

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

“CONTRIBUȚII PRIVIND ANALIZA STRUCTURII UNEI DRONE DE TIP QUADCOPTER ÎN VEDEREA CREȘTERII PERFORMANȚELOR TEHNICO-TACTICE”

Autor: Cpt. drd. ing. **Andra TOFAN-NEGRU**

E-mail: andra.negru@mta.ro, tel.: +40724827223

Conducător de doctorat: Gl. bg. (r) prof. univ. dr. ing. **Cristian BARBU**

În teza de doctorat este prezentat stadiul actual al cunoașterii privind clasificarea, proiectarea, construcția și utilizarea dronelor, care reprezintă rezultatul unei documentări bibliografice. Sunt realizate clasificări ale dronelor, sunt detaliate etapele de proiectare, metodele de fabricație, limitările deținute de acestea, soluțiile propuse în dezvoltare pentru generațiile viitoare și procesele de construcție adoptate, inclusiv tipurile de materiale specifice utilizate în dezvoltarea structurală a dronelor. Sunt exemplificate aplicațiile dronelor, categorisirile utilizate de către NATO și UE în împărțirea UAV-urilor (vehiculelor aeriene fără pilot) militare pe clase și se prezintă o statistică care folosește datele despre toate atacurile confirmate realizate cu drone asupra ținutelor din Afganistan, Somalia, Yemen și Pakistan. Sunt discutate aspecte privind dezvoltarea, proliferarea și utilizarea dronelor militare înarmate și impactul acestora, cât și aspecte legate de reglementările aduse asupra înarmării lor. În urma analizei realizată asupra stadiului actual al cunoașterii asupra dronelor, a fost aleasă configurația dronei pentru studiu din teză, respectiv cea a MAV-ului cu aripă rotativă de tip quadcopter Tarot Iron Man 650, spre îmbunătățirea performanțelor tehnico-tactice.

În teză sunt prezentate aspecte generale despre materialele compozite avansate armate cu fibre și sunt analizate două tehnici de realizarea materialelor compozite cu armătura din țesătură biaxială de fibră de carbon (woven) de tip twill (țesătură diagonală) și matricea polimerică de tip rășină termorigidă epoxidică folosite în lucrare pentru realizarea unor laminatelor compozite. Laminatelor realizate prin tehnica manuală au presupus stivuirii ale laminelor cu orientări diferite în laminat, respectiv $0^{\circ}/90^{\circ}$, $-45^{\circ}/45^{\circ}$, $-60^{\circ}/30^{\circ}$, din care au fost realizate epruvetele supuse ulterior la testarea de tracțiune pentru trasarea diagramelor caracteristice. Laminatelor realizate prin tehnica VARTM (turnare prin transfer de rășină cu sac de vid) au fost utilizate la evaluarea suprafețelor prelucrate prin variația parametrilor de prelucrare și a sculelor așchietoare. Concluziile rezultate în urma analizei microscopice a suprafeței de tăiere și cele rezultate în urma analizei regimului de vibrații produs de fiecare setare a parametrilor de tăiere a condus la determinarea sculelor așchietoare și a parametrilor de prelucrare optimi. Cercetarea aceasta se încheie prin realizarea unei analize statice prin MEF a brațului de quadcopter realizat din materialele compozite analizate pentru obținerea solicitărilor longitudinale de pe fiecare lamină din fibre de carbon și a deformațiilor maxime ale tubului compozit datorate unei forțe aplicate în zona capătului liber, forță echivalentă unei tracțiuni necesare pentru realizarea zborului la punct fix.

În lucrare sunt descrise trei modele teoretice de analiză modală pentru vibrațiile transversale liniare neamortizate ale unei grinzi pe modelul Euler – Bernoulli, pentru care se obțin expresiile pentru frecvențele naturale neamortizate și formele modurilor. Sunt realizate analiza numerică și cea experimentală asupra determinării modurilor proprii de vibrații transversale și a frecvențelor corespunzătoare pentru grinda reprezentată de către tubul compozit al brațului de quadcopter.

Trei abordări teoretice ale răspunsului dinamic al brațului de dronă sunt analizate în teză. În prima abordare teoretică a fost studiat răspunsul dinamic al structurii brațului de quadcopter la vibrațiile forțate neamortizate de încovoiere în planul xOz datorate unei perturbații armonice, care a condus la o formă a funcției determinată pentru a fi folosită în cercetarea în care s-a analizat influența forței de presiune exercitate de către jetul de aer (produs de către palele elicei în timpul

funcționării motorului) asupra răspunsului dinamic al brațului de quadcopter. În cea de-a doua abordare teoretică a fost studiat răspunsul structurii la vibrațiile forțate neamortizate de încovoiere în planul xOz datorate unei perturbații armonice de tip condiție la limită. Astfel, pentru cazul dezechilibrului static al ansamblului rotor-elice (care reprezintă unul dintre cele trei cazuri de excitație posibilă produsă de către motor asupra structurii) s-a analizat influența forței de inerție a masei descentrate a ansamblului rotor-elice, care produce excitația structurii, obținându-se o formă a funcției deplasării. În cea de-a treia abordare teoretică, cea prin metoda diferențelor finite, au fost discretizate: ecuația diferențială a vibrațiilor transversale forțate, ecuația momentului de încovoiere din capătul liber al brațului și ecuația forței tăietoare din capătul liber al brațului cu diferențe finite, rezultând noile forme corespunzătoare ecuațiilor. Abordarea numerică a fost realizată cu scopul comparației rezultatelor obținute cu cele din abordarea teoretică prin metoda diferențelor finite.

Analizele experimentale au presupus testări pentru determinarea turației motorului, teste pentru obținerea forței de tracțiune generată de către ansamblul motor-elice pentru regimurile de funcționare ale motorului, testări pentru determinarea câmpurilor de viteză măsurate în diferite puncte ale aerului antrenat în mișcare de către ansamblul motor-elice, testări pentru obținerea frecvenței vibrațiilor forțate generate de către ansamblul motor-elice în timpul funcționării.

Rezultatele analizei numerice realizată cu scopul determinării proprietăților domeniului de curgere aerului în jurul brațului de quadcopter conform celui obținut în urma analizei experimentale sunt prezentate în lucrare. Influența jetului de aer, produs de către elice, asupra brațului de quadcopter a fost analizată, iar simulările numerice constând în determinarea variației în timp a distribuției forței de presiune pe brațul de quadcopter au fost realizate.

O analiză comparativă a rezultatelor seturilor de măsurători experimentale asupra vitezelor medii determinate cu anemometrul cu fir cald și a celor determinate numeric din simulările de curgere pentru cele 4 regimuri de funcționare ale motorului, realizând și o analiză a erorilor procentuale absolute medii sunt prezentate în teză.

În vederea îmbunătățirii performanțelor dronei, au fost proiectate adaptoare cu profil aerodinamic în secțiune pentru brațul de quadcopter. Nouă modelele de adaptoare au fost analizate prin simulări numerice în vederea determinării răspunsului dinamic al brațului de quadcopter în regimurile de funcționare ale motorului electric. Primul set de simulări a presupus studierea răspunsului dinamic al brațului considerând ca încărcări doar forțele de presiune dezvoltate de elice. Adaptorul montat pe braț care a oferit cele mici amplitudini ale vibrațiilor pentru toate regimurile de funcționare ale motorului a fost analizat în cel de-al doilea set de simulări, împreună cu brațul fără adaptor. Aceste simulări au presupus introducerea în analiza numerică atât a forțelor de presiune, cât și a forței de inerție datorată dezechilibrului static al ansamblului rotor-elice. Această forță de inerție reprezintă forța generată de către dezechilibrului static al ansamblului rotor-elice în timpul funcționării motorului. A fost prezentată realizarea modelului fizic al adaptorului NACA0024 prin tehnica de printare 3D și a fost testat în bancul de experimentare atât brațul fără adaptor, cât și cel cu adaptor.