

CALCULUL STATIC AL UNEI ARIPI CU PROFIL DEFORMABIL

VELEȘCU Ioan-Alexandru ¹

Conducător științific: ș.l.dr.ing. BACIU Florin

REZUMAT: Principalul obiectiv al lucrării este validarea din punct de vedere static și îmbunătățirea modelului de aripă cu profil deformabil propus în lucrarea de licență "Studiul Teoretic și Realizarea Experimentală a Unei Aripă cu Profil Deformabil".

Aripa, complet asamblată, a fost reproiectată în SolidWorks pentru a putea efectua din punct de vedere teoretic studii statice pentru diferite configurații ale aripii.

În același timp, pe modelul fizic, în unele dintre zonele cele mai solicitate, au fost montate traductoare tensometrice rezistive pentru a măsura deformația specifică.

Prin compararea rezultatelor obținute în urma celor două metode se poate face o primă validare a modelului propus.

CUVINTE CHEIE: aripă avion, metoda elementelor finite, tensometrie electrică rezistivă

1 INTRODUCERE

Studiul aripilor deformabile, de tip „Morphing” este încă în faza de pionerat. Principalele probleme în dezvoltarea unor astfel de aripi o reprezintă capacitatea structurilor de a-și păstra integritatea în diferite condiții de zbor.

De exemplu o astfel de aripă a fost dezvoltată de Air Force Research Laboratory (AFRL) și compania FlexSys Inc. și presupune atașarea unei suprafețe de control, flaps-urile, de tip morphing (cu profil deformabil), unei aeronave Gulfstream III (Fig.1). Această suprafață de control a fost proiectată pentru a-și modifica forma în timpul zborului (Pia, 2015), iar unghiurile sunt cuprinse între -20 și 300 grade. Cu toate că suprafața „morphing” permite modificarea formei în timpul zborului, acest lucru nu a fost făcut în timpul celor 22 de zboruri inițiale, efectuate la Armstrong Flight Research Center, pentru a reduce riscurile producerii unor accidente, dar și pentru că în primă fază au dorit să strângă informațiile pas cu pas (Pia, 2015).

NASA afirmă că suprafețele de control de tip morphing dezvoltate de AFRL și FlexSys Inc. pot fi încorporate pe avioanele nou proiectate, dar și pe avioanele deja existente pe piață. Totodată această tehnologie permite inginerilor să dezvolte noi forme ale aripilor pentru a îmbunătăți în mod semnificativ eficiența aerodinamică și greutatea aripii (Pia, 2015).

¹ Specializarea: Siguranța și Integritatea Structurilor, Facultatea IMST, Universitatea "Politehnica" București
e-mail: velescuioan@gmail.com

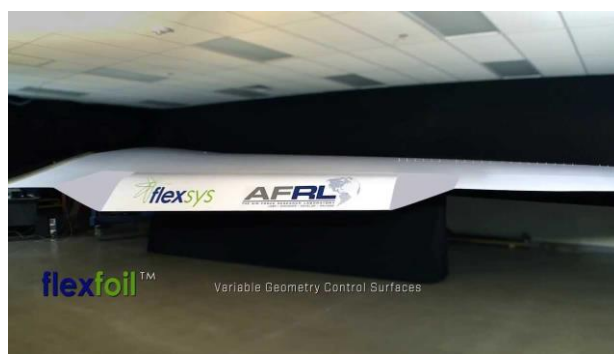


Fig. 1. Aripă cu profil deformabil dezvoltată de NASA, FlexSys și AFRL (Pia, 2015)

2 STADIUL ACTUAL

Pentru a putea realiza experimentul au fost aduse două îmbunătățiri modelului, iar sistemul de acționare bazat pe servouri a fost înlocuit cu unul bazat pe un șurub și două bușe prinse pe tronsoanele alăturate, pentru o mai bună fixare a aripii în poziția dorită.

Cele două îmbunătățiri constau în adăugarea unui lonjeron pe tronsonul mijlociu (tronsonul de care este făcută și prinderea aripii) între primele două nervuri, dar și realizarea unui înveliș pentru același tronson (a se vedea figurile 2 și 3).

Odată îmbunătățit modelul, a fost făcut primul experiment care a arătat o diferență de 20% între rezultatele analitice și cele obținute experimental, fiind primul pas spre validarea modelului.

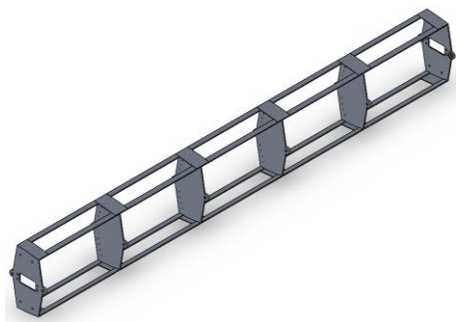


Fig. 2. Tronson median inițial

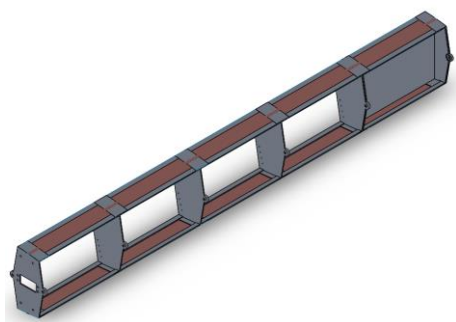


Fig. 3. Tronson median îmbunătățit

3 ÎMBUNĂȚIREA MODELULUI

Modelul inițial, care avea ca principal scop exemplificarea diferitelor configurații obținute prin simulare numerică, avea o dispunere pe verticală, dar, pentru realizarea studiului experimental, aripa a trebuit să fie fixată în poziție orizontală.

Odată cu fixarea aripii în poziție orizontală, s-a constatat că servo-mecanismele folosite pentru poziționarea tronsoanelor nu erau destul de puternice pentru a învinge greutatea acestora și pentru a da configurația dorită a aripii.

Având în vedere acest aspect au apărut două tipuri de soluții:

- Dublarea sau chiar triplarea numărului de servouri pentru fiecare tronson
- Folosirea unui alt sistem mecanic care să permită configurarea aripii.

Având în vedere factorul economic, am ales cea de-a doua variantă. Această variantă are dezavantajul ca. Obținerea configurației dorite se realizează manual, spre deosebire de varianta cu servouri, care se făcea cu ajutorul unui computer și o placă Arduino, ceea ce presupune un timp mai îndelungat. Având în vedere că această lucrare își propune studiul din punct de vedere static, acest timp

de configurare a aripii nu influențează în niciun mod rezultatele obținute.



Fig. 4. Sistemul de acționare al aripii

Din punct de vedere constructiv, varianta a doua a fost realizată cu ajutorul a două bușe, fiecare poziționată pe câte un tronson (tronsoanele fiind alăturate), iar prin aceste două bușe trece un șurub care prin acționarea sa permite apropierea sau departarea celor două bușe (a se vedea figura 4). Odată fixate pe tronson, aceste bușe au un singur grad de libertate, acest lucru dând voie ca axa mediana a șurubului să coincidă cu axa mediană a găurilor din bușă. Apropierea/departarea celor două bușe se face cu ajutorul unei mișcări de translație în lungul axei șurubului, această mișcare de translație fiind transformată într-o mișcare de rotație în punctul de prindere a celor două tronsoane, astfel fiind permisă realizarea diferitelor unghiuri între tronsoane.

Pe lângă problema cu sistemul de acționare, din cauza greutății proprii, după ce a fost prinsă aripa, aceasta s-a deformat. Privită din față, în mod normal, trebuie să aibă forma unui dreptunghi, din cauza greutății proprii aceasta s-a deformat într-un paralelogram (a se vedea figurile 5 și 6).

Pentru remedierea acestor inconveniente, tronsonul median a fost rigidizat prin aplicarea învelișului, dar și amplasarea unui lonjeron între primele două nervuri.



Fig. 5. Schemă aripă deformată

Vedere din față



Fig. 6. Schemă aripă rigidizată

Vedere din față

4 MATERIALELE DIN CARE AU FOST REALIZATE COMPONENTELE ARIPII

Pentru realizarea modelului s-au folosit două materiale. Nervurile, lisele și lonjeronul au fost fabricate dintr-un aliaj de Aluminiu 2024-T351, un material cu bune proprietăți de prelucrabilitate și finisare a suprafețelor, fiind totodată un material de înaltă rezistență (Velescu, 2015).

Aliajul de aluminiu 2024-T351 utilizat în domeniul aeronautic are în componența sa următoarele materiale (Tabelul 1):

Tabelul 1. Componența aliajului de aluminiu

Componentă	Procent (%)
Al	90,7 – 94,7
Cr	Max. 0,1
Cu	3,8 – 4,9
Fe	Max. 0,5
Mg	1,2 – 1,8
Mn	0,3 – 0,9
Si	Max. 0,5
Ti	Max. 0,15
Zn	Max. 0,25
Alte, fiecare	Max. 0,05
Alte, total	Max. 0,015

Învelișul a fost realizat dintr-un aliaj Cupru-Beriliu ASTM B194-01, deoarece acest material are elasticitatea necesară pentru a-și menține forma indiferent de poziția relativă pe care o au segmentele de nervură. Acest lucru este extraordinar de important având în vedere că în dezvoltarea ulterioară a modelului fizic, învelișul acestuia va fi făcut sub formă de solzi de pește. (Velescu, 2015)

Componentele Aliajului Cupru-Beriliu conform standardului ASTM B194-01, utilizat în industria aeronautică, sunt prezentate mai jos (vezi tabel 2):

Tabelul 2. Componența aliajului de Cupru - Beriliu

Componentă	Procent (%)
Be	1,8 – 2,0
Al	Max. 0,20
Si	Max. 0,20
Co+Ni	Max. 0,20
Co+Ni+Fe	Max. 0,60
Cu	Diferența

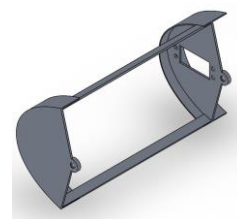
5 DIFERENȚE ÎNTRE ARIPIA REALĂ ȘI MODELUL DIN SOLIDWORKS

În cazul modelului fizic îmbinările dintre cele șase segmente au fost realizate cu ajutorul unor rulmenți, soluție aleasă pentru a reduce la minimum frecările, rezultând astfel o mai ușoară acționare a tronsoanelor.

Cele șase nervuri trebuie unite între ele. Pentru a realiza acest lucru s-a apelat la ajutorul unor lise, astfel încât tronsoanele de la bordul de fugă și cel de atac vor avea câte două lise între fiecare două nervuri (Fig.7-8).

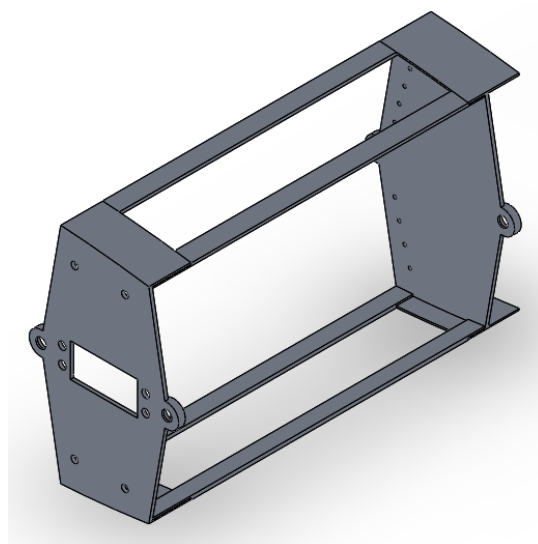


**Fig. 7. Îmbinări
Tronson bord de fugă**



**Fig. 8. Îmbinări
Tronson bord de atac**

Pentru celălalte patru tronsoane au fost folosite câte patru lise între fiecare dintre segmentele paralele (Fig.9). Îmbinările au fost realizate cu ajutorul niturilor în cazul modelului fizic.



**Fig. 9. Îmbinări
Tronsoane mediane**

Calculul static al unei aripi cu profil deformabil

Pentru a oferi o rigiditate sporită modelului am optat pentru învelirea acestuia cu tablă fabricată dintr-un aliaj Cupru-Beriliu.

Tronsoanele îmbrăcate în înveliș sunt cel de la bordul de atac, cel de la bordul de fugă și tronsonul median, cel de care se face printerea aripei de suport.

Tot pentru o rigiditate sporită s-a optat pentru adăugarea unui lonjeron între segmentul median al nervurii unu (nervura de care este prinsă aripa de suport) și segmentul median al nervurii doi.

Acest lonjeron, dar și învelișul pentru tronsonul median, au venit ca o îmbunătățire a modelului inițial.

Prinderea lonjeronului se face la rândul său cu ajutorul niturilor în timp ce prinderea învelișului de structura de rezistență a fost făcută cu ajutorul unui adeziv, dar și cu ajutorul niturilor pentru o mai bună fixare.

Spre deosebire de modelul fizic, pentru modelul realizat în SolidWorks îmbinările au fost considerate ca fiind solidare (bonded) pentru a simplifica modelul și pentru a permite calculatorului să ruleze studiul.

Se presupune ca această simplificare nu va da o eroare majoră între rezultatele simulării numerice și cele obținute experimental, dar o diferență cu certitudine va exista.

6 COMPARAȚIA ÎNTRE REZULTATELE SIMULĂRII NUMERICE A COMPORTAMENTULUI STATIC ȘI CELE EXPERIMENTALE

Pentru studiul experimental pe modelul fizic a fost necesară amplasarea a patru traductoare tensometrice rezistive (marci tensometrice), așa cum se vede în figura 10.

În figura 11 sunt prezentate cele două traductoare tensometrice de pe tronsonul median.

Pe bordul de atac a fost lipit un singur traductor tensometric, ce este prezentat în figura 12.

Un traductor a fost amplasat pe o componentă a aripii care nu se deformează (vezi figura 13) pentru a putea compensa efectul temperaturii. Celelalte trei mărci tensometrice au fost amplasate în zone în care se estimează ca deformațiile specifice au valori însemnate, după cum se vede în figura 10.

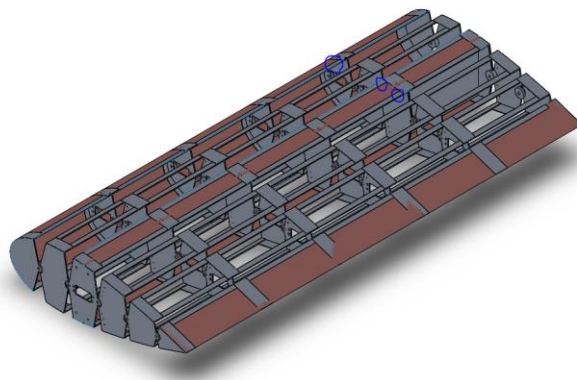


Fig. 10. Amplasare mărci tensometrice



Fig. 11. Mărci tensometrice pe tronsonul median

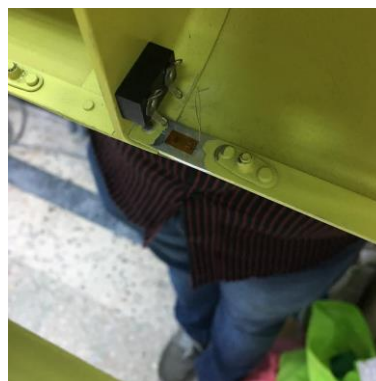


Fig. 12. Marcă tensometrică pe bordul de atac



Fig. 13. Marcă tensometrică de compensare a temperaturii

Modelul a fost solicitat static cu ajutorul unei greutateți de 5 kg după cum se vede în figura 14:

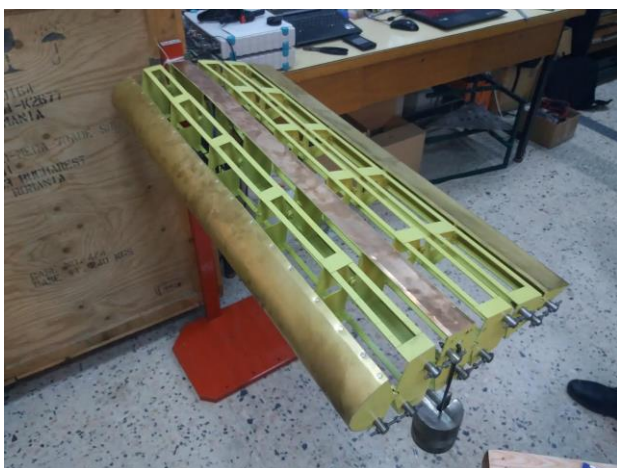


Fig. 14. Aripa solicitată static

Pentru o primă încercare unghiurile dintre tronsoane au fost reglate la 0° și s-au obținut următoarele valori ale deformațiilor specifice.

Tabelul 2. Deformațiile specifice

Deformație specifica $\mu\text{m}/\text{m}$	Bord de atac	Tronson median fata	Tronson Median spate
SolidWorks	-306,3	-1135,8	-1977,8
Experiment	-278,1	-1256,5	-1615,5
Abatere %	10,13	9,60	22,42

7 CONCLUZII

Având în vedere că diferența maximă între rezultatele simulării numerice și cele experimentale este de 22,42% în cazul tronsonului median spate și de aproximativ 10% în rest, modelul poate fi considerat fezabil din punct de vedere structural.

Această diferență cel mai probabil se datorează modului diferit în care sunt tratate îmbinările în cele două cazuri, în SolidWorks fiind considerate solidarizate (bonded), în timp ce pe modelul fizic există o varietate mare de îmbinări.

În continuare este necesar ca pe model să se facă mai multe determinări experimentale la diferite unghiuri între tronsoane, evaluate cu ajutorul metodei prin panouri, prin impunerea anumitor valori ale coeficientului de portanță și al coeficientului moment.

8 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Pia Bergqvist, 2015, NASA Concludes Successful Morphing Wing Tests, <http://www.flyingmag.com/news/nasa-concludes-successful-morphing-wing-tests>
- [2]. Veleșcu Ioan-Alexandru, 2015, Studiul Teoretic și Realizarea Experimentală a Unei Aripi cu Profil Deformabil