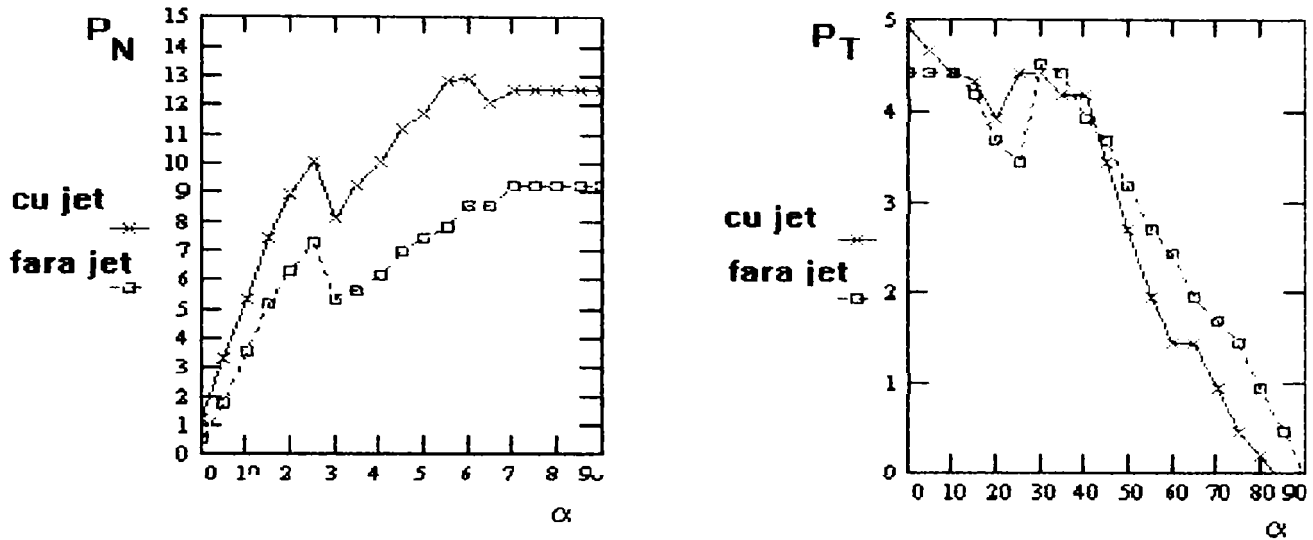


Fig. 4.102. Variatia cu unghiul de incidenta a componentelor P_N si P_T ale fortei superficiale, masurate cu balanta pentru ansamblul constituit din profilul originar PO (anvergura $L_{PO}=0.1m$) si profilul Coanda PC1 (anvergura $L_{PC1}=0.02m$), cu jet si fara jet

Cu aceste valori au rezultat in conformitate cu relatiile, (4.19), (4.20) si (4.21) sau reprezentat variatia cu incidenta: a portantei si rezistentei, fig.4.103 .respectiv a coeficientilor de portanta C_A si de rezistenta C_W , fig.4.104

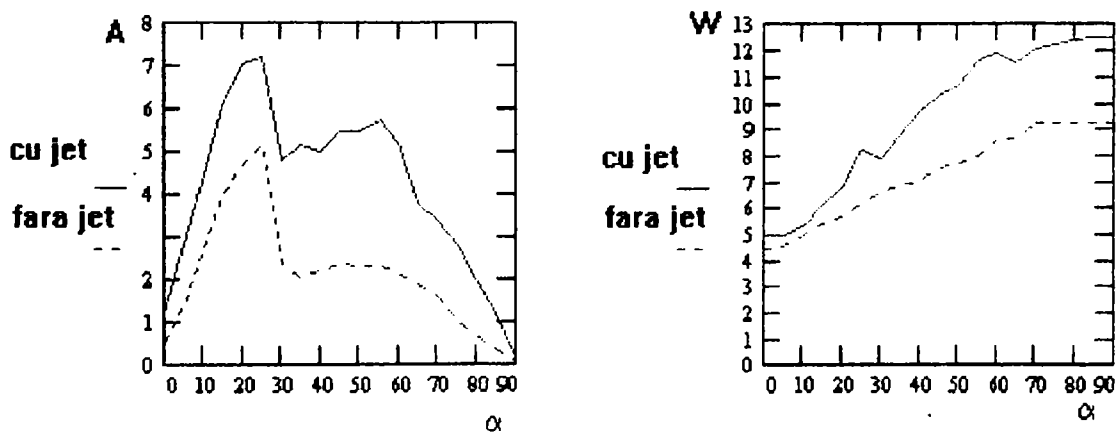


Fig.4.100. Variatia cu unghiul de incidenta a portantei A si rezistentei W masurate cu balanta pentru ansamblul constituit din profilul originar PO (anvergura $L_{PO}=0.1m$) si profilul Coanda PC1 (anvergura $L_{PC}=0.02m$) cu jet si fara jet.

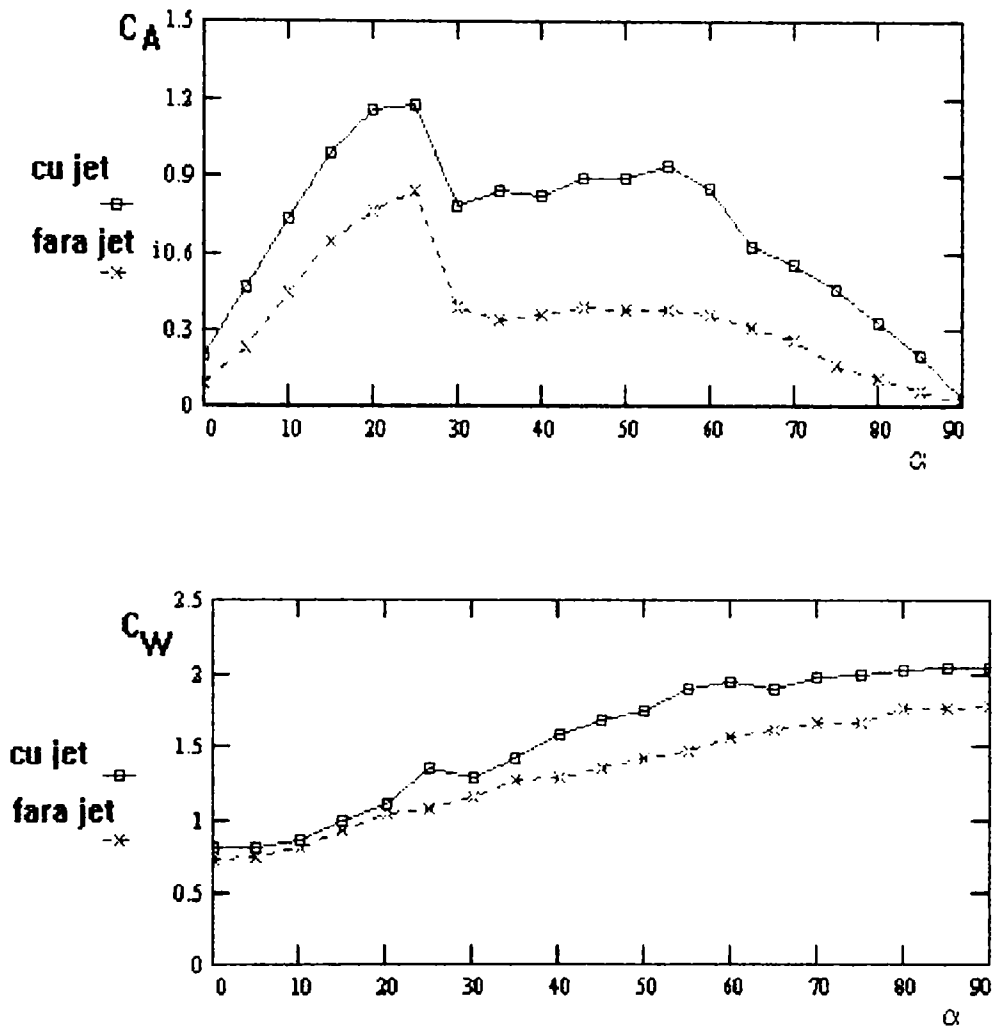


Fig.4.104.Variatia cu unghiul de incidenta a coeficientilor de portanta C_A si de rezistenta C_W rezultati din masuratorile cu balanta pentru ansamblul constituit din profilul originar PO (anvergura $L_{PO}=0.1m$) si profilul Coanda PC1(anvergura $L_{PC1}=0.02m$) cu jet si fara jet.

Coeficientii de portanta si de rezistenta au fost calculati in conformitate cu (4.21) unde cu $L=0.120m$ s-a notat anvergura si cu $l=0.110m$ coarda profilului, iar V_∞ viteza asimptotica amonte [48]. In timpul masuratorilor la varianta cu jet, presiunile de alimentare ale ajutorajelor coanda dispuse pe extradosul profilului PC1 au fost aceleasi $p_1=p_2=0,7$ bar, ca si la testele efectuate pentru determinarea distributiei de presiuni.

In vederea determinarii coeficientilor de portanta si de rezistenta doar pentru profilul Coanda PC1 de anvergura $L_{PC1}=0.02m$, s-au masurat cu balanta componentele P_N si P_T pentru un segment de anvergura $L_{PO}=0,1m$ avand la baza profilul originar PO, fig. 4.76 . Scazand aceste valori din cele masurate anterior, fig.4.103 , varianta cu jet au, rezultat cu relatiile mentionate coeficientii de portanta si de rezistenta pentru profilul Coanda PC1, fig.4.105.

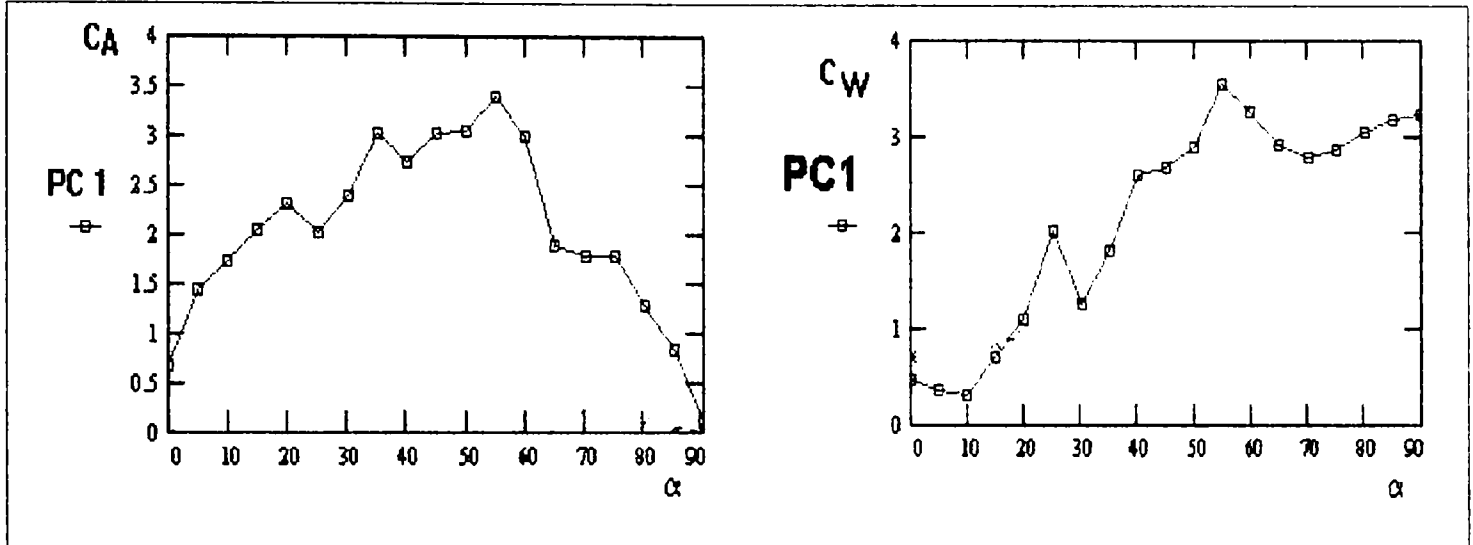


Fig.4.105. Profilul Coanda PC1. Coeficientii de portanta si de rezistenta..Masuratori cu balanta

Valorile obtinute din masuratorile cu balanta ale coeficientilor de portanta si de rezistenta pentru profilul Coanda PC1 si profilul originar PO au fost suprapuse peste cele obtinute din distributia de presiuni ,fig. 4.106 , fig... 4.107, fig.4.108, fig.4.109.

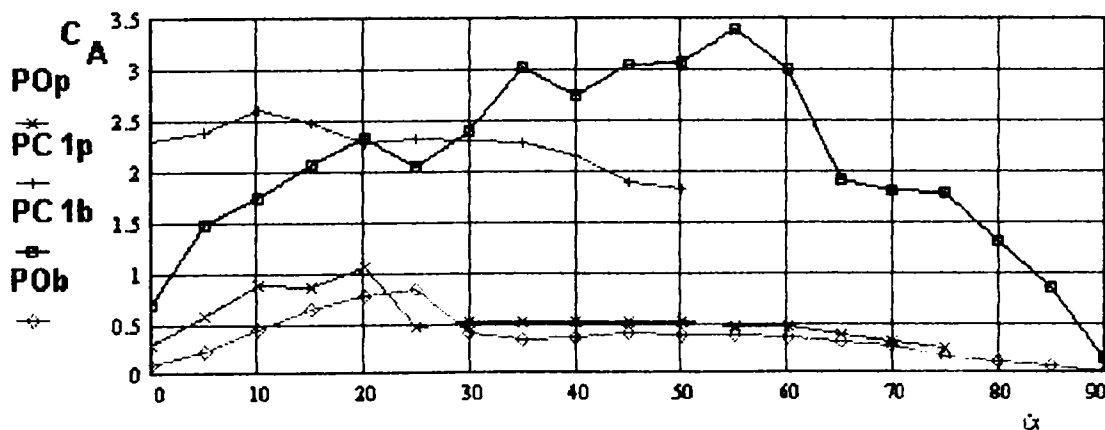


Fig.4.106. Coeficientii de portanta rezultati din disributia de presiuni pe frontiera (p) si din masuratorile efectuate cu balanta (b) pentru profilul Coanda PC1 si pentru profilul originar PO.

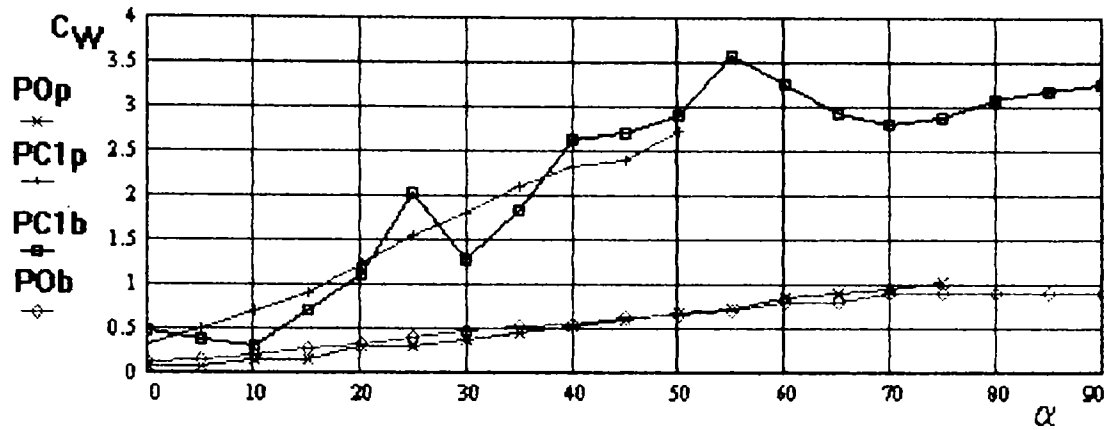


Fig.4.107. Coeficientii de portanta rezultati din disributia de presiuni pe frontiera (p) si din masuratorile efectuate cu balanta (b) pentru profilul Coanda PC1 si pentru profilul originar PO

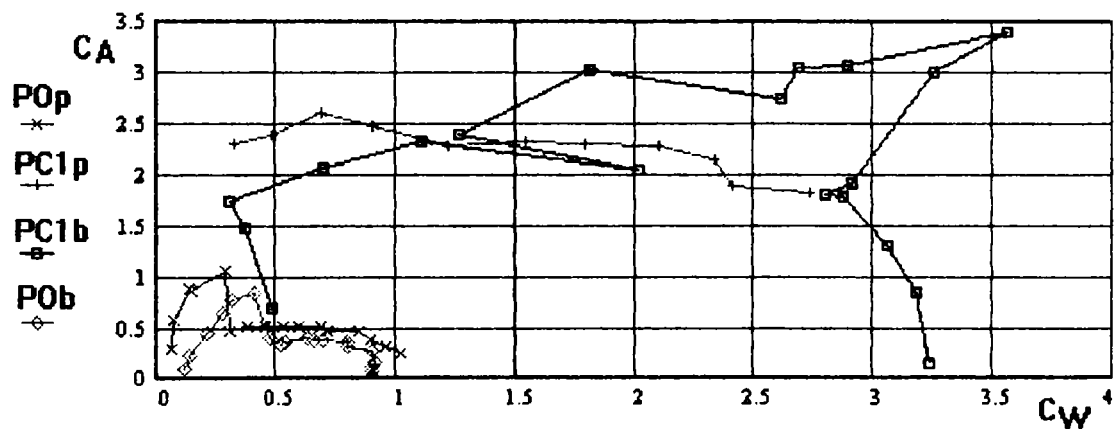


Fig.4.108. Polara rezultata din disributia de presiuni pe frontiera (p) si din masuratorile efectuate cu balanta (b) pentru profilul Coanda PC1 si pentru profilul originar PO.

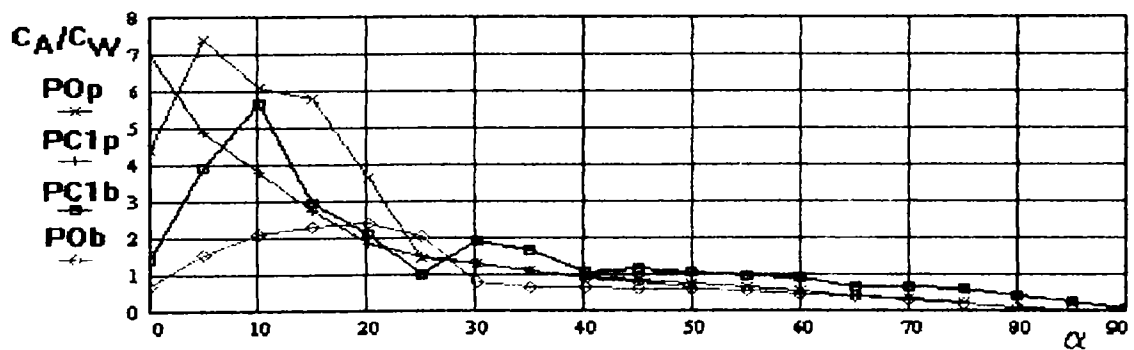


Fig.4.109. Coeficientul de calitate rezultat din disributia de presiuni pe frontiera (p) si din masuratorile efectuate cu balanta (b) pentru profilul Coanda PC1 si pentru profilul originar PO.

Valorile și variația cu incidența a coeficienților de portanță C_A și de rezistență C_W ce caracterizează profilele Coandă sunt determinate de interacțiunea jet atașat - curent exterior și provocate de modificarea tabloului mișcării fluidului. Pentru profilul Coandă PC1 acest tablou a fost evidențiat prin simulare numerică și măsurători de viteze. Pentru simulare numerică s-a apelat programul COSMOS (variante didactica) [31]. În ipoteza mișcării plane, pentru unghiurile de incidență considerate, la reprezentările rezultate: spectrul mișcării (linii de curent) fig. 4.110, izobarele fig. 4.111 și vectorii viteze, fig. 4.112 s-au considerat următoarele condiții:

- modulul vitezei asimptotice $V_\infty = 30$ m/s,
- în ajutajele Coandă viteza jetului $V_{j1} = V_{j2} = 90$ m/s
- turbulenta este definită prin intermediul intensității turbulente $\kappa = 0,03$ și
- coeficientul de disipatie viscoasă $\varepsilon = 0,05$.

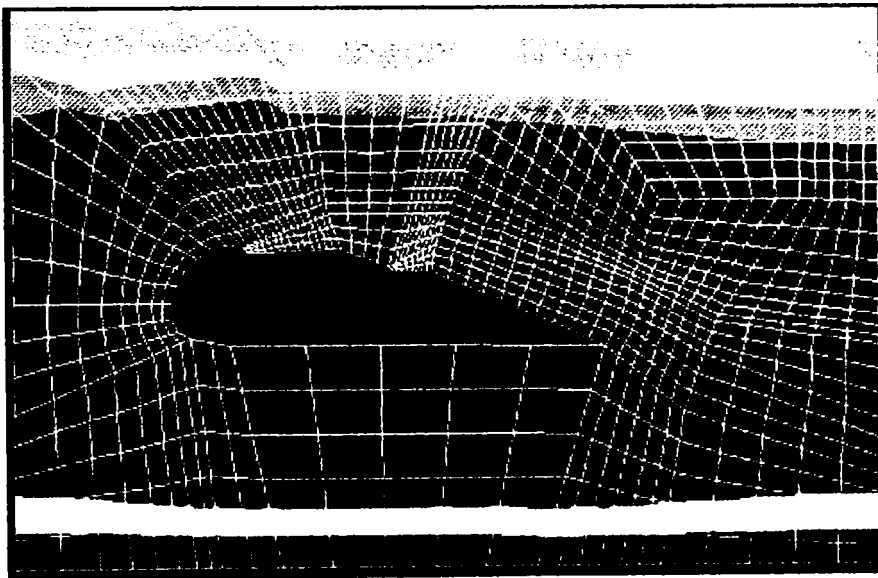
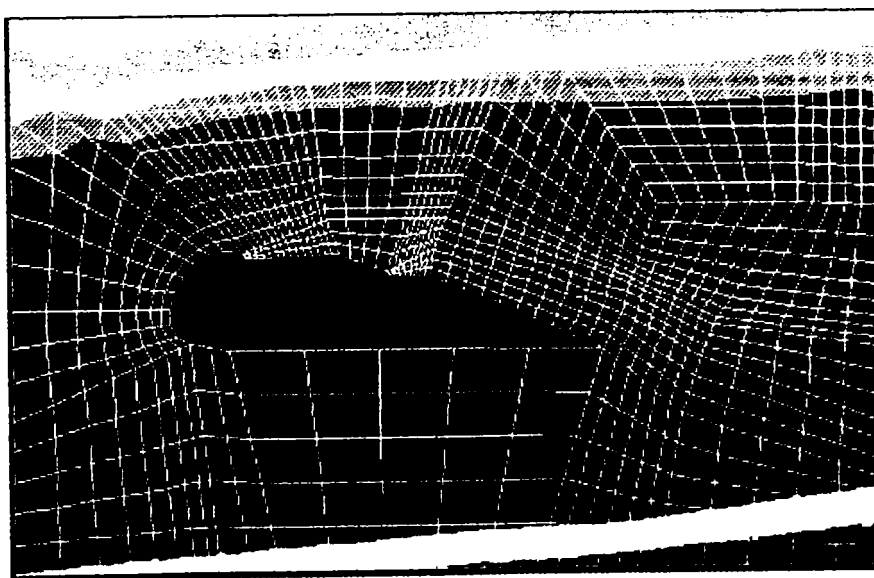
 $\alpha = 0^\circ$  $\alpha = 5^\circ$

Fig. 4.110 Profil Coandă PC1. Simulare numerică. Linii de curent

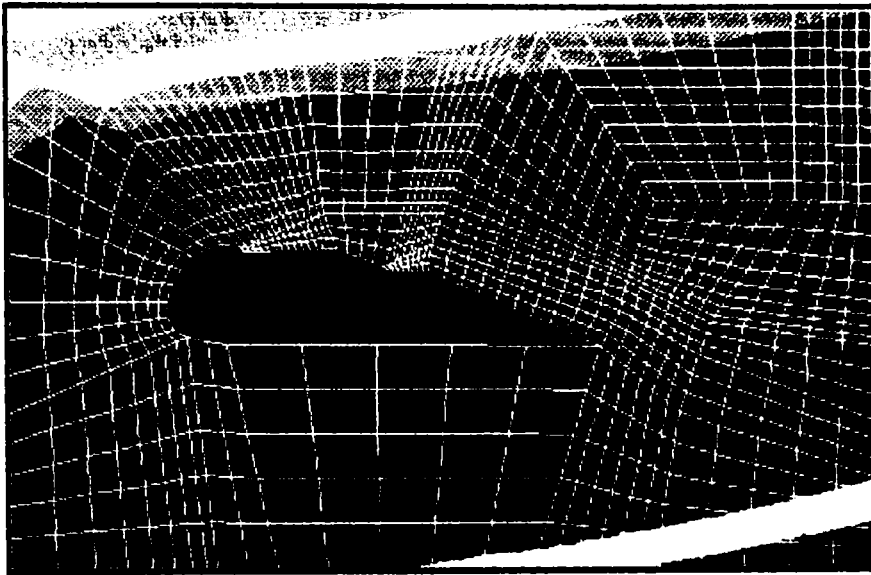
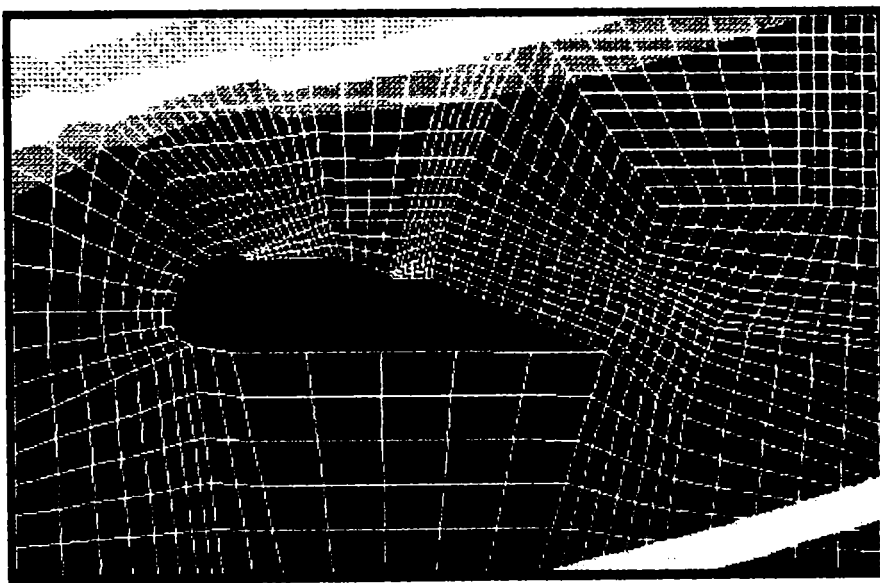
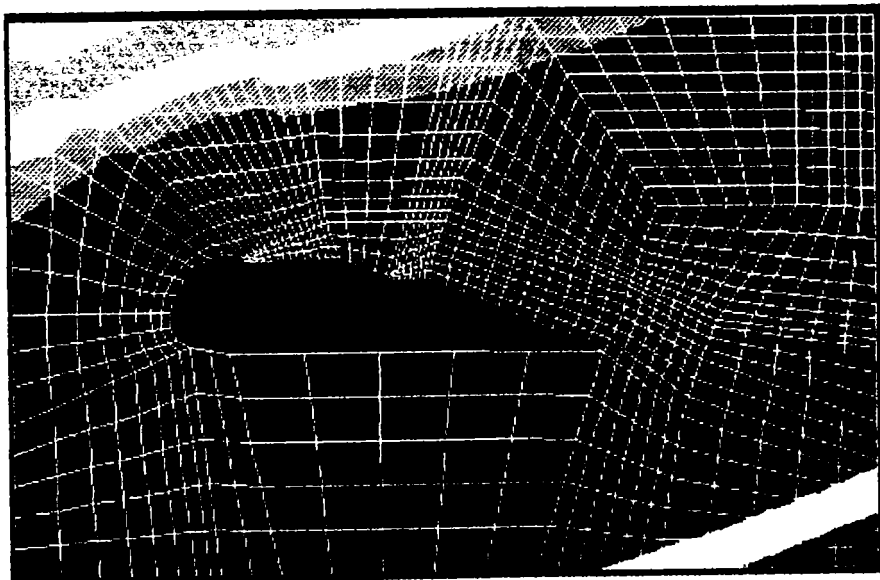
 $\alpha = 10^\circ$  $\alpha = 15^\circ$  $\alpha = 20^\circ$

Fig. 4.110. Profil Coandă PC1. Simulare numerică. Linii de curent

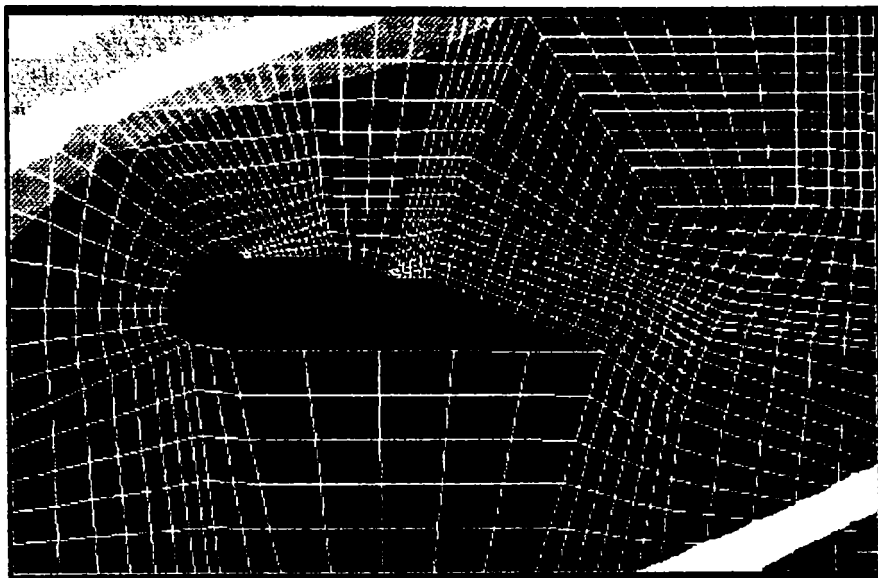
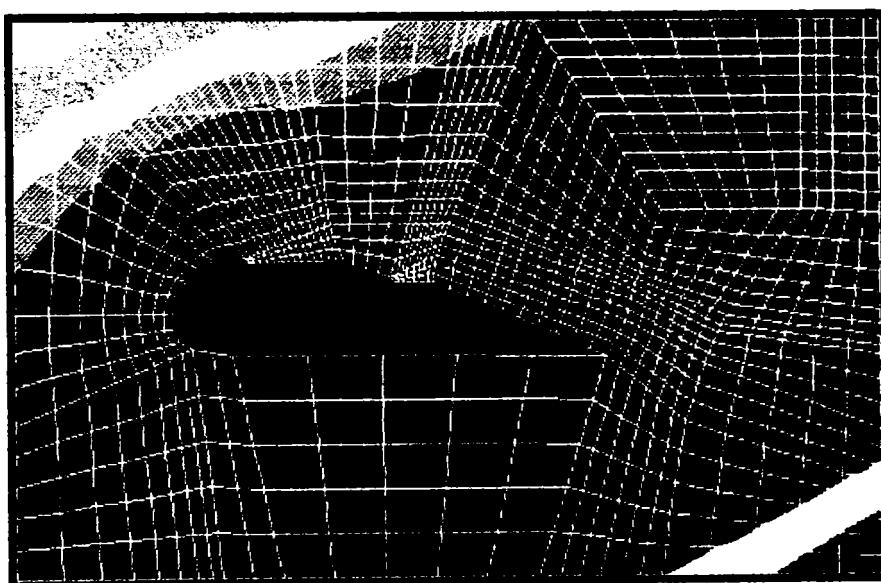
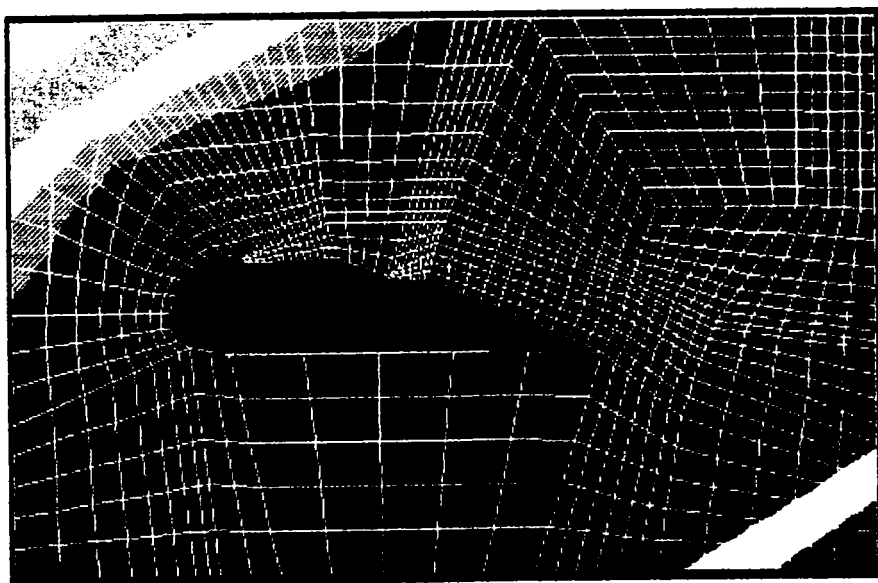
 $\alpha = 25^\circ$  $\alpha = 30^\circ$  $\alpha = 35^\circ$

Fig. 4.110. Profil Coandă PC1. Simulare numerică. Linii de curent

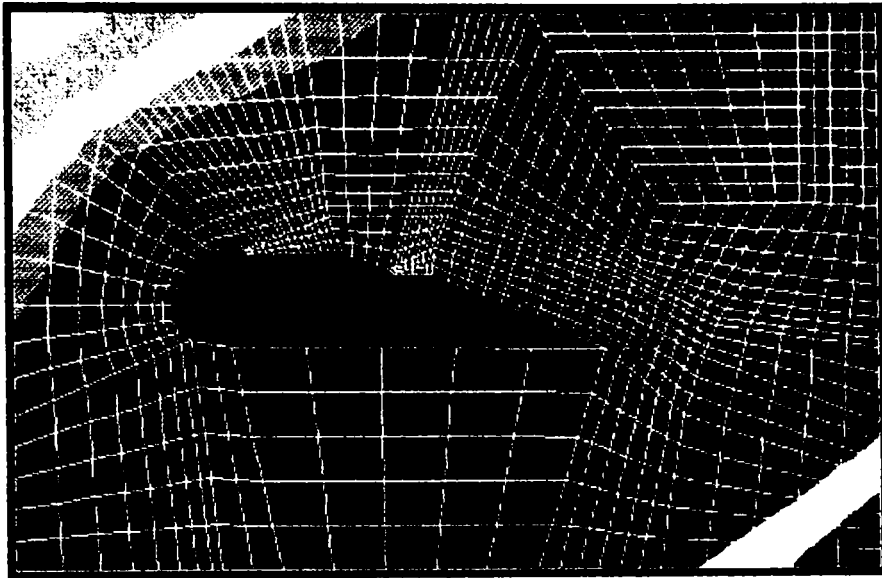
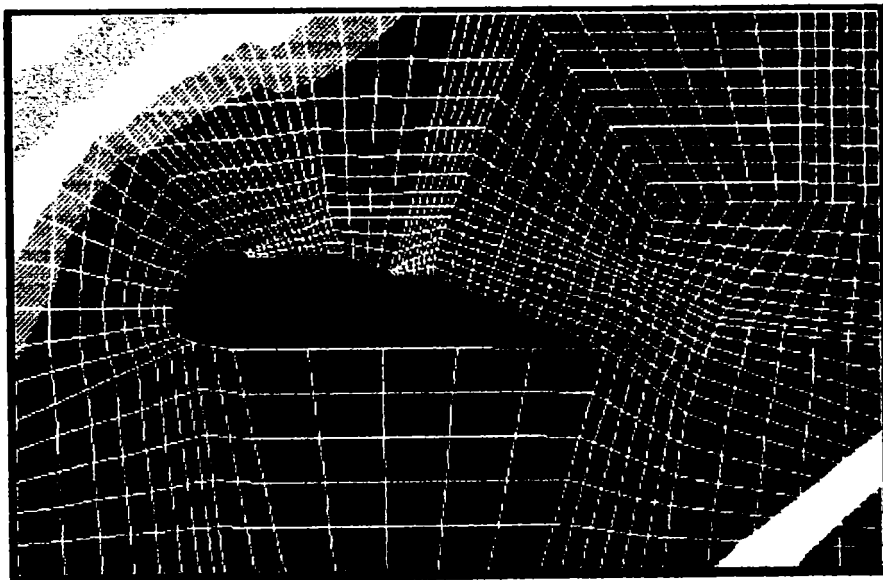
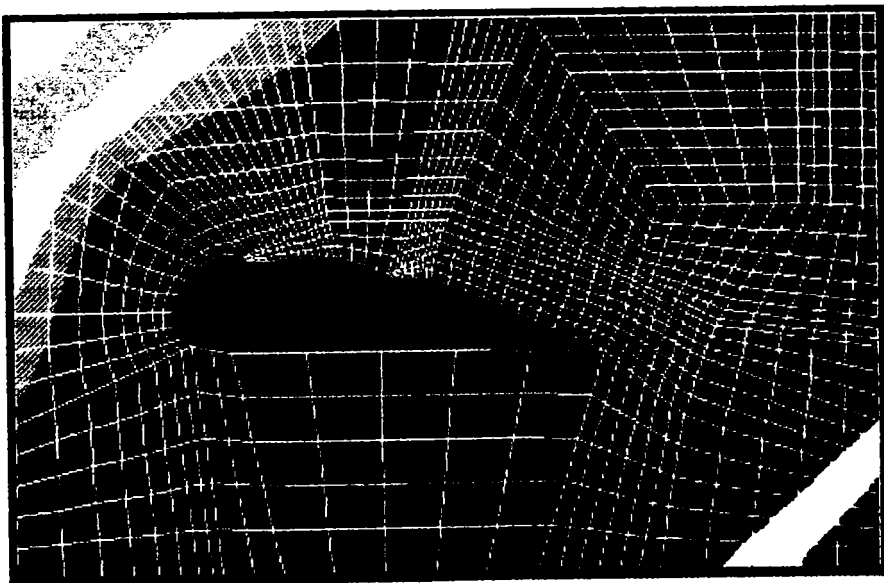
 $\alpha = 40^\circ$  $\alpha = 45^\circ$  $\alpha = 50^\circ$

Fig. 4.110. Profil Coandă PC1. Simulare numerică. Linii de curent

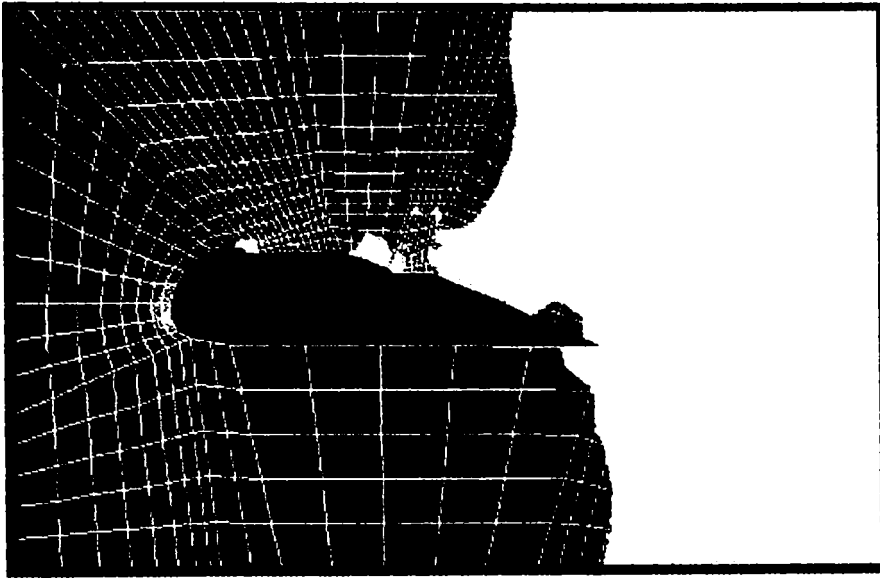
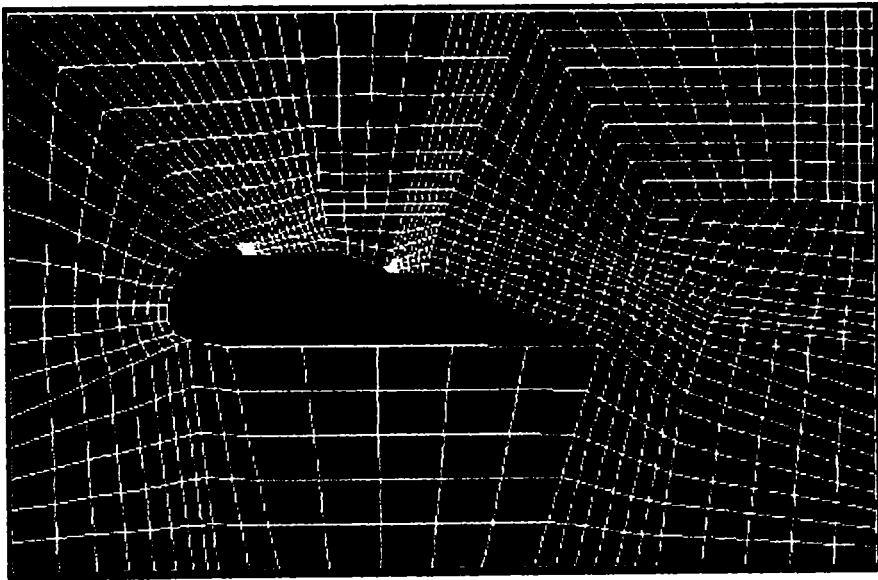
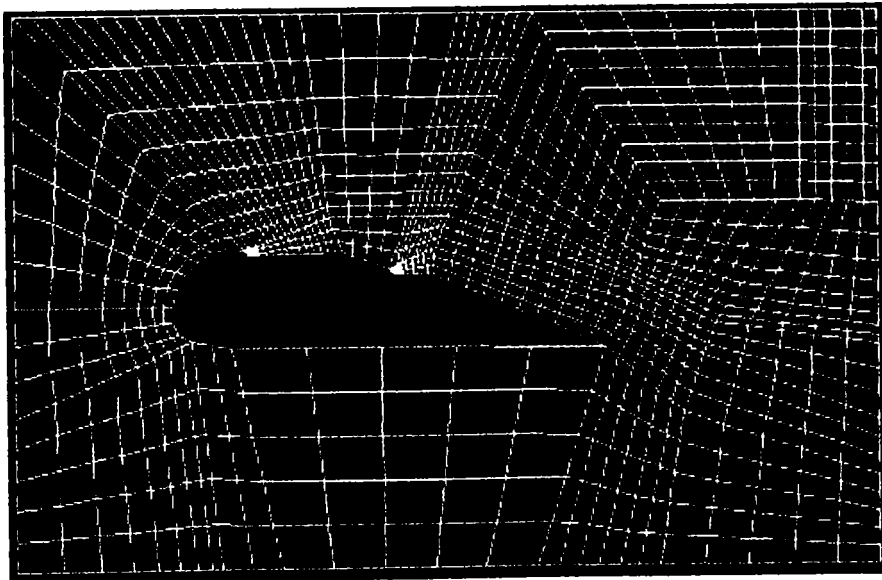
 $\alpha = 0^\circ$  $\alpha = 5^\circ$  $\alpha = 10^\circ$

Fig. 4.111. Profil Coandă PC1. Simulare numerică. Izobare.

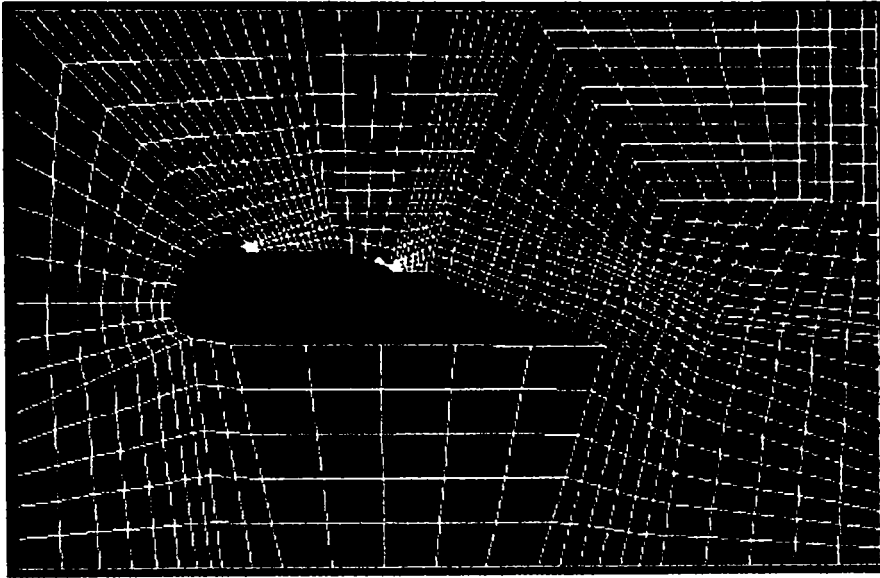
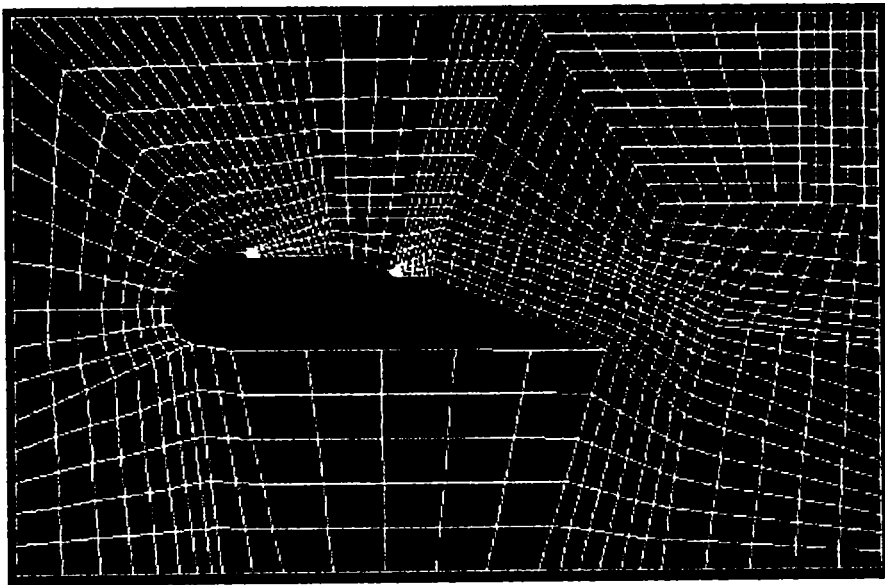
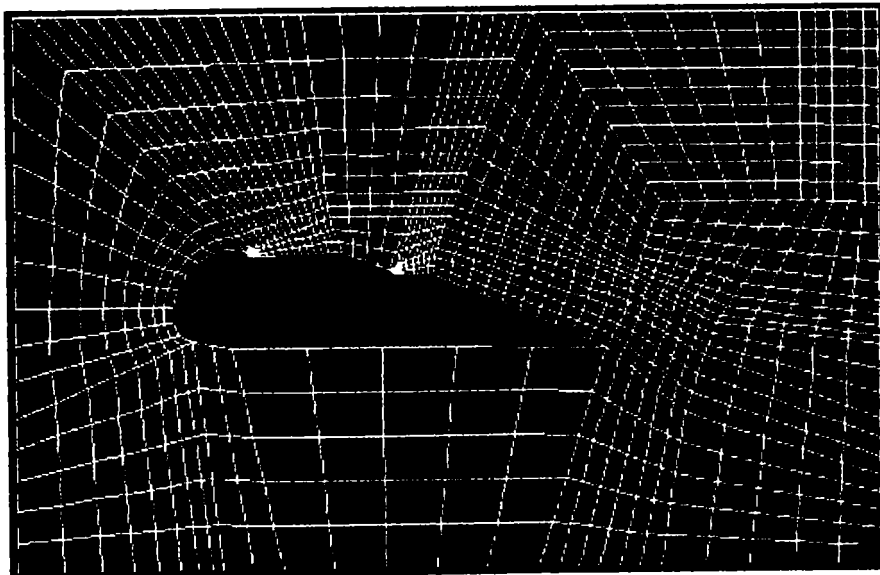
 $\alpha = 15^\circ$  $\alpha = 20^\circ$  $\alpha = 25^\circ$

Fig. 4.111. Profil Coandă PC1. Simulare numerică. Izobare.

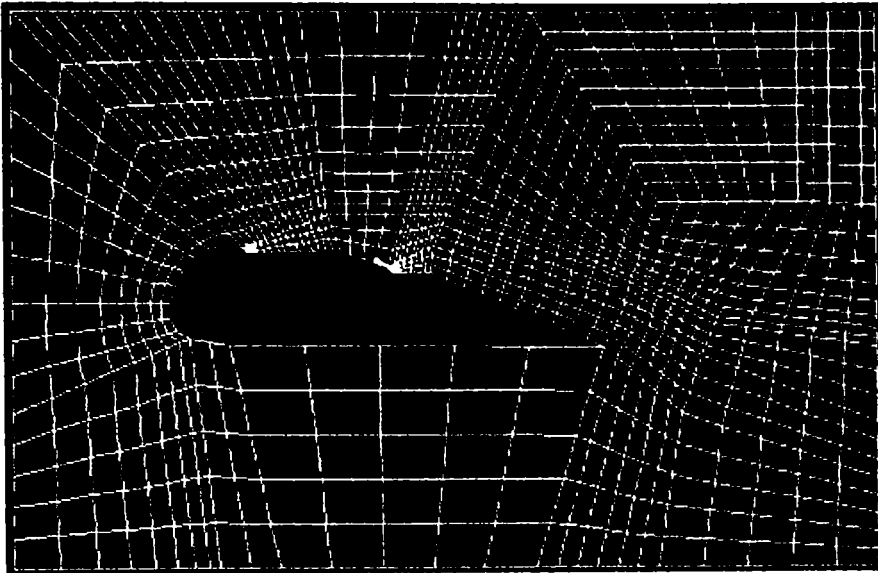
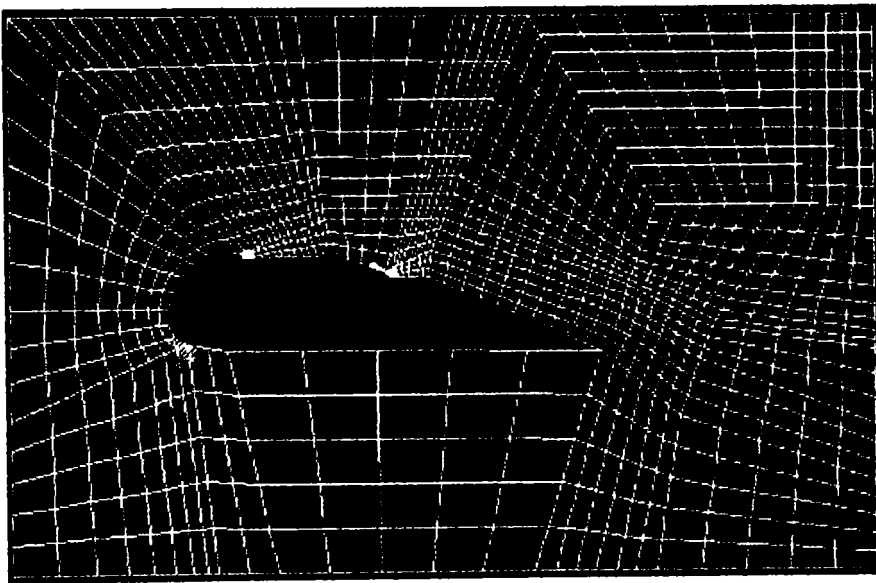
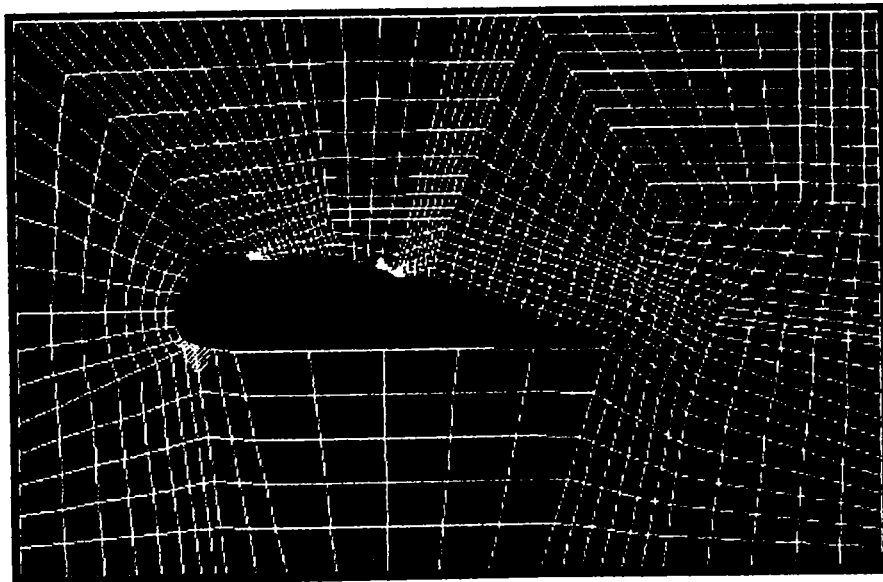
 $\alpha = 30^\circ$  $\alpha = 35^\circ$  $\alpha = 40^\circ$

Fig. 4.111. Profil Coandă PC1. Simulare numerică. Izobare.

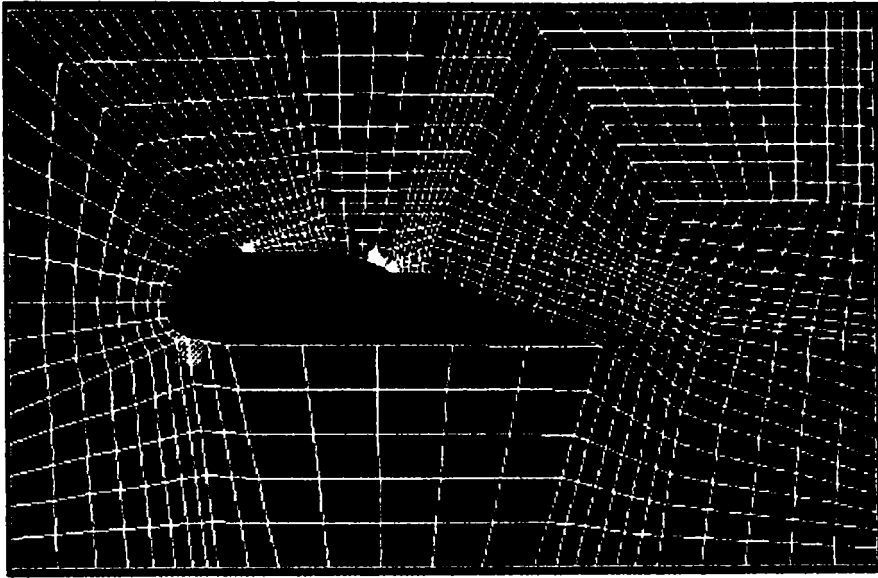
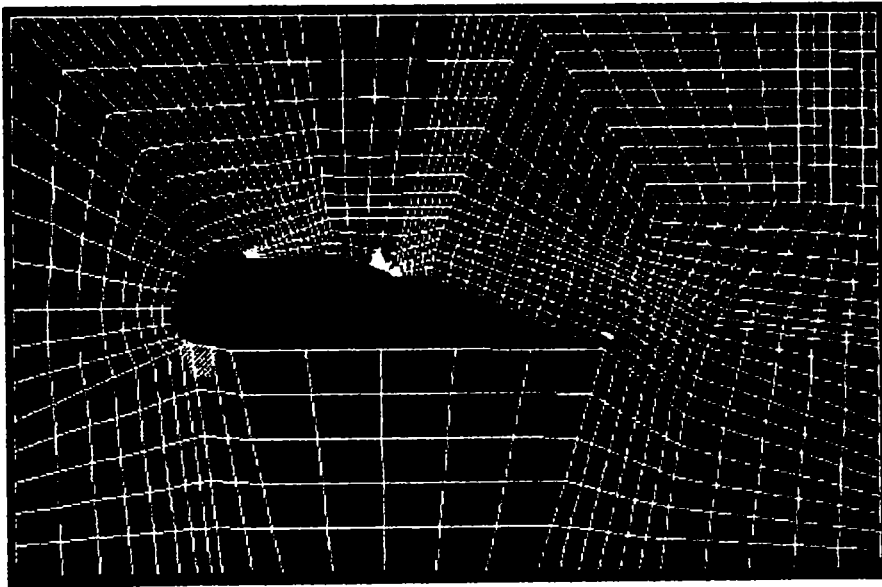
 $\alpha = 45^\circ$  $\alpha = 50^\circ$

Fig. 4.111. Profil Coandă PC1. Simulare numerică. Izobare.

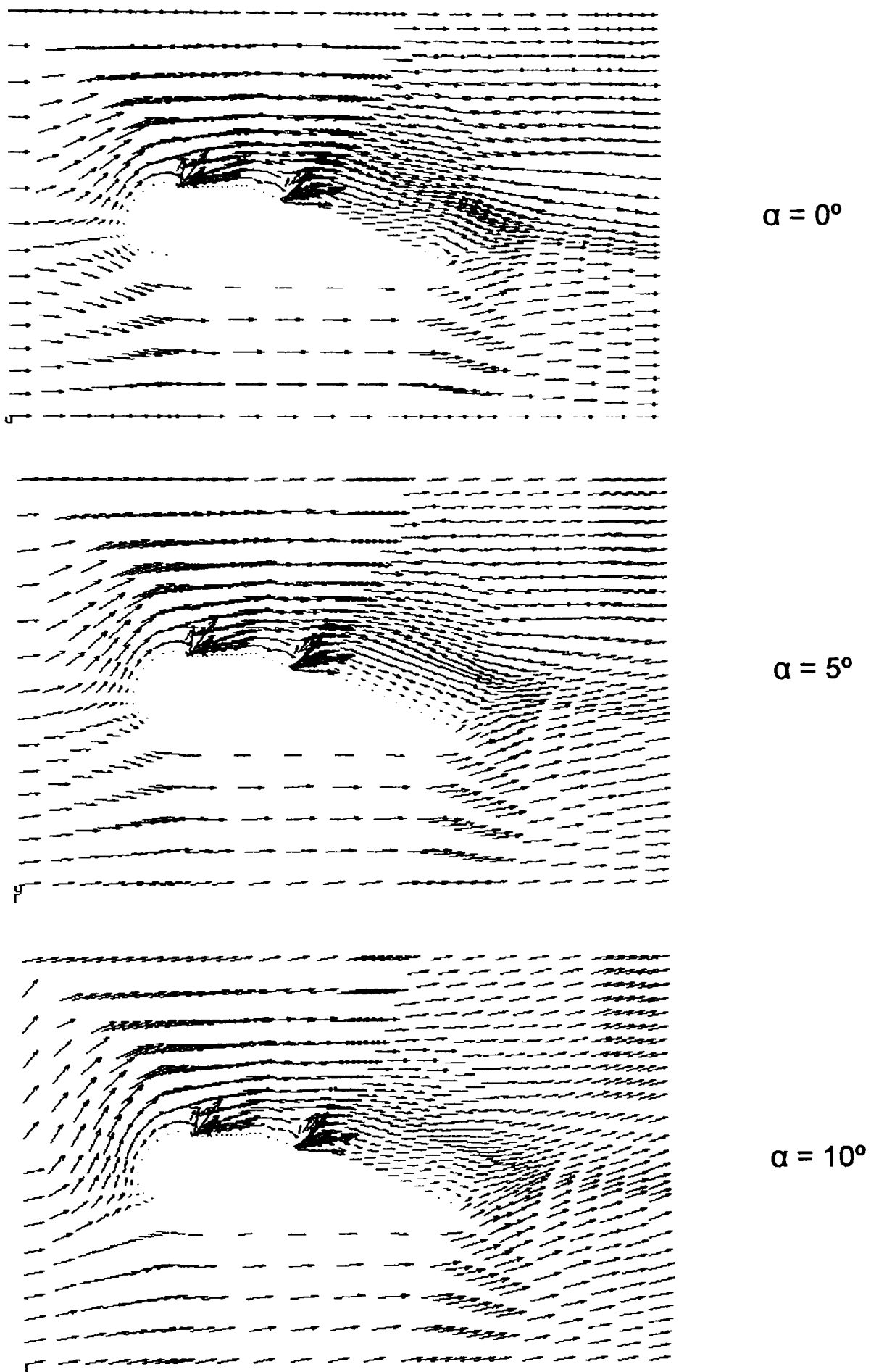


Fig. 4.112. Profil Coandă PC1. Simulare numerică. Vectorii viteză.

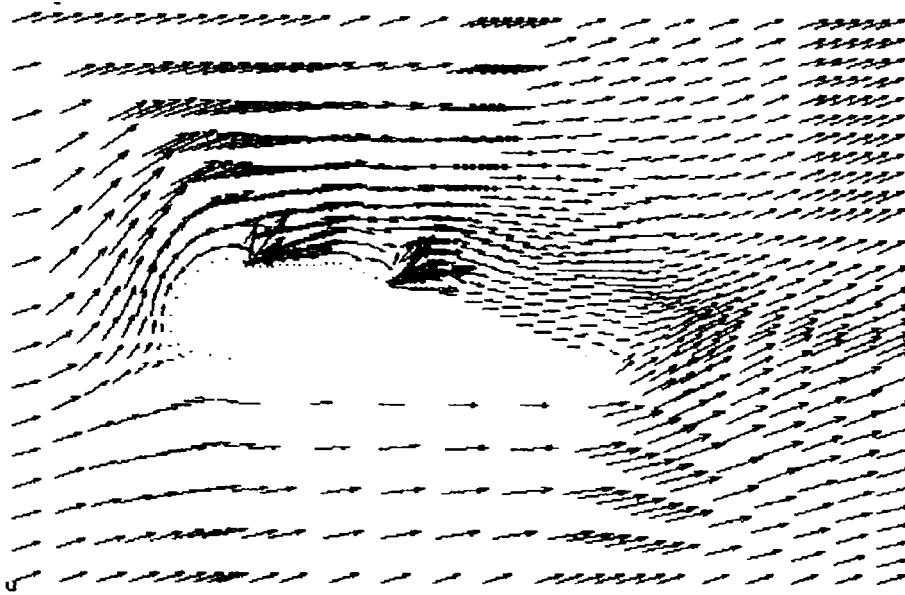
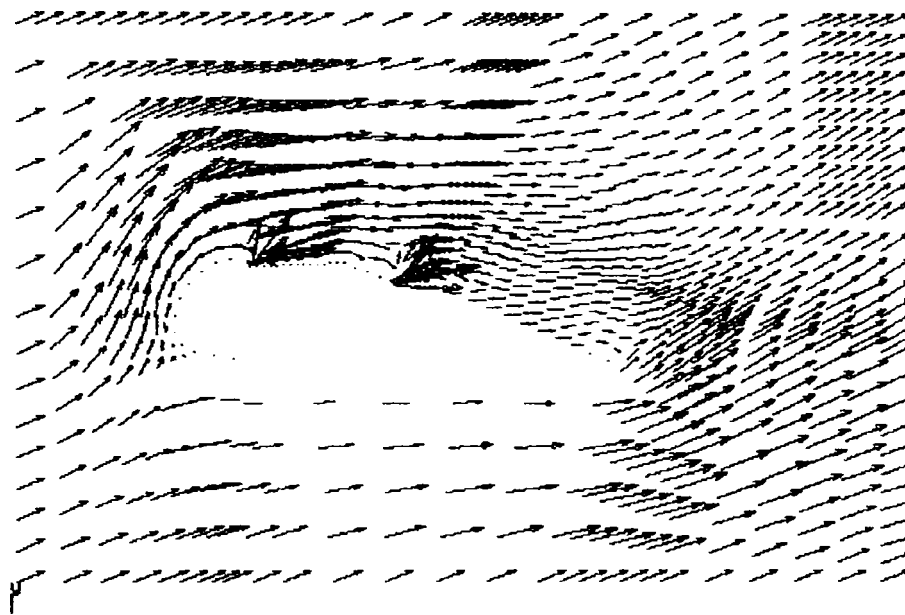
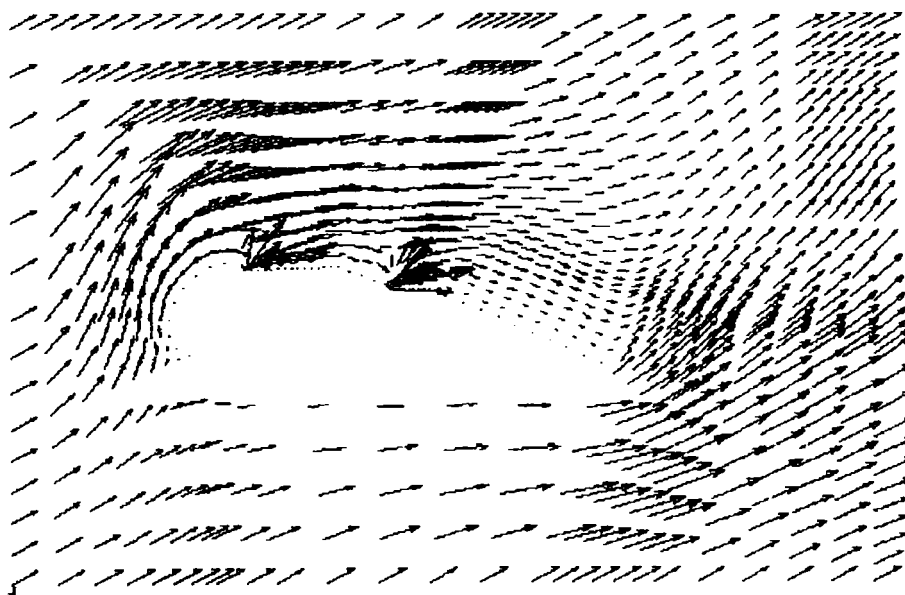
 $\alpha = 15^\circ$  $\alpha = 20^\circ$  $\alpha = 25^\circ$

Fig. 4.112. Profil Coandă PC1. Simulare numerică. Vectorii viteză.

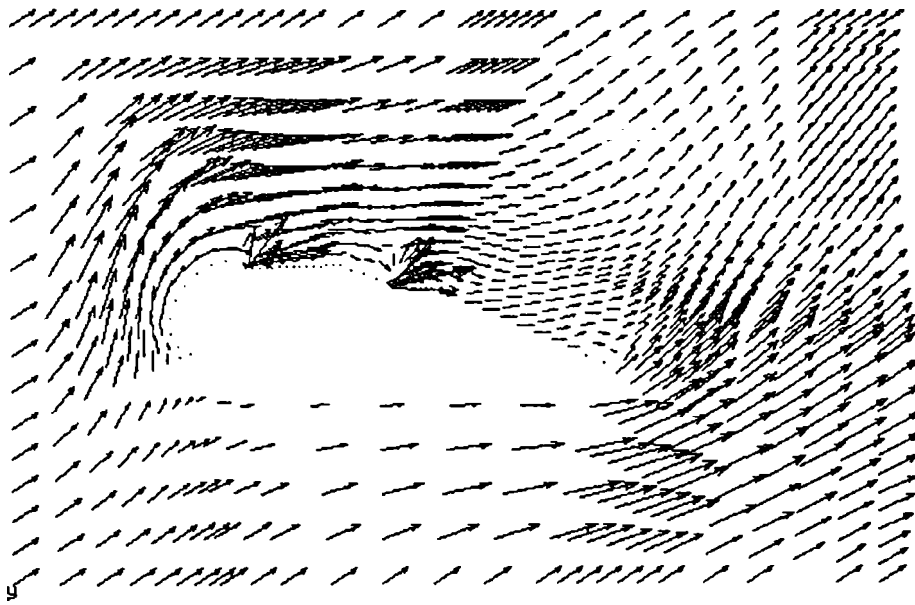
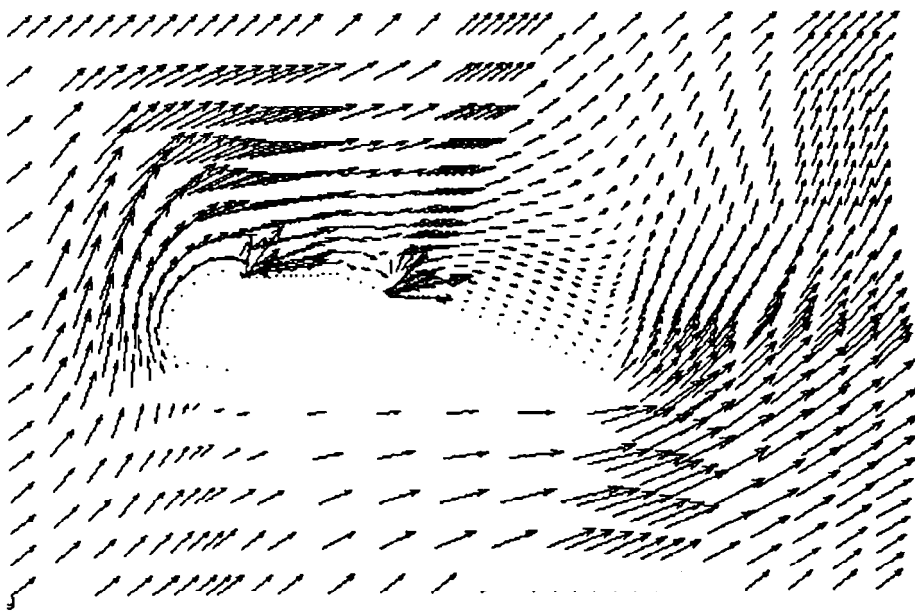
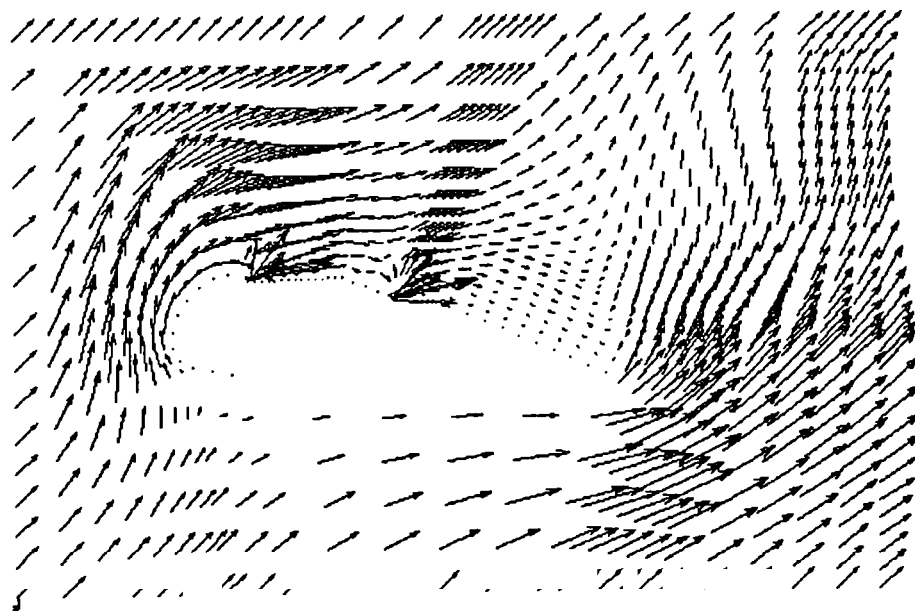
 $\alpha = 30^\circ$  $\alpha = 35^\circ$  $\alpha = 40^\circ$

Fig. 4.112. Profil Coandă PC1. Simulare numerică. Vectorii vitează.

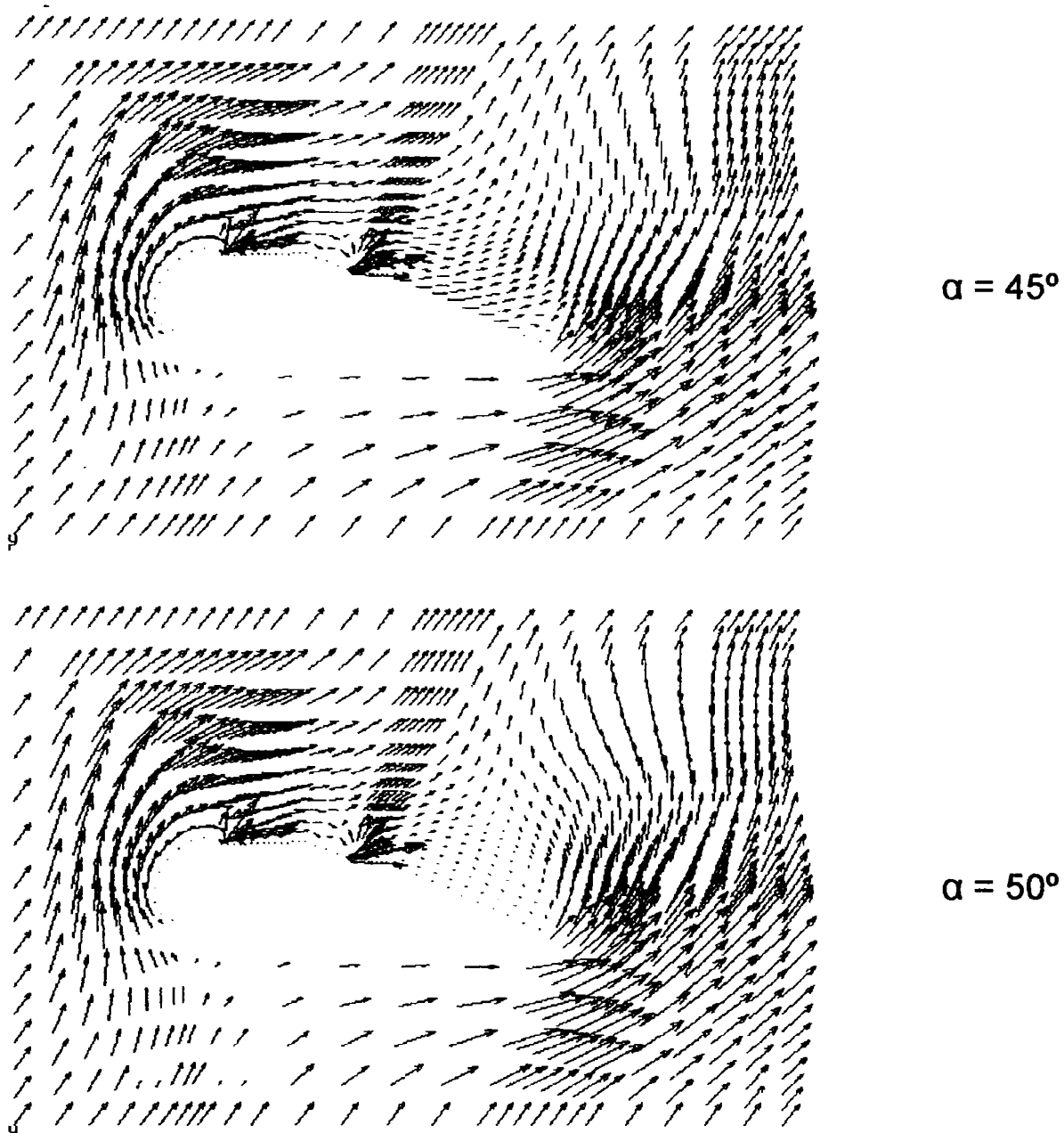


Fig. 4.112. Profil Coandă PC1. Simulare numerică. Vectorii viteză.

Pentru aceste conditii, urmărind la fiecare unghi de incidentă $\alpha \in (0 \div 50^\circ)$, cele trei imagini ce descriu mișcarea fluidului se desprind următoarele:

- Jetul provenit din ajutajele Coandă este atașat și, prin antrenare și absorbție determină spectrul mișcării pe extradados.
- Repartitia presiunilor este în concordantă cu cea rezultată din măsurători.
- Prin Efect Coandă este afectata structura câmpului de viteze în dâra.

Simularea numerică utilizată oferă o imagine calitativă edificatoare și evidentiază faptul că modificarea pronunțată a distribuției de presiuni pe extradadosul profilului Coandă PC1 este provocată de câmpul de viteze generat de jetul atașat. Pentru a măsura viteza s-a utilizat, fig. 4.74, traductorul cu fir cald (10) conectat la termooanemometrul DISA 55 A 01 [32]. Poziționarea

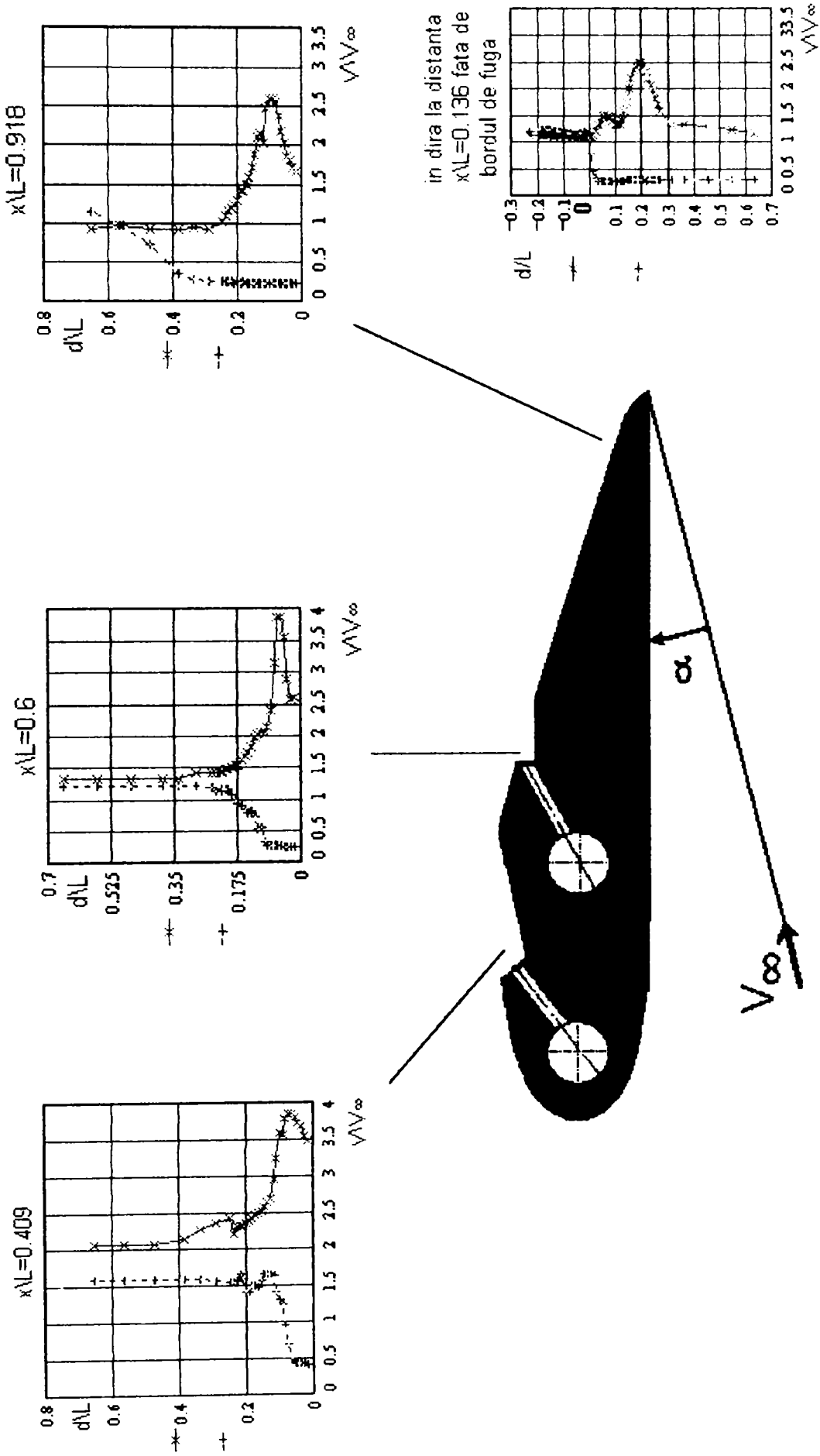


Fig. 4.113 Profil Coandă PC1, $\alpha = 20^\circ$. Distribuția de viteze pe extrados după normală și în dâra.
 $Re \approx 1,09 \cdot 10^6$, $V_\infty = 28,7 \text{ m/s}$

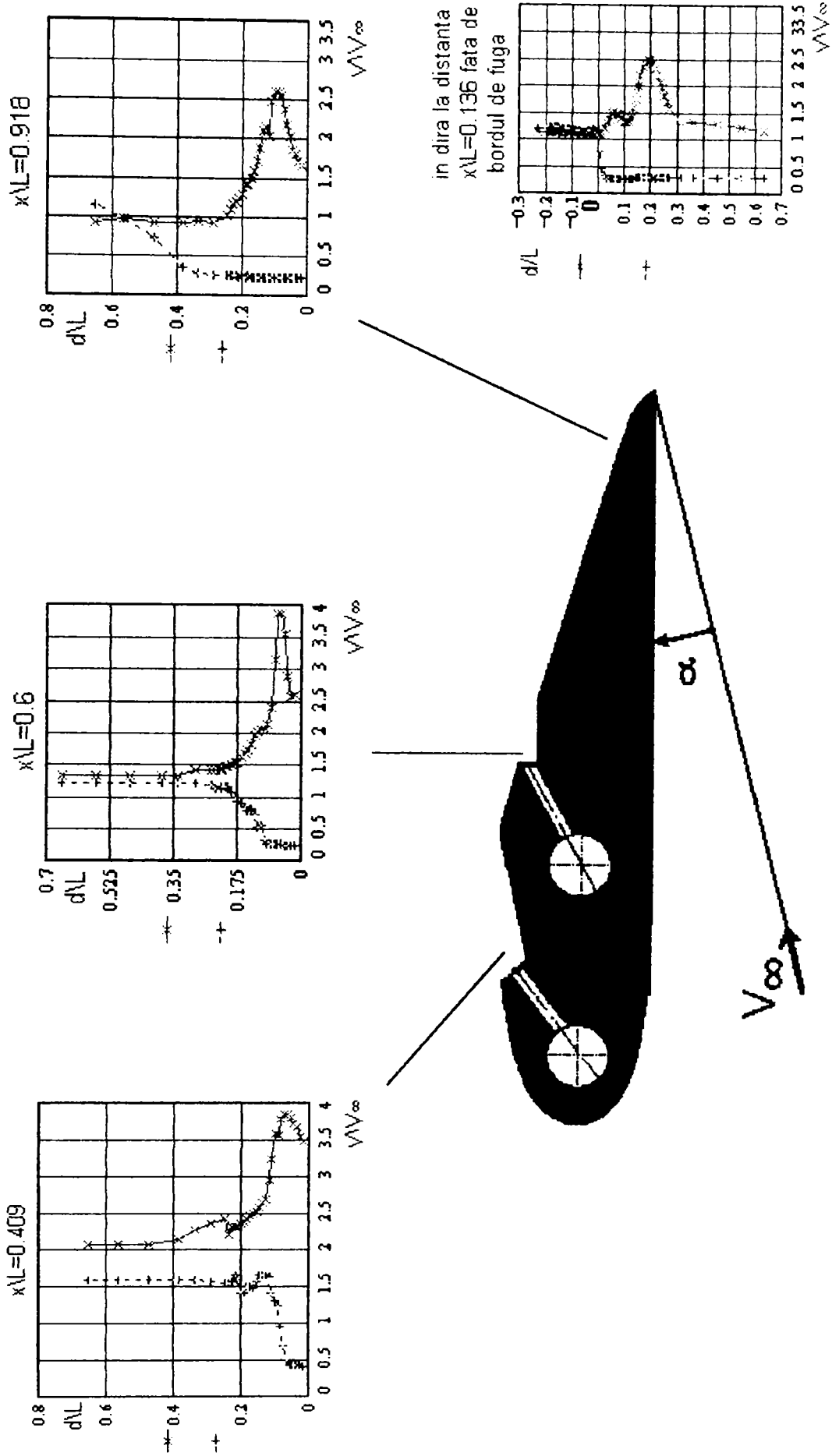


Fig. 4.113 Profil Coandă PC1, $\alpha = 20^\circ$. Distribuția de viteze pe extrados după normală și în dâra.
 $Re \cong 1,09 \cdot 10^6$, $V_\infty = 28,7$ m/s

traductorului se realizează cu dispozitivul de deplasare cu trei grade de libertate (12). Măsurătorile de viteze pentru profilul PC1 s-au efectuat în absența jetului ($V_{j1} = V_{j2} = 0$) și respectiv pentru $V_{j1} = V_{j2} = 90$ m/s pentru unghiurile de incidentă: $\alpha = 20^\circ$ (corespunzător portantei maxime) și $\alpha = 45^\circ$. Distribuțiile de viteze după normala la extradados și în dâră sunt prezentate adimensionalizat în fig. 4.113 și fig.4.114.

Distribuțiile de viteze pe extradados și în dâră reflectă la profilul PC1, comparativ cu profilul original, procesele de antrenare și absorbție generate prin **Efect Coandă**. Se identifică în aceste distribuții profile de viteze de tip jet parietal [52], [26] precum și prezenta unor zone de interferență a jeturilor.

Concluzii.

1. Efectul Coandă este utilizat ca procedeu de îmbunătățire a performanțelor energetice ale profilelor aerodinamice în sensul creșterii valorilor coeficienților de portanță și a domeniului unghiurilor de incidentă cu desprindere limitată (fără desprindere).
2. În aceasta idee s-a introdus conceptul de Profil Coandă care definește multimea claselor de profile aerodinamice prevăzute cu ajutaje Coandă, asociate unor voleturi ce se identifică cu segmente ale extradadosului.
3. În principiu orice profil aerodinamic poate constitui elementul generator al unei clase de profile Coandă.
4. Soluția concretă pentru fiecare clasă este determinată de profilul original și implică modificarea geometriei acestuia. Dar, în contextul asigurării corelațiilor optime-din punctul de vedere al producerii Efectului Coandă - între parametrii energetici ai jetului și cei dimensionali ce privesc configurația ajutaj - volet, se recomandă ca aceste modificări să nu altereze caracteristicile energetice. Acest deziderat a fost realizat în cazul profilului PC1, fig.4.115, fig.4.116, fig.4.117. .
5. Pentru profilele Coandă din aceeași clasă, numărul, poziția și dispunerea ajutajelor, precum și lungimea segmentelor volet de pe extradados sunt determinante din punctul de vedere al performanțelor. Profilele Coandă PC1, fig. 4.94, PC2, fig. 4.118 și PC3, fig. 4.119 aparțin aceleiași clase dar modificările aduse profilului original sunt majore în cazul ultimelor două. Pentru cele trei profile s-au reprezentat suprapuse curbele: $C_A = C_A(\alpha)$, fig. 4.120, $C_W = C_W(\alpha)$, fig. 4.121, $C_A = C_A(C_W)$, fig. 4.122. Cu observația că viteza jetului în secțiunea de eflux a ajutajelor Coandă dispuse pe extradados a fost aceeași pentru toate profilele, se desprind următoarele:

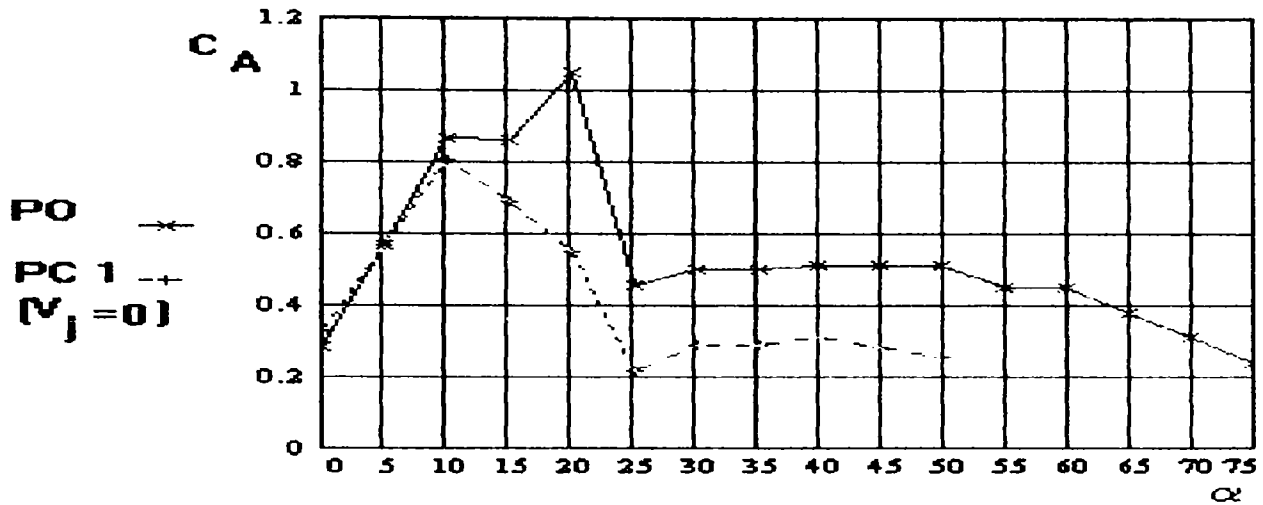


Fig. 4.115 Profilul originar PO, profilul derivat PC1 ($V_j = 0$).
Variatia coeficientului de portanță cu incidenta.

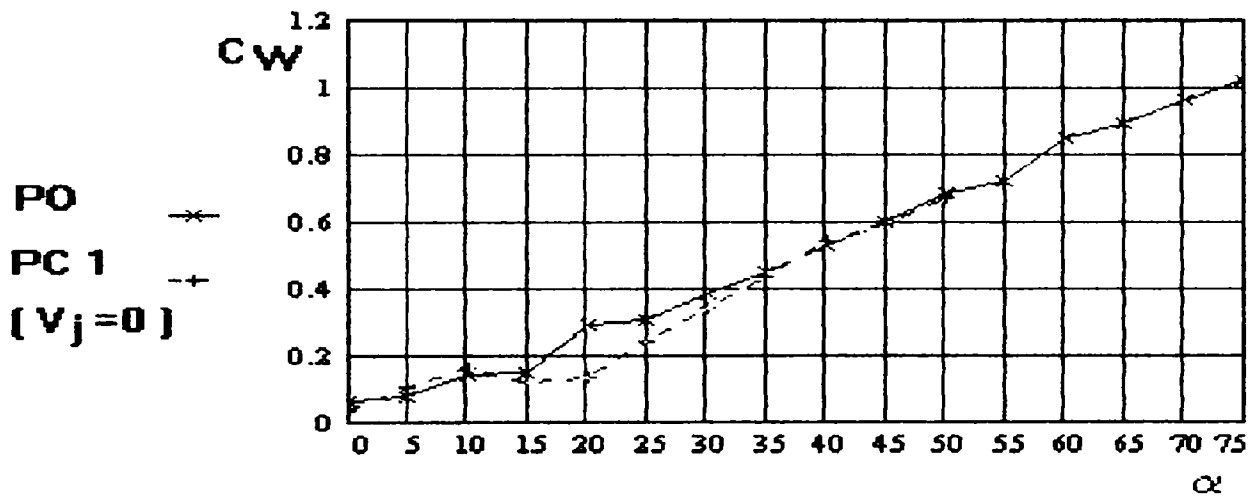


Fig. 4.116 Profilul originar PO, profilul derivat PC1 ($V_j = 0$).
Variatia coeficientului de rezistență cu incidenta.

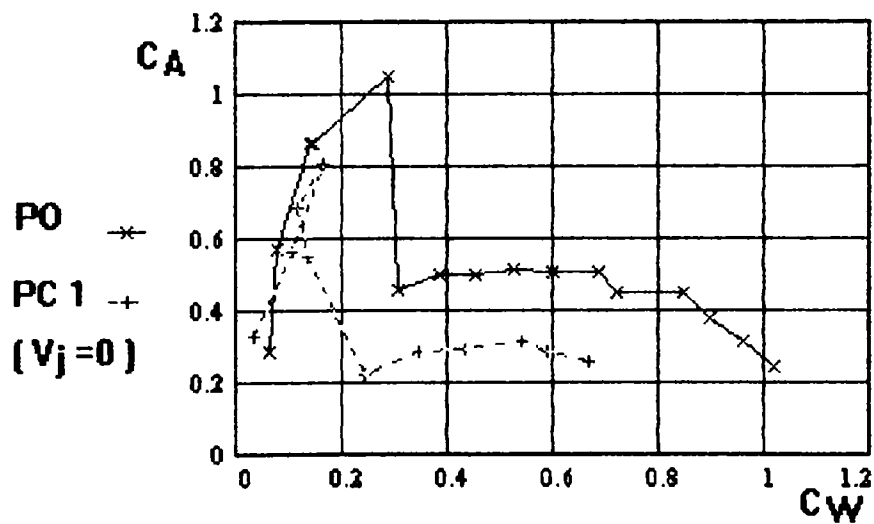


Fig. 4.117 Profilul originar PO, profilul derivat PC1 ($V_j = 0$). Polara.

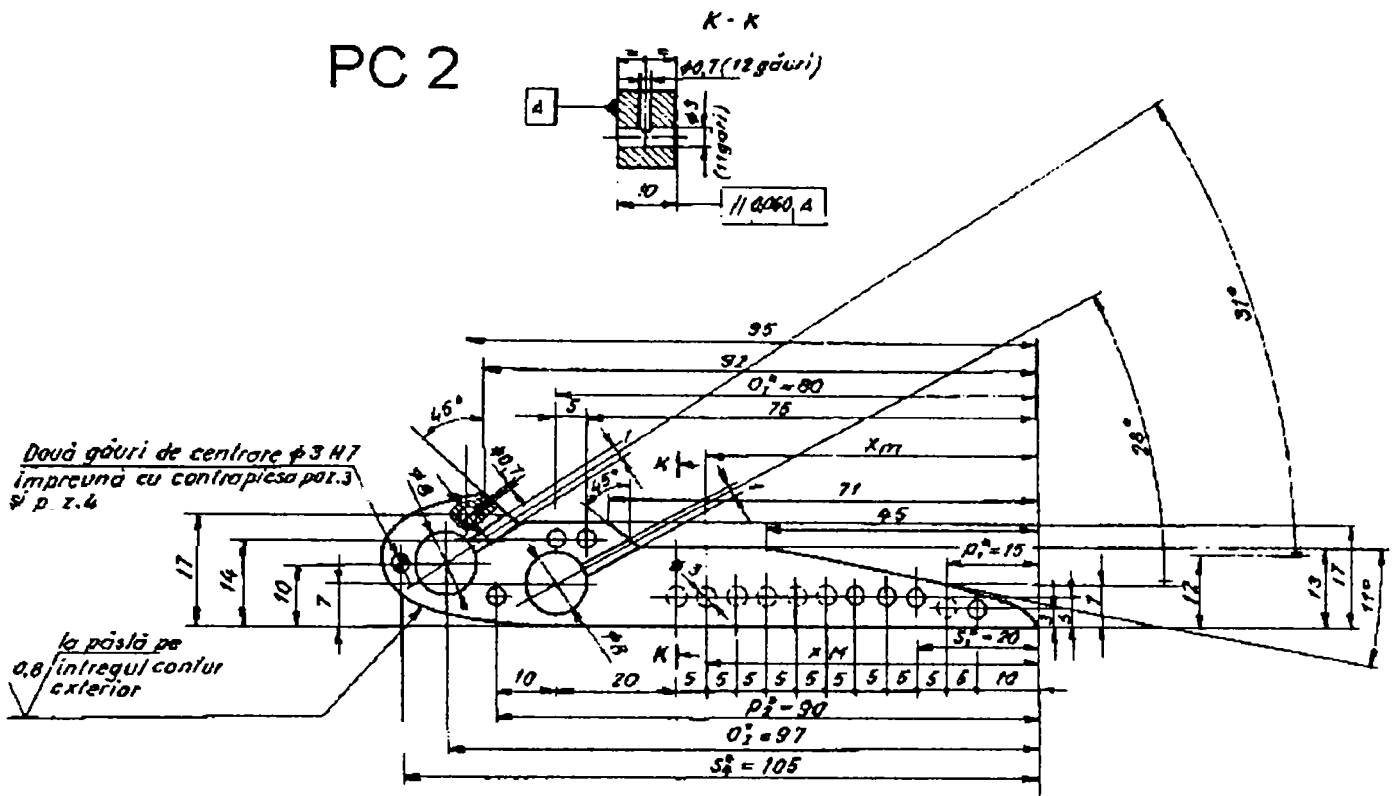


Fig. 4.118. Profil Coandă PC2.

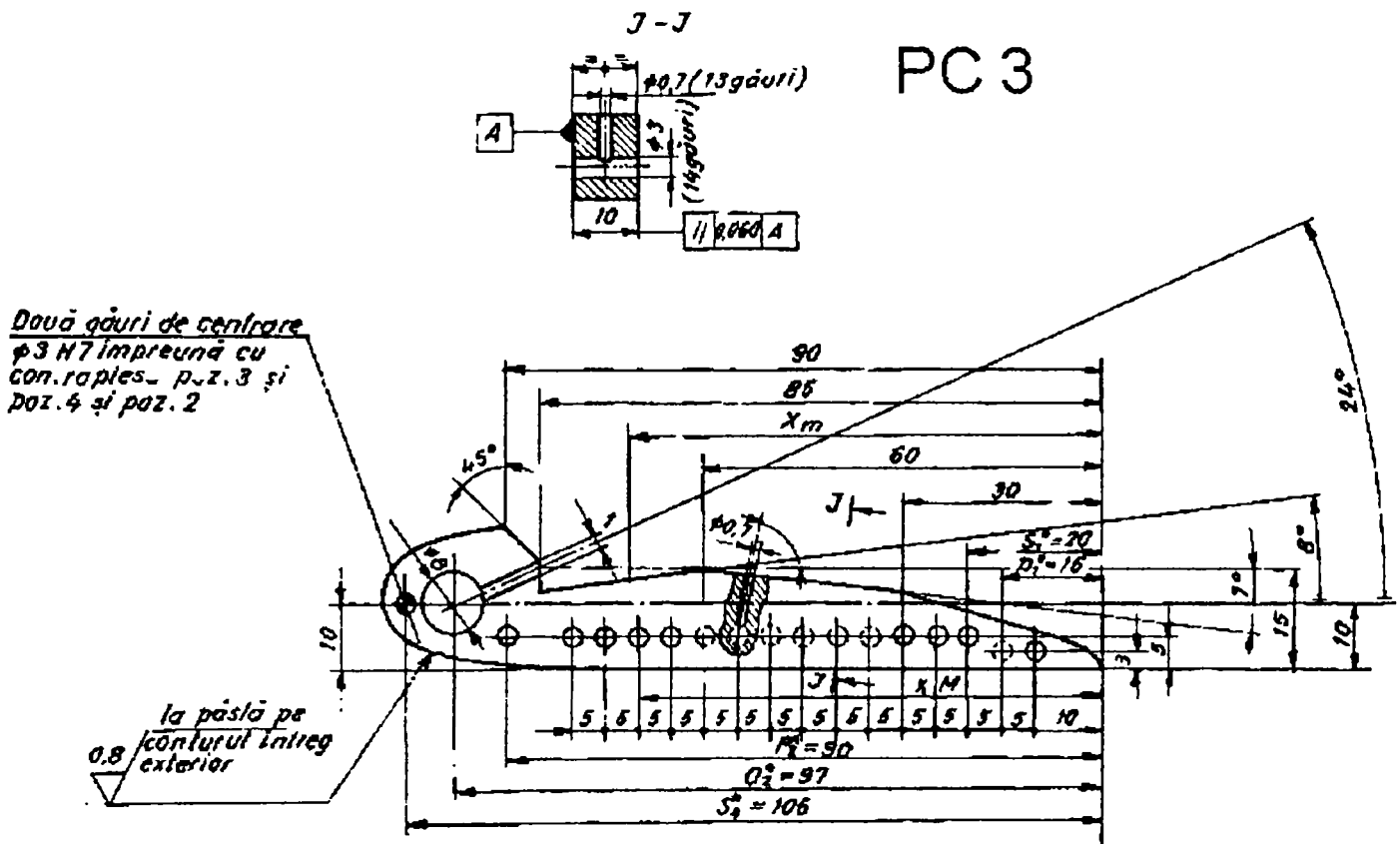


Fig. 4.119. Profil Coandă PC3.

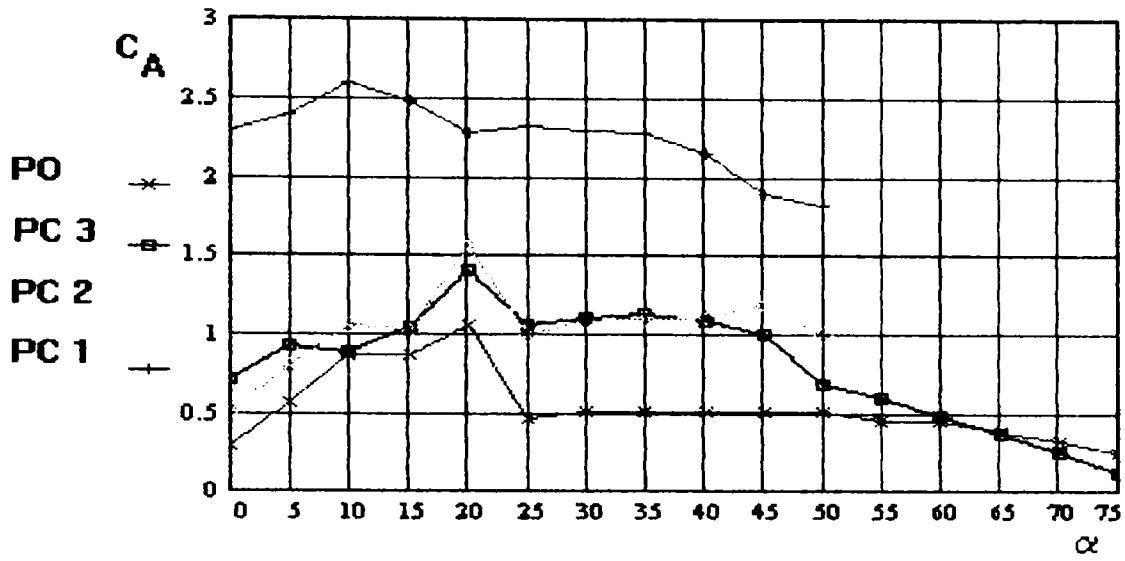


Fig. 4.120. Profile Coandă. Variatia coeficientului de portantă cu incidenta.

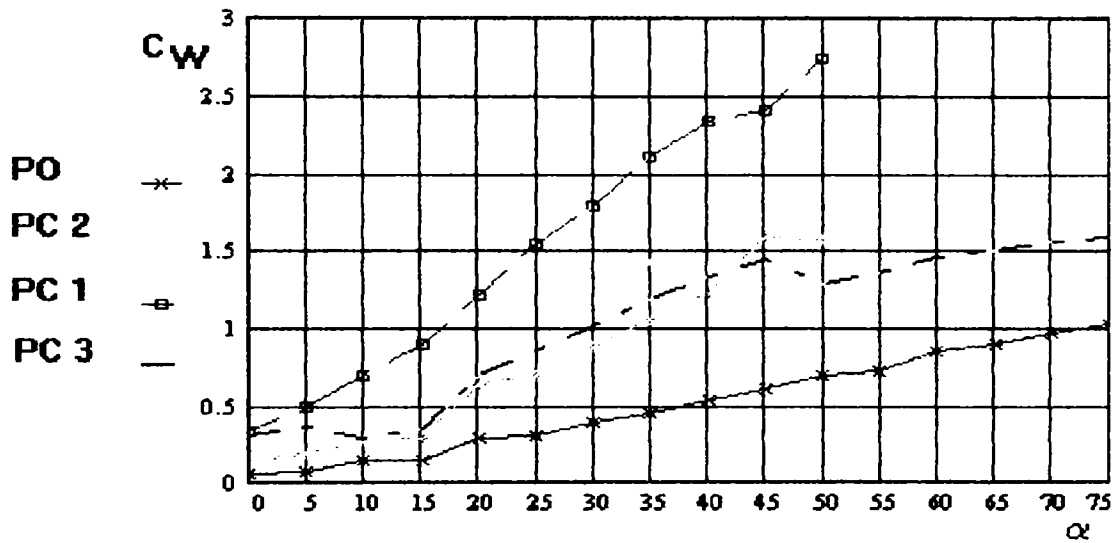


Fig. 4.121. Profile Coandă. Variatia coeficientului de rezistentă cu incidenta.

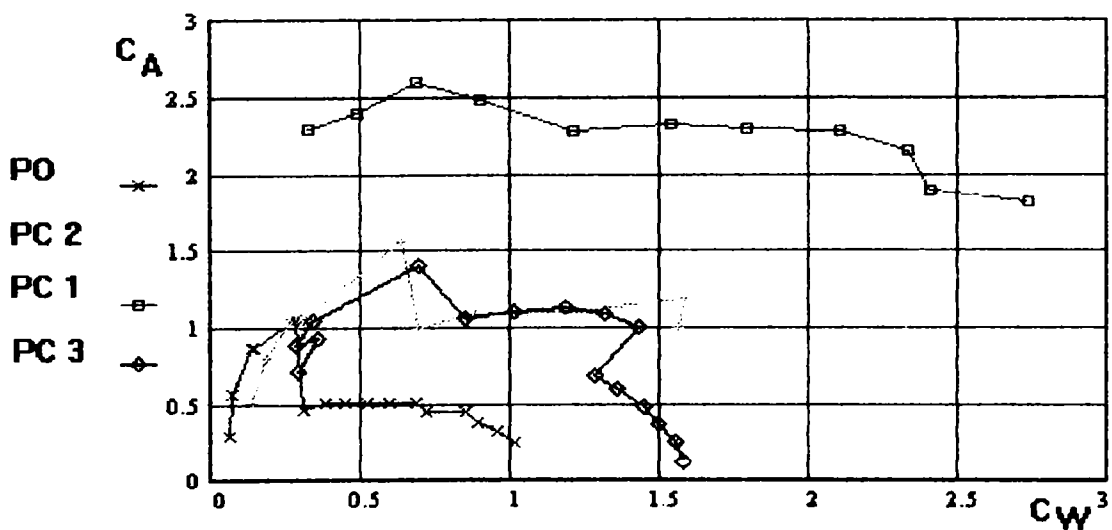


Fig. 4.122. Profile Coandă. Polara.

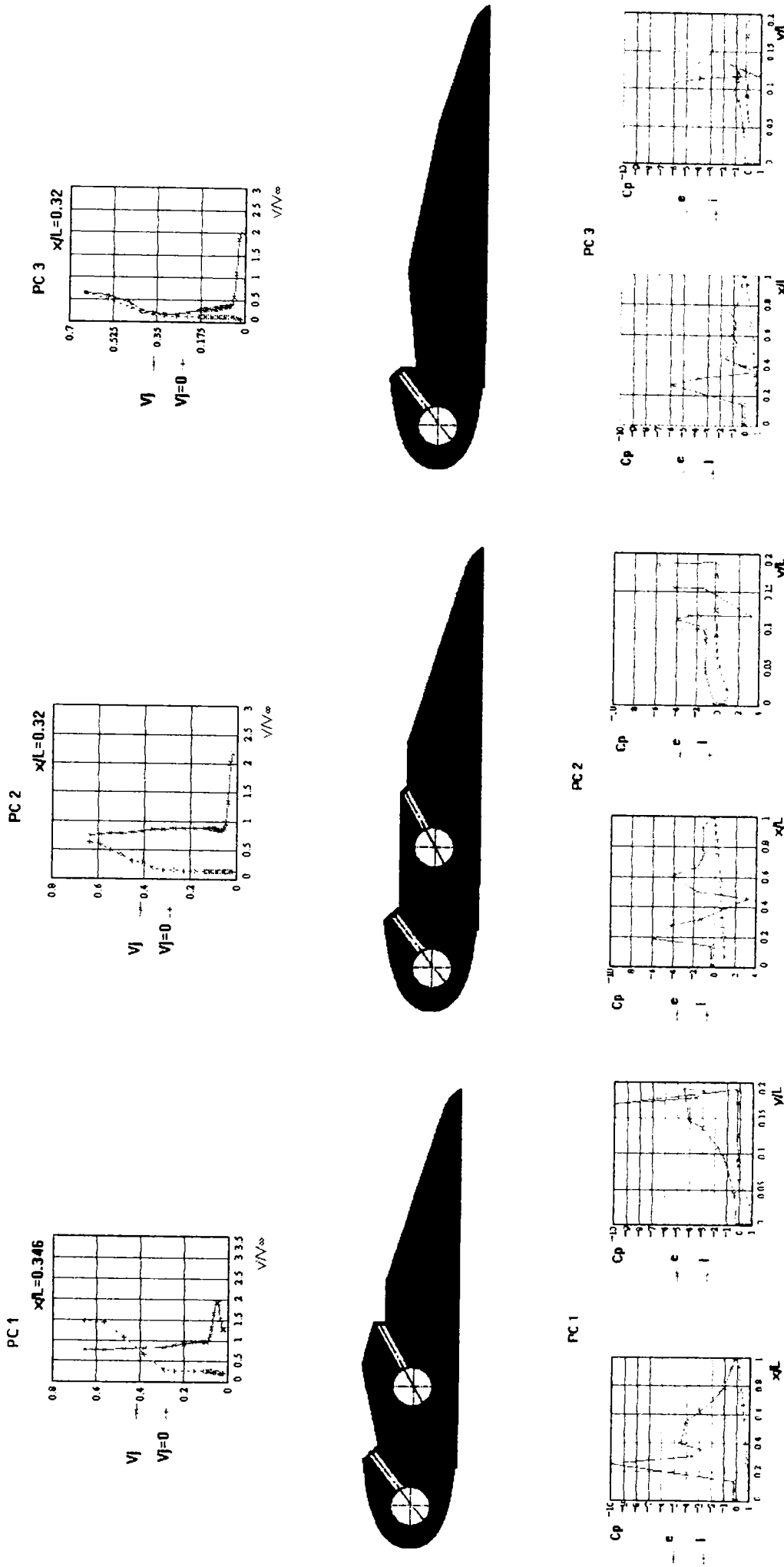


Fig. 4.123. Profilele vitezei după normala la extrados. Distribuția presiunii pe frontiera profilului. Influența geometriei.
 $\alpha = 45^\circ$, $V_j = 90$ m/s, $Re = 1,09 \cdot 10^6$

- a) valorile coeficientului de portanță pentru profilele Coandă sunt – pentru același unghi de incidentă – superioare față de cele corespunzătoare ale profilului original.
- b) unghiul de incidentă corespunzător desprinderii este aproximativ același $\alpha_{crit} \cong 50^\circ$.
- c) diferențele privind valorile coeficienților de portanță C_A și de rezistență C_W , explicabile datorate geometriei, sunt relevante și în ceea ce privește distribuțiile de viteze după normala la extradados, precum și repartitia presiunii pe frontiera profilelor fig. 4.123.
6. Viteza jetului în secțiunea de eflux a ajutorajelor Coandă dispuse pe extradados este parametrul care permite modificarea și chiar controlul distribuției de presiuni. În fig. 4.124 sunt prezentate distribuțiile de presiuni pe extradados pentru profilul PC1.

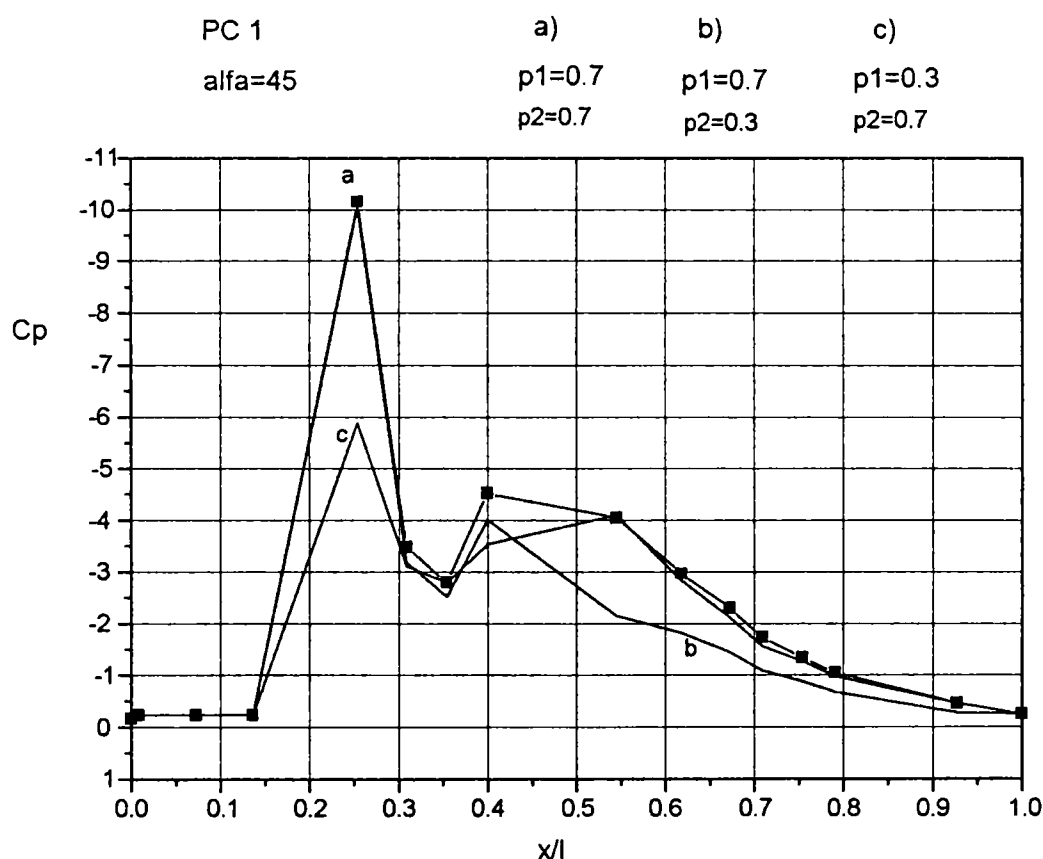


Fig. 4.124 Profil Coandă PC1. Efectul vitezei jetului asupra distribuției de presiuni pe extradados. $p = 0,7 \Rightarrow V_j = 90 \text{ m/s}$, $p = 0,3 \Rightarrow V_j = 30,2 \text{ m/s}$.

7. Problema eficienței (procedeele implică consum energetic) nu a fost abordată. Dar, în condițiile în care geometria profilului original nu este modificată esențial, Profilul Coandă – ca soluție hipersustentatoare – se impune cel puțin în regimurile temporare caracteristice vitezelor asimptotice mici sau unghiurilor de incidentă mari.

5. Concluzii .

5.1 Concluzii generale privind Efectul Coanda.

1. Fenomenul cunoscut sub denumirea de Efect Coanda se inscrie in lista marilor descoperiri tehnico-stiintifice ale secolului XX.

2. Cercetarile teoretice si experimentale au relevat complexitatea acestui fenomen specific evolutiei miscarilor de tip jet in prezenta unei frontiere solide (volet). Totodata din aceste cercetari s-au desprins principalele caracteristici ce descriu din punct de vedere global Efectul Coanda:

- devierea jetului fata de directia initiala, si atasarea acestuia la volet
- existenta unei zone depresionare ce se dezvoltă pe un segment al suprafetei volet; prezenta acestei zone determina aparitia unei forte superficiale cu o semnificativa componenta sustentatoare
- comparativ cu jetul nedeviat cresterea debitului de fluid antrenat atat datorita viscozitatii cit mai ales depresiunii, si, exclusiv in cazul miscarilor subsonice viteze mari si presiuni statice mai mici in ajutoraj.

2. Aceste caracteristici au declansat un camp larg de aplicatii initiat si dezvoltat de H. Coanda si extins ulterior de numerosi cercetatori. Intre acestia prin contributiile deosebite concretizate in brevete, studii teoretice si cercetari experimentale originale, se remarca si reprezentatii stiintei romanesti: C. Teodorescu-Tintea, V. Benche, L. Benche, C. Alexandrescu, V. Barbu, Z. Balog, S. Fota, G. Turzo, D. Suciu, I. Totu, V. Flucus, L. Ungureanu, H. Dumitrescu, I. Stelian, Al. Dumitrache, s.a.

5. Desi aplicatiile sant numeroase, nu exista un model matematic general valabil al fenomenului iar cercetarile experimentale in majoritate abordand o anumita configuratie a ansamblului ajutoraj-volet vizeaza in primul rand "intensitatea" Efectul Coanda si se refera la investigarea campurilor de viteze, presiuni si turbulenta.

6. Se poate aprecia ca, si in viitor, aplicarea Efectului Coanda va oferi solutii simple si economice pentru procese si instalatii din diferite domenii ale activitatii umane

5.2. Concluzii privind aplicatiile Efectului Coanda la turbinele si masinile hidraulice.

1. In lucrare sint studiate patru aplicatii care ofera procedee si solutii care privesc:

controlul dimensional -traductor pneumatic cu Efect Coanda
sistemele propulsive:ejectorul Coanda cu dublu flux si dispozitivul de generare prin Efect Coanda a Efectului Magnusd.
masinile aerohidraulice-profilele Coanda

2. Traductoarele pneumatice cu Efect Coanda prezinta o mare simplitate constructiva si se preteaza miniaturizarii. Utilizarea acestora poate constitui o solutie complementara celor clasice si prezinta avantajul ca nu necesita elemente auxiliare de reglare a unor marimi sau de transmitere a semnalului masurat.

3. Precizia si repetabilitatea masuratorilor efectuate cu traductorului pneumatic cu Efect Coanda este conditionata de mentinerea constanta a presiunii de alimentare, dar spre deosebire de alte solutii constructive aplicate, valoarea acesteia poate fi nelimitata.

4. Sensibilitatea marita si precizia de masurare a traductorului pneumatic cu Efect Coanda este datorata si utilizarii traductorului cu lichid magnetic brevetat si produs de Colectivul de lichide magnetice, Laboratorului de Masini hidraulice, Timisoara.

5. Sistemul de ajutaje Coanda etajate permite obtinerea unor efecte cumulate privind:

- amplificarea depresiunii create si extinderea zonei depresionare pe volet,
- cresterea unghiului de deviere a ajetului
- sporirea debitului antrenat
- generarea unor miscari circulatorii.
-

6. In cazul ajutajelor Coanda etajate cu voleti plani se constata urmatoarele:

efectul de atasare al celor doua jeturi conduce la valori ale deviatiei totale de pana la 90° .

In jetul atasat profilul vitezei dupa normala la suprafata voletului, se modifica pe masura indepartarii de ajutaj, si este marcat de scaderea rapida a vitezei maxime.

- repartitia de presiuni pe voletul aval este influentata sesizabil doar pentru valori mici ale unghiului de bracare ale voletului amonte si viteze initiale mari ale jetului provenit din ajutorul amonte
- in distributia presiunilor pe voleti pentru unghiurile de bracare si inaltimile ajutorilor considerate apar fluctuatii determinate de desprinderea si atasarea jetului

7. Generarea prin Efect Coanda a unei miscari circulatorii care simuleaza rotatia intr-un fluid in miscare uniforma si permanenta in prezenta unui cilindru imobil, ofera un procedeu si o solutie prin care se obtine o forta de tip Magnus.

8. Coeficientul de portanta in cazul cilindrului Coanda-Magnus este superior celui obtinut pentru acelasi raport u/V_x la cilindrii rotitori, ceace, avand in vedere absenta pieselor in miscare. Il recomanda ca solutie la realizarea unor dispozitive de propulsie sau sustentatie

9. Ejectoarele Coanda cu dublu flux sant preconizate a fi utilizate ca dispozitive de propulsie mono si/sau bifazice.

10. La ejectorul Coanda cu dublu flux profilele de viteze in jetul generat sant determinate de pozitia si aportul fiecarui etaj. Totodata in solutia utilizata la etajul extern, camera spirala de alimentare induce o miscare de rotatie in jetul efluent

11. Prin Efect Coanda aplicat profilelor aerodinamice se obtin coeficienti de portanta mari pentru valori pozitive de pana la 55° ale unghiurilor de incidenta.

12. Profilele Coanda considerate realizeaza in domeniul unghiurilor de incidenta $\alpha \in (0-55^\circ)$ coeficienti de portanta superiori valorii maxime realizata de profilul originar. Limita supericara a domeniului $\alpha \approx 55^\circ$ corespunde valorii unghiului de incidenta la care pentru viteza jetului realizata apare desprinderea. Pentru domeniul considerat coeficientii de rezistenta sant mai mari decat ai profilului originar si cresc cu cresterea incidentei.

13. Incercarile efectuate au confirmat viabilitatea solutiilor si au evidentiat performantele acestor dispozitive comparabile si chiar superioare celor existente cu aceiasi destinatie.

14. Din analiza masuratorilor si interpretarea datelor obtinute prin simulare numerica rezulta ca in urma unor studii de optimizare aceste performante pot fi imbunatatite.

6. Contributii personale.

1. Au fost concepute ca aplicatii ale Efectului Coanda proiectate executate si testate urmatoarele dispozitive:

traductorul pneumatic

ejectorul cu dublu flux

dispozitivul de generare a Efectului Magnus

profilele Coanda.

2. Efectul Coanda este un fenomen conditionat, aparitia si evolutia sa fiind determinate de urmatoorii parametri intercorelati: viteza jetului, inaltimea ajutorului, forma geometrica, "lungimea" voietului, unghiul de bracare. Lipsa unui model matematic unitar si caracterului disparat al rezultateilor experimentale au impus selectarea si concentrarea datelor din literatura. Aceste date utilizate la proiectarea dispozitivelor executate, au fost grupate pentru urmatoarele tipuri de voiet: plan, poligonal, cilindric, spirala logaritmica si se refera la: corelarea parametrilor care determina aparitia si evolutia Efectului Coanda, profilul vitezei in jetul deviat, distributia presiunii si forta superficiala exercitata pe voiet.

3. Pentru masurarea acestor parametri au fost concepute sau adaptate instalatii adecvate dispozitivelor analizate si au fost utilizate instrumente specifice: traductoare cu fir cald pentru viteze si turbulenta (aparatura DISA), traductor cu lichid magnetic pentru presiunii, balanta tensometrica pentru forte, debitmetre termice de tip SETARAM.

4. Traductorul pneumatic pentru control dimensional, solutie brevetata, are ca particularitate faptul ca parametrul masurat este depresiunea generata prin Efect Coanda, iar presiunea de alimentare poate avea valori nelimitate.

5. A fost executata o instalatie pentru studiul Efectului Coanda in prezenta unor ajutaje etajate. Rezultatele obtinute din masuratorile efectuate pentru voieti plani, au dus la concluzia ca, prin utilizarea sistemului de ajutaje Coanda etajate se poate obtine o amplificare a depresiunii create, extinderea zonei depresionare, cresterea unghiului de deviere ajetului si posibilitatea generarii unor miscari circulatorii.

6. Aceasta posibilitatea a fost materializata in dispozitivul de generare a Efectului Magnus prin Efect Coanda numit cilindru Coanda-Magnus. Miscarea circulatorie generata prin Efect Coanda simuleaza rotatia unui cilindru imobil. Coeficientul de portanta rezultat din distributia de presiuni masurata pe cilindru Coanda-Magnus este superior celui obtinut pentru acelasi raport u/V_∞ la cilindrii rotitori.

7. Ejectorul Coanda cu dublu flux a fost incercat in doua variante functionale deosebite prin pozitia celor doua etaje in raport cu sensul de curgere al miscarii principale. Pentru ambele variante statiunea de incercare a fost astfel conceputa incat sa permita determinarea coeficientului de ejectie si a eficientei. Valcrite continute deschid perspectiva utilizarii acestui tip de ejector ca dispozitiv mono sau bifazic de propulsie vectoriala.

8. S-a introdus conceptul de profile Coanda-profile aerodinamice prevazute cu ajutaje Coanda, voietul fiind materializat printr-un segment sau reuniune de segmente apartinand extradosului. Utilizand ca originar un profil a carei geometrie este apropiata de cea a profilului Go 383, s-au analizat trei variante care difera prin modificarile, determinate de configuratia ajutajelor Coanda, aduse extradosului. Masuratorile efectuate in tunelul aerodinamic in circuit inchis cu vena libera –Laboratorului de aerodinamica, Catedra de Masini hidraulice-au aratat ca valcrite coeficientilor de portanta pentru profilele Coanda sant, pentru acelasi unghi de incidenta supericare fata de cele corespunzatoare ale profilului originar. In plus aceste valcrite depasesc pentru unghiuri de incidenta pozitive $\alpha \in (0-55^\circ)$, coeficientul maxim de portanta realizat de profilul singular. Varianta optima din cele analizate este desigur cea care aduce, comparativ, cele mai mici modificari geometriei profilului originar. In acest context profilele Coanda pot fi luate in considerare in abordarea supermanevrabilitatii si zborului la mare incidenta.

9. A fost proiectata o balanta tensometrica cu trei componente cu ajutorul careia au fost determinati prin masurarea directa a fortelor corespunzatoare, coeficientii de portanta si de rezistenta. Valcrite obtinute sant in concordanta cu cele rezultate din distributiile de presiuni masurate pe frontiera profilelor.

10. Pentru fiecare dispozitiv s-a analizat, prin simulare numerica, cu utilitarul COSMOS, varianta didactica-metoda elementului finit, evolutia miscarii generate si/sau influentata de prezenta Efectului Coanda

7.Efectul Coanda.Bibliografie.

1. **J.B.Ablas,H.G.Cohen**.The deflection of turbulent jets between bounding walls Koninkl.Nederl.Akademie Van Wetenschappen-Amsterdam, Reprintes from Proceedings, Series B. 67,no.3 ,1964.
2. **C.Alexandrescu**.Cercetari cu privire la limitarea disipatiilor volumice din perna de aer a vehiculelor cu efect de sol (VES), Revista Transporturilor,vol.17 (1970),nr.3.
3. **C.Alexandrescu**, Principii de proiectare a unui vehicul cu efect de sol la care limitarea disipatiilor volumice se face cu ajutorul unei frontiere fluide obtinuta prin efect Coanda .Revista Transporturilor,vol.17(1970) ,nr.11.
4. **C.Alexandrescu**, Contributii la studiul fluidodinamiei ,Revista Transporturilor Transporturi auto,navale si aeriene,vol.2 (19),nr.4,1972
5. **I. Anton, D. Ionescu, V. Balasoiu,G. Calin**, Jeturi plane deviate prin efect Coanda.Parte I:Volet plan.Lucr. Tehn. St. Mas. hidr.,I. P. Tms., 1977, p.111-115.
6. **I. Anton, D. Ionescu, V. Balasoiu,G. Calin**, Jeturi plane deviate prin efect Coanda.Parte II:Volet curb .Lucr. Tehn. St. Mas. hidr.,I. P. Tms., 1977, p.117-125
7. **I. Anton, D. Ionescu, V. Balasoiu,G. Calin**, Vitej generat prin jeturi tangentialaie subtiri, "Progrese in fizica",Tms.,1981, X, p.5-6
8. **I. Anton, D. Ionescu, V. Balasoiu,G. Calin**, Evolutia vitejului intr-o contractie intercarara, "Progrese in fizica" Tms.,1981, X, p.7-8.
9. **I.Anton, D.Ionescu, V.Balasciu**. Profile de viteza si turbulenta intr-un vitej generat prin jeturi succesive. Conferinta "Masini hidraulice si hidrodinamica", Timisoara, 18-19 X. 1985 Coanda,partea I-volet plan,partea II:volet curb, Conferinta "Masini hidraulice si hidrodinamica" Timisoara ,18-19. X. 1985
10. **I. Anton,A. Dreucean, L. Vekas, I. Potencz M. Ghita; G.Paulescu** Comparator magnetofluidic de mare precizie A V-a Conferinta Nationala de Tehnologii Neconventionale,Timisoara 6-7 Octombrie 1989
11. **I. Anton, I. De Sabata,L.Vekas**, Aplicatii ale fluidelor magnetice in domeniul aparatelor de masura, traductoarelor si senzorilor, Conferinta de Masini hidraulice si Hidridinamica , Timisoara 1985.

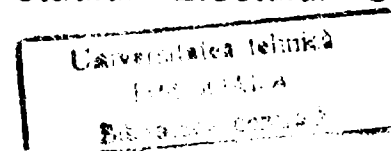
12. **V. Anton, M. Popoviciu, I. Fitero**, Hidraulica si masini hidraulice , Ed.didactica si pedagogica,Bucuresti, 1978..
13. **A.B.Bailey**, Use of the Coanda Effect for the deflection of jet sheets over smoothly curved surfaces, U.T.I.A. TN no.49,1972.
14. **J. Barquet , B. Lamberti, M.Machabert**, La propulsion biphase a dilution e'tsge'e EDE, La Houille Blanche N° 5/6 1977.
15. **A.Barglazan, I. Anton ,V. Anton ,I. Preda I.**, Incercarile masinilor hidraulice si pneumatice ,Editura Tehnica ,Bucuresti ,1957
16. **A.Barglazan, I. Anton ,V. Anton ,I. Preda**, Cercetari asupra unor profile aerodinamice pentru constructia masinilor hidraulice.Statiune experimentala. Buletinul Stiintific si Tehnic al Institutului Politehnic Timisoara,Tomul 2 (16), Fascicula 1,ianuarie-iunie 1957.
17. **A.Barglazan, V. Anton ,I. Preda** Cercetari asupra functionarii turbinelor axiale cu paiele cu fante, St.Cercet.St.Teh.Tms.,VII, 1-2, 1960
18. **V.Benche,L.Benche,G.Turzo,D.Suciu,I.Totu,V.Flucus**, Cercetari experimentale privind unele aplicatii ale Efectului Coanda ,Revista Transporturilor ,no.6 ,1977.
19. **V.Benche,L.Benche,S.Fota,Z.Balcg** ,Ejectia interioara si exterioara Coanda-unele realizari constructive,studii experimentale si utilizari ,Revista Transporturilor ,no.5,1968.
20. **V.Benche,L.Benche,S.Fota,Z.Balcg** ,Cercetari experimentale in sens optimizator asupra ejectorului Coanda interior, Revista Transporturilor no.4.,1979.
21. **V.Benche, V. Barbu, L.Ungureanu**,Turbogenerator gazodinamic cu ejectie Coanda dublu refulant ,Conferinta de temotehnica ,Timisoara,1995
22. **S.D.Benner** ,The Coanda Effect at the deflection surfaces widely separated from the jet nozzle ,UTIA TN no.78 ,1965.
23. **C.Bourque** ,Reattachment of a two dimensional jet on a adjacent flat plate ,Advances in Fluidics ,A.S.M.E. ,1967.
24. **C.Caille**, La distribution reguliere de l'air sortant lateralement d'un canal de ventilation, Revue Technique Sulzer ,1976
25. **E.Carafoli**,Aerodinamica ,Editura Tehnica ,Bucuresti,1964.
26. **P.Carriere ,E.A.Eichelbrenner**, Boundary Layer and Flow Control,vol.I,edited by G.V.Lachmann,Pergamon Press,new York,1961..
27. **P.K.Chang** ,Survey on Coanda Flow ,Proceedings of the Fluid Amplification Symposium, oct.1962, vol.1, Diamond Ordnance Fuze Laboratories, Washington D.C.
28. **P.K.Chang ,M.J.Casarella ,W.Kelnhofner**, The incompressible Coanda flow around circular cylinder affected by sound energy, Dept. of Mech.Eng., The Catholic Univ. of America ,Cont.DA-49-186-AMC-93(D), Washington D.C. 20017.
29. **H.Cohen**, Hydrodynamic models for the fluid jet amplifier,I.U.T.A.M .,1969

30. **V.N.Constantinescu**, Dinamica fluidelor viscoase in regim laminar, Editura Academiei R.S. Romania,1987
31. ***** "COSMOS / M 286"
32. ***** "DISA Manual"
33. **V. Dobanda**, Catalog de profile aerohidrodinamice al Lboratorului de Masini Hidraulice, Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timisoara, 1986
34. **A. Dreucean, G. Paulescu**, Curbele caracteristice ale unui model experimental de comparator pneumatic magnetofluidic de mare precizie, A V-a Conferinta Nationala de Tehnologii Neconventionale.Timisoara 6-7 Octombrie 1989
35. **A. Dreucean, I. Anton,I. Potencz, L. Vekas**,Metoda si instalatie de masura in comanda automata, Romanian Patent, RO 108498 B1, 1994
36. **H.Dumitrescu, I.Stelian, Al.Dumitrache**, .Solutii similare pentru o curgere de tip Coanda, Studii si cercetari de Mecanica aplicata,Tom47 ,nr.6,1988.
37. **F. A. Dvorak, R .J. Kind**, Analysiy Method for Viscous Flow over Circulation-Controlled Airfoils, Journal of Aircraft, vol16, Number 1 ,January 1979.
38. **B.Etkin**, Researach on an aerodynamic particle separator (The EPS), U.T.I.A.S. Report no.316, July 1986
39. **H.H.Fernholz**, Zur umlenkung von freistrahlen an konvex gekrummte wänden (Coanda-Effekt), Habilitationsschrift Techn.Universität ,Berlin,1965.
40. ******Flieger Revue*:no.8/294-1977 ,no.3/300-1978,no.7/341-1981.
41. **Florea, I. Dumitrache** , Elemente si circuite fluidice ,Editura Academiei R.S.R. ,Bucuresti ,1979.
42. **.C.D.Galeriu, F.Berinde** ,Efectul Coanda in cazul unor jeturi etajate, "A II-a sesiune de comunicari stiintifice a tinerilor ingineri din Timisoara",1974 .
43. **C.D.Galeriu, G. Hanigovschi, E. Bartos**, Essai d'un ejecteur Coanda destine a l'absortion des gaz degages dans le processus de soudure a une installation semi-automatique MIG-MAG ,Buletinul Stiintific si Tehnic al Universitatii Tehnice Timisoara, seria Mecanica,tom(38),fascicola 1-2 ,1991.
44. **C.D. Galeriu ,E. Suciu ,A. Marisescu** , Aparat pneumatic de masurat , B.I. ,O.S.I.M., nr.101239 ,1990.
45. **C .D .Galeriu, I. Potencz** ,Metoda si traductor fluidic de proximitate ,B.I. ,O. S. I. M. ,nr. 100639 ,1990
46. **C.D. Galeriu, A. Marisescu, A.S. Bugarschi**, Traductor pneumatic pentru control dimensional ,Conferinta de Masini hidraulice si Hidrodinamica ,Timisoara,1990 ,vol.2
47. **C.D. Galeriu, A.S. Bugarschi**, Cimpul de viteze in jetul generat de ejectorul Coanda, A VI-a Conferinta nationala de Termotehnica, Termotehnica romaneasca 96,Iasi-Chisinau, 1996,vol.1.

48. **C.D. Galeriu**, Indrumator de lucrari de laborator la Miscari potentiale si hidrodinamica retelelor de profile.Teoria stratului limita, Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timisoara, 1985.
49. **C.D. Galeriu**, Efectul Magnus-simulare experimentală., A VI-a editie a "Zilelor academice timisene", 27-28 mai 1999, Timisoara ,ROMANIA.
50. **S. Gartshore, B.G. Newman**, The Turbulent Wall Jet in an Arbitrary Presssure Gradient, The Aeronautical Quarterly, February 1969.
51. **M.M.Gibson, B.A. Younis**, Modeling the Curved Turbulent Wall Jet, A.I.A.A. Journal, vol.20, no.12, December 1982
52. **M.B.Glauert**, On laminar wall jets, Symposium über Grenzschichtforschung, edited by H.Görtler, 1957.
53. **.U.H.von Glahn**, Use of the Coanda Effect for obtaining jet deflection and lift with a single flat-plate deflection surface, N.A.C.A., Tn.no.4272.
54. **U. H.von Glahn**, Use of the Coanda Effect for jet deflection and vertical lift with multiple-flat-plate and curved-plate deflection surfaces ,N.A.C.A., Tn.no.4377
55. **S. V. Gorlin, I. I. Slezinger**, Aerodinamiceskie izmerenia, Izd-vo, "Nauka",Moskv, 1964
56. **D.E.Guitton B.G.Newman** ,Self-preserving turbulent wall jets over convex surfaces , J. Fluid Mech., (1977), vol.81, part 1, pp.155-185..
57. **C.D.Hope-Gill**, An experimental investigation into the shape of thrust augmenting surfaces in conjunction with Coanda-deflected jet sheets, U.T.I.A.S., Tn. no.70 ,1970.
58. **I.N.Iacovachi**, Opera savantului roman Henri Coanda reflectata in brevete, Revista Transporturilor ,vol.15 ,1968.
59. **I.N. Iacovachi, I. Cojocar** ,Henri Coanda ,Editura Stiintifica si Enciclopedica ,Bucuresti 1983.
60. ***** INCREST-Silens Coanda ,Bucuresti ,1978
61. **M.Kadosch**, Deviation des jets par adherence a une paroi convexe, J. Phys.Radium, tom19, no.4,1958.
62. **K.Kamemoto**, Investigation of Turbulent Wall Jets over Logarithmic Surfaces, Bulletin of J.S.M.E., Vol.17, No.105, March 1974.
63. **.Th.von Karman**, Theoretical remarks on thrust augmentation ,Reissner Anniversary Volume, Contribution to Appl.Mech.,J.W.Edwards ,1949.
64. **R.J.Kind**, A Calculation Method for Boundary Layer Control by Tangential Blowing, C.A.S.I.Transactions, vol.4, No.2, September 1971
65. **R.J.Kind**, A Calculation Method for Circulation Control by Tangential Blowing Around a Bluff Trailing Edge, The Aeronautical Quarterly, vol. XIX, August 1968.
66. **R.J.Kind** ,Calculation of the Normal -Stree Distribution in a Curved Wall Jet, The Aeronautical Journal of The Royal Aeronautical Society, May 1971.

67. **R.J.Kind, K. Gooden, F.A. Dvorak**, Measurements of Flows with Tangential Injection and Comparison with Prediction Methods, A.I.A.A. Journal, volume 17, July 1979.
68. **R.J.Kind, D.J. Maull**, Analysis Method for Viscous Flow over Circulation-Controlled Airfoils, Journal of Aircraft, vol.16, Number 1, January 1979.
69. **Korbacher**, The Coanda Effect at deflection surfaces detached from the jet nozzle, Canadian Aeronautics and Space Journal, vol.8, no.1, 1962.
70. **G.K.Korbacher, K. Sridhar**, A Review the Jet Flap, U.T.I.A., Review no.14, May, 1960.
71. **D.W.McLaughlin, C.K.Taft**, Fluidic electrofluidic converter, Transaction of the ASME, Journal of Basic Engineering, June, 1967.
72. **Al. Marinescu**, Metode, aparate si instrumente de masura in aeromecanica, Editura Academiei, Bucuresti, 1970
73. **T.Mehus**, An experimental investigation into the shape of thrust augmenting surfaces in conjunction with Coanda deflected jet sheets (part II) U.T.I.A.S., TN no.79, 1965.
74. **A.Metral**, Sur un phenomene de deviation des veines fluides et ses applications. Effet Coanda, "Proceedings of the Vth International Congress of Applied Mechanics", Paris 1939.
75. **A.Metral, F. Zerner**, L'Effet Coanda, Publications Scientifiques et Techniques du Ministere de l'Air, no.218, 1948.
76. **C.Militaru**, Masurari pneumatice in constructia de masini, Ed.Tehnica, Bucuresti, 1977
77. **R.Murao, S. Uchida**, On a simmilar solution for a turbulent curved jet ZAMP, vol.28, 1977.
78. **B.G.Newman**, The defelection of plane jets by adjacent boundaries-Coanda Effect, Boundary layer and flow control, Pergamon Press, New-York, 1961.
79. **Y.Nishimura**, Application of a jet pump and Coanda surface to ventilation of a highway tunnel, U.T.I.A.S., TN no.82, 1965.
80. **S.C. Paranjpe, K. Shridar**, Effects on a initial gap on the turbulent jet flow over curved wall, Journal of the Royal Aeronautical Society, vol.72, 1968.
81. **T.Panitz, D.T. Wasan**, Flow attachment to solid surfaces: The Coanda-Effect, A.I.Ch.E Journal, vol18, no.1, 1972.
82. **C.Parks, R.E.Petersen**, Analysis of a Coanda type flow, A.I.A.A. Journal, vol.6, no.1, 1968.
83. **N.NPatraulea**, Studii de aerodinamica hipersustentatiei, Editura Academiei R.P.R., Bucuresti, 1962.
84. **C.C.Perry**, Two dimensional jet attachment, Advances in Fluidics, New-York, 1972.

85. **Ph. Poisson-Quinton, L. Lepage**, Survey of French Research on the Control of Boundary Layer and Circulation, Boundary Layer and Flow Control, Edite by G.V.Lachmann, Pergamon Press, New York, 1964.
86. **O.Popa**, Mecanica fluidelor si masuri hidraulice, vol. I, II, III, Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timisoara, 1980
87. **K.N.Popov, V.D. Sokolov, N.I. Hvostov**, Sopla voz dusno-reactivnih dvigatelei s otkloneniem vectorom tiaghi, Moskva, Masinostroenie, 1979.
88. **I.Potencz, E. Suci, L. Vekas**, Brevet OSIM 94884, 1988
89. **L.Prandtl**, Strömungslehre. Julius Springer, Berlin, 1949
90. **I.Reba**, Applications of the Coanda Effect, Scientific American 214, 1966
91. **D.O.Rockwell, P.M. Fiske**, Jet reattachment to walls of various shapes, Transactions of the A.S.M.E., Journal of Basic Engineering, vol.96, 1971.
92. **D.O.Rockwell, K. Toda**, Effect of Applied Acoustic Fields on Attached Jet Flows, Transactions of the A.S.M.E., Journal of Basic Engineering, vol.96, March, 1971.
93. **W.E.B.Roderick**, Use of the Coanda Effect for the deflection of jet sheet over smoothly curved surfaces, U.T.I.A. TN no.51, 1961.
94. **D.I.McRee, H.L. Moses**, The Effect of aspect ratio on offset on nozzle flow and jet reattachment, Advances in Fluidics, A.S.M.E., 1967
95. **O.T.Sarpkaya, D.C. Richardson**, Turbulent jet over an inclined wall, Transactions of the A.S.M.E., Journal of Basic Engineering, June, 1970.
96. **R.A.Sawyer**, The flow due a two-dimensional jet issuing parallel to a flat plate, Journal of Fluid Mechanics, 9, 543, 1960.
97. **R.A.Sawyer**, Two-dimensional reattaching jet flows including the effect of curvature on entrainment, Journal of Fluid Mechanics, 17, 481, 1963.
98. **W.H.Schwarz, W.P. Cosart**, The two-dimensional wall jet, Journal of Fluid Mechanics, 10, 1961.
99. ***** , SETARAM. Debitmetre masse U 70, Lyon 1973.
100. ***** , SFERI-Coanda I., Final Report, Contract no.AF 61 (514) 1409 AD 204073, 1957.
101. ***** , SFERI-Coanda II., Final Report, Contract no.AF 61 (514) 1409 AD 204074, 1958.
102. **K.K.Salnev, B.A. Cerniavski, I.C. Demidov**, O mehanizme prilipania strui stenke struinovo usilitelia, Effekt-Coanda, Dokladi Akademii Nauk S.S.S.R., 1967
103. **D.Stefanescu, M. Marinescu, I. Ganea**, Termogazodinamica tehnica, Editura Tehnica, Bucuresti 1986.
104. **W.M. Swanson**, " The Magnus Effect. A summary of Investigations to Date ", Transaction of the ASME, Journal of Basic Engineering, September 1961.
105. **P. M. Sirmanov**, Kurs aerodinamiki, Oborongiz, Moskva, 1949
106. **C.C.Teodorescu -Tintea**, Contributii la studiul Efectului Coanda, Revista Transporturilor vol.6, no.1, 1960



107. **C.C.Teodorescu-Tintea**, Cercetari asupra reversarii tractiunii motoarelor turboreactoare cu ajutorul Efectului Coanda, Revista Transporturilor, vol.7, 1960.
108. **C.C.Teodorescu-Tintea**, Asupra unui nou efect gazodinamic, Revista Transporturilor, vol.3, no.6, 1961.
109. **C.C.Teodorescu-Tintea**, Asupra determinarii fortelor gazodinamice care solicita voletul Coanda, Revista Transporturilor, vol.9, no.10, 1962.
110. **C.C.Teodorescu-Tintea**, Sur l'ecoulement des jets plans dans le voisinage de parois solides au profil divergent -L'Effet Coanda., Revue Roumaine des Sciences Techniques, Mecanique Appliquee, Tom.10, no.3, 1965.
111. **T.P.Torda, K.N. Ghia, E.D. Victory**, Analysis of Entrainment and Flow Augmentation for Coanda Type Nozzles, Revue Roumaine des Sciences Techniques, Mecanique Appliquee, Tom 15, no.5, 1974
112. **J.L.Turpin**, Use of streaming potential measurements for an investigation of the Coanda Effect, The Physics of Fluids, vol.15, no.6, 1972..
113. **Visconti**, La propulsion par jet d'eau, La Houille Blanche, no. 5/8 1977
114. **Wille, H. Fernholz**, Report on the european mechanics colloquium on the Coanda Effect, Journal of Fluid Mechanics, vol.23, part 4, 1965.
115. **Wilson, R.J. Goldstein**, Turbulent wall jet with cylindrical streamwise curvature, Transaction of the A.S.M.E, Journal of Fluids Engineering, 1976.
116. **I.J.Wygnanski, F. H. Champagne**, The laminar wall-jet over a curved surface, Journal of Fluid Mechanics, vol.31, part 3, 1966.
117. **N.J. Wood, S. Ward, L. Roberts**, Wind Tunnel Wall Boundary Layer Control by Coanda Wall Jets, A.I.A.A., 27th Aerospace Sciences Meeting, January 9-12, 1989, Reno, Nevada
118. **K.T.Yen**, A theoretical evaluation of the Coanda nozzle, Rensselaer Polytechnic Institute, Contract no.A.F.18(600)-992, 1954.
119. **Yih-O Tu, H. Cohen**, A theoretical model for separation in the fluid jet amplifier, I.B.M.Journal, 1963.
120. **F.Yoshino, Y. Furuya**, The Wall-Jet on a Circular Cylinder Immersed in Uniform Flow, Bulletin of JSME, vol.17, No.110, 1974.