



RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC

ETAPA 3 - 2022

Proiect: Model experimental de avion fără pilot din materiale compozite fabricate prin tehnologii aditive

Contract de cercetare NR. 413PED/2020

Codul proiectului: PN-III-P2-2.1-PED-2019-0739

Adresa web a proiectului: <http://cuav.unitbv.ro/>

Director de proiect: Șef lucr.dr.ing. Sebastian-Marian ZAHARIA

Echipa de cercetare: Dr. ing. George Răzvan BUICAN – Cercetător postdoctoral; Șef lucr.dr.ing. Lucia-Antoneta CHICOȘ – Cercetător; Conf.dr.ing. Camil-Traian-Sorin LANCEA – Cercetător; CS II dr.ing. Mihai-Alin POP – Cercetător; Dr.ing. Valentin-Marian STAMATE – Cercetător; Ing. Ionuț-Stelian PASCARIU – Tehnician.

Raportul științific și tehnic cuprinde următoarele capitole:

- 1. Rezumatul Etapei 3;**
- 2. Descrierea științifică și tehnică, cu punerea în evidență a rezultatelor etapei și a gradului de realizare a obiectivelor (rezultate și modul de diseminare a rezultatelor) – Etapa 3 - 2022**



1. Rezumatul Etapei 3 – 2022

Etapa 3/2022, denumită **Fabricarea aditivă a componentelor, asamblarea și testarea performanțelor modelului experimental UAV**, a proiectului **PN-III-P2-2.1-PED-2019-0739**, cu titlul “**Model experimental de avion fără pilot din materiale compozite fabricate prin tehnologii aditive**”, a fost compusă din nouă activități principale. **Activitățile etapei 3/2022 au fost realizate total (100%)**, iar rezultatele obținute sunt detaliate, în cele ce urmează, în conformitate cu planul de realizare a proiectului.

Activitatea 3.1, intitulată **Fabricarea aditivă a ampenajului vertical**, a prezentat fabricarea componentelor ampenajului vertical (derivă și direcție), prin procedeul de extrudare termoplastică, din structura avionului UAV, utilizând filament de fibră de sticlă, pornind de la modelele tridimensionale.

Activitatea 3.2, denumită **Fabricarea aditivă a trenului de aterizare**, a fost dedicată fabricării prin procedeul de extrudare termoplastică, din filament de fibră de sticlă/carbon, a trenului de aterizare a modelului experimental UAV.

În cadrul **Activității 3.3, Asamblarea componentelor fabricate prin tehnologii aditive**, s-a realizat asamblarea și lipirea tronsoanelor componentelor (aripa, fuzelaj, ampenaj vertical, ampenaj orizontal, flapsuri, eleroane, aripioare, tren de aterizare principal, bechie) modelului experimental UAV, rezultând astfel structura avionului.

În cadrul **Activității 3.4, intitulată Asamblarea componentelor electronice**, se prezintă principalele etape ale asamblării și verificării componentelor electronice (servomecanisme, cabluri de comandă, montarea modului termal, antene de recepție, acumulatori, regulator electronic de turaj, pilot automat) ale modelului experimental UAV.

Activitatea 3.5, denumită Asamblarea întregului model UAV fabricat din materiale compozite, prezintă etapele finale de asamblare ale avionului UAV, pornind de la asamblarea fuzelajului cu aripa și a ampenajului vertical cu ampenajul orizontal și până la rezultatul final care este reprezentat de modelul experimental UAV fabricat din materiale compozite.

În cadrul **Activității 3.6, intitulată Testarea la sol a modelului experimental UAV fabricat din materiale compozite**, au fost realizate primele teste ale funcționării, în condiții de exploatare, a componentelor electronice (motoare electrice, servomecanisme, modulul termal, conexiunea pilot automat – stația de la sol, conexiunea stația de la sol – avion, conexiunea stația de la sol – avion – modulul termal), a componentelor mobile ale modelului experimental UAV (flapsuri, eleroane, profundor, direcție) și în final s-au efectuat teste de rulare la sol a avionului.

Activitatea 3.7, intitulată Testarea la zbor a modelului experimental UAV fabricat din materiale compozite, a fost dedicată testării în zbor a modelului experimental UAV, fabricat din filamente compozite, prin procedeul de extrudare termoplastică.



Activitatea 3.8, denumită **Verificarea îndeplinirii misiunilor de zbor ale modelului experimental fabricat din materiale compozite**, a prezentat și validat misiunile de zbor ale modelului experimental UAV utilizând modulul termal FLIR TAU.

În cadrul activității **3.9**, **Diseminarea rezultatelor în jurnale/conferințe ISI/BDI**, au fost prezentate principalele rezultate publicate în jurnale ISI și conferințe internaționale, propunerea de brevet precum și diverse activități de diseminare la care membrii echipei au participat.

În tabelul 1 au fost sintetizate activitățile prevăzute, activitățile realizate, gradul de realizare și rezultatele proiectului experimental demonstrativ, corespunzătoare Etapei 3 de raportare - 2022, intitulată **Fabricarea aditivă a componentelor, asamblarea și testarea performanțelor modelului experimental UAV**.

Tabelul 1. Sinteza etapei 3/2022 - Fabricarea aditivă a componentelor, asamblarea și testarea performanțelor modelului experimental UAV

Activități prevăzute (Anexa Plan de realizare)	Activități realizate	Gradul de realizare	Rezultate
Act. 3.1 Fabricarea aditivă a ampenajului vertical.	Act. 3.1 Fabricarea aditivă a ampenajului vertical.	Total	Ampenaj orizontal
Act. 3.2 Fabricarea aditivă a trenului de aterizare.	Act. 3.2 Fabricarea aditivă a trenului de aterizare.	Total	Tren de aterizare
Act. 3.3 Asamblarea componentelor fabricate prin tehnologii aditive.	Act. 3.3 Asamblarea componentelor fabricate prin tehnologii aditive.	Total	Componente asamblate
Act. 3.4 Asamblarea componentelor electronice.	Act. 3.4 Asamblarea componentelor electronice.	Total	Componente electronice asamblate
Act. 3.5 Asamblarea întregului model UAV fabricat din materiale compozite.	Act. 3.5 Asamblarea întregului model UAV fabricat din materiale compozite.	Total	Modelul experimental demonstrativ asamblat
Act. 3.6 Testarea la sol a modelului experimental UAV fabricat din materiale compozite.	Act. 3.6 Testarea la sol a modelului experimental UAV fabricat din materiale compozite.	Total	Raport de testare la sol a modelului experimental
Act. 3.7 Testarea la zbor a modelului experimental UAV fabricat din materiale compozite.	Act. 3.7 Testarea la zbor a modelului experimental UAV fabricat din materiale compozite.	Total	Raport de testare în zbor a modelului experimental
Act. 3.8 Verificarea îndeplinirii misiunilor de zbor ale modelului experimental fabricat din materiale compozite.	Act. 3.8 Verificarea îndeplinirii misiunilor de zbor ale modelului experimental fabricat din materiale compozite.	Total	Raport de misiune
Act. 3.9 Diseminarea rezultatelor în jurnale/conferințe ISI/BDI.	Act. 3.9 Diseminarea rezultatelor în jurnale/conferințe ISI/BDI.	Total	- 3 articole în jurnale ISI - 2 articole în jurnale ISI (în evaluare) - 2 articole prezentate și publicate la conferințe internaționale - propunere de brevet

2. Descrierea ştiinţifică şi tehnică, cu punerea în evidenţă a rezultatelor etapei şi a gradului de realizare a obiectivelor Etapa 3 – 2022

În prezentul capitol sunt detaliate, din punct de vedere ştiinţific şi tehnic, activităţile realizate în cadrul Etapei 3 de raportare - 2022, denumită **Fabricarea aditivă a componentelor, asamblarea şi testarea performanţelor modelului experimental UAV.**

Activitatea 3.1 Fabricarea aditivă a ampenajului vertical

Fabricarea aditivă a ampenajului vertical, format din direcţie şi derivă, a fost realizată pornind de la modelul digital 3D (figura 1.a), utilizând filament din fibră de sticlă.

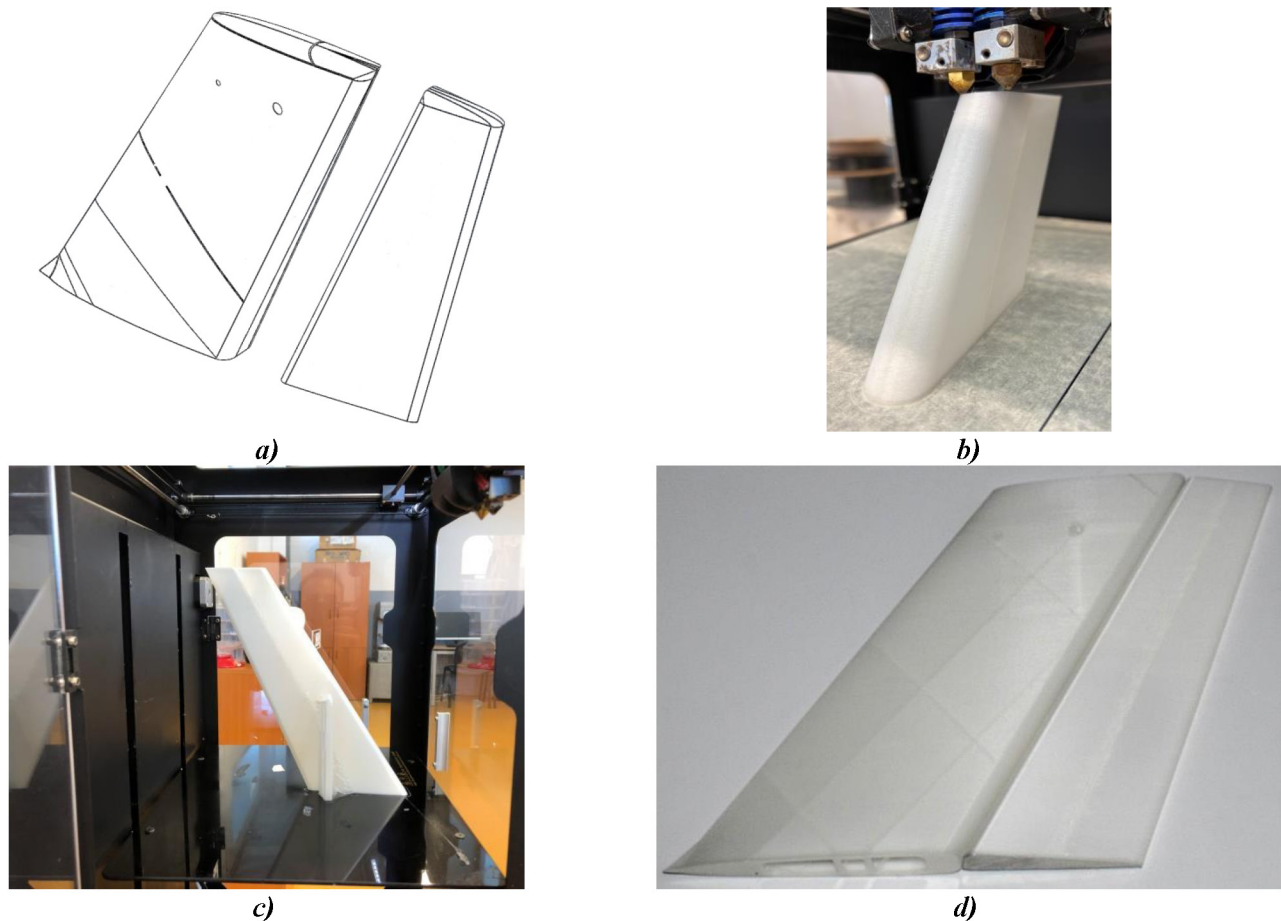


Fig. 1. Fabricarea aditivă a structurii ampenajului vertical: a) modelul 3D al ampenajului vertical; b) printarea 3D a derivei; c) printarea 3D a direcţiei; d) componentele ampenajului vertical (direcţia şi deriva) fabricate prin procedeul de extrudare termoplastică (printare 3D).

Cele două componente principale ale ampenajului vertical (deriva și direcția) au fost fabricate fără a fi divizate în tronsoane deoarece acestea nu depășesc volumul de lucru al imprimantei 3D Creat Bot DX-3D (figura 1.b și figura 1.c). Cele două componente (figura 1.d) au fost fabricate prin procedeul de extrudare termoplastică utilizând structuri suport necesare în zona pârghiilor de comandă, unde se vor atașa tijele de comandă pentru suprafața mobilă a ampenajului vertical (direcție). **Structura ampenajului vertical**, fabricat prin procedeul FDM, din fibră de sticlă, reprezintă **rezultatul** acestei activități.

Activitatea 3.2 Fabricarea aditivă a trenului de aterizare

Trenul de aterizare a modelului experimental UAV va face posibilă rularea acestuia pe sol în condiții de siguranță fără deteriorarea aeronavei în timpul rulajului, decolării și aterizării. Configurația de tren de aterizare aleasă pentru acest avion este de tren de aterizare triciclu cu bechie, neescamotabil. Modelul 3D al trenului de aterizare principal și dimensiunile acestuia au fost descrise în figura 2.a și, respectiv, în figura 2.b.

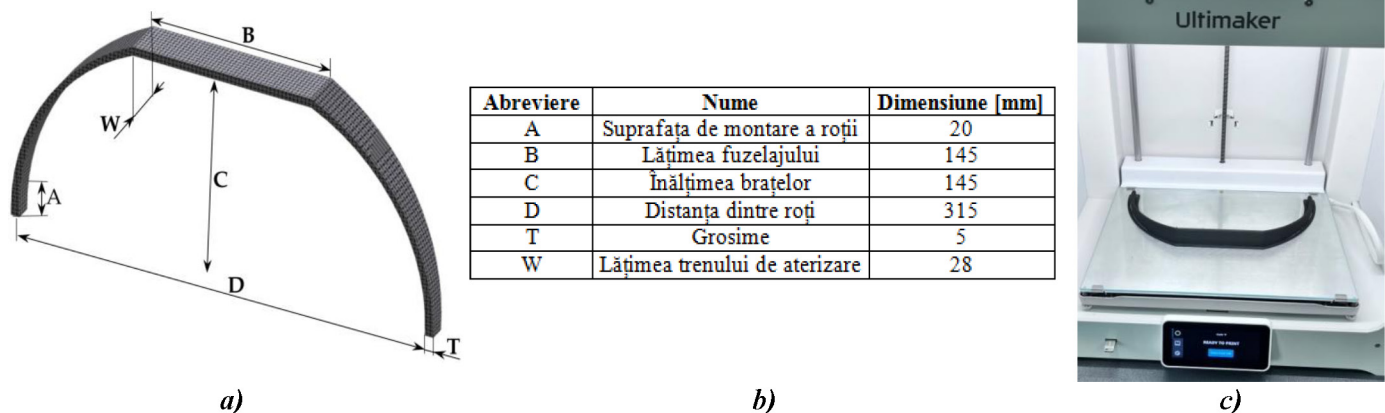


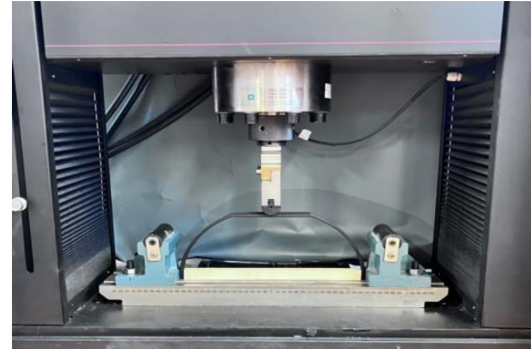
Fig. 2. Fabricarea aditivă a trenului de aterizare principal: a) modelul 3D al trenului principal; b) dimensiunile trenului principal; c) fabricarea aditivă a trenului principal.

Deoarece trenul principal de aterizare reprezintă un element vital al modelului experimental UAV, fabricarea aditivă și testarea acestuia reprezintă o activitate atent studiată de către echipa de cercetare a proiectului. Decolarea și aterizarea sunt cele mai periculoase etape ale zborului ceea ce impune o analiza structurală a trenului de aterizare. În acest sens, a fost analizată rezistența trenului de aterizare principal utilizând 4 tipuri de filamente (2 cu fibră de sticlă și 2 cu fibră de carbon) și un tren de aterizare fabricat utilizând procedeul de fabricare cu sac sub vid, din fibră de carbon (CFRP), presat într-o matriță lustruită. Cele patru tipuri de filamente utilizate la fabricarea aditivă a trenului de aterizare au fost: PLA GF, PP GF30, PET CF15, PAHT CF15. Pentru toate cele patru modele ale trenului de aterizare, care au fost printate 3D utilizând imprimanta 3D Ultimaker S5, s-a utilizat densitatea de umplere de 100%.

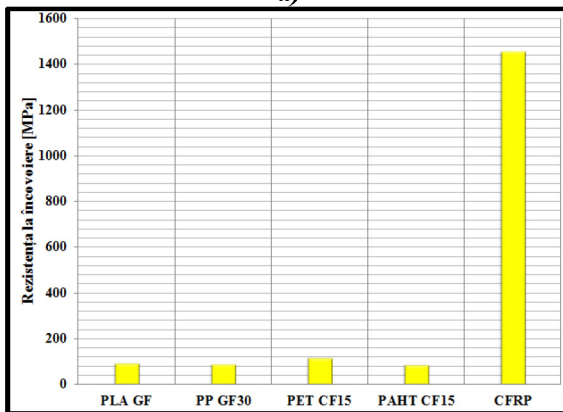
Cele 5 modele ale trenului de aterizare principal (figura 3.a) au fost testate la încovoiere în trei puncte (figura 3.b), cu scopul de a determina rezistența la încovoiere (figura 3.c) și rigiditatea (figura 3.d). Modelele de tren de aterizare au cedat în zona de aplicare a deplasării (figura 3.e). Validarea rezultatelor testelor experimentale a fost realizată utilizând metoda elementelor finite, prin intermediul sistemului software Ansys Workbench 2021.



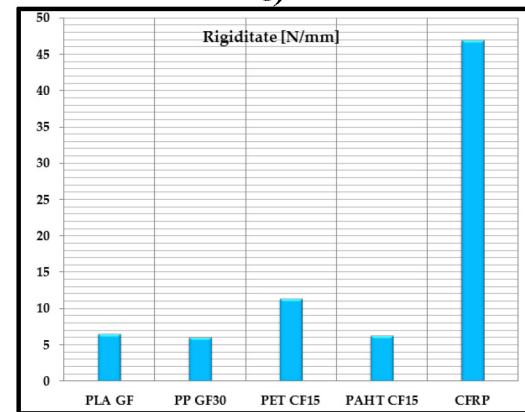
a)



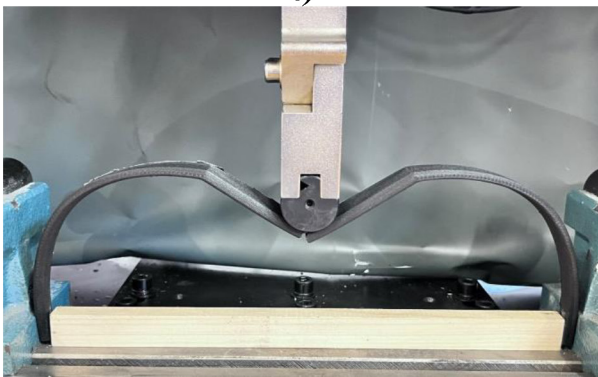
b)



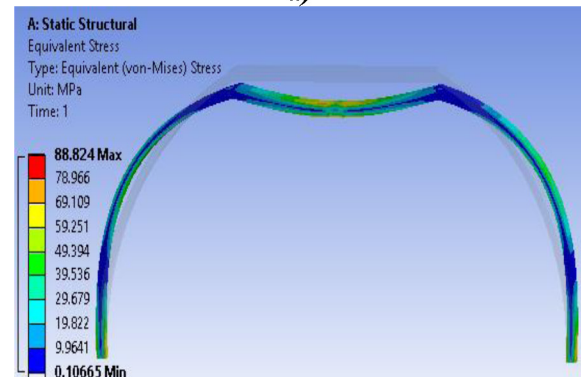
c)



d)



e)



f)

Fig. 3. Rezultatele testelor la încovoiere a modelelor de tren de aterizare: a) cele 5 modele ale trenului de aterizare; b) testarea la încovoiere în trei puncte; c) rezistența la încovoiere rezultată din testele experimentale; d) rezultatele testelor de rigiditate; e) cedarea trenului de aterizare sub acțiunea forței de încovoiere; f) distribuția tensiunilor echivalente.

În urma testelor experimentale și a simulărilor realizate prin metoda elementelor finite s-a desprins următoarea concluzie: utilizarea unui tren de aterizare fabricat prin procedeul de extrudare termoplastică, nu este potrivită deoarece pune în pericol integritatea structurală a întregului model experimental, în cadrul celor mai riscante etape (decolare și aterizare). Astfel, trenul principal care se va utiliza pentru modelul experimental este cel realizat din materiale compozite (CFRP) care prezintă performanțe net superioare

modelelor fabricate prin tehnologii aditive. Rezultatele acestui studiu au fost diseminate prin publicarea unui articol, cu detalii asupra fabricării și testării modelelor de tren de aterizare, în **jurnalul ISI Applied Sciences (Q2 – zona galbenă)**. **Structura trenului principal**, fabricat prin procedeul de extrudare termoplastică, din diferite filamente (fibră de sticlă și fibră de carbon), reprezintă **rezultatul** acestei activități.

Activitatea 3.3 Asamblarea componentelor fabricate prin tehnologii aditive

Activitatea 3.3 și activitatea 3.4, realizate în cadrul proiectului, au fost efectuate simultan deoarece asamblarea componentelor modelului experimental a necesitat și conexiunea echipamentelor electronice și mecanice. Asamblarea modelului experimental UAV s-a executat pe subansamble: ampenaje, fuzelaj, aripă și tren de aterizare. Asamblarea componentelor avionului experimental, printate 3D, s-a realizat prin lipire cu adeziv cianoacrilat de densitate medie utilizat pentru lipirea materialelor plastice/compozite.

Prima etapă a fost constituită din asamblarea ampenajelor (vertical și orizontal). Etapa de asamblare a ampenajului orizontal a debutat cu poziționarea tijelor din fibră de carbon în lonjeronul central și în lonjeronul de la bordul de atac, urmată de lipirea celor 4 tronsoane ale stabilizatorului. Ultima etapă a asamblării ampenajelor a fost de a asambla, prin lipire, tronsonul 6 al fuzelajului (figura 4.a) de partea fixă a ampenajului vertical (deriva). Asamblarea celor șase tronsoane ale fuzelajului a pornit din partea posterioară, prin lipirea stabilizatorului de derivă (figura 4.a).

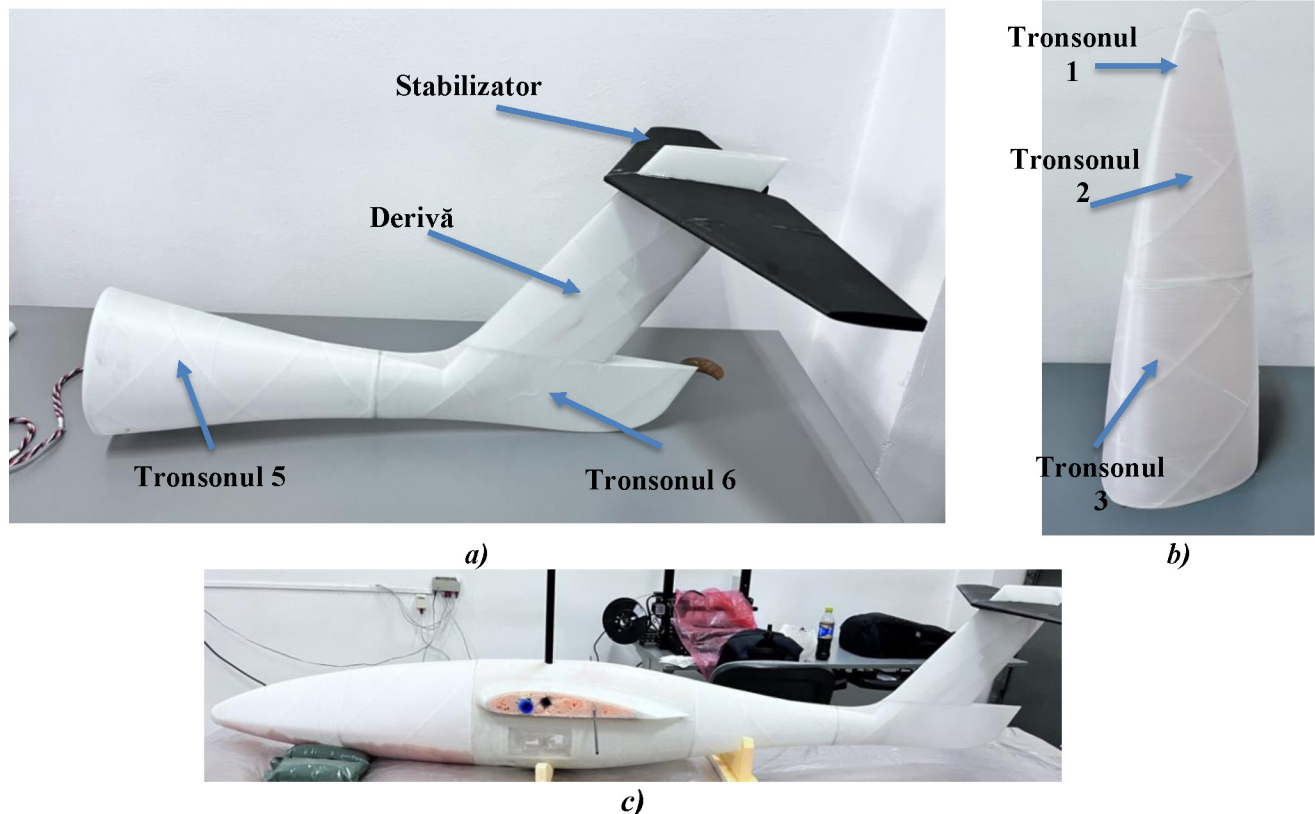


Fig. 4. Asamblarea tronsoanelor fuzelajului: a) asamblarea inițială a fuzelajului – derivei - stabilizatorului; b) asamblarea tronsoanelor frontale; c) fuzelajul asamblat.



O etapă intermediară în asamblarea fuzelajului o reprezintă lipirea cu adeziv cianoacrilat a tronsoanelor din partea frontală a modelului experimental (figura 4.b). Asamblarea finală a fuzelajului s-a realizat prin asamblarea celor trei structuri, anterior asamblate: structura frontală – structura centrală – structura posterioară, rezultând forma finală a fuzelajului (figura 4.c).

Pentru asamblarea aripii s-a avut în vedere o lipire a tronsoanelor astfel încât ultimele tronsoane lipite (figura 5.a) să ne permită poziționarea suprafețelor de comandă (flapsuri și eleroane) pe tije de carbon (care au diametrul de 3 mm). Pentru o aliniere cât mai adecvată a structurii aripii, lipirea tronsoanelor de aripă s-a realizat cu tija de carbon poziționată în suprafața cilindrică a lonjeronului X (figura 5.b).



Fig. 5. Asamblarea tronsoanelor aripii: a) asamblarea tronsoanelor 3-4-5; b) asamblarea tronsoanelor 1-2-3-4-5.

După etapa de lipire a tronsoanelor componentelor principale (ampenaje, fuzelaj, aripă) au urmat etapele de șlefuire a zonelor de lipire și de vopsire a componentelor asamblate. **Structura componentelor principale asamblate (ampenaj orizontal, ampenaj vertical, fuzelaj, aripă dreapta și aripă stânga)**, fabricate prin procedeul de extrudare termoplastică, reprezintă **rezultatul** acestei activități.

Activitatea 3.4 Asamblarea componentelor electronice

În cadrul acestei activități s-au realizat conectarea componentelor electronice și mecanice (servomecanisme, motoare electrice, regulatorul de turație – ESC, acumulatorii) necesare zborului modelului experimental de avion. Principalele componente electronice au fost descrise în figura 6.

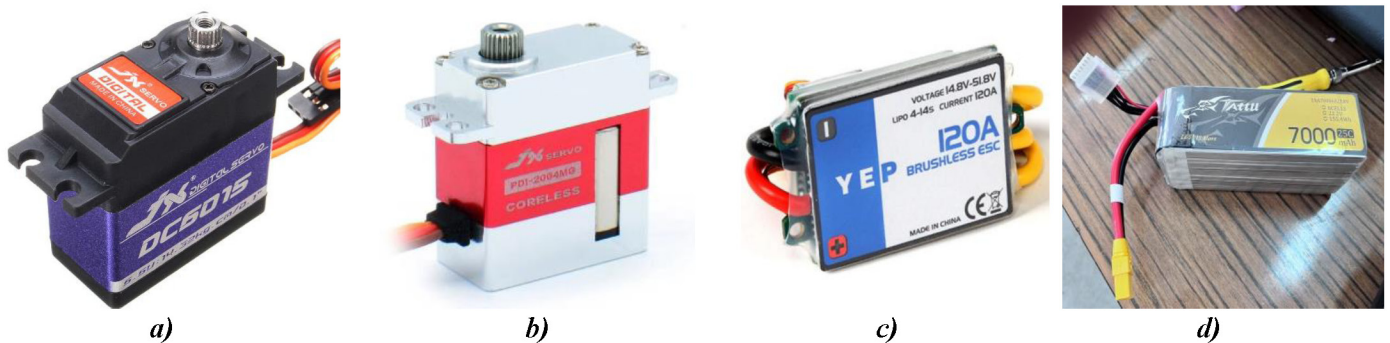


Fig. 6. Componente electronice utilizate la asamblarea avionului: a) servomecanismul STD DC-6015 utilizat la comanda flapsurilor și eleroanelor; b) servomecanismul MINI PDI-2504 utilizat la comanda profundorului și direcției; c) regulatorul de turații YEP; d) acumulator LiPo TATTU.

Pentru comanda profundorului au fost utilizate 2 servomecanisme (figura 7.a), plasate între cele 2 tronsoane. La fiecare conectare sau montare a unui servomecanism s-a realizat conexiunea cablurilor și verificarea corectă a brațării profundorului. Pentru ampenajul vertical s-a folosit un singur servomecanism, plasat pe suprafața laterală a derivei (figura 7.b), în poziția mediană. Și în acest caz au fost conectate cablurile necesare și a fost testată funcționarea corectă a direcției. Transmiterea mișcării de la servomecanisme la profundor și direcție s-a realizat prin cuplajul format din furci conectate cu ajutorul unor tije filetate.

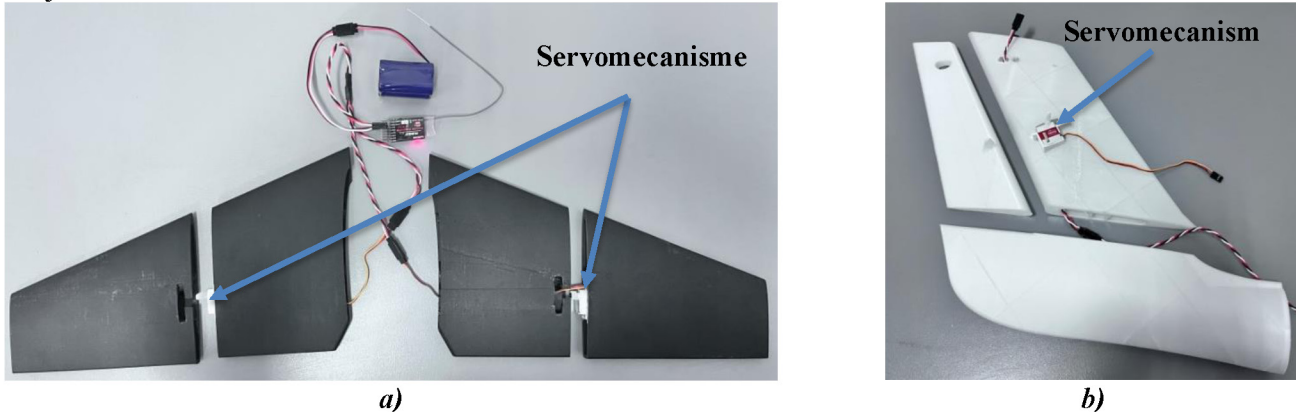


Fig. 7. Asamblarea componentelor electronice: a) asamblarea și testarea servomecanismelor aferente ampenajului orizontal; b) asamblarea și testarea servomecanismelor aferente ampenajului vertical.

În interiorul tronsonului numărul 2 și a tronsonului numărul 5 ale aripii au fost montate câte o piesă (figura 8.a), printată 3D, pentru a facilita poziționarea servomecanismelor (figura 8.b).

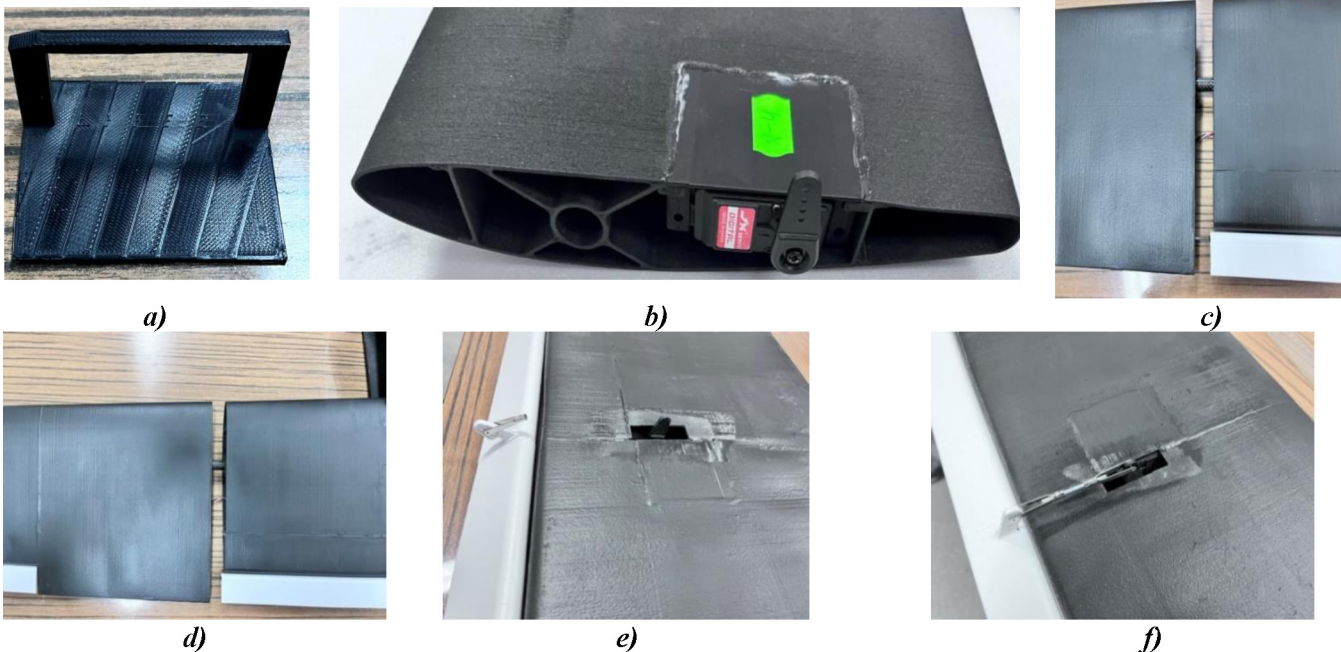


Fig. 8. Procesul de asamblare a componentelor electronice ale aripii: a) piesă utilizată la fixarea servomecanismelor; b) poziționarea servomecanismului eleronului; c) poziționarea eleroanelor; d) poziționarea flapsurilor; e) lipirea tronsoanelor aripii; f) conexiunea dintre pârghia servomecanismului și pârghia flapsului.

Pentru asamblarea aripii, în interiorul tronsoanelor au fost montate 4 servomecanisme, 2 servomecanisme ce acționează eleroanele și 2 servomecanisme care acționează flapsurile. După poziționarea flapsurilor și eleroanelor pe tijele de carbon de 3 mm, pe care acestea se rotesc, a urmat lipirea tronsoanelor aripii (figura 8.c și figura 8.d). Conectarea servomecanismelor eleroanelor și flapsurilor s-a realizat cu ajutorul tijelor de comandă ce leagă pârghia servomecanismului și pârghia componentei (figura 8.e și figura 8.f). După poziționarea celor 4 pârghii, tijele filetate au fost tăiate astfel încât componentele să prezinte o bracare adecvată, în funcție de specificul funcțiilor pe care le îndeplinesc.

Motoarele electrice, fabricate prin procedeul SLS, au fost asamblate cu 4 șuruburi fixate cu piulițe, de partea frontală a suportului motor, prin intermediul a două plăci de carbon de 2,5 mm (figura 9.a). Aceste plăci de carbon au rolul de a rigidiza suprafața frontală a suportului motor, care reprezintă una dintre cele mai solicitate zone ale avionului. Pentru asamblarea finală a suportului motor s-au printat 3D, din filament cu fibră de carbon, capacele laterale cu decupări de acces (figura 9.b) la conexiunea motor – regulator de turații. Următoarea etapă constă în lipirea cu cositor a conectorilor pentru regulatorul de turații (figura 9.c), care se vor lega la rândul lor la conectorii motorului electric (figura 9.d). O etapă importantă și complexă a fost aceea de stabilire a setărilor regulatorului de turații prin intermediul unei plăci de programare (figura 9.e). Principalii parametri stabiliți pentru regulatorul de turații au fost: numărul de celule ale bateriei, modul avion, dar și parametri specifici motorului și comenzilor de zbor. După stabilirea parametrilor regulatorului de turații, a urmat ultima etapă de măsurare a vitezei de rotație a celor 2 motoare electrice, fabricate prin procedeul SLS, cu ajutorul tahometrului, rezultând valori egale la regimuri variate.

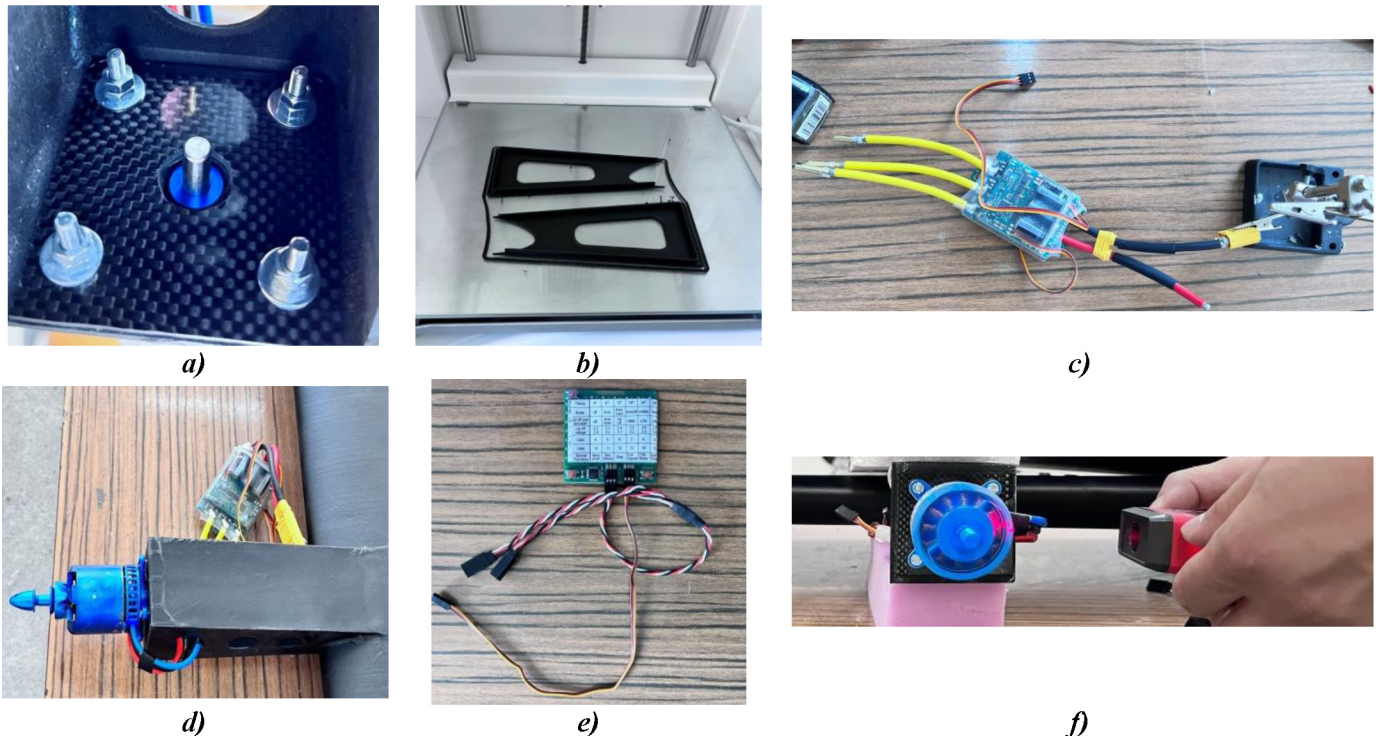


Fig. 9. Asamblarea motoarelor electrice: a) asamblarea plăcilor de carbon de suportul motor; b) printarea 3D a capacele laterale ale suportului motor; c) lipirea conectorilor regulatorului de turații; d) conectarea regulatorului de turații la motorul electric; e) placa de programare a regulatorului de turații; f) verificarea vitezei de rotație a motoarelor electrice.

Sistemul de management al zborului modelului experimental UAV este compus din 3 subsisteme principale (figura 10.a): stația de control la sol, conexiunea de comunicații și modelul UAV propriu-zis echipat cu receptoare și pilot automat. Cubul Pixhawk 2.1 Orange (figura 10.b) permite zborul pentru diverse tipuri de aeronave (elicopter, multirotor, avion) controlate de la distanță, ceea ce îl transformă într-o platformă UAV profesională. Combinația dintre ansamblul transmițător și antenă (SMBTS + BQ89) se numește antenă inteligentă (figura 10.c și figura 10.d).

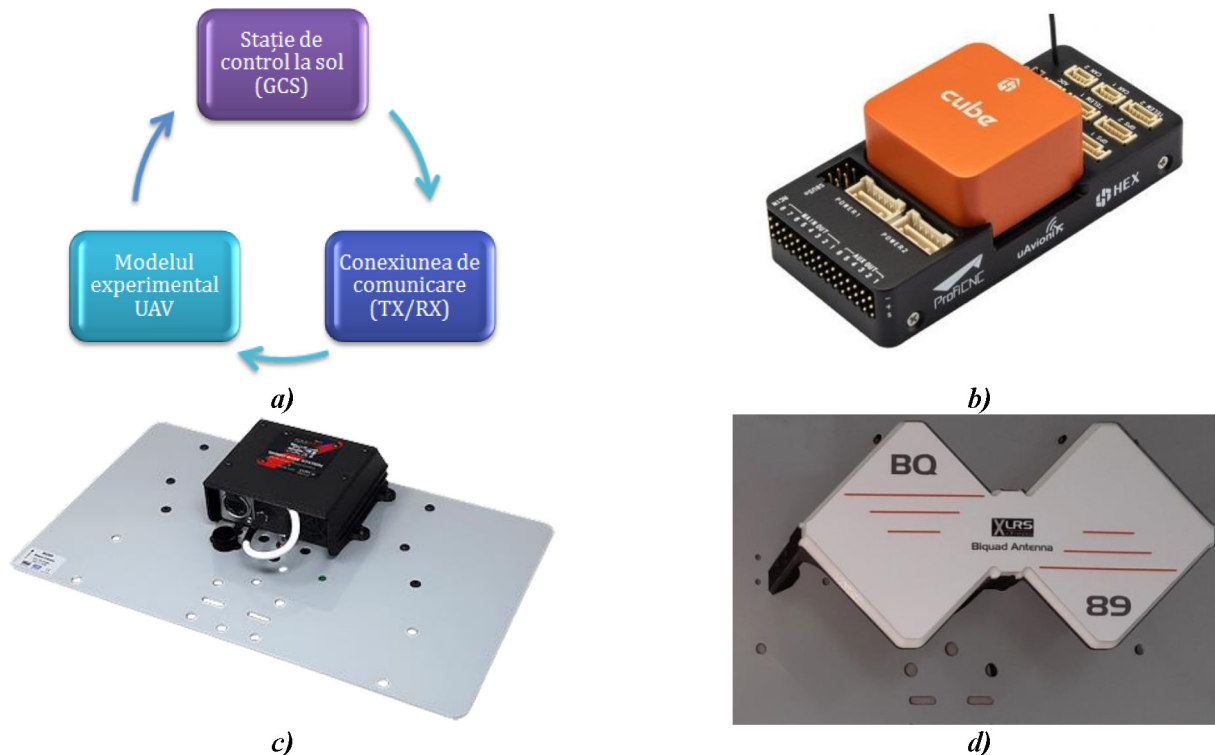


Fig. 10. Sistemul de management al zborului modelului experimental UAV: a) sistemul de control a modelului experimental UAV; b) Pixhawk 2.1 Cube Orange; c) vederea din spate a antenelor inteligente SMBTS (Smart Base Station); d) vederea din față a antenelor inteligente SMBTS.

Stația de control de la sol GCSD4RSV2 (Ground Control Station) reprezintă un sistem central de control de la sol care oferă posibilitatea de control uman asupra modelului experimental de avion fără pilot. Această stație profesională de control la sol portabilă este echipată cu o antenă inteligentă (distanță de control de 150 km), control radio, telemetrie (Mavlink și link de date transparent), criptare AES 128, ecran video IPS Led 10 " Full HD luminozitate ridicată vizibilă cu lumina soarelui, receptor video 5.8 Ghz, PC încorporat cu Windows 10 și ecran tactil. În ceea ce privește transmisia de date telemetrice de la modelul experimental UAV către stația de control de la sol GCS (figura 11) aceasta se realizează prin intermediul unui modem radio montat pe modelul UAV. Prin acest modem, folosind protocolul MAVLINK, un protocol open source, datele sunt trimise către sol. De la sol informația este preluată pe PC prin intermediul interfeței USB sau bluetooth de la stația de control GCSD4-V2. Această tehnologie este compatibilă cu majoritatea controlerelor entry level precum sistemul RXLRS, autopilotul Pixhawk sau APM. La nivelul software-ului totul este implementat pe sistemul software Mission Planner unde se stabilesc parametrii de decolare și aterizare precum și rutele pe care trebuie să le urmeze modelul experimental UAV.

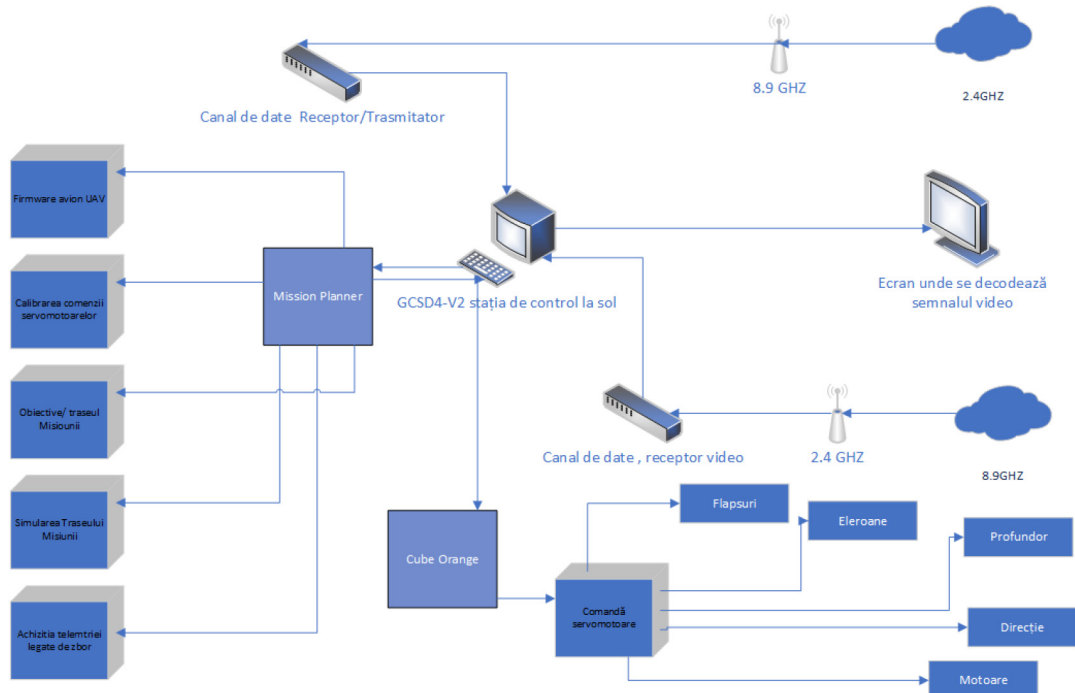
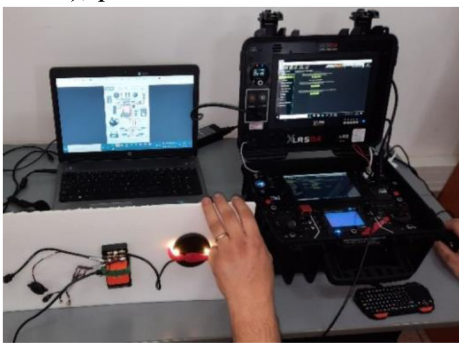


Fig. 11. Conexiunea stației de comandă de la sol cu modelul UAV

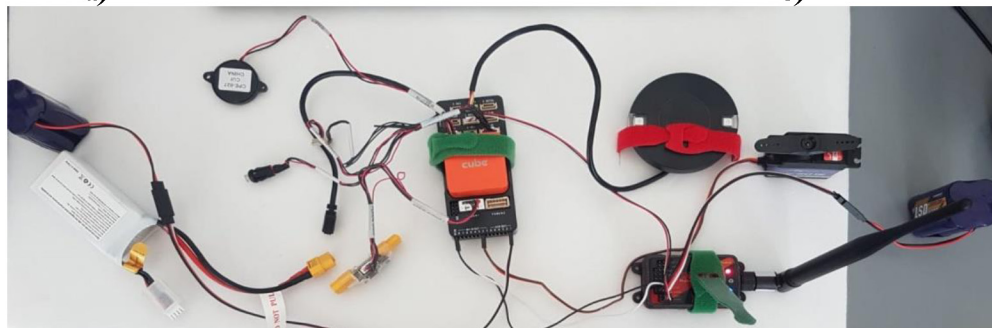
Cubul Orange deține 3 accelerometre (câte unul pentru fiecare axă a avionului experimental demonstrativ), pentru care este necesară calibrarea (figura 12).



a)



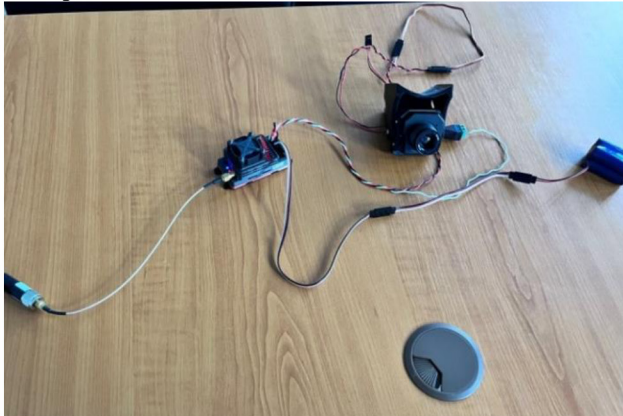
b)



c)

Fig. 12. Calibrarea și testarea controlerului de zbor: a) Calibrarea accelerometrului cu vârful în jos; b) calibrarea accelerometrului în partea stângă; c) calibrarea la nivel orizontal.

Etapele sunt simple, trebuie să înclinăm Cube pro și Here 3 montate pe o placă plană pe fiecare axă (figura 12). Direcțiile de calibrare sunt: poziționarea la nivel orizontal, poziționarea pe partea stângă și poziționarea cu vârful în jos. Mai multe detalii privind modul de calibrare și utilizarea echipamentelor au fost expuse în lucrarea “**Development and implementation of an automated pilot system for a fixed-wing twin-engine airplane UAV**”, prezentată și publicată în volumul conferinței internaționale AFASES 2022. De asemenea, în cadrul acestei etape au fost efectuate teste privind modul de funcționare al modulului termal FLIR TAU, conectat la stația de control de la sol (figura 13). Rezultatul acestei activități este reprezentat de **sistemele electronice asamblate ale modelului experimental demonstrativ UAV**.



a)

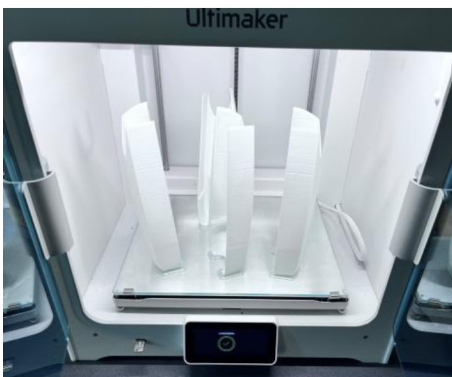


b)

Fig. 13. Testarea modulului termal: a) conectarea modulului termal – antena smart – baterie – receptor stație de control de la sol ; b) imaginea transmisă de modulul termal.

Activitatea 3.5. Asamblarea întregului model UAV fabricat din materiale compozite

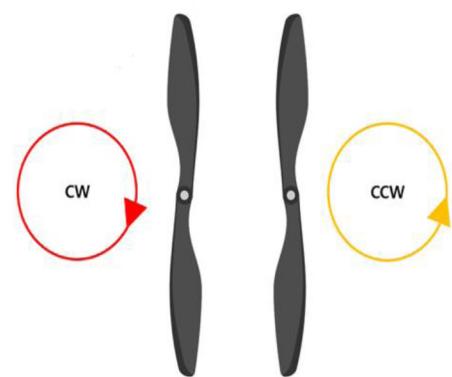
Activitatea de asamblare finală a modelului UAV a debutat cu printarea 3D (figura 14.a), din fibră de sticlă, a celor două carenaje care protejează motoarele și sistemul ESC, dar totodată prezintă și forme aerodinamice cât mai eficiente.



a)



b)



c)

Fig. 14. Asamblarea finală a motoarelor: a) printarea 3D a carenajelor motoarelor; b) asamblarea carenajelor; c) stabilirea modulului de rotație a elicelor (vedere din față a avionului UAV).

Înainte de lipirea carenajelor (figura 14.b), au fost montate elicele (16x8 inch) prevăzute cu armatura din fibra de carbon, având profilul subțire, greutate redusă și un randament ridicat. Încă de la stabilirea funcționării motoarelor electrice, prin programarea ESC-ului, s-a utilizat modul contrarotativ al acestora, și implicit al elicelor. Elicele utilizate au prezentat modul de funcționare conform figurii 14.a, astfel elicea din stânga se rotește în sensul acelor de ceasornic (clockwise - CW), iar elicea din dreapta în direcția opusă sensului acelor de ceasornic (counterclockwise - CCW).

În etapa de asamblare a modelului experimental UAV au fost fabricate prin procedeul de extrudare termoplasică capetele pentru ampenajul orizontal (figura 15.a) și pentru ampenajul vertical. Aceste componente au fost montate pe tijele de carbon (figura 15.b) și apoi lipite de suprafața fixă (stabilizator și derivă) utilizând adeziv cianoacrilat. După asamblarea capetelor ampenajului vertical și ale ampenajului orizontal au fost stabilite și testate pozițiile de bracare (figura 15.c) ale suprafețelor de comandă (profundor și direcție). Pentru asamblarea trenului de aterizare de coadă (bechie) a fost printată 3D o piesă care face conexiunea între coada modelului experimental și ansamblul roată spate (figura 15.d). Sistemul roată spate este compus dintr-o tijă metalică, 2 arcuri și o roată de cauciuc cu diametru de 8 cm. Cele 2 arcuri metalice au fost montate cu scopul de a atenua șocurile din etapele de decolare – aterizare ale modelului experimental UAV. Montarea trenului de aterizare principal pe fuzelajul modelului experimental UAV s-a realizat prin asamblarea șurub-piuliță, zona centrală a fost prevăzută cu patru șuruburi (figura 15.e). Pentru amortizarea șocurilor, în special din timpul decolării – aterizării, trenul principal a fost prevăzut cu un suport cu amortizor hidraulic și de o roată de cauciuc cu diametru de 13 cm. Acest amortizor hidraulic a fost conectat cu trenul de aterizare prin intermediul unei piese metalice, fixată cu patru șuruburi M4 (figura 15.f).

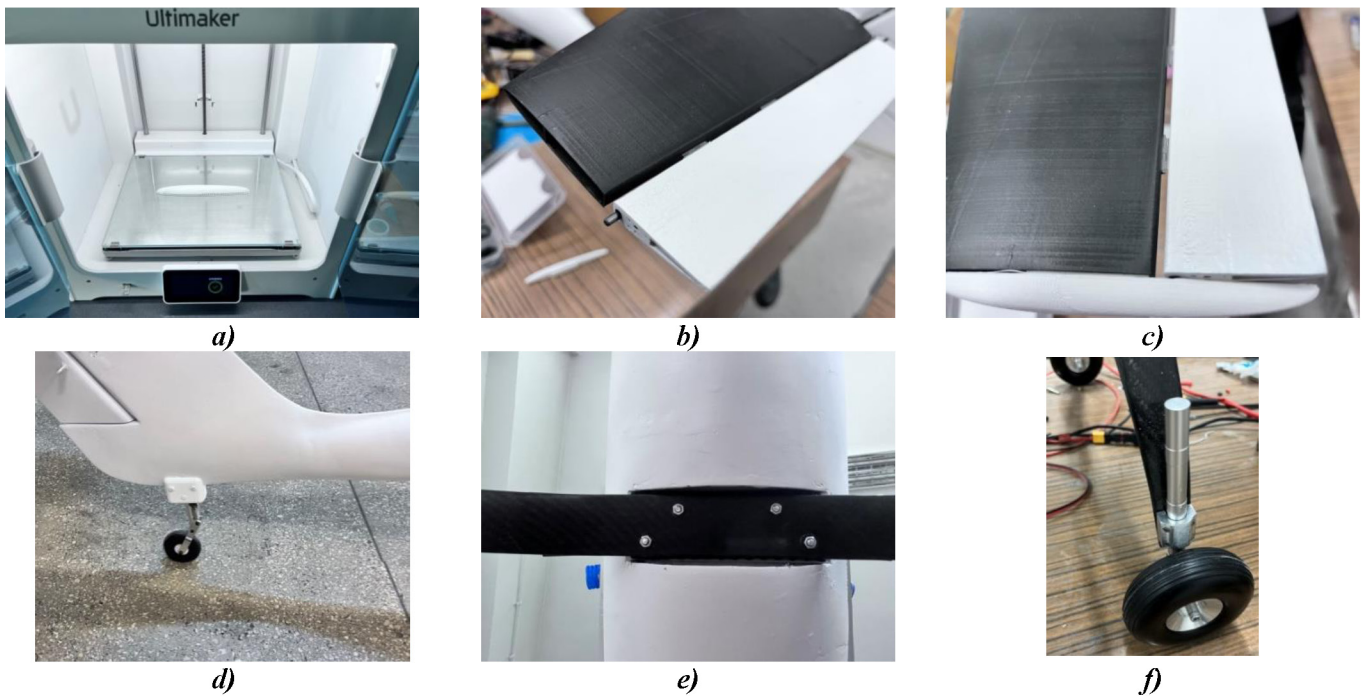


Fig. 15. Asamblarea modelului experimental UAV: a) printarea 3D a capătului corespunzător derivei; b) ansamblul stabilizator – profundor – tija de carbon; c) lipirea capetelor ampenajului orizontal; d) asamblarea trenului de aterizare spate; e) fixarea trenului de aterizare principal; f) asamblarea amortizorului hidraulic de trenul principal de aterizare și de roata de cauciuc.



Pentru fixarea modului termal, FLIR TAU, pe modelul experimental UAV a fost proiectat și fabricat prin procedeul de extrudare termoplastică un suport, solidarizat la rândul lui de fuzelaj prin intermediul a două șuruburi (figura 16.a). După verificarea servomotoarelor poziționate pe aripă pentru suprafețele de comandă (eleroane și flapsuri), a fost verificată asamblarea semiplanului stâng și a semiplanul drept, iar asamblarea acestora se face prin partea superioară a fuzelajului, prin intermediul unui sistem mamă-tată și un șurub de fixare (figura 16.b și figura 16.c). De asemenea, tije de carbon, din interiorul aripii, au fost conectate cu ajutorul unei joncțiuni din aliaj de aluminiu, prevăzute cu suprafețe filetate (figura 16.b – stânga sus). Winglet-urile au fost montate pe tija de carbon, după care au fost lipite de capătul de aripă, iar lonjeronul din fibră de carbon a fost fixat prin intermediul unui asamblări șurub - șaibă – piuliță (figura 16.d). O activitate importantă a fost aceea de stabilire, lipire (figura 16.e) și testare a tuturor conexiunilor electronice (servomotoarelor, motoarelor electrice, acumulatorii, modulul termal) la receptorul stației de control de la sol GCSD4RSV2 și la cubul Pixhawk Orange. După ce toate conexiunile au fost verificate, s-a realizat conexiunea fuzelajul (figura 16.f) cu semiplanul stâng al aripii și, apoi, cu semiplanul drept al aripii (figura 16.g). În figura 16.h este descrisă structura finală a modelului experimental demonstrativ UAV echipat cu modulul termal FLIR TAU. După asamblarea și conectarea tuturor componentelor electronice, etapa de asamblare a **modelului UAV** (figura 16.h) s-a finalizat cu succes, **acesta reprezentând și rezultatul activității 3.5.**

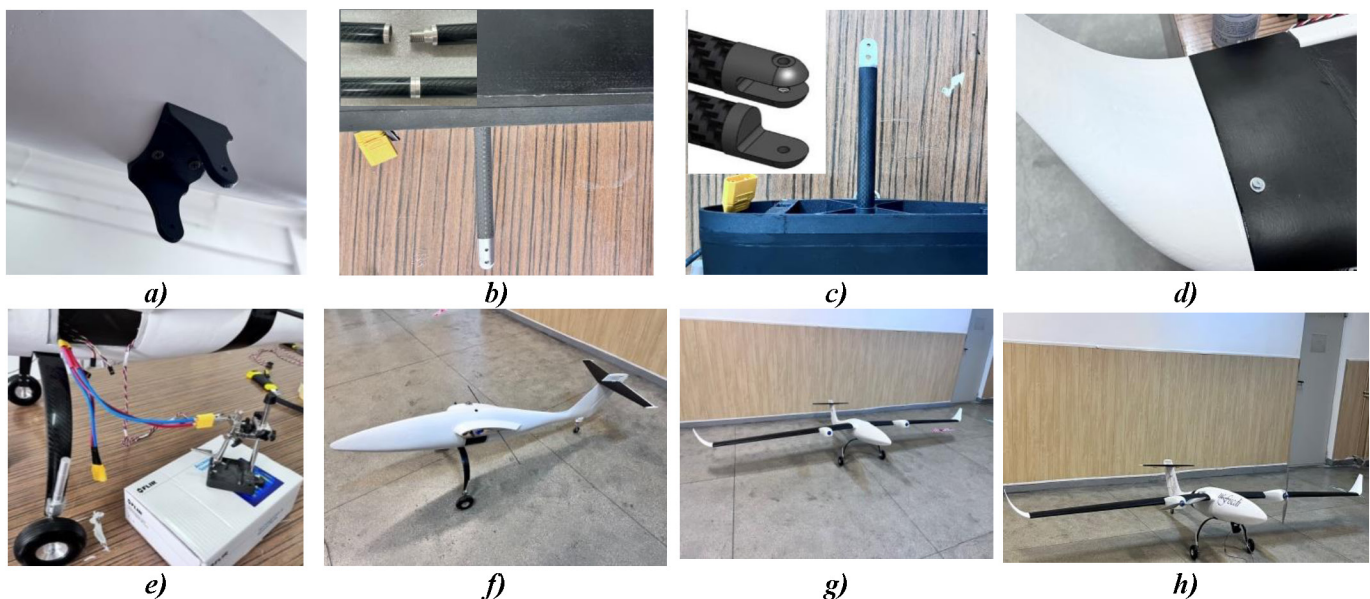


Fig. 16. Asamblarea modelului experimental de avion: a) fixarea suportului pentru modulul termal FLIR TAU ; b) semiplanul stâng al aripii; c) semiplanul drept al aripii; d) montarea și lipirea winglet-urilor; e) lipirea și conectarea cablurilor electrice; f) fuzelajul asamblat; g) asamblarea aripilor cu fuzelajul; h) modelul experimental UAV echipat cu modulul termal.

Activitatea 3.6 Testarea la sol a modelului experimental UAV fabricat din materiale compozite

Activitatea 3.6, denumită **Testarea la sol a modelului experimental UAV fabricat din materiale compozite**, prezintă verificarea funcționării la sol a modelul experimental UAV.

Această activitate s-a desfășurat în două etape: prima etapă de testare la sol a modelului experimental UAV fost realizată în atelierul de lucru, iar a doua etapă s-a desfășurat pe o pista de rulare. Prima activitate a debutat cu o etapă foarte importantă și anume, centrajul static al modelului experimental (figura 17.a). Fiind un model experimental, centrajul s-a realizat prin adăugarea celor 2 acumulatori (conectați în paralel) în zona de bot a avionului. Astfel, echilibrarea s-a realizat la 25% din coarda medie aerodinamică, ceea ce determină o aeronavă manevrabilă și cu un timp de răspuns cât mai rapid. După echilibrarea avionului UAV s-a efectuat testarea motoarelor la sol, la turație maximă (figura 17.b). Tot în cadrul acestei etape au fost desfășurate și teste privind conexiunea dintre modelul experimental UAV – stație de control de la sol - cubul Pixhawk Orange – modulul termal (figura 17.c și figura 17.d).



a)



b)



c)



d)

Fig. 17. Testarea la sol a modelului UAV: a) centrajul static al modelului experimental; b) testarea motoarelor; c) testarea conexiunii stației de la sol – modulul termal; d) teste ale modulului termal.

Activitatea de testare pe pista a constat în: verificarea funcționării servomecanismelor, verificarea funcționării motoarelor, verificarea poziției de rulare la sol a avionului, examinarea conexiunii stației de la sol cu avionul, verificarea funcționării conexiunii modulului termal cu stația de control de la sol. Activitatea de verificarea funcționării servomecanismelor a constat în: bracarea eleroanelor (figura 18.a) se realizează întotdeauna în sensuri contrare, adică, dacă eleronul dreapta este ridicat, eleronul stânga este în același timp bracat în jos; bracarea flapsurilor (figura 18.a) – utilizată în principal în etapele de decolare – aterizare; bracarea profundorului (figura 18.b) – realizează mișcarea de tangaj a modelului experimental UAV, astfel prin bracarea în sus – avionul cabrează, iar prin mișcarea în jos avionul întră în picaj; bracarea direcției (figura 18.b) – prin bracarea direcției la dreapta, avionul se rotește la dreapta, iar prin bracarea direcției la stânga avionul se rotește la stânga.

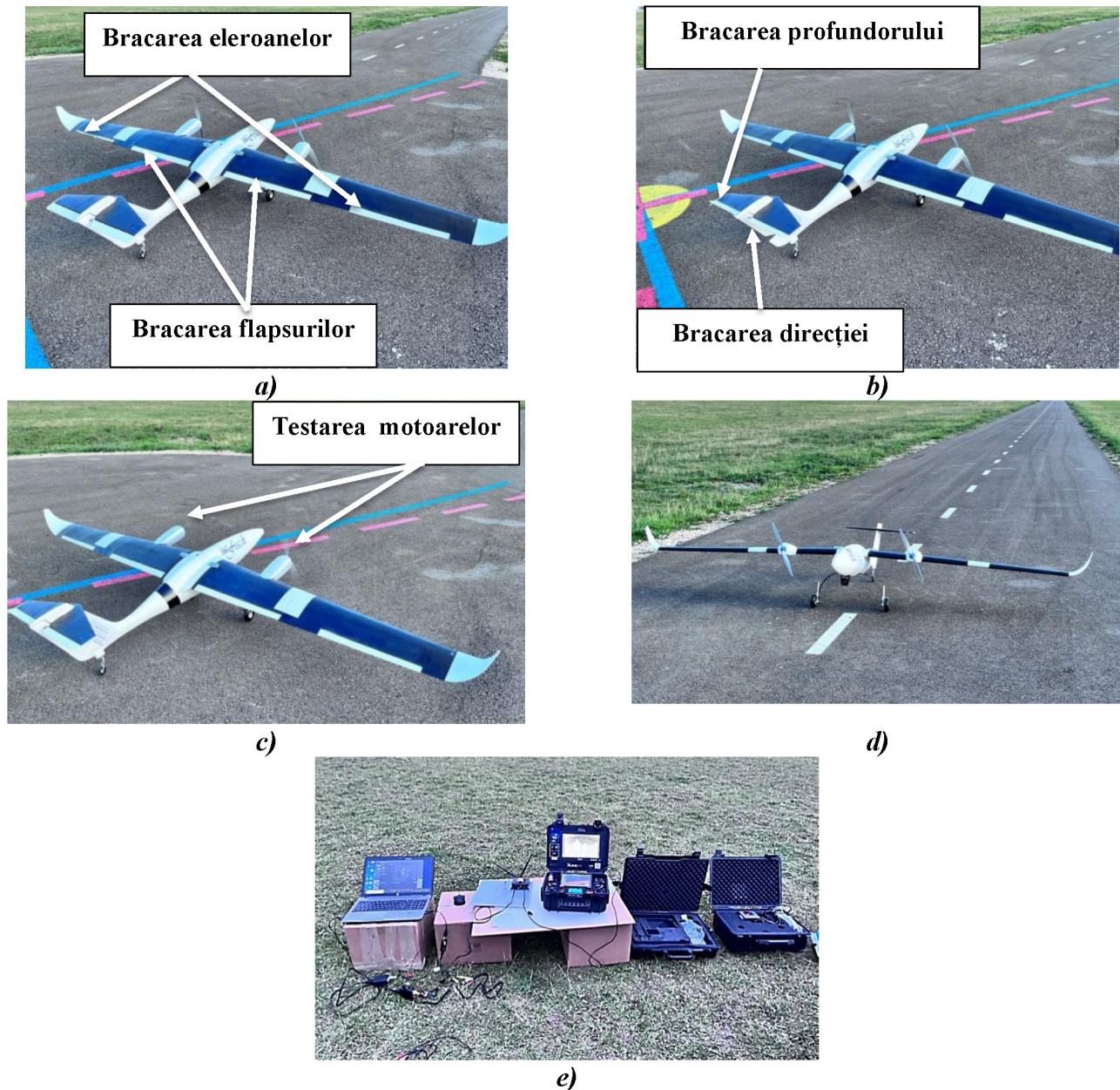


Fig. 18. Testarea la sol a comenzilor de zbor pe pista de decolare - aterizare: a) comanda eleroanelor și a flapsurilor; b) testarea direcției și profundorului; c) testarea motoarelor; d) pregătirea și verificarea rulării la sol a modelului experimental UAV; e) verificarea conexiunii stației de control de la sol cu avionul și modulul termal.

Testarea la sol a modelului experimental demonstrativ s-a realizat pe o pistă de rulare și s-a verificat funcționarea tuturor comenzilor (flapsuri, eleroane, direcție, profundor), a motoarelor electrice (figura 18.c), verificarea rulării la diferite regimuri de turație (figura 18.d), dar și conexiunea cu stația de control de la sol (figura 18.e). Rezultatele testării la sol au fost incluse într-un **raport**, iar informațiile cuprinse în acest raport se vor regăsi într-un articol care va fi transmis spre evaluare.



Activitatea 3.7. Testarea la zbor a modelului experimental UAV fabricat din materiale compozite

În urma testării în zbor s-a constatat că modelul experimental UAV, realizat prin procedeul de extrudare termoplastică, este stabil și atinge o gamă largă de viteze, funcționează cu caracteristici aerodinamice bune și manevrabilitate ridicată. Pentru teste de zbor s-a ales un amplasament asfaltat, pentru o desprindere de la sol cât mai rapidă a modelului experimental UAV. Etapele testării în zbor a modelului experimental au fost următoarele: etapa de rulare la sol a avionului pe o distanță de aproximativ 30-35 de metri (figura 19.a), urmată de etapa de desprindere de la sol a modelului experimental UAV (figura 19.b), a treia etapă a fost de urcare (figura 19.c) la plafonul de zbor (aproximativ 100 de metri), etapa de zbor orizontal (figura 19.d) și de îndeplinire a misiunii (căutare și salvare), etapa de viraje (figura 19.e) și revenire în zona de interes, iar ultima etapă este reprezentată de aterizarea la sol a modelului experimental (figura 19.f). Pentru controlul zborului, fiind un prototip de avion, s-a optat pentru decolare și aterizare manuală, utilizând stația de control de la sol, iar în momentul când avionul a ajuns la plafonul de zbor stabilit s-a trecut pe modul semiautomat prin intermediul stației de control, astfel aeronava poate să urmărească punctele ancoră predefinite în programul de management al zborului. Activitatea de testare a zborului a fost finalizată cu succes, în condiții de siguranță și cu manevrabilitate maximă, modelul experimental UAV având o masă la decolare de 11 kg și o autonomie de aproximativ 60 de minute.



Fig. 19. Zborul modelului experimental UAV: a) rularea la sol ; b) desprinderea de la sol; c) urcarea la plafonul de zbor; d) zborul de croazieră (orizontal); e) pregătirea unui viraj; f) aterizarea la sol.

Rezultatele testelor de zbor ale modelului experimental UAV vor fi incluse într-un **raport de testare în zbor**, iar informațiile cuprinse în acest raport se vor trimite spre publicare la un jurnal ISI.

Activitatea 3.8 Verificarea îndeplinirii misiunilor de zbor ale modelului experimental fabricat din materiale compozite

Folosind interfața de tip harta a sistemului software Mission Planner au fost definite profilele de decolare și aterizare precum și traseul de zbor (way point) pentru zborul modelului UAV (figura 20.a), date care au fost încărcate în memoria flash a pilotului automat Pixhawk Cube Orange. Pentru îndeplinirea misiunilor de zbor (căutare și salvare) ale modelului experimental UAV, utilizând modulul termal FLIR TAU și stația de control de la sol GCSD4RSV2 au fost preluate imagini din timpul etapei de zbor orizontal. Astfel, se poate observa că prin modulul termal FLIR TAU au fost detectate variații ale temperaturii. În figura 20.b a fost detectată o persoană poziționată în plan orizontal, iar în figura 20.c a fost detectată o persoană în mișcare, utilizând detecția temperaturii corporale.

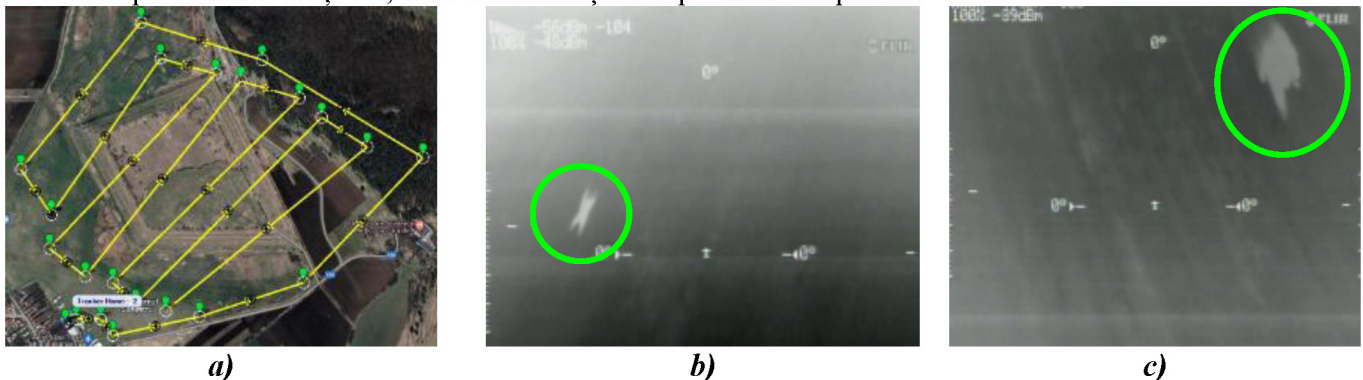


Fig. 20. Îndeplinirea misiunii de zbor a modelului UAV utilizând modulul termal: a) stabilirea traseului de zbor; b) detecția unei persoane poziționată în plan orizontal; c) detecția unei persoane în mișcare.

Rezultatele testelor de zbor ale modelului experimental UAV cu verificarea misiunii de zbor (căutare și salvare) au fost realizate cu succes, iar informațiile obținute au fost incluse în **raportul de misiune** a modelului experimental UAV, fabricat din materiale compozite, prin tehnologii aditive.

Activitatea 3.9 Diseminarea rezultatelor in jurnale/conferințe ISI/BDI

Diseminarea rezultatelor, obținute pe parcursul etapei a III-a, s-a concretizat astfel: publicarea a **5** articole științifice (**3 articole în jurnale indexate ISI - 2 articole în jurnale Q1 și un articol în jurnal Q2 și 2 articole la conferințe internaționale**); 2 articole sunt în evaluare la jurnale indexate ISI – Q1.

Jurnale indexate ISI

1. Chicos, L.-A.; Pop, M.A.; Zaharia, S.-M.; Lincea, C.; Buican, G.R.; Pascariu, I.S.; Stamate, V.-M. **Infill Density Influence on Mechanical and Thermal Properties of Short Carbon Fiber-Reinforced Polyamide Composites Manufactured by FFF Process**. Materials, **2022**, 15(10),3706, **Factor de impact 3.748, Scor relativ de influență 1.882, Q1 (zona roșie)**, <https://doi.org/10.3390/ma15103706>
2. Zaharia, S.-M., Pop, M.A.; Chicos, L.-A.; Buican, G.R.; Lincea, C.; Pascariu, I.S.; Stamate, V.-M. **Compression and Bending Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polymers Sandwich Structures Produced via Fused Filament Fabrication Process**. Polymers, **2022**, 14(14),2923, **Factor de impact 4.967, Scor relativ de influență 1.961, Q1 (zona roșie)**, <https://doi.org/10.3390/polym14142923>



3. Lancea, C.; Chicos, L.-A.; Zaharia, S.-M.; Pop, M.A.; Pascariu, I.S.; Buican, G.R.; Stamate, V.-M. **Simulation, Fabrication and Testing of UAV Composite Landing Gear**. Applied Sciences, **2022**, 12(17),8598, **Factor de impact 2.838, Scor relativ de influență 0.885, Q2 (zona galbenă)**, <https://doi.org/10.3390/app12178598>
4. Chicos, L.-A.; Pop, M.A.; Zaharia, S.-M.; Lancea, C.; Buican, G.R.; Pascariu, I.S.; Stamate, V.-M. **Fused filament fabrication of short glass fiber-reinforced PLA composites: infill density influence on mechanical and thermal properties**. Polymers, **Factor de impact 3.748, Scor relativ de influență 1.882, Q1 (zona roșie) – în evaluare**
5. Zaharia, S.-M., Pop, M.A.; Buican, G.R.; Chicos L.-A., Stamate, V.-M. Lancea, C.; Pascariu, I.S.; **Design and Testing of Brushless DC Motor Components of A6 Steel Additively Manufactured by Selective Laser Sintering**. Aerospace, **Factor de impact 2.66, Scor relativ de influență 1.017, Q1 (zona roșie) – în evaluare**

În perioada următoare, membrii echipei vor elabora un articol (jurnal ISI), care va cuprinde etapele de proiectare, analiza CFD, fabricarea aditivă, zbor și îndeplinire a misiunii a avionului experimental demonstrativ, realizat din materiale compozite, utilizând tehnologiile aditive.

Articole prezentate la conferințe internaționale

1. Buican, G.R.; Zaharia, S.-M.; Pascariu, I.S.; Chicos, L.-A.; Lancea, C.; Pop, M.A.; Stamate, V.-M. **Development and implementation of an automated pilot system for a fixed-wing twin-engine airplane UAV**, The 23-rd Edition of the International Conference AFASES, 2022 Scientific Research and Education in the Air Force, Braşov, Romania, 2022, **DOI:10.19062/2247-3173.2022.23.23**.
2. Buican, G.R.; Zaharia, S.-M.; Pascariu, I.S.; Chicos, L.-A.; Lancea, C.; Pop, M.A.; Stamate, V.-M. **Mission management for an automated pilot system mounted on a fixed-wing twin-engine airplane UAV**, The 23-rd Edition of the International Conference AFASES, 2022 Scientific Research and Education in the Air Force, Braşov, Romania, 2022, **DOI:10.19062/2247-3173.2022.23.24**.

Propunere de brevet de invenție

1. Zaharia, S.-M., Pascariu, I.S.; Stamate, V.-M.; Chicos, L.-A.; Buican, G.R.; Pop, M.A.; Lancea, C. **Avion fără pilot fabricat din materiale compozite utilizând tehnologii aditive**, Nr. de înregistrare OSIM, A/00572/19.09.2022.

Alte evenimente de promovare ale proiectului de cercetare

1. Prezentarea proiectului **“Model experimental de avion fără pilot din materiale compozite fabricate prin tehnologii aditive”** codul proiectului: PN-III-P2-2.1-PED-2019-0739, în cadrul evenimentul “Noaptea cercetătorilor”, organizat de Institutul de Cercetare al Universității Transilvania, în data de 30.09.2022.
2. **Workshop de prezentare** a proiectului **“Model experimental de avion fără pilot din materiale compozite fabricate prin tehnologii aditive”**, codul proiectului: PN-III-P2-2.1-PED-2019-0739, în cadrul evenimentul “AvGeek – Aerospace Challenge”, Asociația „SUPPORT REGIUNEA CENTRU”, Braşov, în data de 29.10.2022-30.10.2022.

Director proiect,
Şef lucr.dr.ing. Sebastian-Marian ZAHARIA