

Liviu DINCĂ

Jenica-Ileana CORCĂU

Petre NEGREA

Liviu DINCĂ

Jenica-Ileana CORCĂU

Petre NEGREA

**MECANICA ȘI DINAMICA
ZBORULUI AVIONULUI**

Îndrumar de laborator



**Editura Universitaria
Craiova, 2020**

Referenți științifici:
Prof.univ.dr. Constantin Rotaru
Conf.univ.dr. Florin Frunzuliță
CS I dr.habil.ing. Grigorie Teodor Lucian

Copyright © 2020 Editura Universitaria.
Toate drepturile sunt rezervate Editurii Universitaria

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

DINCĂ, LIVIU

Mecanica și dinamica zborului avionului : îndrumar de laborator / Liviu Dincă, Jenica-Ileana Corcău, Petre Negrea. - Craiova : Universitaria, 2020

Conține bibliografie

ISBN 978-606-14-1602-8

I. Corcău, Jenica Ileana

II. Negrea, Petre

62

© 2020 by Editura Universitaria

Această carte este protejată prin copyright. Reproducerea integrală sau parțială, multiplicarea prin orice mijloace și sub orice formă, cum ar fi xeroxarea, scanarea, transpunerea în format electronic sau audio, punerea la dispoziția publică, inclusiv prin internet sau prin rețelele de calculatoare, stocarea permanentă sau temporară pe dispozitive sau sisteme cu posibilitatea recuperării informațiilor, cu scop comercial sau gratuit, precum și alte fapte similare săvârșite fără permisiunea scrisă a deținătorului copyrightului reprezintă o încălcare a legislației cu privire la protecția proprietății intelectuale și se pedepsesc penal și/sau civil în conformitate cu legile în vigoare.

PREFAȚĂ

Acest îndrumar de laborator se adresează în principal studenților specializării *Echipamente și instalații de aviație*, care urmează cursul de *Mecanica și dinamica zborului avionului*, dar poate fi un instrument util atât pentru inginerii din domeniul aerospațial cât și celor din domenii conexe, care doresc să-și îmbogățească cunoștințele în problematica zborului avionului. Lucrările de laborator prezentate urmează firul logic al prezentării cursului, dorindu-se a fi un instrument de aprofundare a cunoștințelor dobândite în cadrul cursului academic.

Scopul principal al acestui îndrumar de laborator este aprofundarea noțiunilor de bază legate de mecanica și dinamica zborului avionului, fara a avea pretenția de originalitate sau prioritate asupra cunoștințelor prezentate. Subiectele prezentate pe parcursul lucrărilor de laborator se regăsesc în curricula multor universități și instituții de învățământ de aviație din întreaga lume, dar și din țară, cum ar fi Facultatea de Inginerie Aerospațială din cadrul Universității “Politehnica” București sau Academia Tehnică Militară Ferdinand I din București. Astfel, se poate afirma că, prin parcurgerea acestor lucrări de laborator, studenții vor dobândi o pregătire solidă, în concordanță cu nivelul de pregătire solicitat în prezent pe plan național și chiar mondial.

Noțiunile prezentate în cadrul cursului sunt reluate succint într-o prezentare teoretică în fiecare lucrare de laborator, după care, utilizând programele *XFLR5* și *JBLADE*, disponibile ca free software pe internet, se urmărește realizarea unor studii cantitative cât mai amănunțite a problematicii fiecărei lucrări de laborator. Sunt utilizate alături de programele menționate anterior și programe realizate în MATLAB de către autori, în scopul prelucrării datelor rezultate din *XFLR5* sau *JBLADE*, sau în scopul studiului unor evoluții ale avionului.

Așa cum se menționează și în documentația aferentă programelor *XFLR5* și *JBLADE*, nivelul de precizie al acestor studii nu este unul foarte ridicat, din această cauză rezultatele obținute cu aceste programe sau bazate pe aceste programe, nu se recomandă a fi utilizate în scopul proiectării unor aparate de zbor cu echipaj uman. Totuși, rezultatele obținute pe parcursul acestor lucrări de laborator reflectă foarte bine o multitudine de fenomene legate de zborul avionului, astfel încât se poate spune că pregătirea obținută prin parcurgerea

acestui ciclu de lucrări de laborator este una solidă, care permite studenților și celor interesați să abordeze în continuare cu succes probleme specifice zborului avionului.

Îndrumarul de laborator cuprinde un ciclu de 14 lucrări, care sunt interdependente și care abordează treptat noțiunile necesare unui inginer în domeniul aeronautic. În primele patru lucrări sunt studiate noțiuni privind aerodinamica aparatelor de zbor de tip avion, pornind de la studiul polarelor profilelor aerodinamice, până la studiul polarelor avionului în configurații de croazieră, de decolare și de aterizare. Cea de-a cincea lucrare de laborator este rezervată studiului aerodinamicii unei elici de avion, iar cea de-a șasea lucrare se referă la studiul performanțelor unui sistem de propulsie format din motor și elice. Urmează un ciclu de cinci lucrări de laborator în care se studiază performanțele avionului în câteva evoluții de bază, cum ar fi: zborul orizontal rectiliniu uniform, zborul în urcare, zborul planat, decolarea, aterizarea și virajul uniform. Ultimele trei lucrări de laborator sunt rezervate studiului stabilității avionului și răspunsului acestuia la comenzi. Rezultatele fiecărei lucrări de laborator sunt prezentate în principal sub formă grafică, utilizând atât *XFLR5* și *JBLADE*, cât și reprezentări grafice în *MATLAB*. Studenții sunt îndemnați să interpreteze aceste rezultate în profunzime și să tragă concluzii privind calitatea avionului studiat.

Desfășurarea per ansamblu a ciclului de laborator urmărește parcurgerea etapelor necesare proiectării unui *UAV* de tip avion. Se pornește cu alegerea profilelor aripi și ampenajelor și studiul acestora în prima lucrare de laborator și se ajunge la studiul performanțelor avionului și al stabilității zborului acestuia. Procesul efectiv de proiectare presupune reajustarea configurației avionului pentru a obține performanțele dorite. În esență, etapele parcurse sunt cele prezentate în acest îndrumar de laborator. Pe parcursul lucrărilor de laborator, datorită timpului limitat disponibil, nu se face reajustarea configurației în sensul optimizării acesteia, dar pe cei curioși îi îndemnăm să realizeze aceasta prin studiu individual, utilizând programele avute la dispoziție. Cunoștințele și experiența dobândite vor fi pe măsura eforturilor depuse.

Urăm mult succes studenților în parcurgerea acestor lucrări de laborator și îi asigurăm de tot sprijinul cadrelor didactice pe parcursul pregătirii profesionale.

AUTORII

FIȘIERELE MATLAB UTILIZATE ÎN CADRUL LUCRĂRILOR DE LABORATOR

Prezentăm aici fișierele MATLAB utilizate în cadrul lucrărilor de laborator. Cunoașterea acestor fișiere ajută la înțelegerea modului de funcționare a programelor din cadrul lucrărilor de laborator și înlănțuirea acestora. De asemenea, înțelegerea modului de înlănțuire a programelor ajută și la rezolvarea unor eventuale probleme care pot apare în rularea programelor MATLAB legate de fișierele de intrare-ieșire.

LUCRAREA NR. 1 STUDIUL PROFILELOR AERODINAMICE

Utilizează programul *proces_profil_asim.m* pentru prelucrarea fișierelor de coordonate ale profilului importate din bazele de date disponibile pe internet. Aranjeaza coordonatele profilului în ordinea necesara programului XFLR5. In fișierul preluat de pe https://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord_database.html trebuie șters antetul. Fișierul de intrare este precizat în instrucțiunea

```
load -ASCII 'D:\DZ2019\PROFILE_ELICI\HOR07X.dat';
```

fișierul de iesire este precizat în instrucțiunea .

```
save -ASCII 'D:\DZ2019\PROFILE_ELICI\HOR07Xproc.dat'  
HOR07Xproc;
```

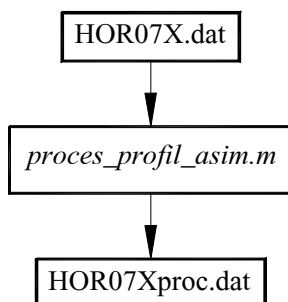


Figura 1 Interacțiunea fișierelor utilizate în lucrarea nr. 1

Pot fi schimbate aceste fisiere, dar trebuie avut în vedere că profilele utilizate în *XFLR5* vor trebui încărcate din noul fisier de ieșire al programului *proces_profil_asim.m*

Se mai salveaza fisierul proiectului *XFLR5* în care se vor efectua studiile pe parcursul lucrărilor de laborator, cu extensia *.xfl*

LUCRAREA NR. 2 STUDIUL PROFILELOR AERODINAMICE CU VOLEȚI BRACAȚI

Această lucrare de laborator nu utilizează programe MATLAB

LUCRAREA NR. 3 EFECTELE GEOMETRIEI ARIPII ASUPRA CALITĂȚILOR AERODINAMICE

Această lucrare de laborator nu utilizează programe MATLAB

LUCRAREA NR. 4 POLARELE AVIONULUI ÎN CONFIGURAȚIE DE CROAZIERĂ

Se folosește programul *geometrieavion.m* care are ca date de intrare citite de la tastatură: coarda la încastrare, semianvergura, săgeata la bordul de atac, raportul de trapezoidalitate, poziția pe axa *x* și pe axa *z* pentru aripa și

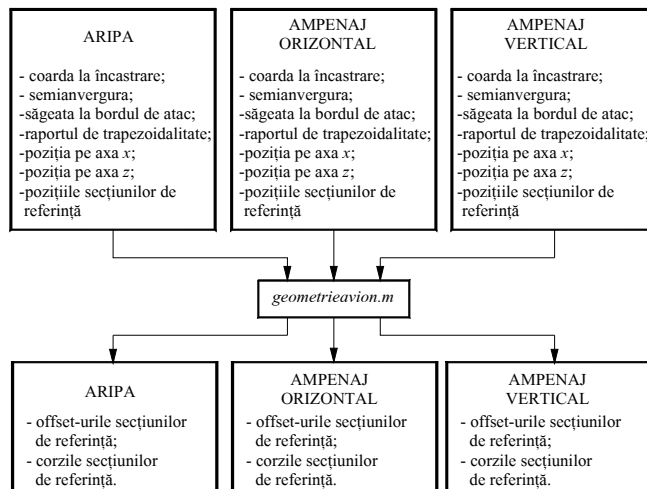


Figura 2 Datele de intrare și de ieșire ale programului MATLAB *geometrieavion.m*

ampenaje, pozițiile secțiunilor de referință pe anvergură pentru aripă și ampenaje.

Datele de ieșire sunt offset-ul și coarda pentru fiecare secțiune de referință a aripii și ampenajelor. Datele de ieșire sunt doar afișate în MATLAB, nu sunt salvate în fișiere.

Se exportă din *XFLR5* polarele avionului proiectat în fișiere *.txt*, după care se șterge antetul fiecărui fișier, pentru a putea fi utilizate mai departe de programele MATLAB. Fișierele sunt exportate sunt *cz_alfa.txt* , *Cmalfa.txt* , *Cz_Cx.txt*.

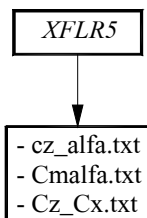


Figura 3 Fișiere exportate din XFLR5 la finalul lucrării a patra

LUCRAREA NR. 5 STUDIUL CARACTERISTICILOR UNEI ELICI

Se exportă din programul *JBLADE* curbele de putere și de tracțiune ale elicei - variația în raport cu turația - în fișierele *putere.txt* și *tractiune.txt* și se șterg antetele fișierelor pentru a putea fi utilizate ulterior de programe MATLAB.

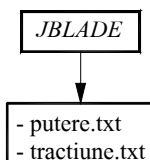


Figura 4 Fișiere exportate din JBLADE după simulările în funcție de turație

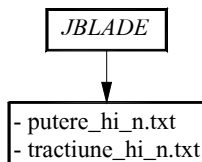


Figura 5 Fișiere exportate din JBLADE după simulările în funcție de pasul geometric

Se exportă din programul *JBLADE* curbele de putere și de tracțiune ale elicei - variația în raport cu pasul geometric - în fișierele *putere_hi_n.txt* și *tracțiune_hi_n.txt* și se șterg antetele fișierelor pentru a putea fi utilizate ulterior de programe MATLAB.

Se utilizează programul *elice.m* pentru a trasa variația coeficienților aerodinamici ai elicei în raport cu pasul aerodinamic, pentru elicea cu pas fix. Acesta are ca fișiere de intrare fișierele *putere.txt* și *tracțiune.txt* și salvează în fișierul *coef_elice.txt* coeficienții aerodinamici ai elicei, pe coloane, în ordinea: λ , C_p , C_t , etc.

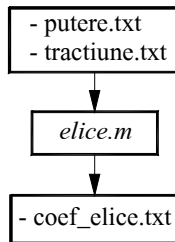


Figura 6 Fișierele utilizate de programul *elice.m* care determină coeficienții elicei

Se utilizează programul *elice_hi.m* pentru a trasa variația coeficienților aerodinamici ai elicei cu pas variabil în raport cu pasul aerodinamic. Acesta are ca fișiere de intrare fișierele *putere_hi_n.txt* și *tracțiune_hi_n.txt* și salvează în fișierele *coef_elice_hi_0.txt*, *coef_elice_hi_10.txt*, *coef_elice_hi_20.txt* și *coef_elice_hi_30.txt* coeficienții aerodinamici ai elicei pentru cele patru valori ale pasului geometric, în ordinea: λ , C_p , C_t , etc.

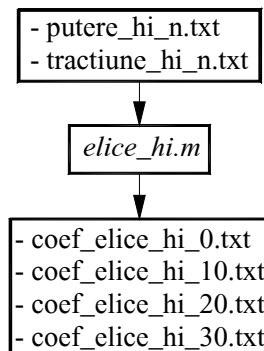


Figura 7 Fișierele utilizate de programul *elice_hi.m* care determină coeficienții elicei în funcție de pasul geometric al acesteia

LUCRAREA NR. 6 STUDIUL CARACTERISTICILOR DE PUTERE ȘI DE TRACȚIUNE ALE UNUI SISTEM DE PROPULSIE FORMAT DIN MOTOR ȘI ELICE

Se utilizează programul *caracteristica_motor.m* pentru a estima caracteristica de putere-turație a motorului. Utilizează o aproximare parabolică a caracteristicii, în funcție de turația nominală și puterea nominală. Se consideră o putere maximă de $1,15 \times P_{\text{nominal}}$ și caracteristica se trasează până la turația de $2,5 \times N_{\text{nominal}}$. Programul utilizează ca date de intrare introduse puterea nominală și turația nominală a motorului și salvează caracteristica de turație pe coloane, în ordinea turație, putere, în fișierul *caract_motor_e.txt*.

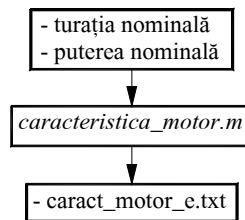


Figura 8 Fișierele utilizate de programul *caracteristica_motor.m* care determină caracteristica putere-turație a motorului

Se utilizează programul *motor_elice.m* pentru a vizualiza comportarea ansamblului motor-elice la altitudinea de zero metri în funcție de viteză. Acest program utilizează ca date de intrare raza elicei, care se introduce în program, caracteristica motorului încărcată din fișierul *caract_motor_e.txt* și caracteristicile adimensionalizate ale elicei încărcate din fișierul *coef_elice.txt*. Sunt trasate variațiile puterii motorului, puterii de propulsie, randamentului elicei și turației motorului în raport cu viteza. Dacă acestea sunt mulțumitoare se trece la pasul următor.

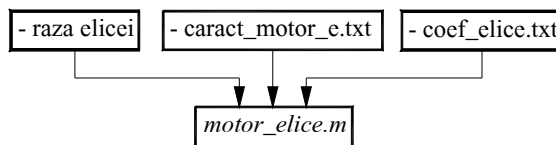


Figura 9 Datele de intrare utilizate de programul *motor_elice* pentru trasarea caracteristicii sistemului de propulsie la altitudine zero

Se utilizează programul *caract_sist_prop.m* pentru a trasa variația puterii motorului, puterii de propulsie, tracțiunii disponibile în raport cu viteza și altitudinea. Utilizează aceleași date de intrare ca și programul *motor_elice.m* dar folosește funcția *P_T_disp.m* derivată din programul *motor_elice.m* pentru a trasa variațiile acestor parametri în raport cu altitudinea. Se pot considera două tipuri de motorare, unul electric, pentru care caracteristica putere-turație nu variază cu altitudinea și unul termic care la altitudine zero are aceeași caracteristica, dar se consideră că puterea furnizată scade proporțional cu presiunea la altitudinea la care se face studiul. Este o aproximare, pentru studii mai corecte trebuie să se folosească datele reale ale motorului. Afișează variația parametrilor menționați cu altitudinea și salvează următoarele fișiere: *Vmotor.txt* conține vitezele la care s-au trasat caracteristicile sistemului de propulsie, *Hmotor.txt* conține altitudinile la care s-au trasat caracteristicile, *Pmotor.txt* conține matricea de variație a puterii motorului; *Pprop.txt* conține matricea de variație a puterii de propulsie; *Tdisp.txt* conține matricea de variație a tracțiunii disponibile.

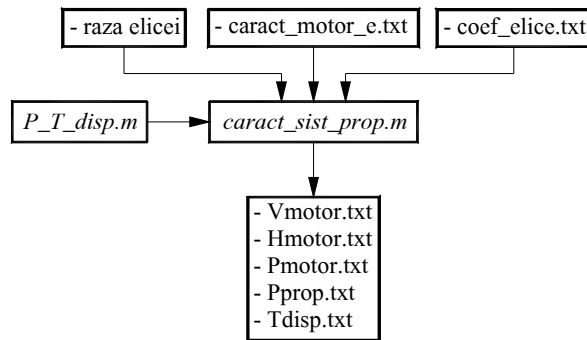


Figura 10 Datele de intrare și cele de ieșire ale programului *caract_sist_prop.m*

LUCRAREA NR. 7 ANVELOPA DE ZBOR ORIZONTAL A AVIONULUI

Trasează anvelopa de zbor și se face studiul zborului orizontal al avionului.

Se utilizează mai întâi programul *polare_avion.m* pentru a estima polarele până la incidența critică. XFLR5 nu dă polarele până la incidența critică. Fișierele de intrare sunt *cz_alfa.txt*, *Cm_alfa.txt* și *Cz_Cx.txt* și salvează polarele până peste incidența critică în fișierul *polaraavion.txt*, pe coloane, în ordinea: *alfaavion*, *Czavion*, *Cxavion*, *Cmavion*.