

LIVIU DINCĂ

JENICA-ILEANA CORCĂU

**MECANICA ȘI DINAMICA
ZBORULUI AVIONULUI**



**EDITURA UNIVERSITARIA
Craiova, 2018**

Referenți științifici:

Prof.univ.dr.ing. Constantin ROTARU

Academia Forțelor Aeriene "Henri Coandă"

Prof.univ.dr.ing. Adrian Mihail STOICA

Universitatea "Politehnica" din București

Copyright © 2018 Editura Universitaria

Toate drepturile sunt rezervate Editurii Universitaria

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

DINCĂ, LIVIU

Mecanica și dinamica zborului avionului / Liviu Dincă, Jenica-Ileana Corcău. - Craiova : Universitaria, 2018

Conține bibliografie

ISBN 978-606-14-1360-7

I. Corcău, Jenica Ileana

629.7

PREFAȚĂ

Lucrarea de față se adresează în principal studenților specializării *Echipamente și Instalatii de Aviație*, dar și inginerilor din domeniul aeronautic care doresc să aprofundeze cunoștințele din domeniul mecanicii zborului avionului și mai departe din acela al dinamicii zborului avionului. Materialul prezentat reprezintă un suport de curs foarte util studenților din domeniul aeronautic, dar și o bogată sursă de informații pentru cei care doresc să dobândească o solidă bază de cunoștințe în domeniu. Sunt prezentate pe parcursul lucrării referințe bibliografice la lucrări fundamentale privind aerodinamica și mecanica zborului avionului. Unele dintre acestea sunt apărute chiar cu mult timp în urma, dar reprezintă bazele studiilor din acest domeniu efectuate în prezent. O parte din aceste lucrări sunt cele ale regretatului prof. univ.dr. ing. M.M. Niță, unul dintre iluștrii dascăli ai școlii românești de aviație. Nu lipsesc însă trimiteri la lucrări de ultima oră, care reflectă nivelul actual al cercetării în acest domeniu.

Cartea conține un prim capitol în care sunt sintetizate principalele noțiuni de aerodinamică utilizate în mecanica zborului avionului și care stau la baza studiilor privind zborul avionului. Principalele fenomene sunt prezentate într-o manieră accesibilă, care permite formarea unei imagini suficient de clare asupra zborului avionului și problemelor pe care le ridică realizarea unui zbor în siguranță.

Capitolul al doilea prezintă principalele evoluții ale avionului studiate utilizând un aparat matematic cât mai simplu, dar care să ofere o imagine clară asupra fenomenelor care apar în fiecare situație și a tehnicilor de optimizare a zborului în fiecare etapă. Sunt prezentate aici zborul orizontal rectiliniu uniform, zborul în urcare, zborul planat, decolarea, aterizarea, virajul uniform și spirala.

Cel de-al treilea capitol prezintă detaliat forțele și momentele care apar în evoluția generală a avionului. Noțiunile prezentate în acest capitol permit înțelegerea multor aspecte constructive importante ale avionului, precum și influența acestora asupra calităților de stabilitate și manevrabilitate ale avionului. Se poate spune că acest capitol reprezintă baza studiilor ulterioare privind stabilitatea și controlul zborului avionului.

Noțiunile prezentate aici permit formarea unei imagini intuitive asupra evoluțiilor avionului în diverse situații de zbor.

Capitolul al patrulea este dedicat studiului dinamicii zborului avionului. Sunt prezentate aici stabilitatea statică a zborului avionului, tehnicile de studiu a stabilității dinamice, modurile proprii ale mișcării longitudinale și mișcării lateral-direcționale, manvrabilitatea avionului, precum și răspunsurile acestuia la comenzi. O parte importantă a acestui capitol este alocată aprecierii calităților de zbor ale avionului și interpretării prin regulamentele de acceptare a zbor a acestora. Se urmărește realizarea unei legături între valorile numerice obținute prin calcul și modul în care pilotul percepe și apreciază avionul.

Ultimul capitol este dedicat prezentării unor tehnici de pilotaj pentru cele mai frecvente situații de zbor precum și modului de realizare a unor figuri elementare de acrobație aeriană. Acestea reprezintă o bună aplicație a cunoștințelor prezentate în celelalte capitole, reflectând de fapt utilitatea studiilor prezentate pe parcursul acestei cărți.

Ținem să mulțumim pe această cale tuturor dascălilor care ne-au îndrumat pașii în dezvoltarea profesională, precum și referenților acestei lucrări prof.univ.dr.ing. Constantin Rotaru și prof.univ.dr. ing. Adrian Mihail Stoica pentru sugestiile făcute pentru îmbunătățirea materialului prezentat.

AUTORII

CAPITOLUL 1

NOȚIUNI INTRODUCTIVE

1.1 Considerații generale

Dinamica zborului avionului reprezintă un domeniu foarte larg, dezvoltat odata cu dezvoltarea aviației și care are la bază alte discipline cum sunt mecanica, aerodinamica și teoria sistemelor. Pe măsura dezvoltării aviației și alte ramuri ale științei au contribuit la dezvoltarea acestui domeniu. Interacțiunile dintre forțele aerodinamice și cele elastice care apar pe structura avionului au impus necesitatea aprofundării studiului acestora, întrucât unele fenomene observate experimental nu puteau fi explicate pe baza cunoștințelor de la momentul respectiv. A apărut astfel aero-elasticitatea, care, deși nu se ocupă direct cu studiul mișcării de ansamblu a avionului, așa cum procedea dinamica zborului, pune în evidență fenomene importante care apar în timpul zborului avionului.

Mai departe, pe măsura creșterii vitezei de zbor a apărut necesitatea luării în considerație a fenomenelor termice care apar la interacțiunea dintre structura avionului și curentul de aer. A apărut astfel termo-aero-elasticitatea. Se poate spune ca fiecare pas înainte realizat în domeniul aviației a fost însoțit de introducerea unei noi subramuri științifice în acest domeniu.

Studiul detaliat al fenomenelor care apar în timpul zborului avionului este foarte dificil, astfel încât în cadrul acestei lucrări vom urmări prezentarea fenomenelor de bază care apar în timpul zborului și a unor estimări cantitative destul de grosiere, dar care să ofere o imagine suficient de clară privind aceste fenomene. De altfel, un studiu teoretic amanunțit al forțelor și momentelor aerodinamice care apar pe elementele componente ale avionului se poate face doar prin simulări numerice ale curgerilor curenților de aer în jurul avionului. Aceste simulări numerice oferă în prezent valori foarte apropiate de cele reale, dar fiind realizate prin metode de tip element finit, element de frontiera etc. , nu oferă o expresie analitică a acestor forțe în funcție de parametrii de zbor. În consecință studiul stabilității zborului avionului este foarte dificil de realizat utilizând aceste simulări numerice.

Pentru a realiza un studiu cantitativ exact de dinamica zborului, necesar proiectării unui avion se fac mai întâi studii teoretice pe diferite configurații

posibile, apoi se selectează configurația cu cele mai bune performanțe și se realizează machete, care sunt studiate experimental în tunele aerodinamice. Forțele și momentele utilizate în studiile finale de dinamica zborului sunt cele obținute în tunelele aerodinamice.

În această lucrare vor fi studiate mai întâi evoluțiile simple ale avionului, cum ar fi zborul orizontal rectiliniu și uniform, zborul în urcare rectilinie, zborul planat, decolarea și aterizarea, precum și virajul în plan orizontal. Apoi se va trece la studiul forțelor și momentelor care apar în mișcarea generală a avionului, urmate de studiul stabilității statice a zborului orizontal rectiliniu uniform. Studiul stabilității dinamice a avionului va fi prezentat în penultimul capitol, urmând ca ultimul capitol să fie dedicat unor noțiuni de tehnica pilotajului.

1.2 Noțiuni elementare de aerodinamică [16]

Acest paragraf este dedicat unei treceri sumare în revistă a noțiunilor de aerodinamica studiate în cadrul cursului de *Bazele aerodinamicii*. Nu se urmărește reluarea detaliată a acestora ci doar prezentarea unor concluzii care vor fi strict necesare în cadrul acestui curs.

Aparatele de zbor din prezent obțin forța de portanță necesară zborului prin două căi principale. O primă cale este utilizând forța arhimedică. Acestea sunt aparatele de zbor "*mai ușoare decât aerul*" sau *aerostatele*. Principalul avantaj al acestor aparate de zbor este că obținerea forței de portanță este foarte ieftină și fără consum de energie. Ca urmare și costul unei ore de zbor este redus. Dar au ca dezavantaje importante dimensiunile foarte mari în raport cu încărcatura utilă, viteze mici de zbor și zborul lor depinde foarte mult de curenții de aer. Deși pot fi prevăzute cu motoare care să facă posibilă deplasarea pe rutele dorite, totuși, sunt foarte sensibile la curenții de aer și nu se pot menține pe traiectoria dorită chiar în cazul unui vânt de viteză relativ redusă cu o direcție nedorită.

A doua cale de a obține forța portantă este utilizarea interacțiunii dintre un element al aparatului de zbor și curentul de aer din jurul acestuia. Acestea sunt aparatele de zbor "*mai grele decât aerul*" sau *aerodinele*. Este deci necesară pentru obținerea forței de portanță, o viteză relativă între elementul portant al avionului și curentul de aer. Elementul portant al aparatului de zbor poate avea o mișcare de translație în cazul avionului sau o mișcare de rotație în cazul elicopterului. De data aceasta obținerea forței de portanță este mult mai scumpă, cu un consum mare de energie, iar ora de zbor a unor astfel de aparate este și ea incomparabil mai scumpă. Avantajul important pe care îl oferă este că pot realiza viteze de zbor incomparabil mai mari față de aerostate, sunt mult mai puțin influențate de curenții de aer și de condițiile atmosferice și pot urmări mult mai bine traiectoriile de zbor impuse. Din aceste motive, cea mai largă utilizare o au în prezent aerodinele.

Elementul portant al avionului poartă numele de aripă (figura 1-1). Pentru a obține portanța, așa cum am menționat anterior, trebuie să existe o mișcare de translație, cu o anumită viteză relativă, între aripă și curentul de aer.

Pentru a realiza stabilitatea mișcării, avionul este prevăzut cu ampenaje: ampenajul orizontal și ampenajul vertical. Partea fixă a ampenajului orizontal poartă numele de stabilizator, iar partea fixă a ampenajului vertical poartă numele de deriva. Pentru controlul mișcării, avionul dispune de eleroane, direcție și profundor. Cu ajutorul acestor elemente sunt modificate forțele și momentele care acționează asupra avionului, astfel încât să se obțină mișcarea dorită. În fazele de decolare și aterizare mai sunt utilizate flapsurile, fantele de bord de atac și spoilerile. Modalitatea în care acestea contribuie la realizarea zborului avionului va fi prezentată în cadrul acestui curs. Corpul central a avionului, în care este dispusă de obicei încărcătura utilă, poartă numele de fuselaj.

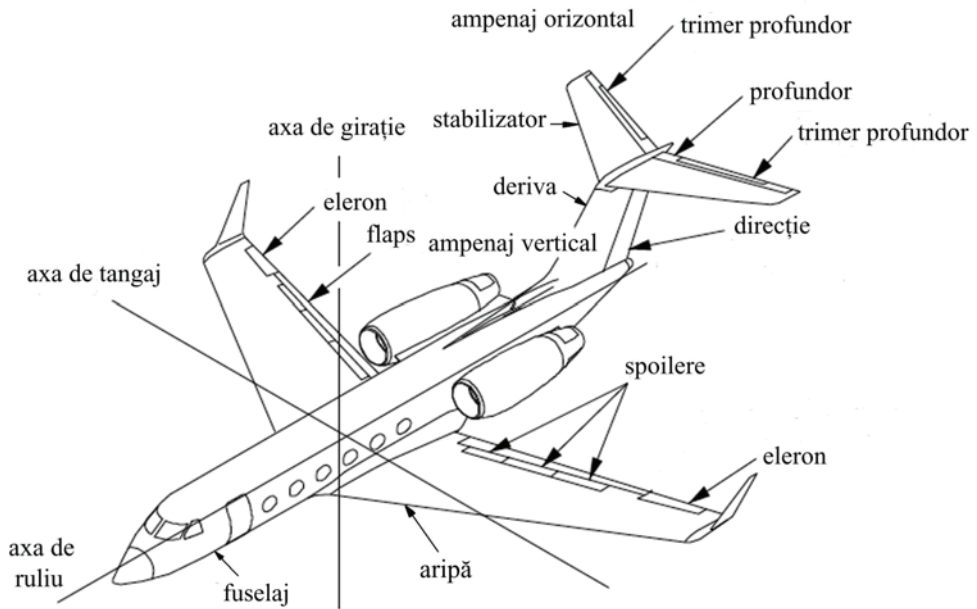


Figura 1-1 Elementele componente ale avionului

Elementul portant al elicopterului este elicea, sau rotorul principal (figura 1-2). Pala elicei are o mișcare de rotație față de curentul de aer, dar dacă ne referim la o secțiune a palei, aceasta are o mișcare foarte apropiată de mișcarea de translație față de curentul de aer. Pentru compensarea momentului necesar acționării rotorului principal la elicopter există rotorul anticuplu. Acesta creează față de centrul de greutate al elicopterului un moment care echilibrează momentul de antrenare al rotorului principal. Prin modificarea tracțiunii rotorului anticuplu se poate schimba direcția de zbor a elicopterului.

În vederea îmbunătățirii stabilității zborului există și în cazul elicopterului un ampenaj orizontal și un ampenaj vertical. Acestea însă nu mai sunt prevăzute cu părți mobile, ca în cazul avionului, controlul zborului făcându-se în acest caz prin alte metode. Corpul central în care este dispusă încărcătura utilă poartă și la elicopter numele tot de fuselaj.

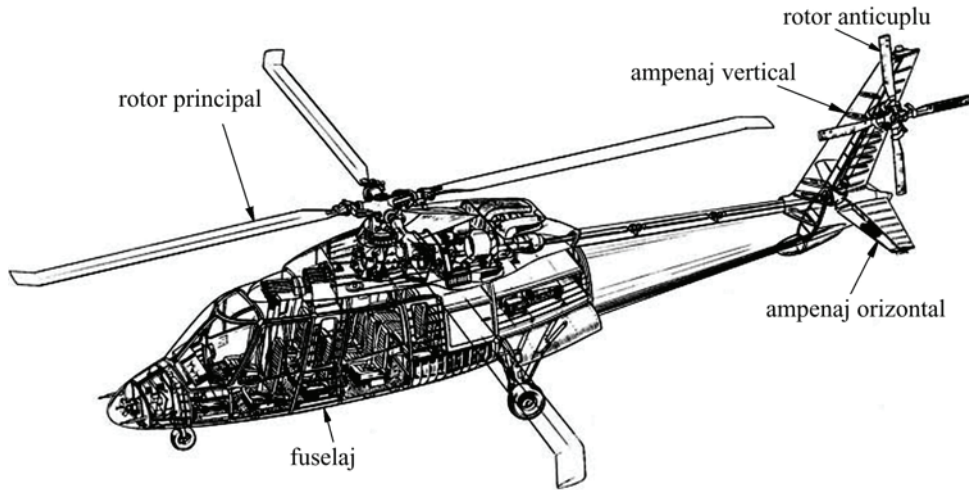


Figura 1-2 Elementele componente ale elicopterului

Deoarece elementele pe care apar forțele de portanță, atât la avion, cât și la elicopter au grosimea foarte mică în raport cu celelalte dimensiuni, mai sunt denumite și *suprafețe aerodinamice* sau *suprafețe portante*. Lungimea suprafeței aerodinamice poartă numele de anvergură (notată cu b în figura 1-3), iar lățimea acesteia poartă numele de coardă (notată cu c în figura 1-3). O secțiune perpendiculară pe axa longitudinală a unei suprafețe portante poartă numele de profil aerodinamic. Profilul aerodinamic prezintă o mare importanță în ceea ce privește forțele și momentele aerodinamice care vor apărea pe acea suprafață portantă. Din această cauză, în aerodinamică există o ramură foarte importantă – *aerodinamica profilelor*.

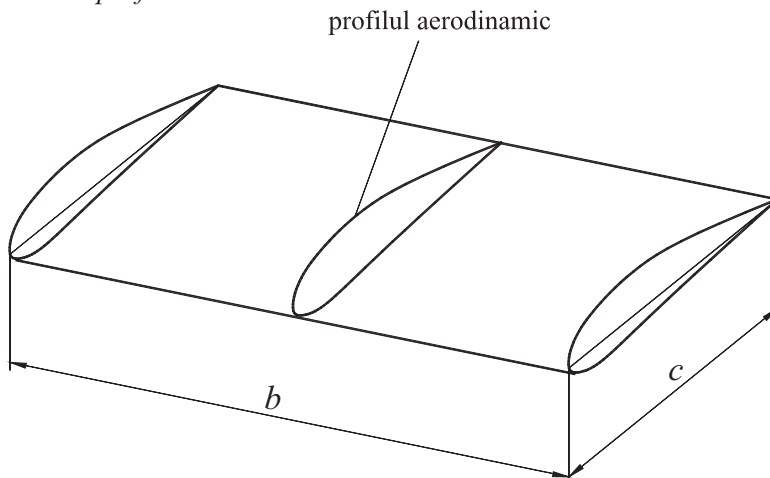


Figura 1-3 Anvergura, coarda și profilul aerodinamic al unei suprafețe portante

Prezența unui profil aerodinamic în curentul de aer produce o deflexie a acestuia orientată în sus în partea din față a profilului, cunoscută în literatura de specialitate sub termenul de *up-wash* și o deflexie în jos în partea din spate, cunoscută sub termenul de *down-wash* (vezi figura 1-4). Datorită acestor deflexii, așa cum se va vedea pe parcursul acestui curs, apare o influență reciprocă, între curgerea aerului în jurul aripiei și în jurul ampenajelor.

Această configurație a curgerii este modelată în aerodinamică prin intermediul unui vârtej plasat în focarul profilului. Focarul profilului va fi definit în continuare, în cadrul acestui paragraf. Se demonstrează în aerodinamică faptul că prin interacțiunea dintre un curent de aer cu viteza \vec{V}_∞ și un vârtej de intensitate Γ cu axa perpendiculară pe acesta, apare o forță portantă, așa cum este prezentat în figura 1-4. Dacă aerul este considerat fluid perfect, atunci această forță de portanță este singura care apare. În practică însă, datorită vâscozității aerului, precum și a altor fenomene, apare și o rezistență la înaintare

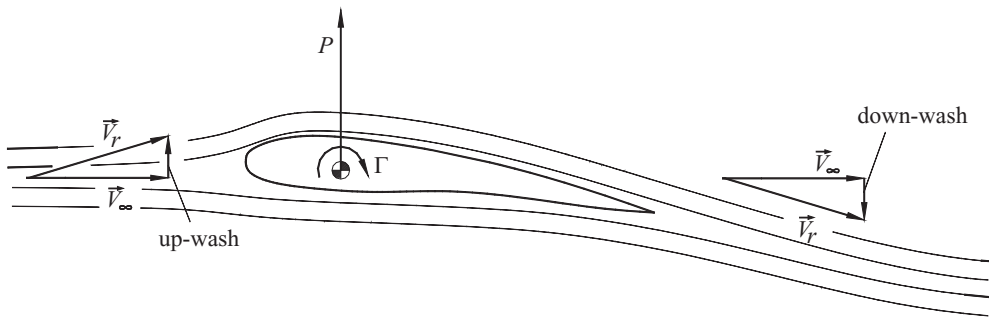


Figura 1-4 Curgerea curentului de aer în jurul unui profil aerodinamic

Forțele care apar asupra unui profil aerodinamic aflat în mișcare de translație în atmosferă se reduc la un torsor al forțelor, format dintr-o forță rezultantă și un moment rezultant (vezi figura 1-5).

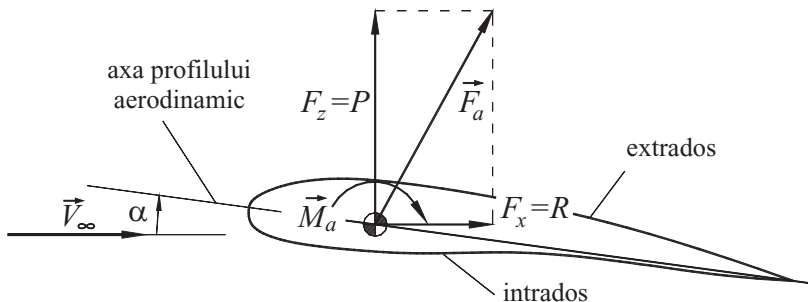


Figura 1-5 Torsorul forțelor aerodinamice asupra profilului

Valoarea forței rezultante nu depinde de punctul față de care se face reducerea forțelor, în schimb momentul rezultant va depinde de acest punct. În plus,

forța și momentul aerodinamic vor depinde de unghiul format de axa profilului aerodinamic cu viteza curentului de aer V_∞ , α , denumit unghi de incidență. Se demonstrează în cadrul cursului de *Bazele Aerodinamicii* faptul că există un punct pe profilul aerodinamic, față de care momentul aerodinamic nu depinde de incidență. Acest punct este denumit *focarul profilului aerodinamic* și pentru profilele uzuale este situat undeva între 25 - 30 % din coarda profilului față de bordul de atac. Deoarece momentul aerodinamic este constant față de focar, acesta va fi egal și cu momentul aerodinamic în situația în care portanța este nulă. Ca urmare, momentul aerodinamic față de focar este cunoscut sub denumirea de *moment aerodinamic la portanță nulă*. Forța aerodinamică se poate descompune după direcția curentului de aer, și după direcția perpendiculară pe acesta. Considerând axa x în lungul curentului de aer și axa z perpendiculară pe acesta, componentele forței aerodinamice vor fi denumite F_x și F_z , sau, frecvent în cadrul acestui curs, vor fi denumite *portanță* – P și *rezistență la înaintare* – R . Relațiile cu ajutorul cărora se calculează portanța, rezistența la înaintare și momentul aerodinamic la portanță nulă sunt:

$$F_x = \frac{\rho}{2} V^2 S C_x \quad (1.1)$$

$$F_z = \frac{\rho}{2} V^2 S C_z \quad (1.2)$$

$$M_y = \frac{\rho}{2} V^2 S c C_{m0} \quad (1.3)$$

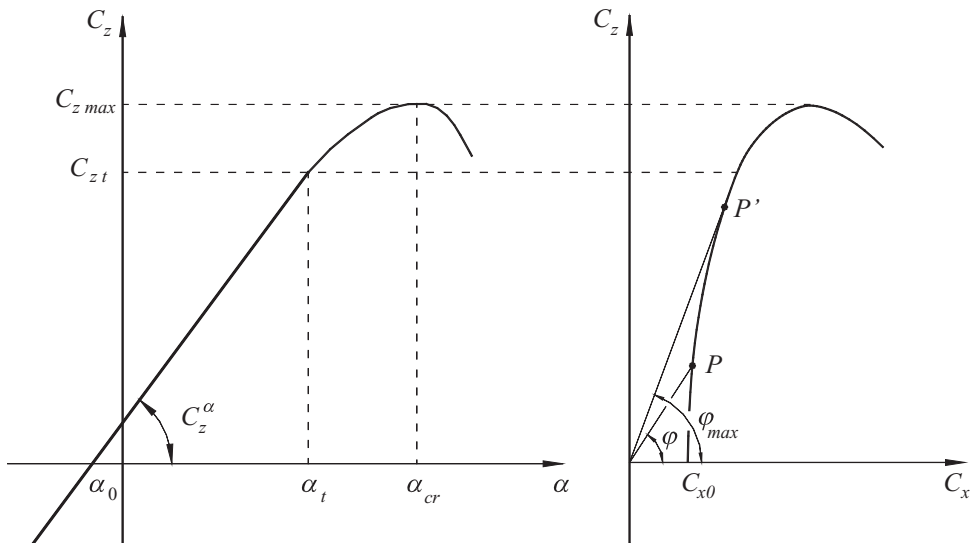


Figura 1-6 Polarele profilului aerodinamic

În aceste relații, ρ este densitatea aerului, S aria suprafeței portante, c coarda profilului aerodinamic, C_x coeficientul de rezistență la înaintare, C_z coeficientul de