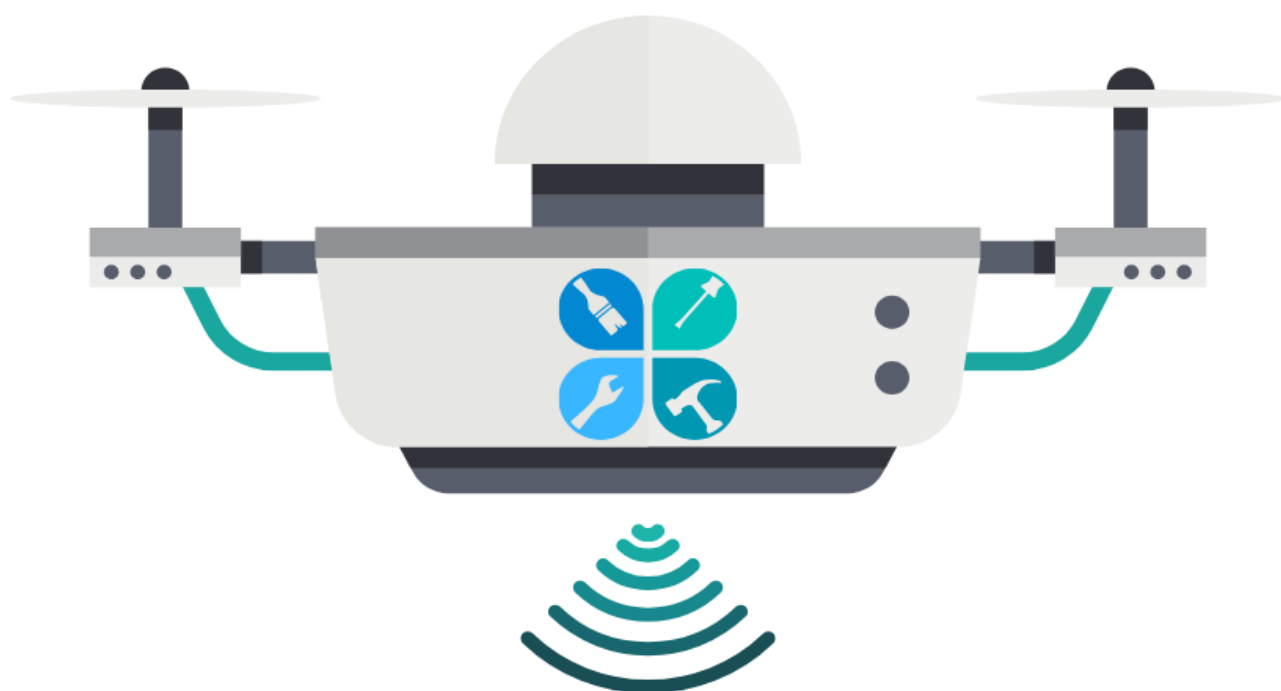




MANUAL

PENTRU TEHNICIENII DE REPARAȚIE ȘI ÎNTREȚINERE A UAV- URILOR

DEZVOLTAREA COMPETENȚELOR PROFESIONALE ALE TEHNICIENILOR ELECTROMECHANICI
PENTRU ÎNTREȚINEREA ȘI REPARAREA UAV
2023-1-TR01-KA220-VET-000151085



Co-funded by
the European Union



Dezvoltarea competențelor profesionale ale tehnicienilor electromecanici pentru întreținerea și repararea UAV

EDITORI

Seyhun Durmuş Universitatea Balıkesir, Turcia • **Abdullah Soykan** Universitatea Balıkesir, Turcia **Cumali Yaşar**, Universitatea Çanakkale Onsekiz Mart, Turcia • **Tülay Dargut Güler** Universitatea Çanakkale Onsekiz Mart, Turcia

AUTORI

Seyhun Durmuş și **Abdullah Soykan**, Universitatea Balıkesir, Turcia • **Cumali Yaşar**, **Cafer Türkmen**, **Tülay Durgut Güler**, **Can Aktaş** și **Zafer Karadayı**, Universitatea Çanakkale Onsekiz Mart, Turcia • **Elif Anda** și **Caner Anda** Mellis Eğitim Teknoloji Ticaret Limited Şirketi, Turcia • **Łukasz Korcz**, **Ewelina Zawielak** și **Jozef Pacha**, Zespół Szkół Rolniczych imienia generała Jana Henryka Dąbrowskiego w Środzie Wielkopolskiej, Polonia • **Vasileios Skliros**, **Christos Skliros**, **Afroditi Sakellariopoulou** și **Esmeralda Rouka**, Dronint, Cipru • **Cosmin Daniel Nedelcu**, **Lucia Anișoara Raileanu**, **Olaru Gheorghe** și **Matei Cristian**, Școala Militară de Maistri Militari și Subofițeri a Forțelor Aeriene „Traian Vuia”, România

DESIGN GRAFIC

Elif Anda

DATA PUBLICĂRII

2025

COORDONATORUL PROIECTULUI

Universitatea Balıkesir, Turcia

ORGANIZAȚII PARTENERE ALE PROIECTULUI

Universitatea Çanakkale Onsekiz Mart, Turcia · Zespół Szkół Rolniczych imienia generała Jana Henryka Dąbrowskiego w Środzie Wielkopolskiej, Polonia · Dronint, Cipru · Școala Militară de Maistri Militari și Subofițeri a Forțelor Aeriene „Traian Vuia”, România · Mellis Eğitim Teknoloji Ticaret Limited Şirketi, Turcia

LICENȚĂ ȘI DECLINARE DE RESPONSABILITATE

Această lucrare este licențiată sub o licență Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

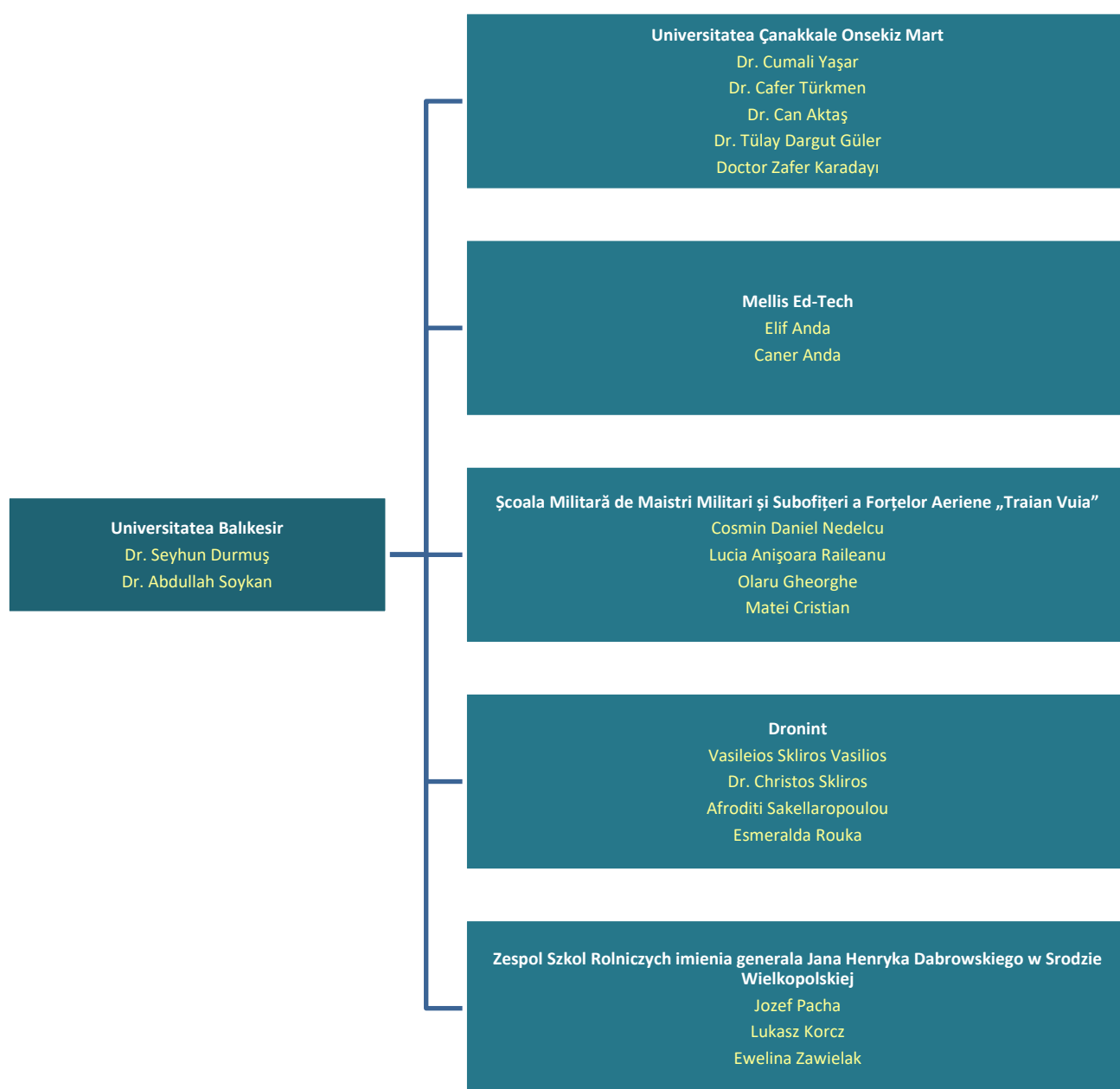
Proiectul **Dezvoltarea competențelor profesionale ale tehnicienilor electromecanici pentru întreținerea și repararea UAV-urilor** – 2023-1-TR01-KA220-VET-000151085 este cofinanțat de programul Erasmus+ pentru educație, formare, tineret și sport. Sprijinul acordat de Comisia Europeană pentru realizarea acestei publicații nu constituie o aprobare a conținutului, care reflectă numai opiniile autorilor, iar Comisia nu poate fi trasă la răspundere pentru utilizarea informațiilor conținute în aceasta.

MULȚUMIRI

Această carte a fost elaborată cu contribuții valoroase din partea partenerilor proiectului UAVET și servește ca material de formare complementar pentru programul de formare UAVET dezvoltat pentru educarea tehnicienilor de reparații și întreținere a UAV.

2.1.1. Parteneri de proiect și membri ai echipei

Dorim să mulțumim partenerilor noștri pentru eforturile și munca meticuloasă depuse în pregătirea acestui manual. Organizațiile noastre partenere sunt:



2.1.2. Resurse vizuale

Pe lângă imaginile realizate de membrii consorțiului de parteneriat, recunoaștem utilizarea imaginilor de la [Canva](#) (versiunea Pro), [Pixabay](#) și [Pexels](#) în conformitate cu licențele respective și mulțumim acestor platforme pentru eforturile valoroase depuse în vederea furnizării de materiale vizuale de calitate. Unele dintre ilustrațiile componentelor dronei din această carte au fost generate folosind GPT 4.0 de la OpenAI. Utilizarea acestora este conformă cu politicile OpenAI privind conținutul și utilizarea.

Materialele vizuale din această publicație create de echipa noastră sunt disponibile pentru utilizare la cerere. Dacă doriți să le utilizați, vă rugăm să ne contactați la proiectuavet@gmail.com. Conținutul acestei cărți este accesibil publicului larg și poate fi distribuit, adaptat, modificat sau redistribuit — în întregime sau parțial — cu condiția menționării sursei.

2.1.3. Linii directoare privind utilizarea conținutului

Deși informațiile din această carte pot fi utilizate, modificate și distribuite gratuit, vă rugăm să nu utilizați „informațiile” conținute în carte în scopuri comerciale, deoarece scopul acestui proiect este de a disemina cunoștințe și de a promova înțelegerea într-un mod democratizat.

Vă rugăm să menționați proiectul UAVET în noile versiuni și să utilizați următoarea declarație: Noi/acest studiu/lucrare/carte am utilizat și adaptat informații din cartea „Manual pentru tehnicieni de reparații și întreținere UAV” elaborată de „Proiectul Erasmus+ KA220 HED UAVET: Dezvoltarea competențelor profesionale ale tehnicienilor electromecanici pentru întreținerea și repararea UAV”. Recunoaștem contribuțiile acestora și dorim să atribuim ideile și perspectivele prezentate inițial în lucrarea lor.

CUPRINS

MULȚUMIRI	3
CUPRINS	5
INTRODUCERE	7
SCOPUL MANUALULUI	7
CAPITOLUL 1	8
COMPONENTELE SISTEMULUI UAV	8
1.1. Structura	8
1.2. Sistemul de propulsie (motoare, ESC, elice)	9
1.3. Sistemul de alimentare (baterii, încărcare, distribuție energie)	10
1.4. Sistemul de control al zborului (pilot automat, senzori, GPS)	11
1.5. Sistem de comunicații (RC, telemetrie)	12
1.6. Telecomandă / Stație de control la sol (GCS)	13
1.7. Sarcini utile (camere, senzori etc.)	14
CAPITOLUL 2	16
DEPANARE	16
2.1. Introducere: Domeniu de aplicare și raționament	16
2.2. Probleme frecvente întâlnite în UAV	17
2.3. Identificarea defecțiunilor în sistemele	28
2.4. Instrumente și metode de diagnosticare a defecțiunilor UAV	363
2.5. Diagrame de depanare	42
2.6. Calibrarea senzorilor	54
2.7. Jurnale de zbor	58
2.8. Interpretarea codurilor de eroare	63
CAPITOLUL 3	69
PROCEDURI DE ÎNTREȚINERE	69
3.1. Liste de verificare înainte de zbor	69
3.2. Liste de verificare post-zbor	70
3.3. Actualizarea firmware-ului	71
3.4. Îngrijirea bateriei	73
3.5. Tipuri de întreținere	75
3.6. Programe de întreținere	76
3.7. Proceduri de curățare și protecție	77

3.8.	<i>Durata de viață estimată a componentelor.....</i>	79
3.9.	<i>Considerații privind mediul (funcționarea în condiții de praf, umiditate etc.).....</i>	81
CAPITOLUL 4.....		84
PROCEDURI DE REPARARE ȘI ÎNLOCUIRE A COMPONENTELOR		84
4.1.	<i>Materiale necesare pentru procesele de întreținere, reparare și înlocuire a UAV și configurarea zonei de lucru</i>	84
4.2.	<i>Introducere în componentele dronelor, tipuri de înlocuire și defecțiuni.....</i>	87
4.3.	<i>Proceduri de instalare și actualizare a software-ului.....</i>	124
4.4.	<i>Evaluarea practică a proceselor de schimbare a pieselor.....</i>	137
4.5.	<i>Utilizarea echipamentelor de bază și aplicații în domeniul dronelor.....</i>	140
CAPITOLUL 5.....		149
DOCUMENTARE ȘI COMUNICARE.....		149
5.1.	<i>Formulare de înregistrare a întreținerii.....</i>	149
5.2.	<i>Informații privind conformitatea cu reglementările</i>	157
5.3.	<i>Instrucțiuni ale producătorului.....</i>	159
5.4.	<i>Liste de piese de schimb</i>	163
5.5.	<i>Reguli de sănătate și siguranță la locul de muncă.....</i>	166
5.6.	<i>SOP și WO.....</i>	169
5.7.	<i>Răspundere (asigurare, raportarea incidentelor)</i>	173
5.8.	<i>Comunicare profesională eficientă</i>	176

INTRODUCERE

Scopul manualului

Bine ați venit la Manualul digital UAVET privind repararea și întreținerea dronelor! Acest manual este unul dintre rezultatele cheie ale proiectului UAVET, alături de E-Book-ul privind standardele ocupaționale, Programul de formare UAVET și tutorialele video. Este o resursă ușor de utilizat și de înțeles, elaborată cu atenție pentru a servi drept ghid practic și cuprinzător pentru studenții și absolvenții de învățământ profesional și de formare (VET) care aspiră să-și construiască o carieră ca tehnicieni de reparare și întreținere a dronelor.

Manualul digital este conceput nu numai pentru a preda teoria, ci și pentru a integra aplicații practice care să îmbunătățească experiența de învățare, permițând utilizatorilor să se familiarizeze cu materialul în mod precis. Această abordare orientată spre practică îl face nu numai o sursă de informații, ci și o resursă eficientă de predare și învățare, care face legătura între teorie și practică.

Obiectivul nostru este de a le oferi tinerilor cunoștințele tehnice și experiența practică necesare pentru a intra cu încredere în sectorul întreținerii dronelor. În plus, dorim să sprijinim școlile profesionale și furnizorii de formare în oferirea unei educații de înaltă calitate, adaptată nevoilor industriei dronelor.

Manualul este structurat în cinci capitole principale:

- 1. Componente ale sistemului UAV,**
- 2. Depanare,**
- 3. Proceduri de întreținere,**
- 4. Proceduri de reparare și înlocuire a componentelor**
- 5. Documentație și comunicare.**

CAPITOLUL 1

Componentele sistemului UAV

În acest capitol, veți găsi descrieri introductive și generale ale componentelor sistemului UAV, înainte de explicațiile detaliate despre părțile lor mai mici din capitolele următoare.

1.1. Structura aeronavei



Figura 1.1 Structura aeronavei UAV

Structura servește ca schelet structural al oricărui UAV, susținând și integrând toate subsistemele majore, cum ar fi propulsia, avionica, alimentarea cu energie și sarcina utilă. Proiectarea sa are un impact direct asupra performanței aerodinamice a aeronavei, eficienței de zbor și durabilității generale.

În funcție de profilul misiunii, structurile aeronavei pot varia semnificativ în ceea ce privește forma și configurația, de la configurații multirotor (cum ar fi quadcopterele sau hexacopterele) până la modele cu aripi fixe sau hibride VTOL. Materiale precum fibra de carbon, compozitele armate și aliajele ușoare de aluminiu sunt utilizate în mod obișnuit pentru a obține un echilibru între rezistență, greutate și elasticitate.

O structură bine proiectată este esențială pentru a asigura caracteristici de zbor stabile, fiabilitatea sistemului și integrarea cu succes a tehnologiilor avansate UAV.

1.2. Sistemul de propulsie (motoare, ESC, elice)



Figura 1.2 Elice UAV (Proprietar resursă: DRONINT)

Sistemul de propulsie este responsabil pentru generarea forței de tracțiune care permite unui UAV să decoleze, să manevreze și să mențină un zbor stabil. La baza acestui sistem se află motoarele DC fără perii, cunoscute pentru eficiența, fiabilitatea și raportul ridicat putere-greutate, ceea ce le face ideale pentru platformele aeriene.

Aceste motoare acționează elice, care sunt special concepute pentru a manipula fluxul de aer și a produce portanță. Numărul și orientarea elicelor variază în funcție de configurația UAV-ului, de la platforme cu un singur rotor la quadcopter, hexacopter sau chiar octocopter pentru aplicații de ridicare grea.

Controlerele electronice de viteză (ESC) servesc ca legătură între controlerul de zbor și motoare. Acestea reglează viteza de rotație și direcția fiecărui motor pe baza datelor introduse în timp real, permițând UAV-ului să execute ajustări precise ale accelerației și manevre de zbor coordonate.

Împreună, motoarele, ESC-urile și elicele formează un sistem strâns integrat care determină capacitatea de răspuns, stabilitatea și performanța de zbor a UAV-ului.

1.3. Sistemul de alimentare (baterii, încărcare, distribuție a energiei)

Sistemul de alimentare este nucleul electric al UAV-ului, responsabil cu furnizarea de energie către fiecare componentă critică, de la motoare și controlere de zbor la camere și legături de comunicații. În centrul acestui sistem se află bateriile litiu-polimer (LiPo), care reprezintă una dintre cele mai importante inovații în tehnologia modernă a dronelor.

Acestea oferă un echilibru ideal între puterea energetică ridicată și greutatea redusă, permițând UAV-urilor să rămână în aer mai mult timp fără a compromite performanța. Pur și simplu, aceste baterii au redefinit ceea ce este posibil în termeni de timp de zbor și capacitate de încărcare



Figura 1.3 Baterii UAV (Proprietar resursă: DRONINT)

Un sistem de alimentare bine proiectat înseamnă mai mult decât simpla conectare a unei baterii. Încărcarea în condiții de siguranță este esențială. Bateriile LiPo necesită o încărcare echilibrată pentru a se asigura că toate celulele mențin o tensiune egală, ceea ce contribuie la prelungirea duratei de viață a bateriei și reduce riscul de supraîncălzire sau defectare. La bord, plăcile de distribuție a energiei (PDB) sau modulele de alimentare integrate direcționează energia electrică acolo unde este necesară, folosind adesea reglatoare de tensiune pentru a furniza energie curată și stabilă sistemelor sensibile, cum ar fi pilotul automat și telemetria.

Dronele de nivel profesional includ, de asemenea, monitorizarea energiei în timp real, astfel încât piloții și sistemele de bord să poată urmări tensiunea, curentul și capacitatea rămasă în timpul zborului. Acest lucru permite luarea de decizii inteligente, cum ar fi declanșarea unei reveniri la bază înainte ca bateria să fie prea descărcată, și este esențial pentru evitarea accidentelor și asigurarea succesului misiunii.

1.4. Sistemul de control al zborului (pilot automat, senzori, GPS)

Sistemul de control al zborului este creierul UAV-ului. Acesta este responsabil de interpretarea datelor senzorilor, executarea comenzilor de zbor și menținerea stabilității și capacității de reacție a aeronavei în toate condițiile. În centrul acestui sistem se află controlerul de zbor, denumit adesea placa de bază a dronei. Acesta este locul în care converg toate datele de la senzori, GPS și intrările utilizatorului și de unde se iau toate deciziile critice în tir

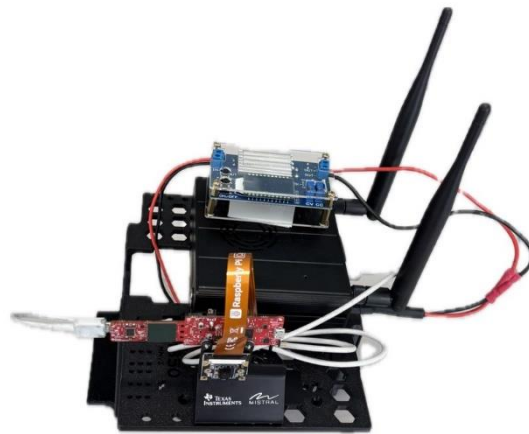


Figura 1.4 Controlerul de zbor al UAV (Proprietarul resursei: DRONINT)

Software-ul pilotului automat, integrat de obicei în controlerul de zbor, gestionează atât operațiunile manuale, cât și cele autonome. Acesta stabilizează drona, gestionează orientarea (înclinare, rulare și deviere) și execută traiectorii de zbor preprogramate sau misiuni de punct de referință. Indiferent dacă drona zboară manual sau autonom, pilotul automat asigură un control lin și coordonat, chiar și în medii dinamice.

Pentru a susține un comportament de zbor precis, controlerul se bazează pe o suită de senzori încorporați:

- Giroscoape și accelerometre care monitorizează mișcarea unghiulară și accelerația liniară pentru echilibru și stabilitate.
- Magnetometre care acționează ca busole digitale, menținând drona orientată corect în raport cu câmpul magnetic al Pământului.
- Barometre și altimetre care furnizează date precise privind altitudinea.

- Module GPS, care sunt adesea cuplate cu fuziunea IMU (Unitate de măsurare inerțială) și furnizează date de poziție în timp real, permițând funcții precum navigarea autonomă, întoarcerea la bază și geo-fencing.

Împreună, aceste componente formează un sistem strâns integrat care conferă dronei capacitatea de a zbura cu precizie, de a răspunde rapid și de a îndeplini misiuni complexe cu o intervenție umană minimă. Fără un sistem robust de control al zborului, funcționarea sigură și fiabilă a dronelor pur și simplu nu ar fi posibilă.

1.5. Sistem de comunicații (RC, telemetrie)

Sistemul de comunicații al unui UAV este cel care conectează drona la pilot sau la stația de control la sol (GCS), făcând posibilă controlul și monitorizarea în timp real. Acesta funcționează printr-o combinație de legături de control radio (RC) și legături de date telemetrice, ambele fiind esențiale pentru o funcționare sigură și eficientă.

Legătura RC permite operatorului să controleze manual mișcările dronei, utilizând de obicei frecvențe de 2,4 GHz sau 5,8 GHz. Sistemele mai avansate pot utiliza comunicații RF de lungă distanță sau chiar comunicații prin satelit pentru misiuni dincolo de linia vizuală (BVLOS). Aceste legături sunt securizate și optimizate pentru o latență redusă, asigurând o reacție imediată la comenzile pilotului.



Figura 1.5 Telemetria UAV

Telemetria, pe de altă parte, este canalul de feedback al dronei. Aceasta transmite continuu date critice de zbor către GCS, inclusiv poziția GPS, altitudinea, viteza, direcția, tensiunea bateriei, starea motorului și citirile senzorilor. Acest flux de informații provine de obicei de la pilotul automat și de la senzorii de la bord, cum ar fi giroscopae, accelerometre, magnetometre și sistemul de alimentare. Acesta permite pilotului sau operatorului misiunii să monitorizeze starea UAV în timp real și să răspundă proactiv la anomalii, cum ar fi bateria descărcată, pierderea semnalului sau încălcarea geofence.

Comunicarea se realizează de obicei prin intermediul antenelor montate atât pe UAV, cât și pe stația de la sol, unele sisteme incorporând antene direcționale sau de diversitate pentru a menține integritatea semnalului pe distanțe mai lungi.

În aplicațiile profesionale, comunicarea fiabilă este indispensabilă. Indiferent dacă drona zboară manual sau execută o misiune complet autonomă, legăturile de date robuste sunt cele care asigură o conștientizare completă a situației, respectarea protocoalelor de siguranță și succesul misiunii.

1.6. Telecomandă / Stație de control la sol (GCS)

Telecomanda sau stația de control la sol (GCS) este interfața om-mașină a sistemului UAV. Este locul în care operatorii UAV monitorizează telemetria, planifică misiunile și emit comenzi de zbor în timp real. Fie că este vorba de o telecomandă portabilă cu afișaj integrat sau de o GCS completă bazată pe laptop, această componentă este esențială atât pentru operațiunile manuale, cât și



Figura 1.6 Telecomandă UAV (Proprietar resursă: DRONINT)

Configurațiile moderne GCS includ de obicei:

- Vizualizarea telemetriei în timp real (de exemplu, altitudine, viteză, direcție, starea bateriei)
- Transmisie video în timp real de la camerele de bord
- Interfețe de planificare a misiunilor, care permit utilizatorilor să predefină puncte de referință și zone geografice
- Comenzi manuale de suprascriere pentru intervenții de urgență sau sarcini de precizie

Telecomanda, utilizată adesea în operațiunile de teren, este de obicei echipată cu joystick-uri duble, butoane personalizabile și un ecran de înaltă luminozitate pentru vizualizarea telemetriei și a videoclipurilor. De asemenea, se poate conecta la tablete sau smartphone-

uri care rulează aplicații specializate pentru zbor. Configurațiile GCS mai avansate sunt utilizate în camere de control sau vehicule de comandă mobile, fiind dotate cu ecrane multiple, antene cu rază lungă de acțiune și legături de comunicații redundante.

Aceste sisteme acceptă, de asemenea, funcții critice de comandă și control (C2), cum ar fi:

- Întoarcere la bază (RTH) în cazul pierderii semnalului
- Setări de siguranță (de exemplu, aterizare automată, zbor staționar, menținerea poziției)
- Integrare cu platforme de gestionare a spațiului aerian, permițând funcționarea în siguranță în medii complexe

În cele din urmă, GCS acționează ca sistemul nervos central al oricărei misiuni UAV, combinând conștientizarea situației, controlul manual și gestionarea autonomă a zborului într-un singur hub integrat.

1.7. Sarcini utile (camere, senzori etc.)

Sarcini utile sunt instrumentele specifice misiunii transportate de un UAV. Acestea definesc scopul real al utilizării dronei, fie că este vorba de cartografierea terenurilor agricole, inspectarea infrastructurii sau efectuarea de operațiuni de căutare și salvare. Cele mai comune sarcini utile sunt camerele și senzorii, dar acestea variază foarte mult în ceea ce privește tipul și complexitatea, în funcție de aplicație.



Figura 1.7 Cameră UAV (Proprietar resursă: DRONINT)

Camerele sunt adesea încărcătura utilă principală și pot fi fixe sau detașabile. Multe drone sunt proiectate cu compartimente modulare pentru încărcături utile, permițând operatorilor să schimbe rapid camerele sau senzorii în funcție de sarcină. Camera în sine poate varia de la un senzor RGB standard pentru fotografie și videografie, la sisteme foarte specializate, cum ar fi:

- Camere multispectrale pentru analiza agricolă și a vegetației.
- Imagistică termică sau infraroșu pentru cartografierea căldurii, căutare și salvare sau inspecția componentelor electrice.
- Sisteme LiDAR pentru cartografiere 3D de înaltă precizie și modelare a terenului.

Pe lângă imagistică, dronele pot transporta și senzori de calitate a aerului, detectoare de radiații sau monitoare de mediu pentru misiuni științifice și industriale. Modularitatea și flexibilitatea sistemelor moderne de încărcare utilă UAV permit unei singure platforme să suporte o mare varietate de misiuni, pur și simplu prin schimbarea pachetului de senzori. În cele din urmă, încărcătura utilă este cea care conferă dronei scopul său, iar alegerea celei potrivite este esențială pentru succesul oricărei operațiuni aeriene.

CAPITOLUL 2

Depanare

2.1. Introducere: Domeniu de aplicare și raționament

Depanarea eficientă este fundamentală pentru menținerea disponibilității operaționale și a siguranței zborului în operațiunile cu vehicule aeriene fără pilot (UAV). Acest capitol oferă un cadru cuprinzător pentru identificarea, diagnosticarea și rezolvarea celor mai frecvente defecțiuni ale UAV-urilor care pot compromite succesul misiunii și integritatea aeronavei. Abordarea sistematică prezentată aici cuprinde recunoașterea simptomelor defecțiunilor, aplicarea procedurilor de diagnosticare și utilizarea instrumentelor specializate pentru a asigura rezolvarea rapidă a problemelor.

Domeniul de aplicare al capitolului acoperă metodologiile esențiale de depanare, de la identificarea simptomelor de bază până la tehnici avansate de diagnosticare utilizând jurnale de zbor și interpretarea codurilor de eroare. Diagrame structurate ghidează tehnicienii prin secvențe logice de rezolvare a problemelor, în timp ce procedurile de calibrare a senzorilor asigură performanța optimă a sistemului. Această metodologie sistematică permite tehnicienilor de drone să minimizeze timpul de nefuncționare al aeronavei și să mențină cele mai înalte standarde de siguranță și fiabilitate operațională. Figura 2.1 servește ca o reprezentare simbolică care ilustrează procesul de identificare și rezolvare a problemelor din cadrul sistemelor de drone.



Figura 2.1 Depanarea în drone

Depanarea în cazul dronelor implică un proces structurat înainte, în timpul și după zbor. Tabelul 2.1 prezintă procedurile de depanare adaptate diferitelor faze ale operațiunilor cu drone. Inspecția înainte de zbor include verificări vizuale pentru a detecta deteriorări fizice sau slăbiri, diagnosticarea sistemului prin intermediul software-ului, calibrarea senzorilor (IMU, busolă, GPS), verificarea stării firmware-ului și software-ului și evaluări ale mediului, cum ar fi vremea și calitatea semnalului GPS.

Tabelul 2.1 Proceduri de depanare în funcție de fazele operațiunilor cu drone

Inspecția înainte de zbor	Monitorizare în timpul zborului	Analiza post-zbor
Verificări vizuale	Analiza telemetrică în timp real	Revizuirea jurnalelor
Diagnosticare sistem	Alerte la bord	Comparații de performanță
Calibrarea senzorilor	Observarea comportamentului în zbor	Inspecția componentelor
Starea firmware-ului/software-ului		Backup și raportare date
Verificarea mediului		Clasificarea problemelor

Monitorizarea în timpul zborului se concentrează pe analiza telemetrică în timp real a parametrilor cheie, cum ar fi tensiunea, temperatura și altitudinea, urmărirea alertelor la bord și observarea oricărui comportament anormal al zborului. Analiza post-zbor implică revizuirea jurnalelor de zbor, compararea performanțelor preconizate cu cele reale, reverificarea componentelor, copierea de rezervă a datelor și generarea de rapoarte, precum și clasificarea problemelor identificate în categorii legate de software, hardware sau utilizatori.

2.2. Probleme frecvente întâlnite la UAV

2.2.1. Defecțiuni frecvente în sistemul de propulsie al UAV

Sistemul de propulsie al UAV este format din motor, ESC și elice. Motoarele fără perii sunt responsabile de rotirea elicelor pentru a ridica UAV-ul în aer, iar viteza lor este direct legată de valoarea kV. Elicele sunt componente care generează tracțiune, iar dimensiunea și pasul lor sunt parametri importanți. Ele se pot roti în sensul acelor de ceasornic sau în sens invers acelor de ceasornic. Controlerele electronice de viteză (ESC) sunt circuite electronice care

reglează viteza de rotație a motoarelor în funcție de semnalele primite de la controlerul de zbor.

Defecțiunile motorului pot apărea din diverse cauze, fiecare afectând performanța și fiabilitatea. Supraîncălzirea este cea mai frecventă problemă, rezultând adesea din utilizarea intensivă, răcirea insuficientă sau supraîncărcarea motorului. Pătrunderea deșeurilor este o altă problemă frecventă, în special în cazul dronelor care funcționează în aer liber, unde particule precum nisip, praf sau resturi de iarbă pot pătrunde în motor. Rulmenții deteriorați pot apărea din cauza utilizării prelungite, a vibrațiilor sau a impacturilor fizice, ceea ce duce la o frecare crescută și la o eficiență redusă. Arborii îndoiți sau aliniați incorect () sunt adesea rezultatul accidentelor, aterizărilor dure sau elicei dezechilibrate, care pot perturba funcționarea lină a motorului. Înfășurările arse, cauzate de curent excesiv, scurtcircuitate sau supraîncărcare continuă, pot duce la defectarea completă a motorului. În cele din urmă, deși deteriorarea magneților este cea mai puțin frecventă, aceasta poate apărea din cauza expunerii prelungite la temperaturi ridicate sau a îmbătrânirii naturale, reducând puterea magnetică și performanța motorului. Tabelul 2.2 prezintă o imagine de ansamblu detaliată a defecțiunilor frecvente observate în sistemul de propulsie al UAV-urilor.

Defecțiunile ESC pot apărea din diverse cauze. Supraîncălzirea este o problemă frecventă, adesea din cauza răcirii insuficiente sau a consumului excesiv de curent, care poate deteriora componentele interne. Defecțiunile MOSFET-urilor sau condensatoarelor, piese esențiale pentru gestionarea puterii, pot duce la arderea completă. Îmbinările de lipire defectuoase reprezintă un alt risc, în special atunci când sunt expuse la vibrații și căldură constantă, ducând la deconectarea intermitentă sau totală. Problemele de semnal, cum ar fi coruperea sau pierderea semnalului PWM de la controlerul de zbor, pot perturba funcționarea corectă a ESC.

Tabelul 2.2 Cele mai frecvente defecțiuni ale sistemului de propulsie al UAV-urilor

SISTEMUL DE PROPULSIE AL UAV-URILOR



Motor	ESC	Elice
Supraîncălzire	Supraîncălzire	Fisuri și tăieturi
Pătrunderea deșeurilor	Îmbinări de lipit defectuoase	Uzură
Rulmenți deteriorați	Pierderea semnalului	Deteriorări cauzate de lovituri
Arbore îndoit sau nealiniat	Probleme de calibrare	ale elicei
Bobină arsă	Probleme cu alimentarea cu	Deformare
Deteriorarea magnetului	energie electrică	Montare incorectă
	Probleme de sincronizare a	Dezechilibru
	motorului	Slăbire
	Deteriorare cauzată de	
	umiditate	

Bug-urile firmware-ului sau calibrarea necorespunzătoare pot introduce erori legate de software care afectează performanța. Problemele de alimentare cu energie electrică, inclusiv fluctuațiile de tensiune sau un BEC (Battery Eliminator Circuit) defect, pot destabiliza ESC. Problemele de sincronizare a motorului, legate de obicei de neconcordanțe de sincronizare , pot provoca un comportament eratic al motorului. În cele din urmă, pătrunderea apei sau a umezelii poate duce la scurtcircuite și coroziune, compromițând și mai mult fiabilitatea ESC.

Defecțiunile elicei la UAV-uri pot apărea din cauza unei varietăți de probleme care compromit siguranța și performanța zborului. Fisurile și tăieturile pe pale rezultă adesea din impactul cu obiecte străine sau din utilizarea prelungită, ducând la slăbirea structurii. Uzura generală poate degrada integritatea materialului în timp, crescând riscul de defectare în timpul funcționării. Deteriorarea elicei, cauzată de obicei de coliziuni cu suprafețe dure, poate duce la fracturi vizibile sau ascunse. Deformarea elicei, fie din cauza căldurii, fie a impactului, afectează eficiența aerodinamică și stabilitatea. Montarea incorectă poate provoca alinierea incorectă, în timp ce dezechilibrul elicei poate duce la vibrații care solicită motorul și cadrul. În plus, slăbirea fixării elicei poate duce la detașare sau rotație eratică, reprezentând un pericol grav pentru siguranță.

2.2.2. Defecțiuni frecvente în sistemul de alimentare al UAV

Sistemul de alimentare al unui UAV se bazează pe două componente critice: bateria și placa de distribuție a energiei (PDB). Bateria, de obicei de tip litiu-polimer (LiPo), acționează ca sursă principală de alimentare a dronei, parametrii electrici cheie precum tensiunea nominală (S-count), capacitatea (mAh) și rata maximă de descărcare continuă (C-rating)

fiind cruciale pentru selecție. PDB, sau circuitul de alimentare integrat, funcționează ca un hub electric central, distribuind energia din baterie către componente esențiale, cum ar fi controlerul de zbor ESC și alte componente electronice. Această placă poate fi uneori integrată în controlerul de zbor sau într-o unitate ESC 4-în-1.

Defecțiunile bateriei pot apărea din cauza unei serie de probleme, atât din cauza îmbătrânirii naturale, cât și a utilizării necorespunzătoare. Pierderea capacității este cea mai frecventă și mai previzibilă problemă care apare odată cu îmbătrânirea bateriei. Dezechilibrul celulelor, în care celulele individuale dintr-un pachet multicelular au niveluri de tensiune diferite, duce adesea la inconsistența tensiunii, afectând și mai mult performanța. Pe măsură ce bateriile îmbătrânesc, ele dezvoltă și o rezistență internă crescută, reducând eficiența. Uzura conectorului este o altă problemă frecventă cauzată de utilizarea repetată, care poate degrada performanța în timp. Probleme mai grave includ umflarea sau balonarea, în special în cazul bateriilor litiu-ion și LiPo, care indică deteriorarea internă și prezintă un risc grav pentru siguranță. Supraîncălzirea poate rezulta din consumul ridicat de curent sau din deteriorare, în timp ce deteriorarea prin descărcare profundă apare atunci când o baterie este descărcată sub nivelurile de tensiune sigure, cauzând adesea daune ireversibile. Tipurile mai vechi de baterii, cum ar fi NiMH, pot suferi de efectul de memorie, în care ciclurile de descărcare incomplete reduc capacitatea. Scurtcircuitele, de obicei cauzate de deteriorări fizice, pot duce la scurgeri de electrolit e sau, în cazuri extreme, la o supraîncălzire periculoasă, o stare periculoasă în care scurtcircuiturile interne provoacă o acumulare incontrollabilă de căldură, putând duce la incendiu sau explozie. Tabelul 2.3 prezintă o imagine de ansamblu detaliată a defecțiunilor comune observate în sistemul de alimentare al UAV-urilor.

Tabelul 2.3 Cele mai frecvente defecțiuni ale sistemului de alimentare al UAV-urilor

SISTEMUL DE ALIMENTARE CU ENERGIE AL UAV-URILOR



Baterie
Pierderea capacității
Dezechilibru celule



Placă de distribuție a energiei (PDB)
Îmbinări de lipit reci
Defecțiuni de conectare

Inconsistență de tensiune	Scurtcircuite
Creșterea rezistenței interne	Reglatoarele de tensiune deteriorate
Uzura conectorului	Urme de arsuri
Umflare	Defecțiuni ale condensatorilor
Supraîncălzire	Supraîncălzire
Deteriorare din cauza descărcării profunde	Rupturi ale traseelor PCB
Efect de memorie	Deteriorarea pinilor conectorului
Scurtcircuit	Probleme de interferență EMI/RFI
Scurgeri de electrolit	Probleme de împământare
Derapaj termic	

O defecțiune a plăcii de distribuție a energiei (PDB) a unei drone poate rezulta din diverse probleme care compromit alimentarea cu energie a componentelor esențiale. Problemele frecvente includ îmbinări de lipit reci și defecțiuni de conectare, care pot provoca pierderi intermitente de energie sau deconectarea completă. Scurtcircuitele și reglatoarele de tensiune deteriorate pot duce la instabilitatea sistemului sau la defectarea componentelor, adesea evidențiate prin urme de arsuri sau semne de supraîncălzire. Defecțiunile condensatoarelor și întreruperile PCB perturbă și mai mult reglarea tensiunii și fluxul de energie. Deteriorarea pinilor conectorului poate crea conexiuni nesigure, în timp ce interferențele electromagnetice (EMI sau RFI) și problemele de împământare pot introduce zgomot de semnal, afectând atât controlul, cât și precizia senzorului.

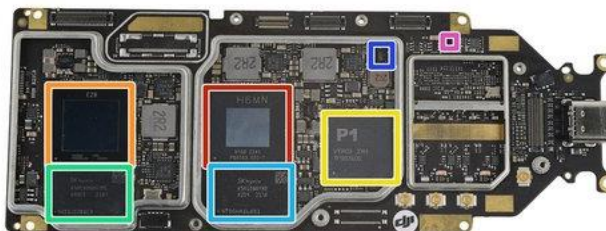
2.2.3. Defecțiuni frecvente ale plăcii de control al zborului UAV și a senzorului de zbor

În sistemul complex de control al unei drone, adesea comparat cu „creierul” și „sistemul nervos” al acesteia, controlerul de zbor (FC) acționează ca unitate centrală de procesare, interpretând datele de la diverși senzori pentru a asigura un zbor și o navigație stabile. Cheia acestui sistem este unitatea de măsurare inerțială (IMU), care integrează un accelerometru pentru accelerația liniară și un giroscop pentru rotația unghiulară. Senzori suplimentari, cum ar fi magnetometrul (busola), determină direcția, în timp ce barometrul măsoară altitudinea pe baza presiunii atmosferice. Pentru o poziționare globală precisă, altitudine și viteză la sol, este esențial un modul GPS/GNSS. În plus, un modul de siguranță este crucial pentru inițierea procedurilor automate de urgență, cum ar fi Return-to-Home, în cazul pierderii semnalului sau al unei defecțiuni critice a sistemului. Dronele mai avansate pot include, de

asemenea, unități de procesare la bord pentru a gestiona funcții complexe, cum ar fi evitarea obstacolelor sau sarcini bazate pe inteligență artificială. Tabelul 2.4-2.5 oferă o prezentare detaliată a defecțiunilor comune observate la placa de control de zbor și, respectiv, la senzorii de zbor.

Tabelul 2.4 Cele mai frecvente defecțiuni ale plăcii de control de zbor a UAV-urilor

PLACA CONTROLORULUI DE ZBOR



Probleme de conexiune	Probleme cu firmware-ul	Probleme de răspuns ale sistemului	Probleme hardware	Interferențe externe
Pierderea conexiunii radio cu telecomanda	Probleme cu actualizarea software-ului	Lipsa de răspuns	Supraîncălzire	Interferențe electromagnetice
Eșecul legăturii telemetrice	Conflicte de firmware între componente	Răspuns incorect la comenzi	din cauza utilizării intensive sau a ventilației deficitare	(EMI) provenite de la dispozitive externe
Expirarea timpului de comunicare între FC și stația de sol	Eșecuri ale buclei de pornire	Comportament erratic și manevre neașteptate	Instabilitatea sursei de alimentare	Interferențe de frecvență radio (RFI)
Probleme de conectare a receptorului	Corupția parametrilor	Instabilitatea buclei de control	Defecțiuni componentă internă	
	Corupția memoriei flash	Probleme de reglare PID	Erori de memorie	
		Probleme de activare a sistemului de siguranță	Blocarea procesorului	

Tabelul 2.5 Cele mai frecvente defecțiuni ale senzorilor de zbor ai UAV-urilor

SENSORI DE ZBOR



IMU (Unitate de măsurare inerțială)

Magnetometru (busolă)

Barometru

Modul GPS/GNSS

Deriva/defecțiune giroscop
Probleme de calibrare a accelerometrului
Deriva de temperatură IMU
Zgomot indus de vibrații în citirile IMU
Erori de orientare la montarea IMU
Incoerență multi-IMU (atunci când se utilizează mai multe IMU)
Eșecuri în monitorizarea stării IMU

Probleme de calibrare a busolei
Erori de declinație magnetică
Deriva busolei în timp
Interferențe metalice care afectează citirile busolei
Probleme de calibrare a fierului dur/moale
Neconcordanța între busolă și GPS
Incoerență multiplă a busolei

Deriva senzorului de presiune barometrică
Instabilitatea menținerii altitudinii
Erori de compensare a temperaturii
Probleme de calibrare a barometrului
Înfundarea senzorului de presiune (praf/umiditate)
Schimbări rapide de altitudine care provoacă întârzierea senzorului

Pierderea semnalului GPS
Raportarea incorectă a datelor de localizare
Degradarea preciziei GPS
Probleme cu constelația sateliților
Spoofing/bruiaj GPS
Erori RTK/GPS diferențial
Probleme de fuziune GPS-busolă
Probleme legate de comutarea între constelații multiple
Întârzieri la pornirea la rece a GPS-ului
Avertismente HDOP (diluție orizontală a preciziei)

2.2.4. Defecțiuni frecvente în sistemul de comunicații UAV

Sistemele de comunicații ale dronelor se confruntă cu diverse probleme, cum ar fi pierderea semnalului, interferențe din surse RF (frecvență radio) din apropiere și limitări de rază de acțiune din cauza distanței sau a obstacolelor. Anomaliile de alimentare, condițiile de mediu și congestia frecvențelor în benzile de 2,4 GHz/5,8 GHz pot perturba controlul. Deteriorarea

antenei, defecțiunile de legătură și ieșirile defectuoase ale canalelor afectează transmisia. Bug-urile firmware-ului pot provoca un comportament eratic. Telemetria și legăturile video suferă de semnale slabe, interferențe, latență, pierderea de pachete și întreruperi legate de alimentare. Condițiile meteorologice nefavorabile și defecțiunile stației de sol afectează, de asemenea, performanța. În general, menținerea unor sisteme fiabile de emițător radio (Tx) și receptor (Rx) este esențială pentru funcționarea stabilă și sigură a UAV-urilor. Tabelul 2.6 prezintă o imagine de ansamblu detaliată a defecțiunilor frecvente observate în sistemul de comunicații al UAV-urilor.

Tabelul 2.6 Cele mai frecvente defecțiuni ale sistemului de comunicații al UAV-urilor

SISTEMUL DE COMUNICAȚIE AL UAV-URILOR



Emițător radio (Tx) și receptor (Rx)

- Pierderea semnalului și interferențe
- Limitări de rază de acțiune
- Anomalii ale bateriei și alimentării
- Impactul asupra mediului
- Conflicte de bandă de frecvență
- Deteriorarea antenei
- Eșecuri de conectare și asociere
- Ieșiri defectuoase ale canalelor
- Probleme de firmware și software



Transmisia de date (telemetrie, transmițător video)

- Semnal slab
- Interferențe
- Latență ridicată
- Pierderea/coruperea pachetelor
- Probleme de alimentare
- Factori de mediu
- Congestionarea benzii de frecvență
- Probleme cu stația de sol
- Antene deteriorate/dezaliniat
- Erori de firmware

Sistemul de comunicații cuprinde de obicei un transmițător radio, dispozitivul portabil al pilotului pentru trimiterea comenzilor, care sunt apoi recepționate de receptorul radio al dronei și transmise către controlerul de zbor. Un radio telemetric asigură o legătură bidirecțională vitală, permițând dronei să trimită date esențiale, cum ar fi starea bateriei, poziția și starea generală, înapoi pilotului, primind în același timp setări sau comenzi.

Pentru o conștientizare în timp real a situației, un transmițător video (VTx) transmite pilotului imagini video live de la camera dronei. Antenele sunt atașate la toate aceste componente Tx, Rx, VTx și receptorul video (VRx) pentru a asigura transmiterea și recepția eficientă și fiabilă a semnalelor radio.

2.2.5. Defecțiuni frecvente ale sarcinii utile a UAV

Dronele sunt extrem de versatile datorită sarcinii utile, care integrează echipamente specifice misiunii, pe lângă componentele de zbor de bază. În esență, acest sistem include adesea o cameră, crucială pentru diverse aplicații, de la fotografie și videografie de înaltă calitate până la navigație avansată bazată pe viziune, cu opțiuni variind de la unități stabilizate cu cardan pentru imagini fluide până la FPV (First Person View) și camere multispectrale specializate.

În completarea camerei, se utilizează frecvent un cardan pentru a stabili activ camera, asigurând imagini clare și stabile, indiferent de mișcarea dronei. Dincolo de captarea vizuală, sarcina utilă poate găzdui, de asemenea, o gamă diversă de senzori specializați, cum ar fi LiDAR pentru cartografiere precisă, camere termice pentru detectarea căldurii, senzori de gaz pentru monitorizarea mediului sau senzori multispectrali pentru analiza agricolă, permițând cu adevărat dronelor să îndeplinească o gamă largă de sarcini. Tabelul 2.7 prezintă o imagine de ansamblu detaliată a defecțiunilor comune observate la încărcătura utilă a UAV-urilor.

Sistemele de suspensie și cameră sunt predispuse la diverse probleme care pot afecta performanța și calitatea imaginii. Erorile comune ale suspensiei includ defectarea motorului suspensiei, adesea cauzată de funcționarea continuă, impacturi fizice sau sarcină excesivă. Ruptura cablului flexibil este o altă problemă frecventă datorată mișcărilor repetate ale suspensiei, în timp ce conexiunile slăbite pot apărea în timp din cauza vibrațiilor sau uzurii generale. Vibrațiile imaginii pot rezulta din elice dezechilibrate sau deteriorate, perturbând stabilitatea filmării.

În plus, eșecul calibrării cardanului poate fi cauzat de schimbări bruște de temperatură sau de șocuri, iar sistemul de suspensie al cardanului, care include mecanisme de amortizare și conectori flexibili, este, de asemenea, susceptibil la uzură și deteriorare. Dacă înclinarea

sau rotirea cardanului depășește limitele sale mecanice, limitatoarele interne se pot deforma sau rupe.

Tabelul 2.7 prezintă o imagine de ansamblu detaliată a defecțiunilor frecvente observate la sarcina utilă a UAV-urilor.

Tabelul 2.7 Cele mai frecvente defecțiuni ale sarcinii utile a UAV-urilor

SARCINA UTILĂ A UAV-URILOR	
	
Cardane	Cameră
Defecțiuni motor cardanic	Probleme cu senzorul camerei
Ruptura cablului flexibil	Probleme cu cardul SD
Conexiuni slăbite	Aburirea lentilelor
Vibrații ale imaginii	Incompatibilități firmware
Defecțiuni la calibrarea cardanului	
Deteriorarea sistemului de suspensie al cardanului	
Înclinarea/rotirea cardanului depășește limitele	

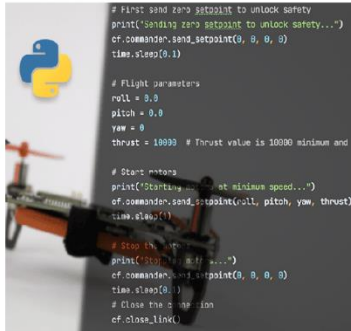
În ceea ce privește camera, problemele includ deteriorarea senzorului camerei, care rezultă de obicei din utilizarea prelungită sau din impact. Problemele cu cardul SD, cum ar fi cardurile corupte, erorile de înregistrare și pierderea datelor, sunt de asemenea frecvente. Factorii de mediu, cum ar fi schimbările de temperatură, pot duce la aburirea lentilelor din cauza acumulării de umiditate în interiorul acestora. În cele din urmă, pot apărea

incompatibilități ale firmware-ului din cauza erorilor de actualizare sau a conflictelor de software, afectând funcționarea corectă atât a sistemului gimbal, cât și a celui al camerei.

2.2.6. Defecțiuni frecvente ale cadrului și software-ului UAV

Structura de bază a oricărui UAV este cadrul și șasiul său, care constituie coloana vertebrală esențială pe care sunt integrate toate celelalte componente. Acest cadru central include de obicei cadrul principal, care servește ca suprafețe principale superioare și inferioare pentru montarea componentelor electronice și a altor piese. De la aceste plăci se extind brațele, elemente cruciale pe care sunt fixate în siguranță motoarele, cu designuri care variază de la fixe la pliabile pentru portabilitate. Întreaga structură este ținută împreună de diverse piese de montare, cum ar fi șuruburi, piulițe și distanțiere de susținere, care asigură rigiditatea și stabilitatea. În cele din urmă, trenul de aterizare asigură picioarele sau patinele necesare, permițând dronelor să aterizeze în siguranță și stabil. Tabelul 2.8 prezintă o imagine de ansamblu detaliată a defecțiunilor frecvente observate la cadrul și software-ul UAV-urilor.

Tabelul 2.8 Cele mai frecvente defecțiuni ale cadrului și software-ului UAV

	
Caroserie/Cadru	Software/Firmware
- Fisuri și rupturi - Șuruburi și conexiuni slăbite - Vibrații - Piese îndoite sau nealiniat - Oboseala materialului - Uzură - Coroziune - Defecțiuni ale rulmenților și punctelor de pivotare - Deformare	- Probleme de optimizare a puterii - Erori de citire a datelor - Întreruperi de comunicare - Pierderea datelor - Probleme de stabilizare - Probleme de compatibilitate - Erori de actualizare a firmware-ului - Probleme de conexiune GSC - Coruperea fișierului jurnal - Erori ale mecanismului de siguranță

Defecțiunile cadrului dronei includ, de obicei, fisuri și rupturi ale componentelor structurale, care rezultă de obicei din aterizări dure, coliziuni sau oboseala materialului. Aceste probleme compromit în mod direct integritatea structurală și prezintă riscuri semnificative pentru siguranță. Șuruburile și conexiunile slăbite apar adesea din cauza vibrațiilor susținute, a ciclurilor de expansiune și contracție termică sau a strângerii insuficiente în timpul asamblării, putând provoca detașarea pieselor, dezechilibrul sistemului și degradarea performanței.

Deteriorarea cauzată de vibrații, indusă de dezechilibrul motorului, deteriorarea elicei sau turația excesivă, accelerează oboseala materialelor și slăbește conexiunile critice. Piesele îndoite sau nealiniat, cauzate de obicei de impacturi, asamblare necorespunzătoare sau sarcini excesive, perturbă aerodinamica și introduc dezechilibru. Oboseala materialelor, determinată de solicitări repetitive, îmbătrânire sau factori de mediu, slăbește treptat componentele și crește riscul de rupere bruscă. Uzura generală cauzată de frecare, expunerea la mediul înconjurător și utilizarea normală duce la scăderea performanței și la pierderea eficienței etanșărilor.

Coroziunea cauzată de umiditate, sare sau substanțe chimice degradează materialele și slăbește elementele structurale. Defecțiunile la rulmenți și puncte de pivotare, adesea cauzate de lubrifiere inadecvată, contaminare sau suprasarcină, afectează mecanisme precum trenul de aterizare. În cele din urmă, deformarea cauzată de temperaturi excesive, depozitare necorespunzătoare sau impacturi creează dificultăți de asamblare și probleme continue de dezechilibru.

2.3. Identificarea defecțiunilor în sistemele UAV

2.3.1. Simptome ale defecțiunilor în sistemele de propulsie ale UAV

Problemele de propulsie ale UAV se manifestă prin zgomote/vibrații neobișnuite ale motorului, supraîncălzire sau mișcări sacadate, indicând adesea probleme ale motorului. Defecțiunile ESC se manifestă prin oprirea bruscă a motorului, comportament neregulat sau lipsa răspunsului accelerației, fiind frecvente urmele de arsuri sau componentele umflate. Deteriorarea elicei duce la creșterea vibrațiilor și la reducerea portanței.

Combinat, acestea pot provoca instabilitate generală a zborului, pierderea neașteptată a altitudinii sau incapacitatea de a menține zborul staționar. Tabelul 2.9 oferă o prezentare

detaliată a simptomelor comune ale defecțiunilor observate în sistemele de propulsie ale UAV.

2.3.2. Simptome ale defecțiunilor în sistemele de alimentare ale UAV

Problemele de alimentare ale UAV-urilor provin adesea de la baterie sau de la placa de distribuție a energiei (PDB). Problemele bateriei includ reducerea timpului de zbor, scăderi rapide de tensiune, umflarea, supraîncălzirea și dezechilibrul celulelor. Problemele PDB se manifestă de obicei sub forma unei alimentări inconsistente, supraîncălzirii, pierderii de putere a componentelor sau decolorării îmbinărilor sudate.

Recunoașterea acestor simptome este esențială pentru diagnosticarea rapidă și funcționarea în siguranță. Tabelul 2.10 prezintă o imagine de ansamblu detaliată a simptomelor comune ale defecțiunilor observate în sistemele de alimentare ale UAV-urilor.

Tabelul 2.9 Cele mai frecvente simptome ale defecțiunilor din sistemul de propulsie al UAV-urilor

  		
Motor	ESC	Elice
Zgomot/vibrații neobișnuite	Oprirea bruscă a motorului	Vibrații crescute
Dificultate la rotire manuală	Comportament neregulat al motorului	Ridicare/împingere redusă
Putere inconstantă	SC nu se cuplează	Deteriorări vizibile
Supraîncălzire	Zgomote neobișnuite	
Deteriorări vizibile/decolorare	Urme de arsuri	
Mișcare sacadată a motorului	Componente umflate	
Consum excesiv de curent	Supraîncălzire	
Râșeală a rulmentului sau rotație neregulată	Nu răspunde la comanda accelerației	
	Conexiune intermitentă	

Indicatori de stare LED care
afișează coduri de eroare
Căderea tensiunii sub
sarcină

Tabelul 2.10 Cele mai frecvente simptome ale defecțiunilor sistemului de alimentare al UAV-urilor



Baterie
Timp de zbor redus
Căderi rapide de tensiune sub sarcină
Umflare fizică
Supraîncălzire în timpul încărcării
Supraîncălzire
Bateria nu menține încărcarea
Timp de încărcare mai lung decât în mod normal
Dezechilibru de tensiune între celulele bateriei
Sunete neobișnuite în timpul încărcării
Coroziune sau scurgeri în jurul bornelor bateriei

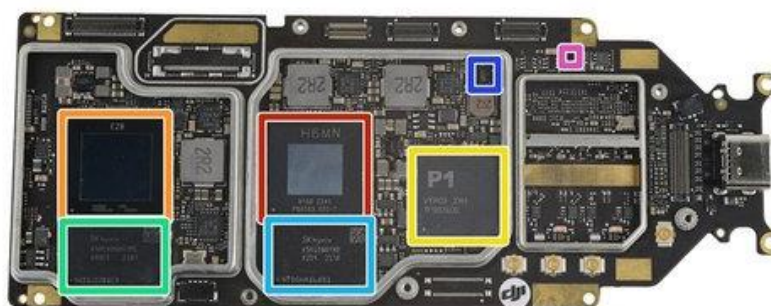


Placă de distribuție a energiei (PDB)
Distribuție inconsistentă a energiei
Supraîncălzire
Semne vizibile de ardere
Supraîncălzire
Pierdere de energie la anumite componente
Alimentare intermitentă a motoarelor/camerei
Îmbinări de lipit decolorate sau topite

2.3.3. Simptome ale defecțiunilor plăcii controlerului de zbor UAV și senzorului de zbor

Problemele comune ale controlerului de zbor (FC) includ întreruperea alimentării, buclele de pornire, problemele de conexiune USB și imposibilitatea de a arma. Pot apărea citiri eronate ale senzorilor, mișcări necomandate, răspuns întârziat al manetei sau zboruri necontrolate. Chiar și cu o configurare corectă, FC-urile pot provoca desincronizarea motorului, defecțiuni ale funcției GPS sau zboruri inconsistente din cauza defectelor mai profunde ale sistemului sau firmware-ului. Tabelul 2.11-12 prezintă o imagine de ansamblu detaliată a simptomelor comune ale defecțiunilor observate la placa controlerului de zbor și, respectiv, la senzorii de zbor.

Tabelul 2.11 Cele mai frecvente simptome ale disfuncționalităților din placa controlerului de zbor al UAV-urilor



Probleme de armare și pre-zbor

Fără alimentare/fără lumini

Eșec la pornire

Computerul/configuratorul nu detectează

Eșec la armare

Indicatori de armare incorecti

Citiri inconsistente ale senzorului

Simptome comportamentale

Mișcări necomandate

Comportament de zbor neregulat

Eșecul de a răspunde/întârzierea stick-ului

Zboruri necontrolate/pierderea controlului

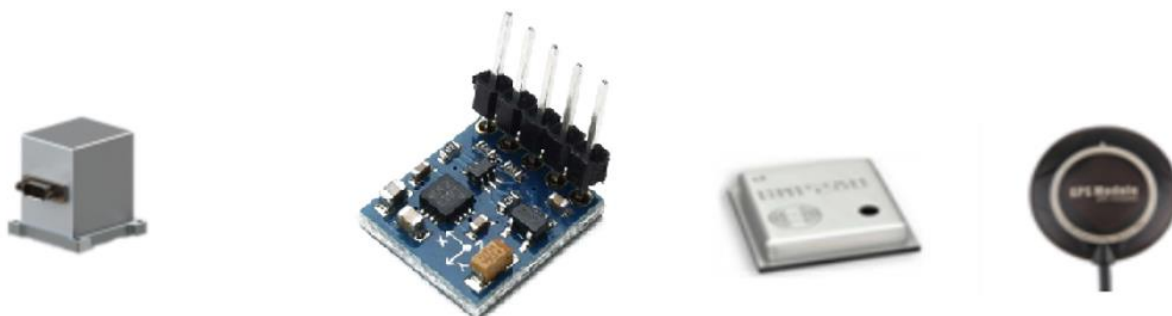
Întreruperi intermitente de alimentare

Autonomie inconsecventă

Desincronizare motor/întreruperi

Erorile senzorilor din UAV-uri, în special în IMU, magnetometru, barometru și GPS/GNSS, pot duce la anomalii grave de zbor. Defecțiunile IMU pot provoca oscilații sau zbor staționar instabil. Erorile magnetometrului pot duce la derivă, probleme de girație sau defecțiuni ale modului GPS. Problemele barometrului duc adesea la instabilitate altitudinală. Erorile GPS/GNSS pot cauza o fixare slabă a satelitului, poziționare inexactă sau salturi pe hartă. Aceste probleme pot împiedica zborul stabil sau funcțiile de întoarcere la bază (RTH). Defecțiunile combinate ale senzorilor pot provoca chiar și zboruri necontrolate, prezentând riscuri majore pentru siguranță.

Tabelul 2.12 Cele mai frecvente simptome ale defecțiunilor senzorilor de zbor ai UAV-urilor



Erori IMU (unitate de măsurare inerțială)	Erori ale magnetometrului (busola)	Erori ale barometrului	Erori ale modulului GPS/GNSS
Comportament de zbor neregulat	Bowling în toaletă	Instabilitate a altitudinii	Eșecul de a obține fixarea
Derivare	Comportament eratic al devierii	Afișare incorectă a altitudinii	Achiziție lentă a poziției
Eșecul stabilizării	Afișare incorectă a direcției	Eșecul menținerii altitudinii	Număr redus de sateliți
Mișcări necomandate	Eșecul activării	Urmărire deficitară a terenului	HDOP/VDOP slab
Eșecul armării/inițierii	modurilor asistate de GPS	Probleme cu altitudinea RTH	Poziție inexactă
	Performanță RTH slabă		Deriva/saltul poziției
	Eșecuri de calibrare		Eșecul activării modurilor GPS
			Comportament neregulat al rth
			Risc de zbor necontrolat

2.3.4. Simptome ale disfuncționalităților sistemului de comunicații al UAV

Mișcările necontrolate, cum ar fi derivarea sau tremurarea, indică adesea probleme în sistemul de comunicații al UAV, afectând funcțiile emițătorului radio (Tx) și receptorului (Rx). Simptomele includ eșecuri de legare, semnale slabe/intermitente sau pierderea completă a semnalului, ceea ce duce la avertismente de „deconectare” a stației de sol sau „fără semnal” pe ochelarii FPV.

În plus, telemetria lentă/blocată, latența video, pixelarea și raza de acțiune redusă sunt semne comune ale problemelor de transmisie a datelor, toate acestea compromițând siguranța și controlul zborului. Tabelul 2.13 oferă o prezentare detaliată a simptomelor comune ale disfuncționalităților observate în sistemul de comunicații al UAV.

2.3.5. Simptome ale disfuncționalităților în sarcina utilă a UAV

Disfuncționalitățile cardanului și ale camerei în UAV se manifestă adesea ca simptome clare. Problemele cardanului includ zgomote neobișnuite, înclinare, eșecuri de inițializare, deformare vizibilă și mișcări neregulate. Problemele camerei pot duce la imagini neclare sau distorsionate, schimbări de culoare, expunere necorespunzătoare și întreruperi video. Aceste simptome sunt esențiale pentru diagnosticarea și rezolvarea problemelor din cadrul componentelor de imagistică și stabilizare ale dronei. Tabelul 2.14 oferă o prezentare detaliată a simptomelor comune ale disfuncționalităților observate în sarcina utilă a UAV-urilor.

Tabelul 2.13 Cele mai frecvente simptome ale disfuncționalităților din sistemul de comunicații al UAV-urilor



Transmițător radio (Tx)
Receptor radio (Rx)
Fără alimentare/nu răspunde
Eșec de legare
ieșiri de canal defecte
Semnal slab
Semnal intermitent
Pierdere de semnal



Transmisie de date (telemetrie, transmițător video)
Stația de sol afișează avertismentul „Deconectat”
Ochelarii FPV afișează „Fără semnal” sau zgomot static
Actualizări telemetrice lente sau blocare
Latență a fluxului video
Valori care pâlpâie sau sar în mod eratic
Afișarea datelor lipsă sau corupte
Pixelare, rupere, efect de zăpadă în imagine
Elementele OSD pâlpâie sau dispar
Rază de acțiune redusă
Explozia bruscă de static
Linii sau valuri în model în videoclip

Tabelul 2.14 Cele mai frecvente simptome ale disfuncționalităților în sarcina utilă a UAV-urilor



Gimbal

Zgomote neobișnuite provenite de la motoarele cardanului
 Gimbalul se înclină într-o parte la pornire
 Gimbalul nu se inițializează corect la pornire
 Gimbal vizibil lăsat sau înclinat
 Gimbalul se mișcă, dar nu menține poziția
 Gimbalul se deplasează sau se înclină în mod neașteptat
 Mișcare sacadată sau întreruptă în timpul funcționării
 Gimbalul vibrează sau se agită excesiv
 Controlul gimbalului este lent sau nu răspunde
 Gimbalul se blochează sau nu mai răspunde deloc
 Mișcări neregulate sau aleatorii ale gimbalului

Cameră

Imagini neclare sau defocalizate
 Efectul Jello sau rolling shutter în videoclip
 Distorsiune sau deformare a imaginii
 Schimbări de culoare sau balans de alb incorect
 Imagini supraexpuse sau subexpuse
 Întreruperi video sau pierderi de cadre

2.3.6. Simptome ale disfuncționalităților cadrului și software-ului UAV

Defecțiunile cadrului UAV sunt adesea evidente sau detectabile vizual în timpul zborului. Verificați dacă există fisuri vizibile, șuruburi slăbite sau brațe îndoite, deoarece acestea afectează în mod direct integritatea structurală. Simptomele în zbor în- e includ vibrații excesive, instabilitate neobișnuită sau dificultăți în menținerea zborului la nivel, indicând probleme ascunse ale cadrului.

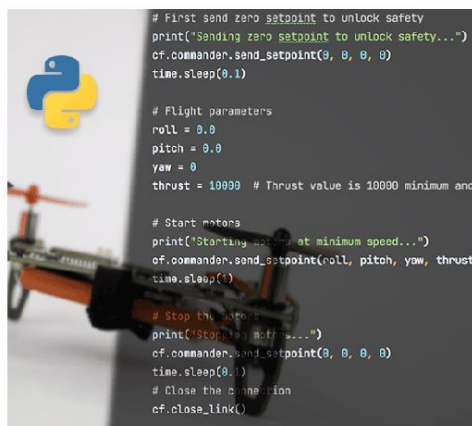
Alte semne, cum ar fi secțiuni deformate, găuri de șuruburi uzate, zgomote de zgârieturi sau probleme cu mecanismele de pliere, indică, de asemenea, deteriorări critice ale cadrului, care necesită atenție imediată pentru o funcționare sigură. Tabelul 2.15 prezintă o imagine de ansamblu detaliată a simptomelor comune ale disfuncționalităților observate la cadrul și software-ul UAV-urilor.

Tabelul 2.15 Cele mai frecvente simptome ale disfuncționalităților cadrului și software-ului UAV-urilor



Caroserie/Cadru

Fisuri sau fracturi vizibile în fibra de carbon/plastic
 Șuruburi și elemente de fixare slăbite sau lipsă
 Brațe ale cadrului îndoite sau răsucite
 Vibrații excesive în timpul zborului
 Instabilitate sau oscilații neobișnuite în timpul zborului
 Dificultate în menținerea zborului orizontal
 Secțiuni ale cadrului deformat sau îndoite
 Găuri de șurub uzate sau mărite
 Coroziune sau decolorare a suprafeței
 Zgomote de zgârieturi în timpul funcționării
 Dificultate la pliere/desfășurare (pentru drone pliabile)



Software/Firmware

Comportament de zbor neregulat sau instabil
 Schimbări neașteptate de altitudine
 Neresponsivitate la comenzile de control
 Defecțiuni a funcției de întoarcere la punctul de plecare
 Instabilitate în menținerea poziției
 Pierderea transmisiei datelor telemetrice
 Pierderea semnalului de control
 Întreruperi sau întârzieri ale transmisiilor video
 Avertismente privind deconectarea stației de sol
 Semnal sonor continuu de eroare sau avertismente LED
 Eșecuri ale verificării stării sistemului
 Avertismente privind bateria descărcată, în ciuda încărcării complete
 Erori de memorie sau stocare

Când o dronă prezintă zboruri neregulate, schimbări de altitudine sau ignoră comenzile, este probabil ca problema să fie cauzată de software sau firmware. Defecțiunile la revenirea la punctul de plecare, menținerea instabilă a poziției, pierderea telemetriei, pierderea semnalelor de control și întreruperile video indică, de asemenea, aceste probleme.

Semnalele sonore persistente de eroare, avertismentele LED, eșecurile verificării stării de funcționare, alertele false privind bateria descărcată și erorile de memorie indică, de asemenea, defecțiuni ale software-ului sau firmware-ului care necesită atenție și potențiale actualizări.

2.4. Instrumente și metode de diagnosticare pentru defecțiuni ale UAV

Conținutul acestei secțiuni se referă la depanarea dronelor, în special în categoriile „Instrumente” și „Metoda de diagnosticare a defectelor”. Pentru o reprezentare vizuală a instrumentelor de diagnosticare utilizate în mod obișnuit pentru defecțiunile UAV, consultați Figura 2.2.



Figura 2.2 Instrumente de diagnosticare utilizate frecvent pentru defecțiunile UAV

2.4.1. Instrumente și metode de diagnosticare pentru sistemele de propulsie ale UAV

Pentru motoare, diagnosticarea include inspecția vizuală, monitorizarea rezistenței/temperaturii și analiza vibrațiilor folosind un osciloscop sau un banc de testare a motorului. ESC-urile sunt evaluate prin inspecție vizuală pentru a detecta componentele arse, monitorizarea temperaturii și testarea curentului/tensiunii cu un multimetru și o cameră termică. Elicele sunt diagnosticate prin inspecție vizuală/tactilă, teste de echilibrare și verificări ale montării folosind o lupă și un echilibrator de elice, asigurând funcționarea eficientă și sigură a dronei. Tabelul 2.16 prezintă principalele instrumente de măsurare și metode de diagnosticare a defectelor pentru sistemele de propulsie ale UAV-urilor.

2.4.2. Instrumente și metode de diagnosticare pentru sistemele de alimentare ale UAV

Diagnosticul sistemelor de alimentare ale UAV se bazează pe instrumente și metode specifice. Pentru baterie, un multimetru digital, un analizor de baterii și un termometru cu infraroșu sunt esențiale pentru testarea tensiunii, verificarea capacității și monitorizarea temperaturii. PDB necesită un multimetru digital, o cameră cu imagistică termică și o lupă pentru inspecția vizuală, măsurarea tensiunii și imagistica termică pentru a identifica problemele. Aceste abordări combinate asigură un diagnostic complet al defectelor, de la echilibrarea celulelor până la analiza consumului de curent, menținând fiabilitatea UAV. Tabelul 2.17 prezintă instrumentele de măsurare cheie și metodele de diagnosticare a defectelor pentru sistemele de alimentare ale UAV-urilor.

Tabelul 2.16 Instrumente și metode de diagnosticare a defectelor în sistemul de propulsie al UAV-urilor

Instrumente	Motor	ESC	Elice
	Osciloscop	Multimetru	Lupă
	Banc de testare	Osciloscop	Lanterna LED puternică
	motor	Cameră termografică	Echilibrator de elice
	Gaussmeter	Card/software de programare	Cheie dinamometrică
	Cameră cu termoviziune sau termometru cu infraroșu	ESC Software de configurare a controlerului de zbor Tester pentru eliberarea elicelor Lupă	Analizor de vibrații
Metoda de diagnosticare a defectelor	Inspecție vizuală	Inspecție vizuală pentru	Inspecție vizuală și
	Test manual de rotație a arborelui	componente arse	tactilă
	Testarea rezistenței cu multimetru ul	Monitorizarea temperaturii prin telemetrie	Inspecție cu mărire
	înfășurărilor motorului	Măsurarea consumului de curent în raport cu capacitatea nominală	Test de echilibru
	Monitorizarea temperaturii motorului	Testarea tensiunii sub sarcină	Test de flexibilitate
	Analiza vibrațiilor	Verificarea căderilor/vârfurilor de tensiune	Test de rotație
	Măsurarea turației	Testarea continuității cu multimetru	Inspecție acustică
	Consumul de energie	Verificarea continuității cablului de semnal	Verificarea montării

Verificați conexiunile plăcii de distribuție a energiei

Testare cu un controler de zbor cunoscut ca fiind funcțional

Imagistică termică în timpul funcționării

Tabelul 2.17 Instrumente și metode de diagnosticare a defectelor în sistemul de alimentare al UAV-urilor

	Baterie	Placă de distribuție a energiei (PDB)
Instrumente	Multimetru digital	Multimetru digital
	Analizor de baterii	Cameră cu imagistică termică
	Aparat de măsurare a rezistenței interne	Termometru digital cu sondă
	Termometru cu infraroșu	Lupă cu iluminare LED
	Încărcător de baterii	Stație de lipit cu control al temperaturii
Metoda de diagnosticare a defectelor	Testarea tensiunii	Inspecție vizuală
	Verificarea echilibrului celulelor	Măsurarea tensiunii
	Testarea capacității	Analiza consumului de curent
	Măsurarea rezistenței interne	Testarea continuității
	Monitorizarea temperaturii	Imagistică termică
	Inspecție vizuală	
	Testarea ratei de descărcare	
	Analiza timpului de încărcare	
	Testarea sarcinii ciclice	

2.4.3. Instrumente și metode de diagnosticare pentru placa de control a zborului UAV și senzorul de zbor

Diagnosticarea defectărilor UAV, în special a celor care implică mișcări necomandate, cum ar fi derivarea sau tresărirea, se bazează în mare măsură pe o abordare sistematică a plăcii de control de zbor și a senzorilor de zbor. După cum se detaliază în tabelul 2.18, o serie de instrumente de măsurare specializate, inclusiv osciloscoape și analizoare logice, sunt esențiale pentru identificarea problemelor din cadrul acestor sisteme complexe. Metodele

eficiente de diagnosticare a defectelor variază de la inspecții vizuale și analiza sursei de alimentare pentru controlerul de zbor până la analiza înregistrării datelor și testarea mediului pentru senzorii de zbor, asigurând o depanare cuprinzătoare pentru o performanță optimă a dronei.

Tabelul 2.18 Instrumente și metode de diagnosticare a defectelor în placa de control a zborului și senzorul de zbor al UAV-urilor

	Placă de control de zbor	Senzor de zbor
Instrumente	Multimetru digital	Multimetru digital
	Osciloscop	Osciloscop
	Analizor de spectru	Analizor logic
	Analizor logic	Dispozitiv de testare
	Sondă de curent/clește ampermetric	GPS/GNSS
	Stație de refacere cu aer cald	Instrument de calibrare a busolei
	USB	Platformă de testare IMU
		Analizor de spectru
Metoda de diagnosticare a defectelor	Inspecție vizuală	Analiza înregistrării datelor
	Analiza sursei de alimentare	Testare calibrare statică
	Testarea portului de comunicație	Referințe încrucișate
	Verificarea calibrării senzorului	Testare de mediu
	Urmărirea semnalului	Urmărirea traseului semnalului
	Flash/recuperare firmware	Testarea protocolului de comunicare
	Înlocuirea componentelor	
	Analiza termică	
	Analiza jurnalului de zbor	

2.4.4. Instrumente și metode de diagnosticare pentru sistemul de comunicații UAV

Diagnosticarea defectelor de comunicare în UAV-uri este esențială pentru o funcționare fiabilă. După cum se detaliază în Tabelul 2.19, depanarea eficientă implică instrumente și metode de măsurare specifice pentru componentele cheie. Pentru emițătorul radio (Tx) și receptorul radio (Rx), inginerii utilizează instrumente precum analizoare de spectru RF și contoare SWR pentru a efectua teste de intensitate a semnalului și teste de rază de acțiune, asigurând legături de control robuste. În mod similar, problemele legate de transmisia de date, inclusiv telemetria și video, sunt abordate folosind analiza pierderilor de pachete și analiza de baleiaj de frecvență, adesea cu contoare RSSI și analizoare de antenă. Aceste

abordări sistematice, ghidate de instrumentele potrivite, sunt vitale pentru menținerea integrității comunicațiilor UAV.

Tabelul 2.19 Metode și instrumente de diagnosticare a defectelor în sistemele de comunicații ale UAV-urilor

Metoda de diagnosticare a defectelor	Transmițător radio (Tx)	Transmisie de date (telemetrie, transmițător video)
	Receptor radio (Rx)	
	Testarea intensității semnalului	Analiza pierderii de pachete Analiza baleiajului de frecvență
	Testarea razei de acțiune	Testarea intensității semnalului
	Scanare frecvență	Testarea modelului antenei
	Testarea legăturii/conexiunii	Calcularea bugetului de legătură
	Testarea siguranței în caz de defect	Măsurarea latenței
Instrumente	Cartografierea canalelor	
	Măsurarea latenței	
		Analizor de spectru RF
		Aparat de măsurare SWR
		Multimetru
		Osciloscop
		Contor de putere RF
		Analizor de antenă
		Generator de semnal
		Contor RSSI

2.4.5. Instrumente și metode de diagnosticare pentru sarcina utilă a UAV

Depanarea eficientă a problemelor legate de sarcina utilă a UAV depinde de utilizarea instrumentelor de măsurare și a metodelor de diagnosticare a defectelor adecvate, astfel cum se detaliază în tabelul 2.20. În cazul cardanelor, instrumente precum inclinometrele și analizatoarele de vibrații, combinate cu inspecția vizuală și testarea sarcinii, identifică cu precizie problemele de stabilitate și mișcare.

Tabelul 2.20 Instrumente și metode de diagnosticare a defectelor în sarcina utilă a UAV-urilor

Instrumente	Cardan	Cameră
	Inclinometru	Tester de semnal HDMI/video
	Analizor de vibrații	Analizor de protocol USB
	Clește ampermetric	Multimetru digital
		Osciloscop

	Tester encoder/senzor de poziție Șubler de precizie Multimetru Osciloscop	Analizor de spectru
Metoda de diagnosticare a defectelor	Inspecție vizuală Testare funcțională Testare de sarcină Urmărirea semnalului Analiza jurnalului de date	Inspecție vizuală Testarea sursei de alimentare Urmărirea traseului semnalului Înlocuirea componentelor Verificarea versiunii firmware Analiza vibrațiilor Testarea protocolului de comunicare

În același timp, camerele beneficiază de testere de semnal HDMI/video și analizoare de spectru, combinate cu testarea sursei de alimentare și verificarea protocolului de comunicare pentru a rezolva problemele legate de imagistică și fluxul de date. Respectarea acestor abordări sistematice este esențială pentru menținerea integrității operaționale a sarcinii utile critice a unei drone.

2.4.6. Instrumente și metode de diagnosticare pentru cadrul UAV și software

Menținerea integrității structurale a UAV-urilor este esențială pentru siguranța și performanța zborului. După cum se arată în tabelul 2.21, „Instrumente de măsurare și metode de diagnosticare a defectelor în cadrul și software-ul UAV-urilor”, este esențială o inspecție amănunțită înainte de zbor a corpului/cadrului dronei. Instrumente precum lupa și iluminarea cu LED-uri ajută la inspecția vizuală detaliată și la verificarea elementelor de fixare. Un nivel cu bulă ajută la asigurarea simetriei și aliniamentului, în timp ce un analizor de vibrații poate detecta probleme subtile.

Verificările regulate ale traseului cablurilor, izolației și siguranței suportului bateriei previn defecțiunile obișnuite, asigurând funcționarea fiabilă și sigură a dronei.

Tabelul 2.21 Instrumente și metode de diagnosticare a defectelor în cadrul și software-ul UAV-urilor

	Carcasă/Cadru	Software
Instrumente	Lupă	Analizoare de jurnale (planificator de misiuni, qgroundcontrol)
	Iluminare LED	
	Șubler digital	Tablouri de bord telemetrie în timp real
	Șurubelniță	Instrumente de simulare (gazebo, SITL)
	Nivelă cu bulă	Indicatori de monitorizare a stării
	Analizor de vibrații	Monitoare ping/heartbeat
	Cântar	Console de depanare / jurnale de control la sol
	Calibru pentru pasul filetelor	Înregistratoare de date (ROS bag, MAVlink logger)
Metoda de diagnosticare a defectelor	Inspecție vizuală detaliată	Analiza codurilor de eroare
	Verificare simetrie	Verificarea redundanței senzorilor
	Verificarea elementelor de fixare	Temporizatoare de supraveghere
	Verificarea traseului cablurilor și a izolației	Verificarea consecvenței estimării stării
	Verificarea suportului bateriei și a fixării	Validarea validității parametrilor
	Test de flexibilitate și torsiune a caroseriei	Potrivirea semnăturilor jurnalului
		Analiza declanșatorului de siguranță

2.5. Diagrame de depanare

Această secțiune prezintă o abordare structurată pentru diagnosticarea problemelor operaționale comune întâlnite la vehiculele aeriene fără pilot (UAV). Diagramele sunt concepute pentru a ajuta la identificarea și rezolvarea problemelor precum latența controlului, devierea în zbor staționar, timpul de zbor redus, schimbări neașteptate de altitudine, comportament de zbor asimetric, zbor staționar instabil, vibrații excesive, schimbări neașteptate de mod și temperatură ridicată. Fiecare defecțiune este susținută de diagrame dedicate și referințe vizuale furnizate în acest capitol, care ghidează utilizatorii prin pași de decizie pas cu pas. Scopul este de a spori eficiența întreținerii, de a reduce la minimum timpul de nefuncționare și de a sprijini atât operatorii începători, cât și cei experimentați în obținerea unei performanțe sigure și stabile a dronelor.

În plus față de anomalii de performanță de zbor, sistemele UAV sunt, de asemenea, predispuse la diverse probleme operaționale și electronice care pot compromite succesul misiunii. Degradarea calității video și foto este una dintre cele mai frecvente probleme, rezultând adesea din calibrarea incorectă a cardanului, contaminarea lentilelor sau carduri

SD defecte. Pierderea semnalului este frecvent raportată în medii urbane dense, zone cu interferențe electromagnetice ridicate sau în condiții meteorologice nefavorabile. Declanșatoarele automate de aterizare sunt, de asemenea, răspândite, cauzate de obicei de niveluri scăzute ale bateriei, întreruperea semnalului sau activarea protocoalelor de siguranță încorporate. O altă problemă frecventă este întreruperea conexiunii controlerului, care poate fi cauzată de distanța excesivă, obstacole fizice sau conflicte de frecvență. Eșecurile de întoarcere la bază, de obicei legate de erori de înregistrare GPS sau inexactități în detectarea obstacolelor. Alte probleme din această categorie sunt rezistența inadecvată la vânt, care afectează în special dronele ușoare, și înghețarea stabilizatorului sau a camerei din cauza oboselii mecanice sau a inconsistențelor firmware-ului.

Diagramele complete sunt prezentate în **Figura 2.3 până la Figura 2.12** pentru a ajuta la depanarea diverselor probleme, inclusiv latența de control, vibrații excesive, devierea de la zborul staționar, timpul de zbor redus, schimbări neașteptate de altitudine, comportament de zbor asimetric, zbor staționar instabil, temperatură ridicată și schimbări neașteptate de mod. Aceste diagrame ghidează utilizatorii prin pași de diagnostic sistematic, asigurând identificarea eficientă a cauzelor principale și acțiuni corective adecvate. Fiecare diagramă este concepută pentru a aborda simptome specifice, minimizând timpul de nefuncționare și îmbunătățind siguranța operațională. Urmând aceste proceduri structurate, utilizatorii pot înțelege mai bine sistemele de bază și pot lua decizii informate de întreținere, îmbunătățind în cele din urmă performanța și fiabilitatea UAV atât în teren, cât și în laborator.

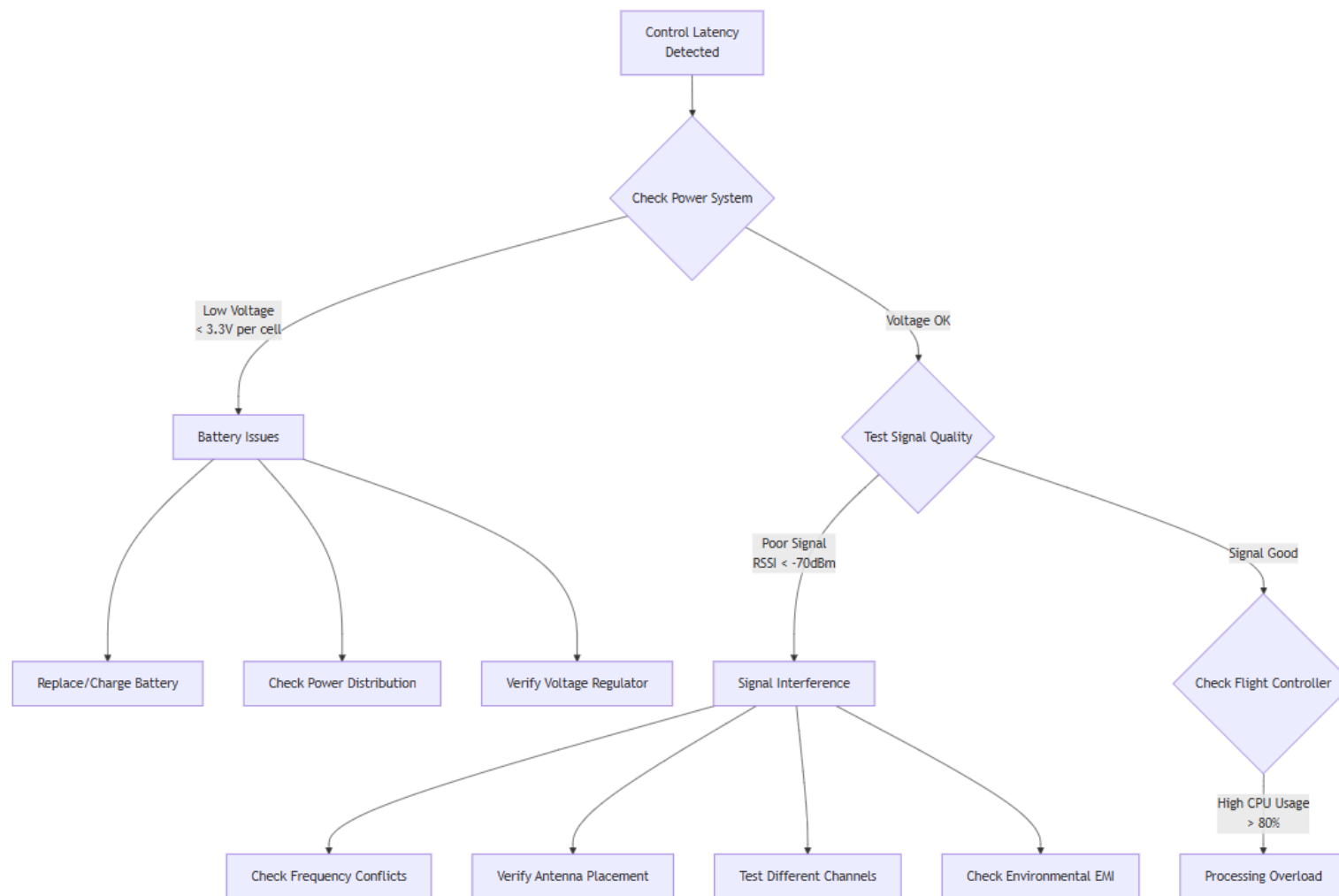


Figura 2.3. Diagrame pentru depanarea latenței de control (Partea 1)

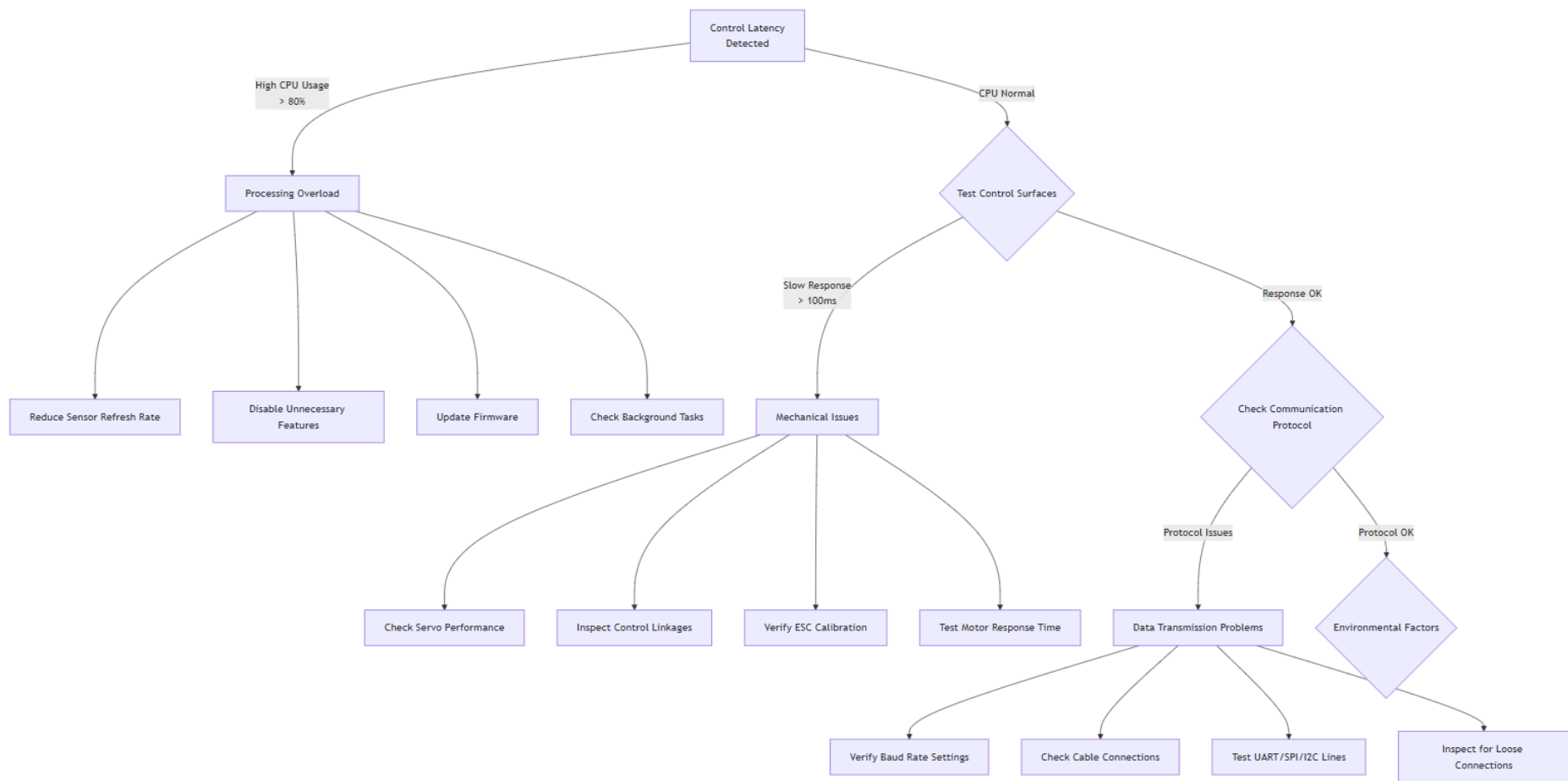


Figura 2.4. Diagrame pentru depanarea latenței de control (Partea 2)

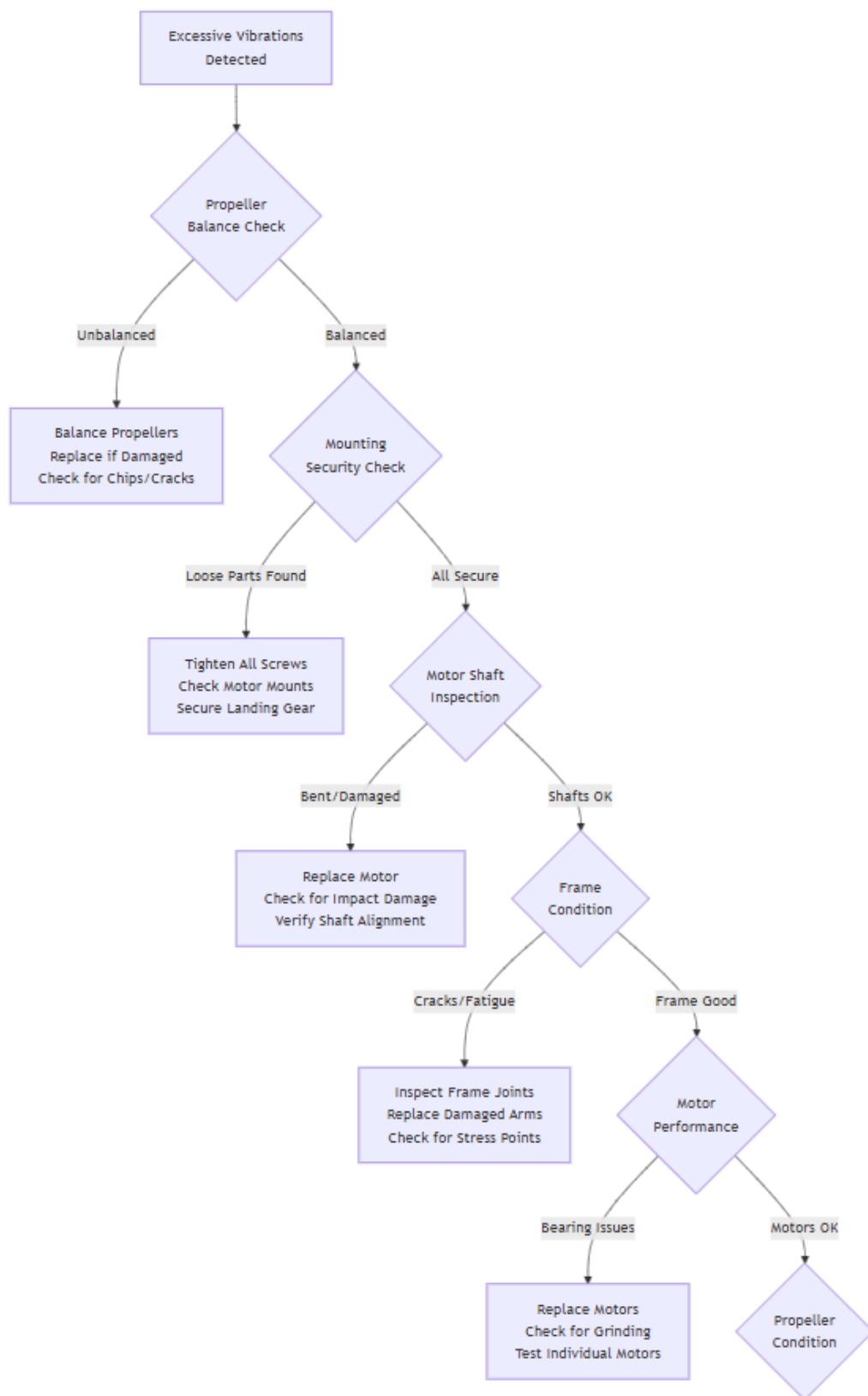


Figura 2.5 Diagrame pentru depanarea vibrațiilor excesive

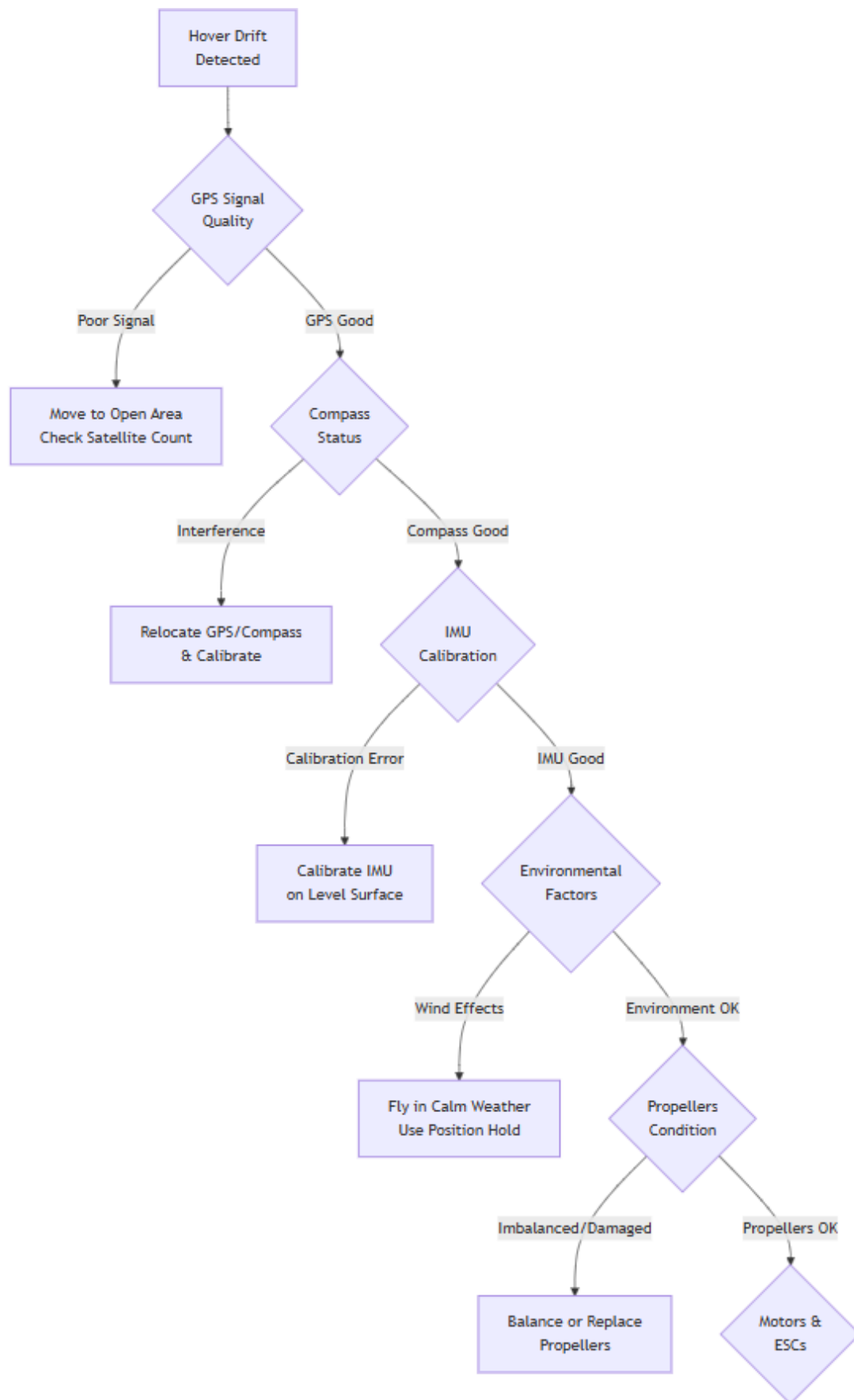


Figura 2.6 Diagrame pentru depanarea devierii în zbor staționar

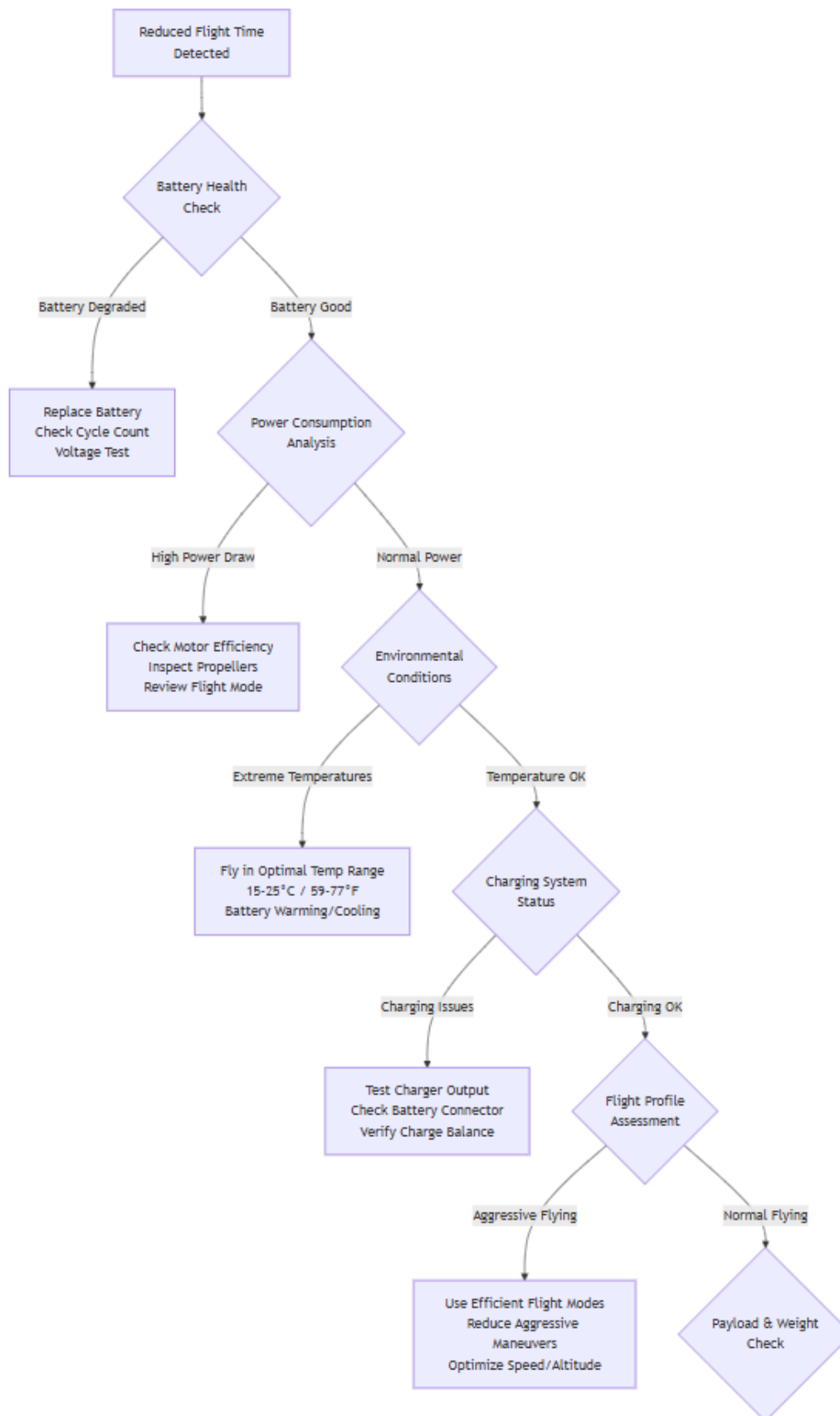


Figura 2.7 Diagrame pentru depanarea timpului de zbor redus

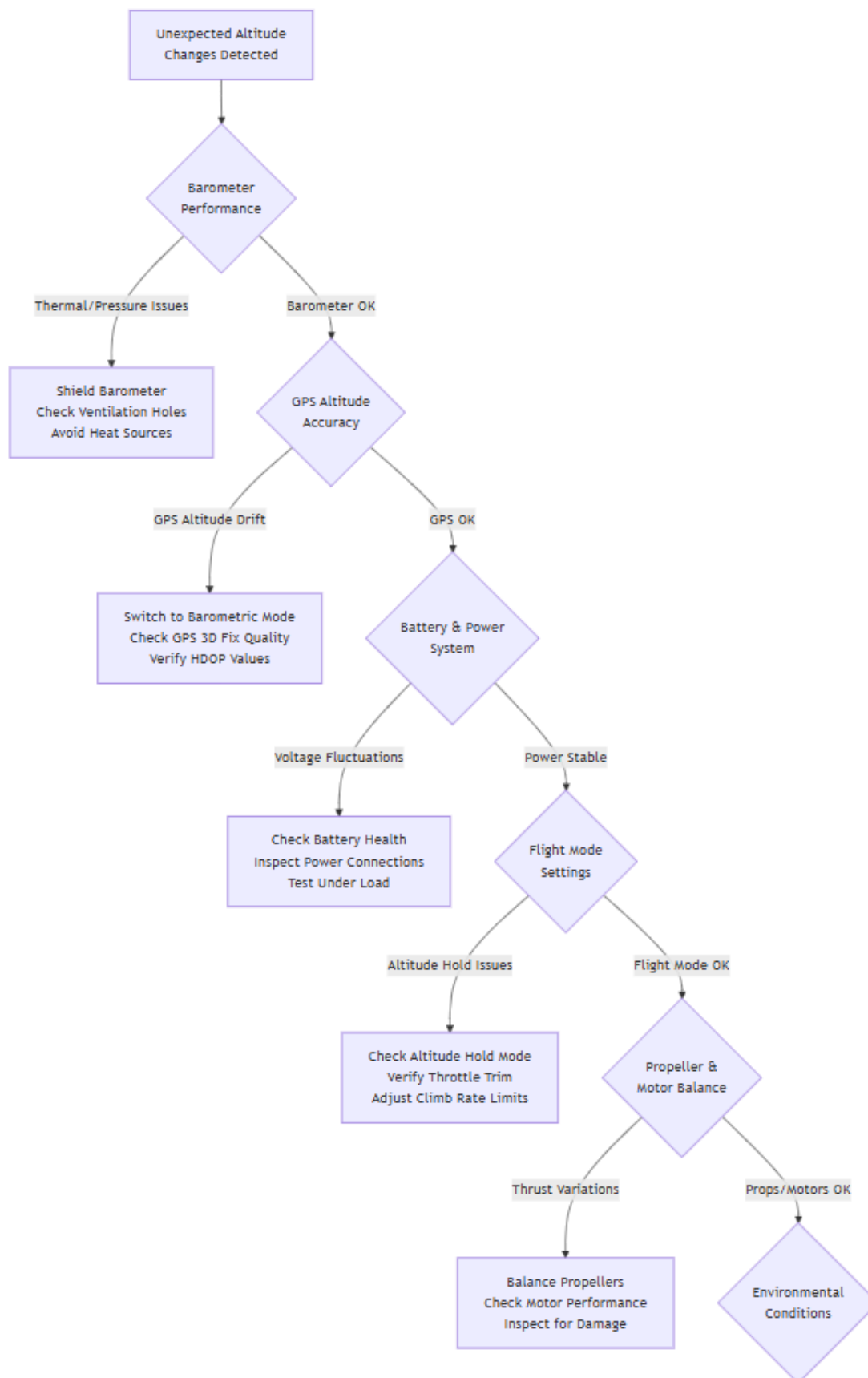


Figura 2.8 Diagrame pentru depanarea schimbărilor neașteptate de altitudine

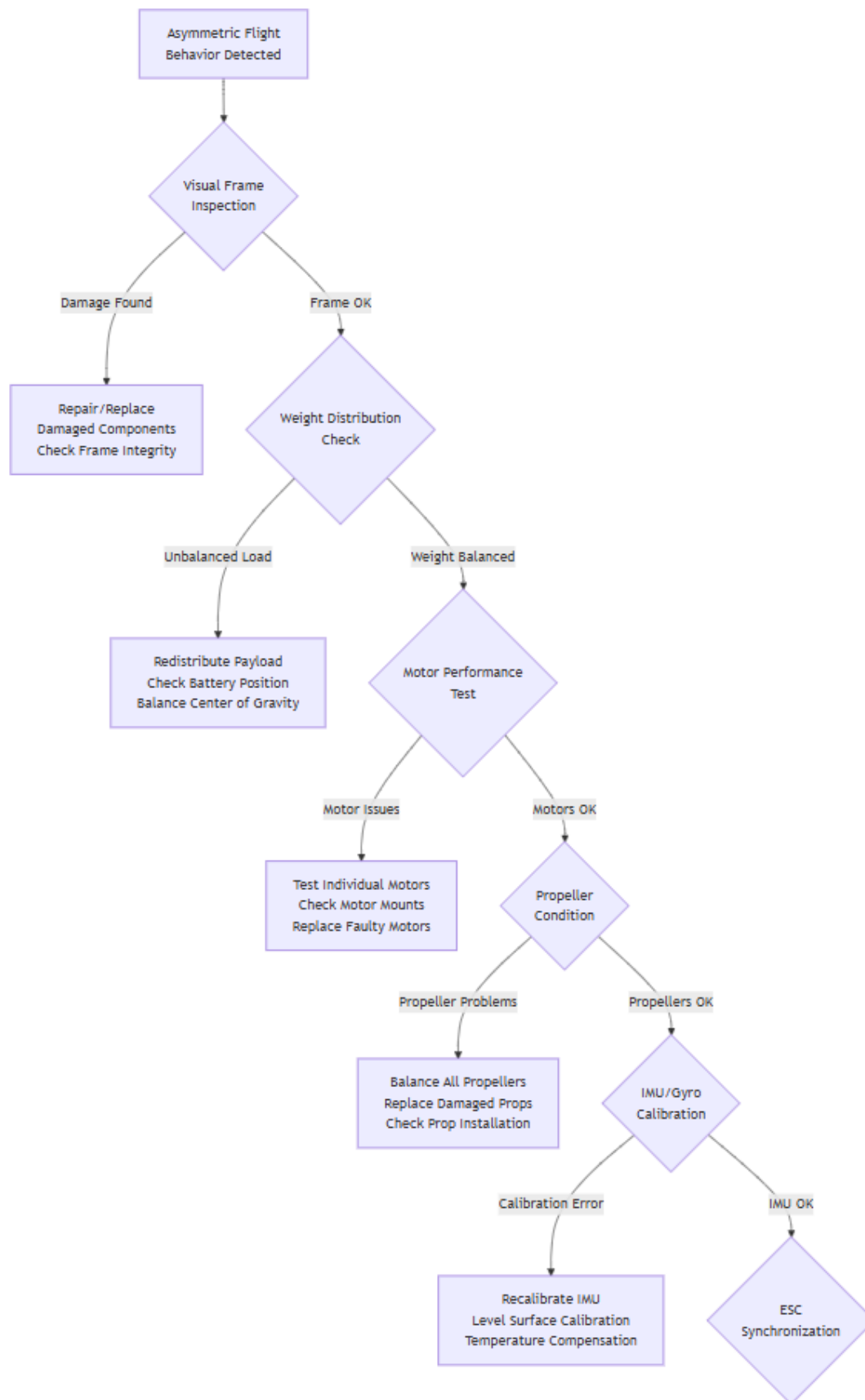


Figura 2.9 Diagrame pentru depanarea comportamentului de zbor asimetric

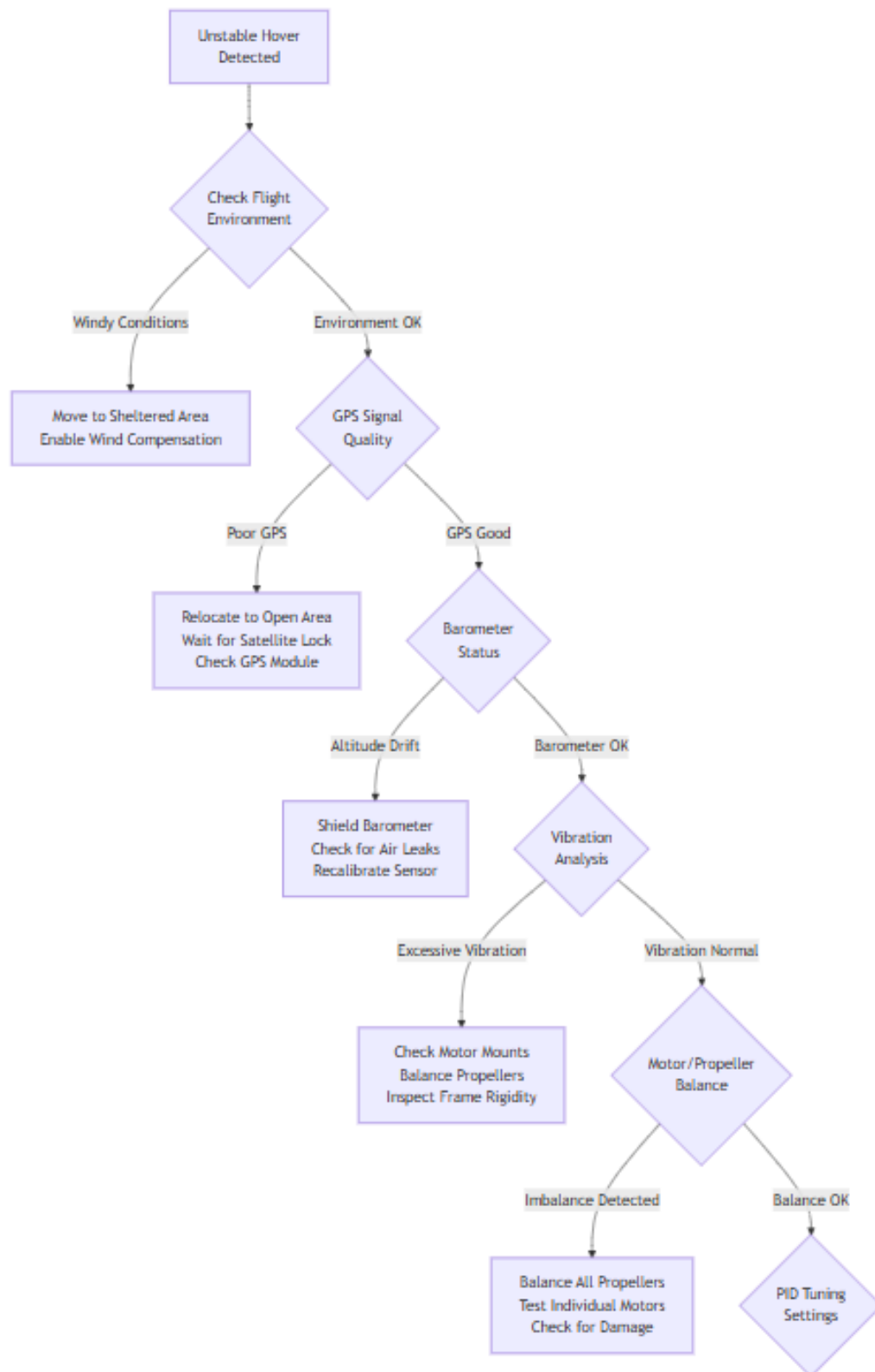


Figura 2.10 Diagrame pentru depanarea zborului staționar instabil

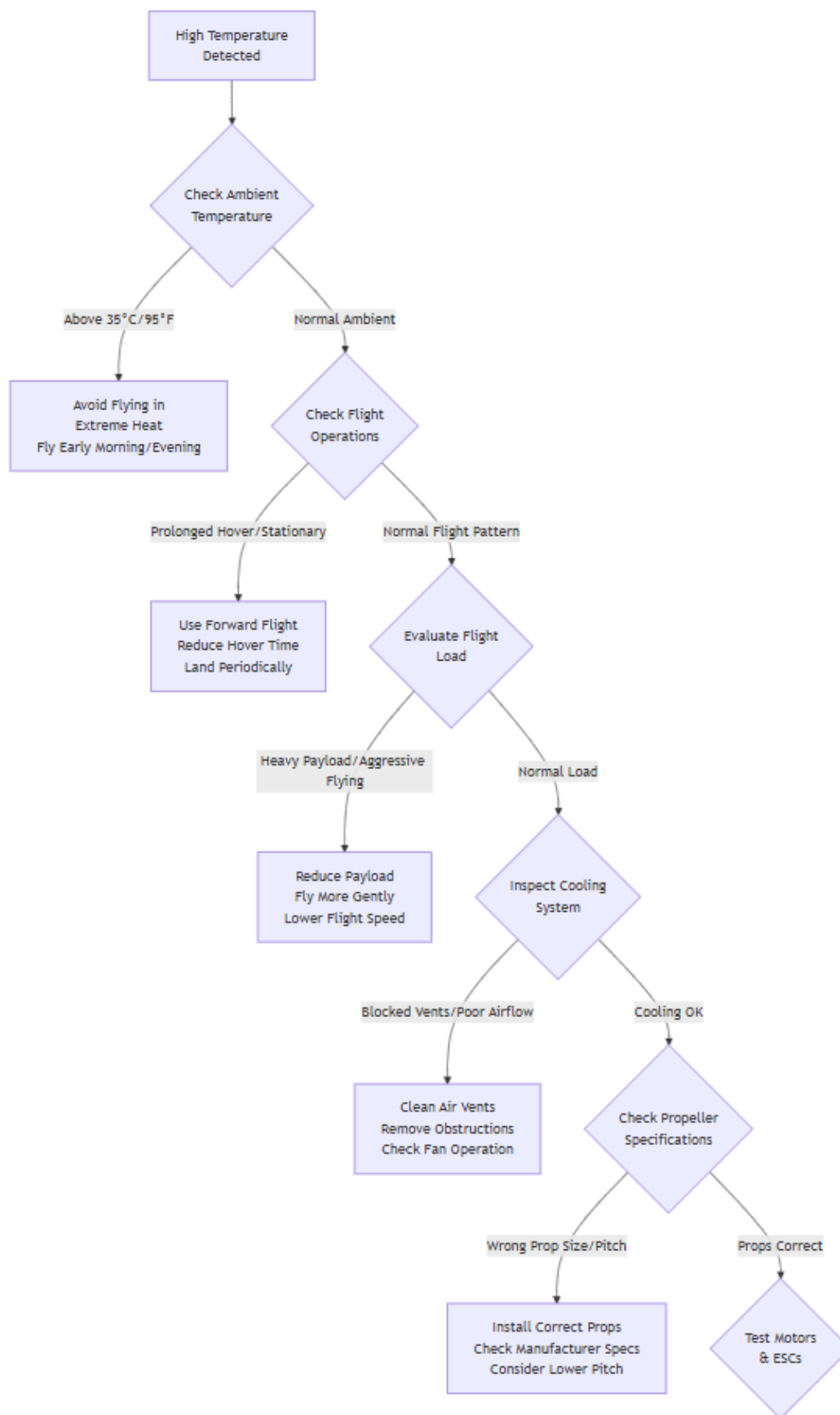


Figura 2.11 Diagrame pentru depanarea temperaturii ridicate

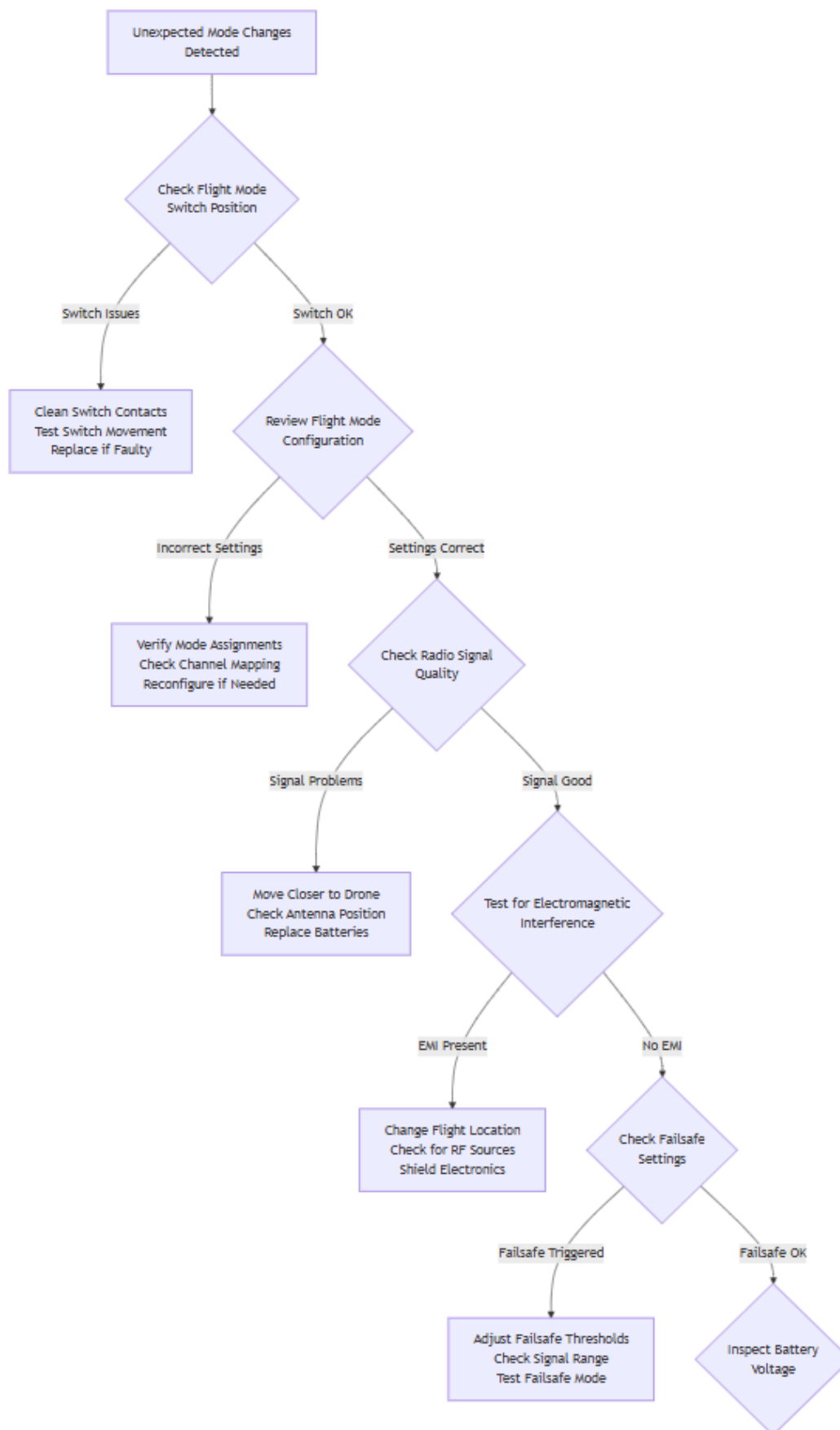


Figura 2.12 Diagrame pentru depanarea schimbării neașteptate a modului

2.6. Calibrarea senzorilor

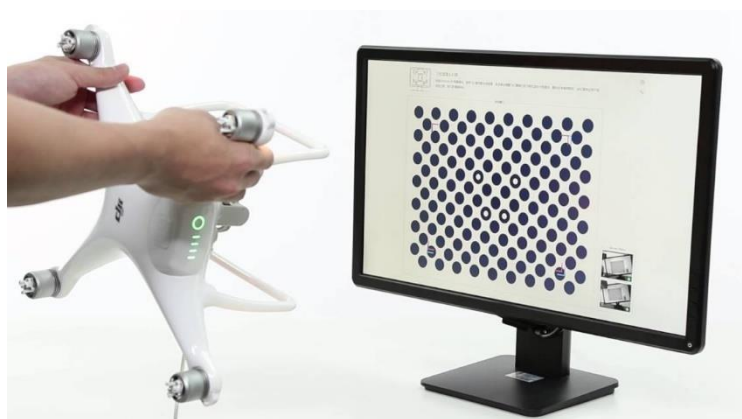
Calibrarea senzorilor este esențială pentru a asigura funcționarea precisă și sigură a sistemelor de drone. Diferite componente necesită calibrare la frecvențe variabile, în funcție de utilizare și de schimbările de mediu. De exemplu, busola necesită calibrarea cea mai frecventă, în special după schimbări mari de locație sau altitudine. IMU trebuie recalibrat după accidente sau schimbări de temperatură. Calibrarea gimbalului, a transmițătorului, a senzorului de flux optic, a GPS-ului și a ESC este de obicei declanșată de probleme de performanță sau de modificări hardware.

2.6.1. Proceduri de calibrare

Fiecare senzor are condiții și cerințe de calibrare unice, cum ar fi stabilitatea suprafeței, iluminarea sau interferențele magnetice, ceea ce face ca verificările de rutină să fie esențiale pentru menținerea funcționalității optime a dronei. Procedurile de calibrare a busolei și a senzorului de vizualizare sunt descrise în Figura 2.13. Tabelul 2.22 detaliază procedurile de calibrare pentru busolă, IMU, gimbal, telecomandă, senzor de vizualizare și ESC.



Calibrarea busolei



Calibrarea senzorului de vizualizare

Figura 2.13 Calibrarea busolei și a senzorului de vizualizare

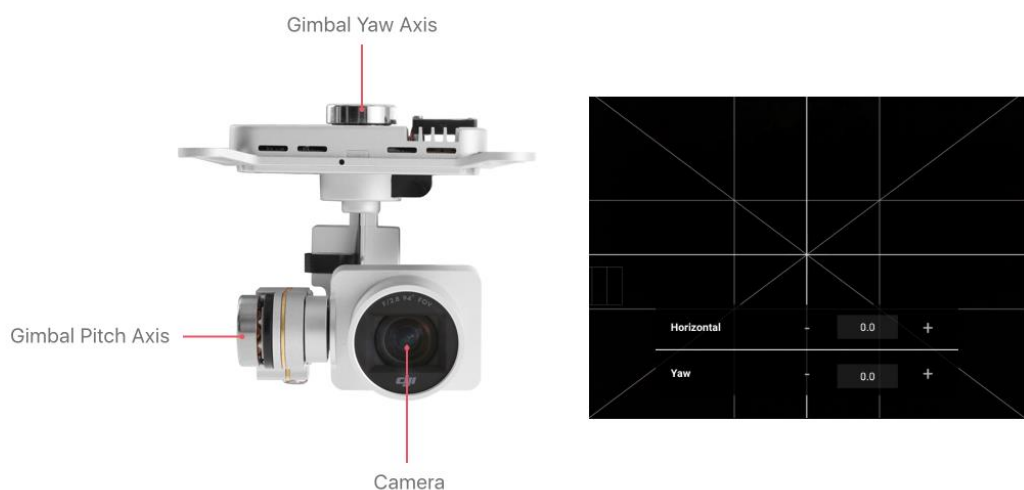
Tabelul 2.22 Proceduri de calibrare a busolei, IMU, cardanului, telecomenzii, senzorului de vizualizare și ESC

Componentă	Procedură
Calibrarea busolei	Țineți drona în poziție orizontală, rotiți-o la 360°. Țineți-o în poziție verticală (cu botul în jos) și rotiți-o la 360°.
Calibrarea IMU	Așezați drona pe o suprafață plană. Accesați calibrarea prin intermediul aplicației. Mențineți-o stabilă și urmați instrucțiunile de pe ecran.
Calibrarea gimbalului	Așezați drona pe o suprafață plană. Asigurați-vă că mișcarea gimbalului nu este obstructată. Accesați calibrarea gimbalului prin intermediul aplicației. Gimbalul se va mișca pe întreaga gamă.
Calibrarea telecomenzii	Accesați calibrarea prin intermediul aplicației Urmați instrucțiunile de mișcare ale stick-ului afișate pe ecran.
Calibrarea senzorului vizual	Alegeți o zonă bine iluminată, cu textură. Țineți drona la o înălțime de aproximativ 0,5 m. Mișcați încet drona conform instrucțiunilor din aplicație. Mențineți o altitudine constantă.
Calibrarea ESC	Scoateți elicele (din motive de siguranță). Conectați bateria dronei și transmițătorul (TX). Porniți transmițătorul, setați accelerația la maxim. Porniți drona După semnalele sonore, reduceți accelerația la minim; ESC-urile vor emite din nou semnale sonore. Opriți drona și apoi porniți-o din nou

Calibrarea senzorilor este o parte vitală a configurării dronei, asigurând un zbor stabil și o colectare precisă a datelor. Fiecare senzor necesită o procedură specifică: pentru calibrarea busolei, drona este rotită pe orizontală și pe verticală; calibrarea IMU implică așezarea dronei pe o suprafață plană și urmarea instrucțiunilor aplicației. Calibrarea gimbalului necesită o configurare fără obstacole, la nivel, permițând gimbalului să-și completeze întreaga gamă de mișcări. Procedurile de calibrare a controlerului și a gimbalului sunt descrise în Figura 2.14.



Calibrarea controlerului



Calibrarea cardanului

Figura 2.14 Calibrarea controlerului la distanță și a gimbalului

Calibrarea transmițătorului se face prin intermediul aplicației, mișcând manetele conform instrucțiunilor. Pentru senzorii de flux optic, drona este ținută la 0,5 metri deasupra unei suprafețe bine iluminate și texturate și mișcată încet. Calibrarea ESC, care necesită îndepărtarea elicei din motive de siguranță, implică setarea nivelurilor de accelerație și urmarea semnalelor sonore pentru sincronizarea ESC-urilor. Fiecare pas îmbunătățește precizia și siguranța zborului. Tabelul 2.23 prezintă frecvența de calibrare, condițiile de declanșare și proprietățile de bază ale componentelor care necesită frecvent calibrare în UAV.

2.6.2. Frecvența de calibrare, condițiile de declanșare și caracteristicile cheie ale UAV-urilor

Tabelul 2.23 Frecvența de calibrare, condițiile de declanșare și proprietățile de bază ale componentelor care necesită frecvent calibrare în UAV

Componentă	Frecvența de calibrare	Condiții de declanșare	Caracteristici principale
COMPASS	Cele mai frecvente Înainte de fiecare zbor sau când este necesar	Schimbare de locație (>50 mi / 80 km) Schimbare de altitudine (>1.000 ft / 300 m) Variații ale câmpului magnetic Călătorie în regiuni noi	Sensibilitate la câmpul magnetic Necesită spațiu deschis Fără interferențe metalice
IMU	Foarte frecvent La fiecare 30 mi (48 km) sau când se declanșează alarma	Schimbări de temperatură După accidente Depozitare îndelungată Alerte ale sistemului	Include giroscop, accelerometru, magnetometru Necesită o suprafață stabilă
GIMBAL	Frecvent Când apar probleme de performanță	Înclinare orizontală (>20°) Vibrații/tremurături Dezechilibru al camerei Erori de stabilizare	Necesită o suprafață plană Test complet al amplitudinii mișcării
TELECOMANDĂ	Frecvență medie Când apar probleme de legare sau de introducere	Conectarea unei noi telecomenzi Dacă mișcările stick-ului nu corespund cu răspunsul dronei Întârzieri de introducere Scăderea razei de acțiune	Calibrarea mișcării stick-ului Verificarea intensității semnalului
SENSOR DE FLUX OPTIC	Frecvență medie Când detectarea obstacolelor se înrăutățește	Când lentila senzorului este murdară Zborul peste diferite tipuri de suprafețe (beton, iarbă, nisip) Probleme de menținere a poziției (fără GPS) Când sensibilitatea la schimbarea înălțimii scade	Necesită suprafețe cu model/textură. Înălțimea optimă de lucru: 0,3-8 metri. Condițiile de iluminare sunt esențiale.

GPS	Frecvență medie	Călătorii interstatale	Se calibrează automat
	După schimbări	Semnal GPS slab	frecvent
	majore de locație	Eșecuri RTH	Depinde de firmware
		Deriva de poziție	
ESC	Frecvență medie	ESC/motor nou instalat	Dronele moderne
	După înlocuirea	Incoerențe ale accelerației	gestionează acest lucru
	motorului/ESC	Probleme de sincronizare a motorului	prin intermediul software-ului
			Reglarea intervalului de accelerație
			Verificarea răspunsului motorului

Frecvența calibrării variază în funcție de componentă și este adesea declanșată de condiții legate de mediu sau de performanță. Sensorii magnetici trebuie calibrați înainte de fiecare zbor, în special după parcurgerea unor distanțe lungi sau după modificări ale câmpului magnetic. IMU necesită verificări foarte frecvente din cauza schimbărilor de temperatură, a accidentelor sau a alertelor, necesitând o suprafață stabilă. Calibrarea gimbalului este necesară atunci când apar probleme de stabilizare a camerei. Telecomandele și senzorii de flux optic necesită calibrare la frecvență medie, în special după modificări de legătură sau când precizia zborului scade. GPS-ul și ESC-urile necesită, de asemenea, recalibrare după modificări semnificative de locație sau înlocuirea hardware-ului, deși sistemele moderne acceptă adesea calibrarea automată parțială.

2.7. Jurnale de zbor

Jurnalele de zbor sunt o componentă esențială a investigațiilor cu drone, oferind o amprentă digitală cuprinzătoare a fiecărei misiuni. Acestea oferă informații esențiale despre comportamentul dronei, acțiunile pilotului, condițiile de mediu și performanța sistemului. Analiza acestor jurnale implică un proces criminalistic structurat, începând cu securizarea datelor originale și verificarea integrității acestora, până la achiziționarea jurnalelor din mai multe surse, cum ar fi drone, aplicații sau dispozitive mobile. Figura 2.15 ilustrează cele mai comune instrumente de revizuire a jurnalelor de zbor. Prin intermediul unor instrumente specializate, precum Mission Planner, PX4 Flight Review și software criminalistic, anchetatorii examinează traiectoriile de zbor, datele GPS, sistemele de alimentare, precizia senzorilor și multe altele. Această analiză multifacetică ajută la reconstituirea cronologiei

incidentelor, la evaluarea conformității cu reglementările aviatice și la identificarea cu precizie a cauzelor principale.



Figura 2.15 Instrumente de revizuire a jurnalelor de zbor

Procesul în 26 de pași este grupat în cinci categorii principale: pre-investigație și colectare de date, revizuire inițială și validare a datelor, factori umani și operaționali, reconstituirea incidentului și cauzalitatea, precum și raportarea finală și revizuirea riscurilor (a se vedea tabelele 2.24-2.28).

Tabelul 2.24 Etape de pre-investigare și colectare a datelor pentru jurnalele de zbor

Pre-investigație și colectarea datelor		
Etapă	Procedură și parametri	Instrumente/Software
Configurarea pre-investigației	Lanț de custodie securizat	Instrumente hash
	Documentați fișierele originale	MD5/SHA
	Crearea copiilor criminalistice	Blocatoare de scriere
	Verificarea integrității fișierelor	Software de imagistică criminalistică
Achiziționarea jurnalelor	Descărcați jurnalele de la dronă/aplicație/card SD	DJI Assistant 2
	Extragere de pe dispozitive mobile, dacă este necesar	Autel Explorer
		Yuneec DataPilot
		Mission Planner

Verificare legală și de conformitate	Restricții privind spațiul aerian Permisiuni de zbor Valabilitatea asigurării	PX4 Flight Review Baza de date a autorităților locale Sistemul LAANC Baza de date a certificatelor operatorilor
--------------------------------------	---	--

Tabelul 2.25 Etape inițiale de revizuire și validare a datelor pentru jurnalele de zbor

Revizuire inițială și validarea datelor		
Etapa	Procedură și parametri	Instrumente/Software
	Durata zborului	Instrumente open-source (MAVExplorer)
	Parametri de bază	Software nativ al producătorului
	Mesaje de eroare	API-uri meteorologice
	Avertismente ale sistemului	Date METAR
Revizuirea inițială a jurnalelor	Viteza/direcția vântului	Baze de date meteorologice istorice
	Vizibilitate	Planificator de misiune
	Temperatură	FlytNow
Analiza datelor de mediu	Trasarea coordonatelor GPS	DroneDeploy
	Analiza traiectoriei de zbor	Google Earth Pro
	Verificarea abaterilor	Analiza zborului PX4
Ruta de zbor și analiza GPS	Calitatea semnalului GPS	Turn, scripturi de analiză personalizate
	Modificări de altitudine	
	Variații de viteză	
Analiza altitudinii și vitezei aeriene	Viteze de urcare/coborâre	
	Anomalii ale vitezei aeriene	
	Analizați unghiurile de înclinare, rulare și deviere	MAVExplorer
Analiza atitudinii și stabilității	Verificarea oscilațiilor și mișcărilor neobișnuite	Planificator de misiuni
	Tensiunea bateriei	Scripturi
	Consum de curent	MATLAB/Python
Analiza sistemului de alimentare	Consum de energie	DJI Assistant 2
	Condiții termice	Instrumente de analiză a bateriei
	Turația motorului	Tablouri de bord personalizate
Analiza motorului și propulsiei	Date ESC	Analiza zborului PX4
	Puterea de tracțiune	Planificator de misiune
	Eficiența elicei	Software de testare a motorului

Analiza comunicațiilor și controlului	Puterea semnalului radio	Instrumente MAVLink
	Intrări de control	Software de analiză radio
Validarea datelor senzorilor	Date telemetrice	Contoare de intensitate a semnalului
	Calitatea legăturii	Planificator de misiuni
Analiza modului de zbor și a automatizării	Verificați consistența și acuratețea datelor IMU, busolă, barometru, GPS	Instrumente de calibrare a senzorilor
	Revizuirea modurilor autonome, execuția punctelor de referință, performanța revenirii la punctul de plecare	Scripturi de validare a datelor
Analiza vibrațiilor și a componentelor mecanice	Utilizarea analizei FFT pe datele accelerometrului	Software de planificare a misiunilor
	Verificați rezonanța și problemele mecanice	Instrumente de analiză a pilotului automat
Analiza sarcinii utile și a camerei	Verificați performanța cardanului, stabilitatea camerei, efectele greutatei sarcinii utile	Instrumente FFT
		MATLAB/Python
		Software de analiză a vibrațiilor
		Analizoare de spectru
		Instrumente de analiză a cardanului,
		Software de stabilizare a imaginii
		Calculatoare de greutate/echilibru

Tabelul 2.26 Pași privind factorii umani și operaționali pentru jurnalele de zbor

Factori umani și operaționali		
Etapă	Procedură și parametri	Instrumente/Software
Analiza factorilor umani	Evaluarea acțiunilor pilotului, a procesului decizional, a timpilor de reacție, a înregistrărilor de instruire	Înregistratoare de date de zbor
		Jurnale de bord ale piloților
Analiza geofencing și a zonelor interzise zborului	Verificarea respectării restricțiilor spațiului aerian, eficacitatea geofencing	Baze de date de instruire
		Baze de date geofencing
		Hărți ale spațiului aerian

		Instrumente de verificare NFZ
Analiza interferențelor electromagnetice	Verificați interferențele RF, bruiatul GPS, întreruperea comunicațiilor	Analizoare de spectru
		Detectoare de interferențe RF
		Instrumente de analiză EMI

Tabelul 2.27 Reconstituirea incidentelor și etapele de determinare a cauzalității pentru jurnalele de zbor

Reconstituirea incidentului și cauzalitatea		
Etapă	Procedură și parametri	Instrumente/Software
Reconstituirea cronologiei incidentului	Creați o cronologie detaliată a evenimentelor care au dus la incident	Software de analiză a cronologiei Instrumente de corelare a evenimentelor Instrumente de cronologie criminalistică
Analiză comparativă	Comparați cu zborurile de referință, incidente similare, datele producătorului	Instrumente de analiză statistică Baze de date comparative Analiza tendințelor
Analiza cauzelor fundamentale	Aplicarea metodelor sistematice de investigare (5-Why, Fishbone, FMEA)	Software de analiză a cauzelor principale Cadre de investigare

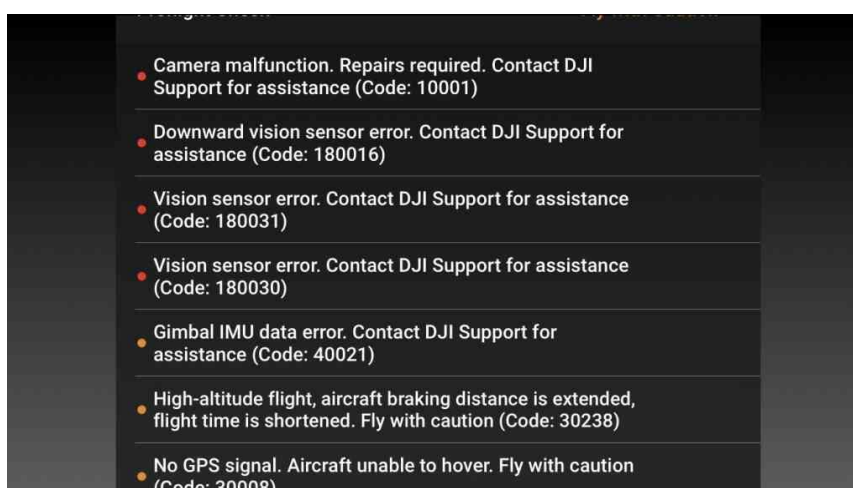
Tabelul 2.28 Etapele raportării finale și ale revizuirii riscurilor pentru jurnalele de zbor

Raportarea finală și revizuirea riscurilor		
Etapă	Procedură și parametri	Instrumente/Software
Criminalistică digitală	Extragerea datelor de pe dispozitivele mobile Analizați datele aplicațiilor Recuperarea fișierelor șterse	Cellebrite Oxygen Forensic EnCase Instrumente de criminalistică mobilă
Analiza conformității și a reglementărilor	Verificarea respectării reglementărilor, a responsabilităților operatorului, a înregistrărilor de întreținere	Baze de date de reglementare Liste de verificare a conformității Piste de audit
Evaluarea impactului condițiilor meteorologice	Analizați efectele vremii asupra performanței zborului, asupra deciziilor pilotului	Instrumente de analiză meteorologică Date meteorologice

		Modele de impact
Evaluarea riscurilor	Evaluarea factorilor de risc, a marjelor de siguranță, identificarea pericolelor	Instrumente de evaluare a riscurilor Software de analiză a siguranței Baze de date privind pericolele
Documentarea dovezilor	Documentați toate constatările, creați prezentări vizuale, pregătiți rapoarte legale	Instrumente de generare a rapoartelor Sisteme de gestionare a dovezilor, documentație juridică

2.8. Interpretarea codurilor de eroare

Când apar probleme la UAV-uri, sistemele interne generează coduri de eroare pentru a indica natura problemei. Înțelegerea și interpretarea acestor coduri de eroare este esențială pentru depanarea eficientă, întreținerea și funcționarea în siguranță. Această secțiune aprofundează diversele aspecte ale interpretării codurilor de eroare UAV, acoperind categorii generale, coduri specifice mărcii și alți indicatori de diagnosticare. Aceste aspecte includ categoriile generale de coduri de eroare ale dronelor, care oferă o înțelegere fundamentală a problemelor comune pe diferite platforme UAV. În plus, codurile de eroare ale dronelor DJI sunt examinate în detaliu datorită utilizării pe scară largă a mărcii și sistemului de diagnosticare unic. Pentru platformele open-source, secțiunea explorează codurile de eroare ArduPilot, oferind informații despre modul în care aceste sisteme comunică defectele. Dincolo de codurile textuale, modelele LED servesc ca indicatori vizuali ai stării și erorilor dronei, în timp ce codurile sonore ale telecomenzii oferă indicii auditive care ajută operatorii să identifice rapid și să răspundă la problemele apărute în timpul zborului. Așa cum se arată în figura 2.16, sistemele DJI utilizează o serie de coduri de eroare.



2.8.1. Clasificarea și prioritizarea erorilor

Colectați sistematic toate informațiile disponibile despre erori din mai multe surse. Aceasta include înregistrarea codurilor de eroare exacte afișate pe controler sau stația de control la sol, notarea secvențelor de modele LED și sincronizarea acestora, ascultarea modelelor specifice de bipuri, verificarea notificărilor aplicației mobile și revizuirea jurnalelor de zbor, dacă sunt accesibile. Documentați secvența de evenimente care au dus la erori și orice factori de mediu (vreme, locație, surse de interferență). O prezentare generală cuprinzătoare a tipurilor de erori este prezentată în Tabelul 2.29. Clasificați eroarea în funcție de tipul de sistem (controlul zborului, propulsie, navigație, comunicații, sarcină utilă) și nivelul de gravitate. Erorile critice pentru zbor care afectează stabilitatea sau controlul de bază au prioritate absolută, urmate de erorile de navigație și comunicații care afectează succesul misiunii, apoi erorile legate de sarcina utilă și funcțiile de confort. Această clasificare ajută la determinarea dacă trebuie abandonată misiunea, implementate soluții alternative sau continuată cu proceduri modificate.

Tabelul 2.29 Clasificarea generală a erorilor

Categorie	Descriere
Erori motor/ESC	Motorul nu se rotește, ESC se supraîncălzește sau se desincronizează.
Erori baterie/PDB	Cădere de tensiune, supracurent, subtensiune, baterie nedetectată.
Erori de comunicare	Pierdere de telemetrie, pierdere de legătură RC, expirarea timpului de așteptare MAVLink.
Erori ale gimbalului și camerei	Gimbalul nu se stabilizează, înclinare orizontală, pierdere de semnalul camerei, distorsiune a imaginii.
Erori ale busolei	Interferențe magnetice, eșec de calibrare sau nepotrivire între busole.
Erori GPS	Semnal slab/inexistent, geometrie slabă a sateliților sau defecțiune a antenei.
Erori IMU/accelerometru	Eșecul calibrării, devierea senzorului, probleme de temperatură.
Erori ale barometrului	Probleme cu senzorul de altitudine, orificiu de aerisire înfundat, deviere de temperatură.
Erori ale senzorului vizual	Eșecul detectării obstacolelor, urmărirea deficitară a suprafeței, lentile murdare sau blocate.
Erori software	Blocarea firmware-ului, coruperea parametrilor, configurație incompatibilă sau eșecul pornirii sistemului.

2.8.2. Coduri de eroare DJI Drone

Codurile de eroare DJI sunt organizate într-o secvență numerică, fiecare cod reprezentând o categorie sau un tip specific de problemă. Această abordare structurată permite utilizatorilor să identifice și să rezolve rapid problemele pe baza numărului codului. Tabelul 2.30-37 listează codurile de eroare ale dronelor DJI pe clase.

Tabelul 2.30 *Erori ale camerei și cardului SD pentru dronele DJI*

Cod de eroare	Descriere	Soluție posibilă
1000	Defecțiune a camerei	Calibrați camera
10016	Camera nu este calibrată	Introduceți cardul SD
10022	Nu există card SD	Încercați să reintroduceți cardul sau înlocuiți cardul SD.
10023	Defecțiune card SD	Imposibil de menținut în zbor staționar, zburati cu precauție

Tabelul 2.31 *Erori GPS și barometru pentru drone DJI*

Cod de eroare	Descriere	Soluție posibilă
3000	Aeronava în modul de atitudine	Reparați sau înlocuiți modulul GPS
30007	Nu există semnal GPS	Verificați mediul, poate fi necesară repararea GPS-ului
30008	Nu există semnal GPS/semnal slab	Verificați conexiunea RC
3004	Eșec la inițializarea barometrului	Reporniți aeronava sau înlocuiți modulul GPS.
300	Eroare modul GPS	Calibrați IMU, poate fi necesară repararea modulului GPS.

Tabelul 2.32 *Erori ale ESC motorului și elicei pentru drone DJI*

Cod de eroare	Descriere	Soluție posibilă
30	Motorul funcționează la ralanti	Asigurați-vă că elicea nu este blocată.
30046	Motorul este supraîncărcat	Eliminați încărcătura excesivă.
30047	Forță insuficientă/eroare ESC	Verificați conexiunile motorului și ESC.
30165	Motor blocat	Verificați dacă există obstacole fizice.
30168	S-a atins sarcina maximă de putere	Evitați manevrele agresive.

30210	Hardware sistem de alimentare	Reporniți aeronava. Dacă problema nu se rezolvă, actualizați firmware-ul.
-------	-------------------------------	---

Tabelul 2.33 *Erori IMU și busolă pentru drone DJI*

Cod de eroare	Descriere	Soluție posibilă
300	Este necesară calibrarea IMU	Calibrați IMU în setări
30055	IMU necalibrat	Calibrați IMU
30060	Eroare busolă	Îndepărtați obiectele metalice, calibrați busola
3008	Atitudine IMU restricționată	Asigurați-vă că aeronava este în poziție orizontală

Tabelul 2.34 *Erori ale bateriei pentru dronele DJI*

Cod eroare	Descriere	Soluție posibilă
30	Bateria instalată incorect	Detașați și reinstalați bateria
3007	Nivelul de încărcare al bateriei este scăzut	Verificați/încărcați/încălziți bateria
110002	Supraîncălzirea bateriei	Verificați/înlocuiți modulul GPS
110024	Eroare baterie - RTH automat	Opriți zborul, lăsați bateria să se răcească

Tabelul 2.35 *Telecomandă și alte erori pentru drone DJI*

Cod de eroare	Descriere	Soluție posibilă
300	Telecomanda deconectată	Reporniți aeronava
30	Imposibil de decolat	Verificați restricțiile zonei de zbor, reporniți dacă este necesar
3022	Decolarea a eșuat	Verificați condițiile de decolare

Tabelul 2.36 *Erori ale cardanului pentru dronele DJI*

Cod de eroare	Descriere	Soluție posibilă
4000	Gimbal blocat	Verificați dacă capacul cardanului este îndepărtat, asigurați-vă că se rotește liber
40003	Motorul cardanului supraîncărcat	Verificați dacă cardanul se poate roti liber

4001	Eroare de calibrare a cardanului	Reporniți aeronava
40012	Gimbalul nu se poate conecta	Înlocuiți cardanul
4002	Eroare de date IMU cardan	Reparați sau înlocuiți modulul GPS

Tabelul 2.37 *Erori ale senzorului vizual pentru drone DJI*

Cod de eroare	Descriere	Soluție posibilă
180016	Eroare senzor de vizualizare în jos	Reporniți drona. Dacă problema nu se rezolvă, senzorii trebuie înlocuiți.
180018	Eroare senzor de vizibilitate înainte	Verificați/curățați senzorii.
180030/31	Eroare senzor de vizibilitate	Reporniți drona. Dacă problema nu se rezolvă, senzorii trebuie înlocuiți. Contactați asistența DJI

2.8.3. Coduri de eroare ArduPilot

În timpul verificărilor înainte de zbor, sistemele UAV afișează coduri de avertizare specifice pentru a alerta utilizatorii cu privire la potențiale probleme de siguranță sau de configurare. Înțelegerea acestor coduri ajută la asigurarea unei performanțe stabile de zbor și previne defecțiunile în timpul zborului. Tabelul de mai jos enumeră mesajele de eroare comune, semnificațiile acestora și acțiunile recomandate. Tabelul 2.38 oferă o listă a erorilor întâlnite frecvent.

Tabelul 2.38 *Mesaje de eroare comune ArduPilot*

Mesaje de eroare	Semnificație	Acțiune
PreArm: Busola nu este calibrată	Busola nu este pregătită	Calibrați busola
Varianță EKF	Eșec fuziune senzori	Verificați IMU/GPS/busola
Defecțiune GPS	Deviație bruscă a semnalului GPS	Verificați antena, mutați-o într-o zonă deschisă
AHRS defect	Eșecul estimării atitudinii	Recalibrați IMU
Nu există receptor RC	Nu există semnal de la controler	Verificați conexiunea/conectarea controlerului

2.8.4. Metode de comunicare a erorilor

Metoda de interpretare a modelului LED implică utilizarea luminilor intermitente. De exemplu, o lumină roșie intermitentă rapidă poate semnala o eroare critică, cum ar fi o defecțiune a motorului sau o eroare ESC, în timp ce o lumină verde constantă indică de obicei funcționarea normală. O lumină galbenă intermitentă lentă înseamnă adesea că GPS-ul nu este blocat sau că este necesară calibrarea. Buzzerele sau difuzoarele pot emite semnale sonore pentru a avertiza utilizatorul cu privire la anumite condiții sau probleme ale sistemului. De exemplu, un singur semnal sonor poate indica faptul că bateria este conectată, trei semnale sonore rapide pot sugera o eroare ESC sau a motorului, iar semnalele sonore continue pot avertiza cu privire la o baterie descărcată sau la activarea sistemului de siguranță. Aceste semnale audio sunt utile în timpul verificărilor înainte de zbor sau când drona nu este vizibilă, dar se află încă în raza de auz. Aplicațiile mobile precum DJI Fly afișează mesaje de eroare prin ferestre pop-up sau notificări. Aceste mesaje oferă feedback direct și ușor de înțeles, cum ar fi „Calibrare busolă necesară”, „Niciun semnal GPS” sau „Baterie descărcată critic – Aterizare”. Software-ul stației de control la sol (GCS), cum ar fi Mission Planner pe un computer desktop sau tabletă, oferă alerte în timp real bazate pe telemetrie. Acestea pot include avertismente HUD (Heads-Up Display) precum „Variantă EKF” sau „Failsafe: RTL declanșat”, mesaje în bara de stare sau suprapuneri codificate prin culori pe o hartă live care indică locația și natura unei probleme. Diferitele metode de indicare a erorilor sunt prezentate în Tabelul 2.39.

Tabelul 2.39 Metode de indicare a erorilor

Categorie	Descriere
Interpretarea modelului LED	Utilizarea luminilor intermitente (de obicei LED-uri RGB) în modele sau culori specifice
Coduri audio/sonore	Buzzerele sau difuzoarele produc modele sonore
Mesaje de eroare ale aplicației mobile	Aplicația mobilă asociată (de exemplu, DJI Fly) afișează mesaje text sau pop-up
Alerte ale stației de control la sol	Software-ul GCS (de exemplu, Mission Planner) oferă alerte în timp real bazate pe telemetrie.

CAPITOLUL 3

Proceduri de întreținere

3.1. Liste de verificare înainte de zbor

Pentru a menține siguranța și performanța optimă a dronei, sunt esențiale inspecțiile periodice (Figura 1). Aceste verificări ajută la identificarea potențialelor probleme înainte de zbor și la prevenirea riscurilor.

Brațele dronei trebuie inspectate pentru a detecta fisuri, îndoituri sau slăbiciuni la articulații. De asemenea, este important să se verifice dacă brațele sunt fixate corespunzător și dacă mecanismul de pliere sau déplierie funcționează corect, pentru a evita problemele structurale în timpul zborului.

Elicele trebuie verificate pentru a detecta zgârieturi, ciobiri sau deformări care ar putea afecta stabilitatea dronei. Instalarea corectă a acestora (CW/CCW) trebuie verificată pentru a preveni jocul excesiv și pentru a asigura un zbor lin.

Corpul dronei trebuie examinat pentru a detecta fisuri, impacturi sau prezența obiectelor străine. Este esențial să vă asigurați că capacele sunt închise corespunzător și că orificiile de ventilație sunt curate, pentru a preveni acumularea de praf și resturi.

Pentru o sursă de alimentare funcțională și sigură, **bateria** trebuie verificată înainte de fiecare zbor. Se recomandă ca nivelul de încărcare al bateriei să fie de cel puțin 70% pentru un zbor de durată medie și de 100% pentru un zbor de lungă durată. Bateriile supraîncălzite sau umflate nu trebuie utilizate pentru a evita riscurile. Fixarea sigură a bateriei, mecanismul de blocare și curățenia conectorilor sunt aspecte importante care trebuie verificate. **Stabilitatea și precizia** navigației depind de funcționarea corectă a senzorilor și a sistemului GPS. Senzorii

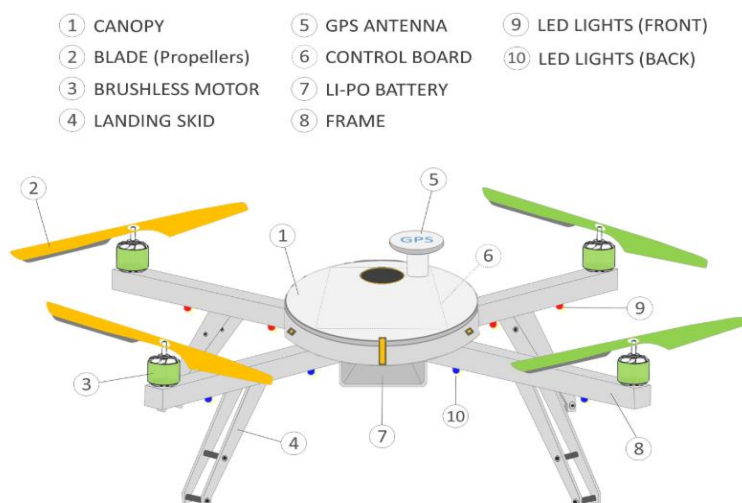


Figura 3.1 Componentele dronei

optici și ultrasonici trebuie curățați de praf sau murdărie și se recomandă testarea acestora pentru detectarea obstacolelor.

Sistemul GPS trebuie să stabilească o conexiune într-o zonă deschisă, cu cel puțin **6-8 sateliți disponibili**. Dacă GPS-ul nu se conectează corect, poate fi necesară recalibrarea busolei.

Înainte de utilizare, telecomanda trebuie **verificată pentru a asigura** o transmisie **stabilă** a semnalului și o conexiune corespunzătoare. Drona trebuie testată la o înălțime de 1-2 metri pentru înclinare, rotație, mișcare laterală și accelerație, confirmând un răspuns prompt și precis. Funcțiile automate, cum ar fi „Return to Home” (Întoarcere la bază) și modul de zbor staționar, trebuie testate în condiții de siguranță pentru a asigura o funcționare eficientă.

3.2. Liste de verificare după zbor

Pentru a asigura funcționarea corectă și durabilitatea dronei, este important să efectuați verificări regulate și o întreținere atentă. Acest proces implică inspecția fizică a dispozitivului, înregistrarea incidentelor, curățarea corespunzătoare și evaluarea datelor de zbor.

O inspecție vizuală detaliată este esențială pentru a identifica orice potențiale deteriorări. Se recomandă verificarea brațelor, elicelor și corpului pentru a detecta semne de uzură sau deteriorare (Figura 2). Bateria trebuie, de asemenea, inspectată pentru a preveni problemele cauzate de supraîncălzire sau umflare. Senzorii și camera trebuie verificați și curățați periodic pentru a îndepărta orice depuneri de murdărie care ar putea afecta performanța dronei.



Pentru o funcționare eficientă și sigură, este necesar să se monitorizeze problemele care apar în timpul zborurilor. Coliziunile, pierderea semnalului sau alte anomalii trebuie înregistrate într-un jurnal de zbor, fizic sau digital. Aceste informații ajută la identificarea problemelor recurente și la prevenirea incidentelor viitoare.

Întreținerea regulată a dronei implică îndepărtarea prafului cu o cârpă moale sau o perie delicată. Obiectivul camerei trebuie curățat cu o cârpă din microfibră și o soluție specială de curățare pentru a menține claritatea imaginii.

Figura 3.2 Inspecția vizuală a elementelor componente.

Zonele greu accesibile pot fi curățate cu o perie mică și moale pentru a îndepărta impuritățile.

Analizarea traseului, altitudinii și vitezei dronei oferă informații valoroase despre performanța acesteia. Identificarea anomaliilor și salvarea datelor de zbor ajută la optimizarea utilizării dispozitivului și la prevenirea erorilor.

Pentru a menține drona în stare optimă, inspecțiile trebuie efectuate într-un mediu sigur. Se recomandă consultarea manualului dispozitivului pentru cerințe specifice și evitarea utilizării dronei dacă se detectează probleme.

3.3. Actualizarea firmware-ului

Actualizările firmware-ului sunt un pas esențial în menținerea performanței, siguranței și stabilității operaționale a dronei (Figura 3). Firmware-ul se referă la software-ul intern care controlează funcționarea tuturor componentelor, de la motoare și senzori la sistemul GPS și conexiunile de control de la distanță. Pentru a evita erorile operaționale sau vulnerabilitățile de securitate, se recomandă actualizarea periodică a firmware-ului dronei utilizând metodele oficiale furnizate de producător.

Primul pas în procesul de actualizare este verificarea versiunii curente a firmware-ului instalat. Pentru aceasta, drona trebuie conectată la aplicația producătorului, cum ar fi DJI Fly, Autel Explorer sau software dedicat, cum ar fi DJI Assistant 2. Informațiile despre versiunea firmware-ului pentru dronă, telecomandă și baterii se găsesc de obicei în secțiunile „Setări” sau „Despre” ale aplicației. Versiunea identificată trebuie comparată cu cea mai recentă versiune disponibilă pe site-ul oficial al producătorului pentru a determina dacă este necesară o actualizare.

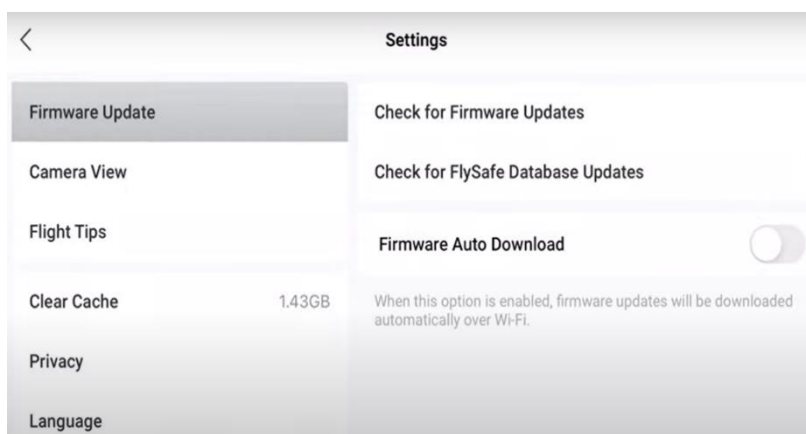


Figura 3.3 Actualizarea firmware-ului

Odată ce s-a stabilit necesitatea unei actualizări, următorul pas este descărcarea fișierului firmware corespunzător pentru modelul de dronă. Descărcările trebuie efectuate numai de pe site-ul oficial al producătorului sau din aplicația mobilă asociată. Este important să

verificați compatibilitatea fișierului descărcat (de exemplu, extensii de fișiere precum .bin sau .zip) pentru a evita problemele de instalare sau incompatibilitățile.

Există mai multe metode disponibile pentru actualizarea firmware-ului dronei, în funcție de model și de producător.

Folosind aplicația mobilă, actualizarea se efectuează cu ușurință prin conectarea dronei prin Wi-Fi, Bluetooth sau cablu USB. Aplicația va notifica utilizatorul cu privire la disponibilitatea unei noi versiuni și va ghida automat procesul de descărcare și instalare. În timpul actualizării, este esențial să nu deconectați niciunul dintre dispozitivele implicate.

Actualizările firmware-ului prin computer se efectuează prin conectarea dronei la un PC sau laptop prin USB și utilizarea software-ului oficial al producătorului. Procedura implică descărcarea fișierului firmware și inițierea actualizării conform instrucțiunilor software-ului. Pentru anumite modele, există și opțiunea de actualizare prin plasarea fișierului firmware pe un card microSD, o metodă frecvent utilizată pentru drone industriale sau specializate, cum ar fi Flyability Elios 2. Pentru dronele compatibile cu protocolul DroneCAN, utilizatorii pot folosi instrumente precum DroneCAN GUI sau Mission Planner pentru a efectua actualizări de firmware.

La sfârșitul procesului, drona va reporni automat, iar utilizatorul trebuie să verifice instalarea corectă accesând din nou aplicația sau software-ul. Se recomandă ca, după fiecare actualizare, să se efectueze un zbor de testare într-o zonă sigură pentru a confirma funcționarea corectă a echipamentului.

Actualizările firmware-ului pot fi efectuate folosind aplicații mobile precum DJI Fly, Autel Explorer sau Parrot FreeFlight, disponibile atât pentru platformele iOS, cât și pentru Android. Avantajul utilizării aplicațiilor mobile constă în interfața lor ușor de utilizat și accesul rapid la actualizări, dar acestea necesită o conexiune stabilă la internet, un nivel al bateriei de cel puțin 50% și spațiu de stocare suficient pe dispozitiv.

Alternativ, software-ul pentru desktop, cum ar fi DJI Assistant 2 sau Mission Planner, oferă o stabilitate mai mare pentru actualizări complexe, permițând gestionarea eficientă a fișierelor firmware. Această metodă necesită o conexiune USB, acces la internet și instalarea prealabilă a aplicației pe computer. Pentru anumite modele, cardul microSD poate servi ca soluție suplimentară pentru actualizări.

Pentru a preveni întreruperea procesului sau apariția erorilor, este necesar să vă asigurați că bateriile dronei, ale telecomenzii și ale dispozitivului utilizat pentru actualizare sunt încărcate la cel puțin 50%, de preferință 100%. Dacă firmware-ul bateriei necesită actualizări separate, acestea trebuie finalizate înainte de utilizarea dronei.

Se recomandă să faceți o copie de rezervă a setărilor dronei (moduri de zbor personalizate, calibrări) pe un card microSD, un computer sau un spațiu de stocare în cloud. În timpul actualizării, este de preferat să evitați interferențele Wi-Fi, iar conexiunile USB utilizate trebuie să fie compatibile și în stare bună. În plus, îndepărtarea elicelor dronei și dezactivarea temporară a software-ului antivirus de pe computer pot contribui la minimizarea riscului de erori.

După actualizare, toate funcțiile esențiale ale dronei (zbor, cameră, senzori) trebuie testate. Dacă este necesar, recalibrarea busolei, a unității de măsurare inerțială (IMU) sau a cardanului camerei trebuie efectuată înainte de reluarea funcționării normale.

Pentru utilizarea frecventă sau profesională a dronelor, se recomandă verificarea lunar a actualizărilor firmware-ului. Pentru utilizatorii ocazionali, verificările trimestriale sunt de obicei suficiente. Actualizările critice, în special cele care remediază problemele de siguranță, trebuie instalate imediat ce devin disponibile. Înainte de orice misiune importantă sau zbor specializat, se recomandă testarea completă a echipamentului. Pentru o siguranță sporită, este recomandabil să păstrați versiunile anterioare de firmware, acolo unde producătorul permite acest lucru.

3.4. Îngrijirea bateriei

Această secțiune oferă recomandări esențiale pentru încărcarea, descărcarea și depozitarea corectă a bateriilor LiPo, cu scopul de a prelungi durata de viață a acestora și de a preveni riscurile de deteriorare sau incendiu.

- **Pentru a maximiza performanța și durata de viață a bateriilor LiPo**, este esențial să se respecte practicile corespunzătoare în timpul procesului de încărcare și descărcare (Figura 4).

Se recomandă utilizarea numai a încărcătoarelor aprobate de producător, cum ar fi cele de la DJI sau Autel, pentru a evita deteriorarea bateriei. Încărcarea trebuie efectuată la un curent de 1C (de exemplu, 5A pentru o baterie de 5000 mAh), evitând încărcarea rapidă frecventă, care poate reduce longevitatea celulelor.



Figura 3.4 Baterie LiPo

- **Procesul de încărcare trebuie efectuat** într-un mediu bine ventilat, la o temperatură cuprinsă între 15 și 25 °C, iar bateria trebuie deconectată odată ce ajunge la 100%.
- **Pentru a preveni deteriorarea celulelor**, bateria nu trebuie descărcată sub 20-25%. Dacă bateria atinge un nivel critic (10-15%), se recomandă aterizarea imediată. Nivelul bateriei trebuie verificat după fiecare zbor, fie prin intermediul aplicației dedicate, fie prin intermediul indicatorilor LED de pe baterie.
- **Ciclurile de descărcare parțială, cum ar fi 30-40%**, sunt de preferat pentru a optimiza durata de viață a bateriei. Dacă bateria nu va fi utilizată pentru o perioadă îndelungată, trebuie efectuat un ciclu controlat la fiecare câteva săptămâni.
- **Pentru a preveni defecțiunile și riscurile de incendiu**, bateriile trebuie încărcate întotdeauna pe suprafețe neinflamabile, cum ar fi pungile ignifuge LiPo. Dacă temperatura bateriei depășește 45 °C în timpul încărcării, procesul trebuie oprit imediat. În timpul zborului, trebuie evitată utilizarea dronei la temperaturi extreme (<0 °C sau >40 °C), iar între zborurile solicitante se recomandă o perioadă de răcire de 10-15 minute.
- **Pentru a menține bateriile în stare bună pe termen lung**, acestea trebuie depozitate la un nivel de încărcare de 50-60% (3,8-3,85 V per celulă) (Figura 5). Trebuie evitată depozitarea acestora complet încărcate sau complet descărcate. Mediul de depozitare trebuie să fie uscat, cu o temperatură de 15-25 °C, ferit de umiditate și praf. Nivelul bateriei trebuie verificat la fiecare 2-3 luni, iar la fiecare 6 luni se recomandă un ciclu complet de încărcare-descărcare.
- **O baterie LiPo poate suporta, de obicei, între 200 și 300 de cicluri complete de încărcare**, ciclurile parțiale putând prelungi durata de viață până la 400-500 de utilizări. Capacitatea bateriei scade de obicei cu 20-30% după aproximativ doi ani. Semnele de uzură includ reducerea timpului de zbor, umflarea, scurgerea și

supraîncălzirea. Starea bateriei poate fi monitorizată folosind aplicația producătorului, cum ar fi funcția „Battery Health” (Starea bateriei) din DJI Fly. În caz de uzură severă, bateriile trebuie înlocuite cu modele originale, evitând alternativele de la terți.

3.5. Tipuri de întreținere

Pentru a asigura funcționarea optimă a dronei, este esențial să se adopte o strategie de întreținere adecvată. Aceasta poate fi corectivă, preventivă sau predictivă, fiecare având rolul său specific în întreținerea și protejarea dispozitivului.

- **Întreținerea corectivă** implică repararea dronei după identificarea unei defecțiuni și reprezintă o abordare reactivă a problemelor precum elice rupte, motoare defecte sau erori de software. Exemple comune includ înlocuirea elicelor deteriorate, repararea motoarelor care produc zgomote anormale, recalibrarea sau înlocuirea senzorilor defecte, repararea cadrului după aterizări dure și reinstalarea firmware-ului pentru a remedia erorile. Procedurile implică de obicei utilizarea aplicației producătorului pentru a identifica codurile de eroare, consultarea manualului dronei, contactarea unui centru de service autorizat pentru reparații complexe și utilizarea exclusivă a pieselor originale. Principalele avantaje ale acestei abordări sunt rezolvarea rapidă a problemelor; cu toate acestea, ea implică costuri mai mari și nu previne apariția unor noi defecțiuni.
- **Întreținerea preventivă** se concentrează pe prevenirea defecțiunilor înainte ca acestea să apară, prin inspecții regulate. Acest tip de verificare programată este esențial pentru utilizatorii frecvenți sau profesioniști. Exemple includ inspectarea elicei pentru uzură, curățarea senzorilor și a camerelor, verificarea cablurilor pentru coroziune, calibrarea busolei, IMU și gimbalului și monitorizarea stării bateriei. Un program de întreținere preventivă poate consta în inspecții vizuale zilnice (elice, cadru, senzori), curățare detaliată săptămânală și verificări ale conexiunilor, calibrări lunare ale senzorilor și monitorizarea bateriei, precum și inspecții trimestriale ale motorului și actualizări ale firmware-ului. Avantajele acestei abordări includ reducerea riscului de defecțiuni și prelungirea duratei de viață a dronei, deși necesită timp și disciplină pentru a fi implementată în mod eficient.
- **Întreținerea predictivă** este o metodă avansată care anticipează defecțiunile prin analizarea datelor colectate de dronă. Se bazează pe jurnalele de zbor și senzori pentru a detecta uzura și este ideală pentru flote profesionale sau misiuni critice. Exemple de aplicații includ monitorizarea ciclurilor și temperaturilor bateriei,

analizarea vibrațiilor motorului, detectarea modelelor anormale în jurnalele de zbor și utilizarea inteligenței artificiale pentru recomandări specifice. Tehnologiile implicate includ software specializat, cum ar fi AirData UAV, DJI FlightHub și DroneLogbook, senzori integrați pentru monitorizare în timp real și cloud computing pentru gestionarea flotei. Această metodă este aplicată în principal în medii profesionale și mai puțin în utilizarea individuală. Avantajele sale includ optimizarea costurilor și reducerea timpilor de nefuncționare, dar implementarea poate fi costisitoare și necesită cunoștințe tehnice avansate.

3.6. Programe de întreținere

Pentru a menține drona în stare optimă de funcționare, este important să se adopte un program de întreținere regulat. Această întreținere poate fi corectivă, preventivă sau predictivă, iar frecvența fiecărui tip de inspecție depinde de utilizarea și caracteristicile specifice ale dispozitivului.

Tabelul 3.1 Frecvența întreținerii dronelor

Frecvență	Întreținere corectivă	Întreținere preventivă	Întreținere predictivă
Zilnic	Verificarea codurilor de eroare după fiecare zbor folosind aplicații dedicate. Remedierea defectelor minore, cum ar fi elice deteriorate sau șuruburi slăbite.	Inspecția vizuală a elicelor, cadrului și senzorilor. Verificarea nivelului bateriei și curățarea rapidă a componentelor optice.	Monitorizarea jurnalelor de zbor pentru erori imediate. Evaluarea stării bateriei folosind aplicații specializate.
Săptămânal	Repararea sau înlocuirea componentelor deteriorate, inclusiv a motoarelor și senzorilor. Reinstalarea firmware-ului în cazul erorilor recurente.	Curățarea temeinică a dronei, verificarea uzurii conexiunilor, testarea funcțiilor de bază, cum ar fi zborul și funcționarea camerei.	Analizarea jurnalelor de zbor pentru a detecta anomalii, cum ar fi vibrațiile motorului. Monitorizarea ciclurilor de încărcare a bateriei.

Lunar	Repararea componentelor majore, cum ar fi placa de bază, la un centru de service autorizat. Restaurarea setărilor din backup în cazul apariției unor probleme cu firmware-ul.	Calibrarea busolei, IMU și cardanului. Verificarea stării bateriei și eliminarea defectelor potențiale. Actualizarea firmware-ului.	Analizarea datelor de zbor pentru a identifica uzura componentelor. Generarea de rapoarte predictive pentru planificarea optimă a întreținerii.
Anual	Înlocuirea componentelor critice, cum ar fi motoarele sau bateriile. Efectuarea unei revizii complete la un centru de service autorizat.	Inspecție detaliată a componentelor interne. Înlocuirea preventivă a elicelor uzate și verificarea conformității cu reglementările actuale.	Evaluarea performanței pe termen lung prin analiza datelor istorice. Planificarea înlocuirii componentelor, cum ar fi bateriile, după 200-300 de cicluri de utilizare.

Considerații importante

- **Întreținerea corectivă** se efectuează numai atunci când apar defecțiuni, iar frecvența acestora depinde de incidentele întâlnite.
- **Întreținerea preventivă** este esențială pentru toate dronele și trebuie efectuată conform unui program regulat.
- **Întreținerea predictivă** este ideală pentru flotele profesionale și este implementată folosind instrumente software avansate.
- **Frecvența** trebuie adaptată în funcție de specificațiile producătorului și de utilizarea dronei, fie că este vorba de scopuri recreative sau industriale.

3.7. Proceduri de curățare și protecție

3.7.1. Curățarea și protecția corespunzătoare a dronei

Pentru a menține drona în stare optimă, este esențială curățarea corespunzătoare, utilizând materiale adecvate și respectând precauțiile pentru componentele sensibile.

Pentru suprafețele externe, lentilele și senzorii, se recomandă utilizarea cârpelor din microfibră care nu lasă scame și nu sunt abrazive. Exemple de produse eficiente includ Amazon Basics și 3M Microfiber. Soluțiile neabrazive, cum ar fi alcoolul izopropilic (70-90%) sau produsele speciale pentru curățarea lentilelor (de exemplu, Zeiss), trebuie aplicate pe cârpă, nu direct pe dronă, pentru a preveni deteriorarea. Aerul comprimat, utilizat de la o distanță de 10-15 cm, ajută la îndepărtarea prafului din fantele de ventilație și motoare. Periile moi, cum ar fi periile antistatice LensPen, sunt ideale pentru curățarea senzorilor și a motoarelor. Spray-urile de protecție, cum ar fi H₂O Nano Coating, pot fi aplicate pe suprafețele externe, evitând contactul cu senzorii și lentilele.



Figura 3.5 Curățarea senzorilor

Curățarea senzorilor optici, ultrasonici și LiDAR trebuie efectuată cu o cârpă uscată din microfibră sau alcool izopropilic, evitând presiunea excesivă și lichidele care ar putea pătrunde în componentele interne. Motoarele trebuie curățate cu aer comprimat și perii moi, fără a le roti manual, pentru a preveni uzura mecanică. Lentilele camerei și ale cardanului necesită o atenție specială, fiind curățate cu cârpe din microfibră și soluții de curățare a lentilelor, evitând mișcarea manuală a cardanului. Porturile și conexiunile trebuie curățate de praf folosind aer comprimat sau perii fine, evitând strict utilizarea lichidelor.

Pentru a preveni deteriorarea dronei, este esențial să se evite contactul cu apa, care poate provoca coroziune și scurtcircuite, cu excepția modelelor rezistente la apă, cum ar fi DJI Matrice 30. Nu trebuie utilizate substanțe corozive, cum ar fi detergenți, acetonă, amoniac și clor. Jeturile de apă sub presiune și aspiratoarele pot disloca componentele fragile, iar utilizarea excesivă a lichidelor poate afecta funcționalitatea senzorilor și a plăcilor

electronice. Curățarea dronei trebuie efectuată întotdeauna cu dispozitivul oprit și bateria scoasă înainte de orice intervenție.

3.7.2. Curățarea dronei poate fi adaptată în funcție de contextul de utilizare:

- **Pe teren:** Concepută pentru curățarea rapidă după zbor, utilizând instrumente portabile, cum ar fi cârpe din microfibră, perii moi, aer comprimat și alcool izopropilic. Procedurile includ oprirea dronei, scoaterea bateriei, detașarea elicelor, utilizarea aerului comprimat pentru motoare și senzori, curățarea lentilelor și senzorilor cu microfibră și efectuarea unei inspecții generale a cadrului. Precauțiile includ evitarea expunerii la vânt și praf, reducerea la minimum a utilizării lichidelor și depozitarea dronei într-o cutie de transport protectoare.
- **În atelier:** Curățarea detaliată asigură protecție pe termen lung. Instrumentele includ cârpe din microfibră, alcool izopropilic 90%, aer comprimat de mare putere, perii antistatice și spray-uri de protecție. Procedurile implică deconectarea bateriei, îndepărtarea elicelor, dezasamblarea cadrului (dacă este permis de producător), curățarea motoarelor, orificiilor de ventilație și porturilor, aplicarea spray-ului de protecție pe suprafețele externe, reasamblarea dronei și testarea funcționalității. Precauțiile includ utilizarea unui mediu de lucru curat, evitarea dezasamblării neautorizate și utilizarea de unelte antistatice.

3.8. Așteptări privind durata de viață a componentelor

3.8.1. Durata de viață a componentelor și criteriile de înlocuire

Pentru a asigura funcționalitatea pe termen lung a dronei, este esențial să se planifice întreținerea și să se identifice momentul optim pentru înlocuirea componentelor uzate. Durata de viață a acestor piese depinde de utilizare, de condițiile de zbor și de întreținerea regulată.

Tabelul 3.2 Durata de viață estimată

Componentă	Durată de viață estimată	Criterii de înlocuire
------------	-----------------------------	-----------------------

Elice	100–200 ore de zbor / 6–12 luni	Prezența fisurilor, așchilor, vibrațiilor anormale sau pierderea stabilității în zbor.
Baterii (LiPo)	200–300 cicluri / 1–3 ani	Capacitate sub 70%, umflături, scurgeri sau erori raportate de aplicație.
Motoare	500–1000 ore de zbor / 2–5 ani	Zgomote anormale, vibrații, supraîncălzire sau rulmenți uzați.
ESC (controlere electronice de viteză)	1000–2000 ore de zbor / 3–7 ani	Defecțiuni ale motorului, supraîncălzire sau erori software persistente.
Controlere	3–5 ani / Uzură fizică	Baterie slabă, butoane sau joystick-uri care nu răspund, deconectări frecvente.

3.8.2. Factori care influențează durata de viață a componentelor:

- **Elice:** Materialul (plastic vs. fibră de carbon), expunerea la praf, impacturi sau condiții dure afectează longevitatea.
- **Baterii:** ciclurile frecvente de încărcare completă și depozitarea necorespunzătoare pot reduce semnificativ durata de viață a bateriei.
- **Motoare:** Motoarele fără perii sunt mai durabile, dar funcționarea în medii extreme crește uzura.
- **ESC:** Sursele de tensiune și temperaturile ridicate accelerează deteriorarea, cu defecțiuni care pot afecta simultan mai multe motoare.
- **Controlere:** Uzura fizică și incompatibilitatea cu actualizările firmware-ului pot afecta performanța.

Pentru a preveni defecțiunile și a menține performanța optimă a dronei, trebuie respectate următoarele criterii:

- **Inspecție vizuală și funcțională:** Înainte de fiecare zbor, elicea trebuie verificată pentru a detecta eventualele fisuri, iar bateriile trebuie verificate pentru a detecta eventualele umflături sau scurgeri. Motoarele și ESC-urile trebuie monitorizate pentru a detecta zgomote neobișnuite și supraîncălzire, iar controlerele trebuie testate pentru a verifica reacția joystick-ului și stabilitatea conexiunii.
- **Scăderea performanței:** Dacă timpul de zbor scade sub 70%, stabilitatea este compromisă sau controlul dronei devine imprecis, se recomandă înlocuirea componentelor.

- **Rapoarte software:** Aplicațiile specializate (de exemplu, AirData UAV) pot indica uzura bateriei, degradarea motorului sau alte erori critice.
- **Uzura fizică:** Orice deteriorare vizibilă, cum ar fi elice ciobite sau baterii umflate, necesită înlocuirea imediată.
- **Recomandările producătorului:** Respectați intervalele specificate în manual, cum ar fi înlocuirea elicelor la fiecare 200 de ore de zbor, și utilizați întotdeauna piese originale.
- **Condiții speciale:** Dronele utilizate intens sau în medii dure (praf, umiditate) necesită inspecții mai frecvente și ajustări ale programului de întreținere.

3.9. Considerații de mediu (funcționarea în condiții de praf, umiditate etc.)

3.9.1. Operarea dronelor în medii dificile

Pentru a asigura performanța și durabilitatea unei drone, trebuie luate măsuri specifice atunci când se operează în medii cu praf, umiditate sau temperaturi extreme.

Pentru a proteja componentele de acumulare de praf, se recomandă utilizarea filtrelor de admisie a aerului, cum ar fi cele disponibile pentru DJI Mavic 3 Enterprise. Aceste filtre trebuie curățate sau înlocuite după fiecare misiune pentru a preveni blocarea fluxului de aer. În plus, instalarea de capace de protecție pentru elice și senzori, cum ar fi PGYTECH Propeller Guards, poate ajuta la reducerea expunerii la praf. Cu toate acestea, acestea trebuie îndepărtate în timpul operațiunilor obișnuite pentru a optimiza performanța de zbor. După fiecare zbor, motoarele, senzorii și orificiile de aerisire trebuie curățate cu aer comprimat sau cu o perie moale, iar elicele și senzorii trebuie inspectați pentru a detecta depunerile de praf. Zborul în timpul furtunilor de nisip trebuie evitat cu strictețe, iar clasificarea IP a dronei (de exemplu, IP54 pentru DJI Matrice 30) trebuie verificată pentru a determina nivelul său de protecție împotriva particulelor de praf.

Pentru a preveni coroziunea și scurtcircuitele, dronele trebuie etanșate corespunzător. Verificarea garniturilor și a porturilor, cum ar fi cele cu clasificare IP43 pe DJI Mavic 3 Enterprise, contribuie la protecția internă. Aplicarea unui spray hidrofob, cum ar fi H₂O Nano Coating, poate oferi o protecție suplimentară, dar trebuie ținut la distanță de senzori și lentile. Dronele fără clasificare IP trebuie ținute la distanță de ploaie și ceață. După zbor, dispozitivul trebuie uscat complet: scoateți bateria, ștergeți drona cu o cârpă din microfibră și lăsați-o să se usuce la aer într-o zonă ventilată timp de 2-4 ore. Pentru a absorbi umezeala internă, se

poate utiliza gel de siliciu sau orez timp de 12-24 de ore. Sursele de căldură, cum ar fi uscătoarele de păr, nu trebuie utilizate pentru uscarea dronelor. Pornirea unei drone umede trebuie evitată, iar zborurile deasupra apei adânci trebuie efectuate numai cu modele impermeabile, cum ar fi SwellPro SplashDrone. Depozitarea dronei într-o cutie de transport impermeabilă ajută la protejarea acesteia împotriva umezelii în timpul transportului și depozitării.

Dronele trebuie protejate atât de temperaturi extrem de scăzute, cât și de temperaturi extrem de ridicate, pentru a menține performanțe optime. În condiții de frig (sub 0 °C), bateriile trebuie menținute la căldură înainte de utilizare. Se recomandă utilizarea funcțiilor de preîncălzire (dacă sunt disponibile) și a huselor izolate. În medii calde (peste 40 °C), trebuie evitată expunerea prelungită la lumina directă a soarelui. Sunt necesare pauze de răcire de 10-15 minute între zborurile intense, iar capacele reflectorizante pot ajuta la menținerea temperaturilor optime de funcționare. Indiferent de temperatura ambiantă, drona trebuie aclimatizată timp de 10-15 minute înainte de pornire, iar bateriile trebuie depozitate la temperaturi cuprinse între 15 și 25 °C. Consultarea manualului producătorului este esențială pentru respectarea limitelor de temperatură specificate pentru funcționarea dronei.

3.9.2. Depozitare și transport

Pentru a preveni deteriorarea în timpul transportului și depozitării, este esențial să utilizați echipamente de protecție adecvate și să respectați normele de siguranță.

Cutiile rigide, cum ar fi cutia de transport DJI Mavic 3 sau modelele Pelican cu clasificare IP67, oferă protecție împotriva impactului, prafului și apei. Aceste cutii trebuie să fie prevăzute cu inserții din spumă personalizate pentru a fixa în siguranță componentele, iar bateriile trebuie depozitate separat în compartimente ignifuge. Pentru călătorii scurte, gențile moi, cum ar fi DJI Shoulder Bag sau Lowepro DroneGuard, oferă o opțiune ușoară și portabilă. Aceste genți trebuie să fie căptușite corespunzător pentru o protecție suplimentară și trebuie evitată supraîncărcarea. Pentru un transport în siguranță, elicele trebuie depozitate separat, componentele trebuie fixate ferm și trebuie verificate reglementările companiilor aeriene privind bateriile LiPo înainte de călătorie.

Menținerea stării bune a componentelor dronei necesită condiții de depozitare adecvate. Temperatura optimă trebuie să fie între 15 și 25 °C, evitând temperaturile extreme de sub 0 °C sau peste 40 °C. Umiditatea trebuie menținută sub 60%, iar utilizarea gelului de siliciu

sau a dezumidificatoarelor ajută la prevenirea acumulării de umiditate. Dronele trebuie păstrate într-un spațiu curat, bine ventilat, ferit de lumina directă a soarelui, pentru a evita expunerea la radiații UVB. Bateriile trebuie depozitate la o încărcare de 50-60% și verificate la fiecare 2-3 luni. Pentru o siguranță maximă, se recomandă utilizarea de cutii ignifuge pentru baterii, iar dulapurile de depozitare trebuie păstrate uscate. Evitați depozitarea dronei în zone umede, cum ar fi subsolurile, și nu așezați obiecte grele deasupra acestora.

Pentru a proteja brațele pliabile, acestea trebuie fixate corespunzător cu cleme, iar suporturile din spumă din cutii trebuie utilizate pentru a preveni mișcările necontrolate. Este important să nu forțați mecanismele de pliere. Gimbalul trebuie blocat folosind dispozitive dedicate, cum ar fi DJI Gimbal Lock, iar protecție suplimentară poate fi asigurată folosind spumă sau benzi adezive neagresive. Dronele trebuie oprite înainte de blocarea gimbalului. Elicele trebuie îndepărtate și depozitate separat pentru a preveni deformarea și activarea accidentală.

Pentru a respecta reglementările privind bateriile LiPo, acestea trebuie transportate cu o încărcare de maximum 30%, în conformitate cu liniile directe IATA. Pentru transportul aerian, bateriile trebuie transportate în bagajul de mână, iar limita de energie permisă trebuie verificată (de exemplu, <100 Wh). Trebuie aplicată o etichetare corespunzătoare, cum ar fi „Baterie cu litiu” și „Fragil”, și trebuie inclusă o declarație de conformitate. Reglementările generale impun verificarea restricțiilor vamale pentru drone, adăugarea de etichete cu informații de contact și utilizarea de cutii rigide pentru transportul rutier sau feroviar. Înainte de călătorie, este important să consultați reglementările IATA și politicile companiilor aeriene pentru a evita problemele de transport. Bateriile deteriorate nu trebuie transportate pentru o siguranță maximă.

CAPITOLUL 4

Proceduri de reparare și înlocuire a componentelor

Scopul acestui capitol este de a oferi un ghid practic pentru procesele de întreținere, reparație și înlocuire a pieselor vehiculelor aeriene fără pilot (UAV). În special, vor fi prezentate în detaliu cunoștințele tehnice, metodele și aplicațiile practice necesare pentru ca persoanele instruite ca tehnicieni UAV să efectueze intervenții sistematice și sigure.

4.1. Materiale necesare pentru procesele de întreținere, reparație și înlocuire a UAV-urilor și amenajarea zonei de lucru

Înainte de a începe operațiunile de întreținere, reparație și înlocuire a UAV-urilor, este extrem de important să se identifice corect uneltele care vor fi utilizate și să se pregătească în mod adecvat pentru aplicație (Figura 4.1). În această secțiune, este prezentată o listă adnotată a uneltelor de bază utilizate în mod obișnuit în astfel de operațiuni (Tabelul 4.1). Funcția fiecărei unelte și modul în care poate fi utilizată împreună cu anumite piese sunt prezentate pe scurt și în mod simplu.



Figura 4.1 Materiale necesare în procesele de întreținere, reparație și înlocuire a UAV-urilor

Tabelul 4.1 e materiale necesare în procesele de întreținere, reparare și înlocuire a UAV-urilor

SCULE MANUALE DE BAZĂ	
Material	Descriere
Set de șurubelnițe (mini)	Utilizat pentru deșurubarea pieselor mici, cum ar fi controlerul de zbor, ESC, camera. În general, sunt necesare biți Philips (stea), plat și Allen (hexagonal).
Pensete (antistatice)	Utilizate pentru poziționarea precisă a cablurilor și conectorilor mici. Sunt deosebit de eficiente în poziționarea cablurilor după lipire.
Clește și clește cu vârf ascuțit	Utilizate pentru a trage cablurile blocate sau pentru a ține piese mici.
Clește de dezizolat și daltă laterală	Este necesar să deschideți capetele cablurilor și să tăiați lungimile în exces. Capătul cablului trebuie deschis înainte de lipire.
Foarfece (tip electrician)	Pentru tăierea benzii izolante, a învelișului termic sau a elementelor de fixare din plastic.

SCULE DE INTERVENȚIE ELECTRONICĂ	
Material	Descriere
Stație de lipit	Un dispozitiv de lipit cu fier de lipit cu temperatură reglată asigură conectarea corectă a firelor și componentelor în procesele de lipire.
Sârmă și pastă de lipit	Soldarea conductivă este utilizată pentru a asigura conexiunile electrice. Pasta de lipit este importantă pentru conducția termică și calitatea conexiunii.
Multimetru	Pentru măsurarea tensiunii, testarea scurtcircuitelor și verificarea continuității cablurilor. Utilizat în special în testele ESC și PDB.
Pistol de căldură (pistol cu aer cald)	Pentru tuburi termocontractabile și îndepărtarea pieselor delicate. Utilizat în cazuri precum îndepărtarea pieselor BGA lipite.

MATERIALE DE MONTARE ȘI FIXARE	
Material	Descriere
Șuruburi și șuruburi de rezervă (M2, M3)	Șuruburi metalice sau din plastic de diferite dimensiuni utilizate pentru fixarea pieselor.

Tampon antivibrații (tampon de amortizare)	Amplasat sub controlerul de zbor, previne vibrațiile și îmbunătățește eficiența senzorului.
Clemă pentru cabluri (clemă cu fermoar)	Se utilizează pentru fixarea cablurilor și pentru un aspect ordonat după asamblare.
Tuburi termocontractabile (tuburi termocontractabile)	Pentru izolarea și protejarea capetelor sudate. Când este aplicată căldură, se contractă și aderă la cablu.

DISPOZITIVE DE TESTARE ȘI CALIBRARE

Material	Descriere
Programator ESC / Instrument BLHeli	Pentru actualizarea software-ului ESC și efectuarea ajustărilor de calibrare.
Software de calibrare IMU și busolă	Operațiunile de calibrare sunt efectuate prin intermediul unor programe software precum Betaflight, iNav, Mission Planner.
Tester servo (opțional)	Utilizat pentru testarea manuală a ESC sau a răspunsului motorului. Pentru scopuri de instruire.

ECHIPAMENT DE SECURITATE ȘI PROTECȚIE

Material	Descriere
Brățară și covoraș ESD	Pentru a preveni deteriorarea componentelor electronice din cauza electricității statice.
Mănuși din nitril sau latex	Asigură protecția mâinilor în intervenții delicate, rezistente la ulei.
Ochelari de protecție	Împotriva riscului de stropire și scântei în timpul lipirii.
Cutie de siguranță LiPo	Utilizată pentru depozitarea și transportul în siguranță al bateriilor.
Extinctor (tip CO₂ mic)	Trebuie păstrat în mediul de lucru pentru intervenția în cazul incendiilor provocate de baterii.

BIROU DE LUCRU ȘI AMENAJAREA MEDIULUI

Caracteristică	Descriere
Iluminat	Se recomandă utilizarea unor lămpi de birou puternice, fără umbre, care să permită vizualizarea clară a întregii zone.
Fată de masă antistatică	Standard pentru suprafețele de montare electronice.
Cutii pentru piese și etichete	Pentru ca fiecare piesă să fie organizată și să nu se amestece.
Lista stocului de piese de schimb	Disponibilitatea pieselor de schimb, cum ar fi ESC, FC, motor, elice, vă ușurează munca.

Amenajarea spațiului de lucru:

- Este de preferat o masă curată, ordonată și bine iluminată. Se recomandă utilizarea unei suprafețe netede și de culoare deschisă pentru a preveni pierderea pieselor mici.
- Protejați componentele electronice de descărcările electrostatice utilizând o brățară antistatică sau un covor antistatic.
- Organizarea uneltelor și echipamentelor într-un mod ușor accesibil reduce erorile și pierderea de timp în timpul procesului.
- O zonă de lipit rezistentă la căldură asigură utilizarea în siguranță a lipitoarelor și a altor echipamente de încălzire.
- Când lucrați cu piese sensibile, ar trebui să aveți la îndemână pensete, clești, șurubelnițe și materiale de etichetare.

Protocoale de securitate:

- Înainte de fiecare operațiune, bateria dronei trebuie scoasă și trebuie să vă asigurați că întregul sistem este deconectat de la sursa de alimentare.
- Este important să nu inhalați fumul în timpul operațiunilor de lipire și să vă asigurați că zona de lucru este bine ventilată.
- Conexiunile trebuie verificate cu ajutorul unui multimetru pentru teste de scurtcircuit; trebuie evitate conexiunile incorecte ale cablurilor.
- În cazul operațiunilor cu baterii LiPo care prezintă risc de incendiu, trebuie luate măsuri de precauție, cum ar fi utilizarea unei pungi de siguranță, a unei suprafețe metalice și a unui stingător de incendiu.
- Toate echipamentele utilizate trebuie curățate și depozitate în siguranță după finalizarea procesului.

Efectuarea acestor pregătiri contribuie în totalitate la executarea eficientă, sigură și fără erori a proceselor de reparare și înlocuire a pieselor.

4.2. Introducere în piesele dronei, înlocuirea și tipurile de defecțiuni

Acest capitol are scopul de a prezenta în detaliu fiecare dintre piesele de bază care fac ca o dronă să funcționeze, explicând pas cu pas cum pot defecta aceste piese și cum pot fi înlocuite atunci când este necesar. În fiecare subcapitol vor fi incluse funcția piesei, tipurile comune de defecte întâlnite, metode sigure de demontare și asamblare și sfaturi de întreținere.



Figura 4. Exemplu de imagine a unei drone2

La sfârșitul capitolului, utilizatorul va avea cunoștințele și abilitățile necesare pentru a recunoaște toate piesele care alcătuiesc un UAV (Figura 4.2), pentru a identifica piesele defecte și pentru a efectua intervenții de bază.

4.2.1. Controlerul de zbor

Controlerul de zbor (Figura 4.3) este unitatea centrală de procesare și sistemul de control al unei drone.



Figura 4. Componentă a controlerului de zbor al dronei3

Unitatea de măsurare inerțială (IMU) integrată în acesta colectează date brute de la senzori precum giroscopul, accelerometrul, barometrul, magnetometrul și le procesează în timp real (Figura 4.4). De asemenea, comunică cu driverele motorului (ESC), modulul GPS și alte componente periferice. În acest fel, calculează și analizează continuu dinamica zborului, cum ar fi poziția, viteza, direcția și accelerația dronei. Interpretează comenzile date de pilot sau de sistemele autonome și trimite comenzi controlate motoarelor și altor actuatori, asigurând astfel un zbor stabil, echilibrat și sigur al dronei.

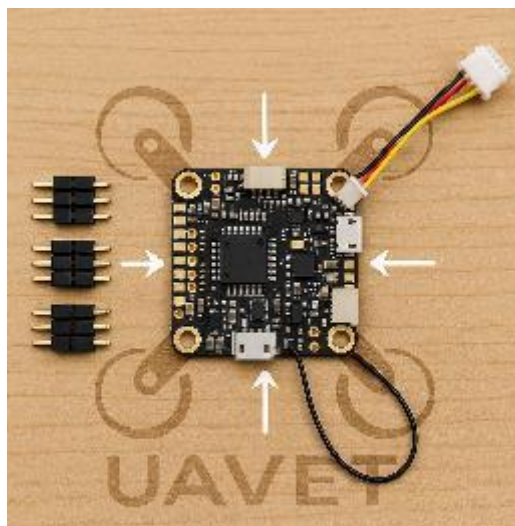


Figura 4. Structura internă și componentele controlerului de zbor4

4.2.1.1. Ce face?

- Menține zborul stabil și echilibrat al dronei în plan orizontal și vertical.
- Detectează instantaneu abaterile cauzate de vânt, curenții de aer și alte influențe externe și generează semnale de control corective.
- Prin modificarea vitezei și direcției elicelor, asigură direcția și manevrabilitatea dronei.
- Gestionează modurile de zbor autonome; execută funcții precum urmărirea traseului asistată de GPS, navigarea pe puncte de referință, menținerea poziției și întoarcerea la punctul de plecare.
- Furnizează date telemetrice în timp real și transmite parametrii de zbor către stația de control de la sol, permițând controlul și monitorizarea operațională.

4.2.1.2. Simptome de defectare:

- Drona se poate comporta instabil la decolare sau în timpul zborului și poate cădea sau pierde controlul.
- În timpul zborului pot fi observate probleme de stabilitate, vibrații sau deviații bruște.
- Răspunsul întârziat, incomplet sau inexistent la comenzile pilotului indică o problemă de procesare sau comunicare a controlerului de zbor.
- Anumite coduri de eroare clipește pe indicatoarele LED ale controlerului de zbor, permițând diagnosticarea.
- Modurile de zbor pot să nu funcționeze corect ca urmare a erorilor de calibrare a senzorilor sau a întreruperilor de comunicare.

4.2.1.3. Procedura de schimb și asamblare

Pasul 1

Deconectați toate sursele de alimentare ale dronei (Figura 4.5). Asigurați-vă că sistemul este complet dezactivat, în special prin scoaterea bateriei. Acest lucru este esențial pentru a evita riscul de scurtcircuitare electrice și deteriorarea componentelor.

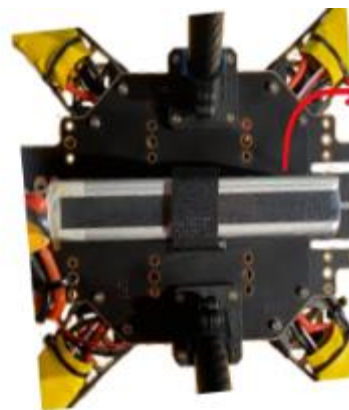


Figura 4.5 . Dezactivarea dronei pentru o intervenție în condiții de siguranță

Pasul

Determinați locația fizică a controlerului de zbor (FC). Acesta se află de obicei în centrul corpului dronei, într-o zonă izolată de vibrații. Are multe conexiuni de cabluri și senzori integrați (IMU, barometru, busolă).

Pasul 3

Deconectați cu atenție toate cablurile conectate la controlerul de zbor (cabluri de semnal ESC, cablu antenă GPS, conexiuni receptor, linii de date senzor etc.). Pentru a preveni conectarea incorectă a cablurilor, asigurați-vă că etichetați locația fiecărei conexiuni sau înregistrați-o făcând fotografii de înaltă rezoluție.

Pasul 4

Scoateți șuruburile sau suporturile de montare care fixează controlerul de zbor. Păstrați tamponanele anti-vibrații sau benzile de etanșare din silicon utilizate în timpul asamblării sau înlocuiți-le, dacă este necesar.

Pasul

Așezați cu atenție noul controler de zbor în poziția și orientarea inițială. Majoritatea controlerelor de zbor au o săgeată care indică direcția frontală; asigurați-vă că această săgeată este paralelă cu partea frontală a dronei.

Pasul

Tăiați și fixați bine toate cablurile de conectare la porturile corespunzătoare, în conformitate cu etichetele și fotografiile. Rezistența capetelor cablurilor și curățenia îmbinărilor sudate sunt esențiale pentru siguranța zborului.

Pasul 7

Calibrați controlerul de zbor. Acest lucru se poate face atât prin control manual, cât și prin utilizarea unui software precum Betaflight, Mission Planner, iNav.

- Calibrarea IMU: Drona trebuie să se afle pe o suprafață stabilă și orizontală.
- Calibrarea busolei: Drona trebuie rotită la 360° într-o zonă deschisă, departe de efectele câmpului magnetic.
- Calibrarea accelerometrului: Asigură precizia senzorilor accelerometrului dronei.
- Reglarea direcției: trebuie setată direcția corectă pentru compatibilitatea busolei și a GPS-ului.

Pasul 8

Efectuați un zbor de testare după calibrare și conectare. Efectuați primul zbor la viteză redusă și altitudine mică.

- Testați decolarea lentă a dronei, menținerea poziției stabile și comenzile de direcție.
- Dacă se detectează orice anomalie, vibrație sau mișcare necontrolată, recalibrați și verificați conexiunea.

4.2.2. ESC (Unitate electronică de control al vitezei)

ESC (Unitatea electronică de control al vitezei) este circuitul electronic care controlează cu precizie curentul electric și semnalul trimis motoarelor dronei (Figura 4.6). Acesta convertește comenzile de viteză și direcție primite de pilot de la controler sau controlerul de zbor în semnalul electric necesar motoarelor. În acest fel, viteza și direcția de rotație a fiecărui motor sunt controlate independent. ESC-urile sunt, în general, compatibile cu motoarele fără perii trifazate și asigură o performanță stabilă a motorului.

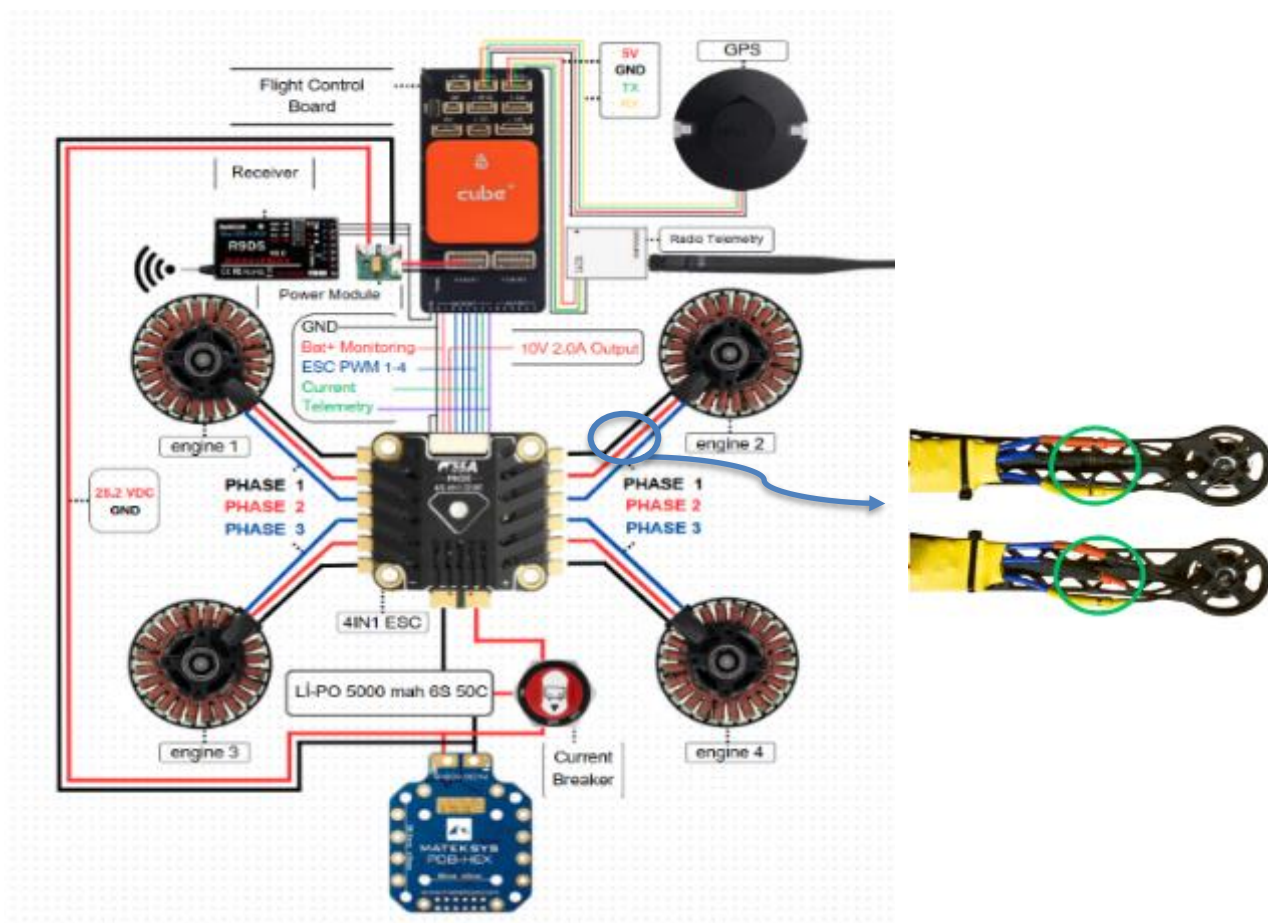


Figura 4.6 Unitate electronică de control al vitezei (ESC) pentru drone

4.2.2.1. Ce face?

- Permite motoarelor să se rotească la viteza și direcția dorite.
- Aplică instantaneu modificările de viteză necesare pentru controlul echilibrului și direcției în zbor.
- De obicei, se utilizează un ESC pentru fiecare motor; unele sisteme pot avea plăci ESC combinate (ESC 4-în-1) care controlează patru motoare.
- Oferă protecție motoarelor împotriva situațiilor precum supracurentul și supraîncălzirea.

4.2.2.2. Simptome de defectare:

- Unul dintre motoare nu pornește deloc sau se oprește brusc în timpul zborului.
- Drona face tumbe din cauza mișcărilor anormale în timpul decolării sau zborului.
- ESC se supraîncălzește și emite un miros de ars.
- Indicatorii LED de pe ESC nu se aprind sau clipește anormal.

4.2.2.3. Procedura de schimbare și asamblare

Ingrediente necesare:

- Set de lipit (fier de lipit cu temperatură controlată)
- Pensete rezistente la căldură
- Pastă termică (necesară pentru disiparea căldurii în unele modele ESC)
- Multimetru (pentru testarea continuității circuitului și a scurtcircuitelor)

Pasul 1

Opriți complet alimentarea dronei prin scoaterea bateriei.

Pasul

Determinați locația ESC pe dronă. ESC se află de obicei lângă motor sau în partea inferioară a corpului dronei, individual sau sub formă de placă 4-în-1.

Pasul

Inspectați cu atenție toate conexiunile cablurilor conectate la ESC:

- Cablurile motorului (de obicei cabluri trifazate)
- Cabluri de alimentare (roșu = pozitiv, negru = negativ)
- Cablu de semnal (conexiune între ESC și controlerul de zbor)

Pasul 4

Etichetați și fotografiați porturile. Astfel se evită riscul unei conexiuni incorecte la conectarea noului ESC.

Pasul

Deconectați cu atenție cablurile vechi ale ESC prin încălzirea vârfului de lipit. Aveți grijă să îndepărtați capetele cablurilor și punctele de lipit fără a le deteriora.

Pasul

Lipiți noul ESC la aceleași porturi ca și vechiul ESC:

- Cablul de semnal trebuie conectat la controlerul de zbor.
- Cele trei cabluri ale motorului trebuie să fie lipite corect la fazele respective ale motorului.
- Cablurile de alimentare trebuie conectate la PDB sau direct la linia bateriei.

Pasul 7

Verificați cu atenție îmbinările sudate. Testați continuitatea cu un multimetru pentru a vă asigura că nu există scurtcircuit.

Pasul 8

Verificați toate conexiunile înainte de a reconecta bateria. Apoi efectuați un zbor de testare pentru a verifica funcționarea corectă a ESC și a motorului.

4.2.3. Motor

Motorul este actuatorul de mișcare de bază al dronei. Acesta convertește energia electrică în energie mecanică și rotește elicea, permițând astfel dronei să decoleze, să manevreze și să zboare stabil (Figura 4.7). Fiecare motor este controlat de o unitate electronică de control al vitezei (ESC) conectată la acesta.



Figura 4. Motorul electric al dronei „7 ” – actuator principal care asigură mișcarea elicei

4.2.3.1. Simptome ale defecțiunii:

- Înclinarea într-o parte sau răsturnarea necontrolată în timpul decolării sau zborului dronei.
- Motorul scoate zgomote anormale sau se oprește sau ezită în timpul funcționării.
- Motorul corespunzător nu se rotește sau nu produce putere, chiar dacă ESC funcționează corect.
- Motorul se supraîncălzește sau elicea nu se rotește la viteza necesară.

4.2.3.2. Procedura de schimb și asamblare

Ingrediente necesare:

- Mini șurubelniță
- Cheie hexagonală (Allen) (de obicei M2 sau M3)
- Stație de lipit
- Pensete și clești
- Tuburi rezistente la căldură (pentru izolare) și foarfece
- Multimetru (opțional, pentru testarea conexiunilor)

Pasul

Dezactivați complet sistemul dronei prin scoaterea bateriei. Acest lucru este obligatoriu pentru siguranța procesului.

Pasul

Diagnosticăți motorul defect. Acest lucru se face de obicei verificând dacă motorul se mișcă cu testul ESC.

Pasul

Scoateți șuruburile cu care motorul este fixat de corpul dronei. Majoritatea motoarelor sunt montate cu 2 sau 4 șuruburi. Elicea trebuie deșurubată.

Pasul

Identificați cele 3 fire dintre motor și ESC. Aceste fire sunt de obicei sudate sau conectate.

Pasul

Scoateți cu atenție cablurile vechi ale motorului folosind o stație de lipit. Aveți grijă să nu deteriorați conexiunile.

Pasul

Montați noul motor în siguranță în aceleași găuri în care era înșurubat motorul vechi.

Pasul

Lipiți cele trei fire ale motorului la aceleași cabluri de fază de pe ESC.

Notă Dacă se dorește schimbarea sensului de rotație al motorului, acest lucru se poate realiza prin schimbarea poziției cablurilor bifazate.

Pasul 8

Izolați conexiunile lipite cu tuburi și verificați dacă există scurtcircuit folosind un multimetru.

Pasul 9

Porniți sistemul conectând bateria și verificați direcția de rotație a motorului.

Dacă este necesar, direcția motorului poate fi ajustată folosind un software precum Betaflight.

4.2.4. Elice

Elicele utilizează mișcarea rotativă a motoarelor dronei pentru a crea un flux de aer, permițând astfel dronei să genereze portanță (Figura 4.8). Această flotabilitate permite dronei să decoleze, să coboare și să se miște înainte și înapoi, precum și la stânga și la

dreapta în plan orizontal. Elicele se rotesc în sensul acelor de ceasornic (Clockwise - CW) și în sens invers acelor de ceasornic (Counter-Clockwise - CCW) ca un sistem dual, oferind astfel stabilitate și control direcțional.



Figura 4. Elică pentru dronă8

4.2.4.1. Ce face?

- Elicele convertesc energia mecanică produsă de motoare în forță de propulsie, permițând dronei să decoleze.
- Prin rotirea în sensul acelor de ceasornic și în sens invers acelor de ceasornic, acestea asigură stabilitatea zborului și manevrabilitatea dronei.
- Stabilitatea dronei, precizia controlului și performanța de zbor depind în mare măsură de acuratețea, echilibrul și rigiditatea structurală a elicelor.

4.2.4.2. Simptome de defectare

- În timpul zborului se observă vibrații, tremurături sau mișcări instabile ale dronei.
- Elicea poate prezenta deteriorări fizice (fracturi, fisuri, îndoituri).
- În timpul decolării, drona își pierde orientarea sau tinde să se răstoarne.
- Fluxul de aer rezultat este insuficient sau neregulat; drona pierde portanța.

4.2.4.3. Procedura de schimb și asamblare

Ingrediente necesare:

- Abilitatea de a demonta elicea cu o cheie sau cu mâna
- Set de elice de rezervă CW și CCW
- Cheie dinamometrică mică, dacă se dorește (pentru a preveni strângerea excesivă)

Pasul 1

Deconectați complet bateria și opriți alimentarea dronei.

Pasul

Identificați elicea care trebuie înlocuită. Inspectia vizuală sau simptomele apărute în timpul zborului pot fi instructive.

Pasul

Rețineți direcția de rotație a elicei (CW sau CCW). Aceasta este indicată de obicei de o săgeată pe elice.

Pasul

Scoateți cu grijă elicea cu mâna sau cu o cheie pentru elice.

Notă: Elicele care se rotesc în sensul acelor de ceasornic (CW) trebuie îndepărtate în sens invers acelor de ceasornic, iar elicele CCW trebuie îndepărtate în sensul opus.

Pasul 5

Așezați noul rotor pe arborele motorului cu direcția corectă de rotație (Figura 4.9).

- Pe motoarele CW trebuie montată numai elice CW, iar pe motoarele CCW trebuie montată numai elice CCW.
- Instalarea acestora în direcția greșită duce la pierderea completă a controlului dronei.

Pasul 6

Strângeți rotorul, dar evitați să-l strângeți prea tare.

- Dacă există o garnitură sau o șaibă de fixare, asigurați-vă că o introduceți.
- Verificați manual dacă elicea nu este slăbită.

Pasul

După ce toate elicele au fost înlocuite, direcția de rotație trebuie verificată folosind un software de testare a motorului (de exemplu, fila Motor din Betaflight).



Figura 4.9 . Asamblarea elicei dronei - Controlul direcției și al strângerii

4.2.4.4. Zbor de testare

- Efectuați primul zbor la viteză redusă și altitudine mică.

- Acordați atenție stabilității direcționale a dronei.
- În cazul unor posibile probleme, cum ar fi vibrații, zgomot sau deformare, elicea trebuie verificată din nou și, dacă este necesar, demontată și remontată.

4.2.4.5. Sfaturi

- Înainte de fiecare zbor, trebuie verificată slăbirea elicelor.
- După o cădere sau un impact, elicea trebuie examinată fizic și funcțional.
- Elicele CW și CCW nu trebuie confundate în seturile de elice de rezervă; acestea se disting de obicei prin diferențe de culoare sau marcate.

4.2.5. Baterie (baterie LiPo)

Bateriile LiPo (litiu-polimer) sunt principala sursă de energie a sistemelor de drone (Figura 4.10). Acestea sunt utilizate pe scară largă, în special în multicoptere, datorită greutatea redusă și densității energetice ridicate. Capacitatea (mAh) și starea bateriei afectează în mod direct timpul de zbor și performanța dronei. Bateriile LiPo pot avea un număr de celule, de obicei 3S (3 celule), 4S (4 celule) sau mai multe. Tensiunea nominală a fiecărei celule este de aproximativ 3,7 V.

Notă: Cu cât numărul de celule este mai mare, cu atât tensiunea totală a bateriei este mai mare. De exemplu, o baterie 3S furnizează aproximativ 11,1 V.



Figura 4. Baterie pentru dronă (baterie LiPo)¹⁰

4.2.5.1. Ce face?

- Alimentează cu energie toate componentele electronice, cum ar fi ESC, motorul, controlerul de zbor și camera.
- Numărul de celule și capacitatea sunt importante pentru cerințele de alimentare ale dronei și timpul de zbor.
- Tensiunea (V) și capacitatea (mAh) sunt principalele criterii care determină performanța și timpul de zbor al dronei.

Notă: O capacitate mare (mAh) înseamnă un timp de zbor mai lung, dar poate crește greutatea bateriei.

4.2.5.2. Simptome de defectare și riscuri de siguranță

- Umflarea sau deformarea bateriei este periculoasă și trebuie înlocuită imediat.
- Supraîncălzirea sau dezechilibrul de tensiune între celule crește riscul de incendiu.
- Dacă timpul de zbor se scurtează în mod neașteptat, este posibil ca capacitatea bateriei să fie scăzută.
- Căderile bruște de tensiune pot provoca oprirea bruscă a dronei în aer.

Notă: Bateriile umflate nu trebuie utilizate niciodată, deoarece reprezintă un pericol pentru siguranță.

4.2.5.3. Procedura de schimbare și asamblare

Ingrediente necesare:

- Conectori de alimentare XT60 sau XT90 (pentru compatibilitatea cablurilor)
- Curea Velcro pentru baterie sau dispozitiv de fixare
- Suprafață de lucru sau covoraș rezistent la căldură
- Pungă de siguranță LiPo (recomandată pentru riscul de incendiu)

Pasul 1

Scoateți cu atenție bateria veche, ținând-o doar de conectori, fără a trage de cabluri.

Pasul

Verificați cablul de conectare al bateriei și conectorul. Dacă nu sunt compatibile, se poate utiliza adaptorul corespunzător.

Pasul

Dacă există o curea sau un dispozitiv care fixează bateria de corpul dronei, slăbiți-l cu atenție.

Pasul

Așezați bateria nouă în orientarea corectă (eticheta în partea de sus, cablurile în spate). Este important să nu modificați centrul de greutate (Figura 4.11).

Pasul

Fixați bine bateria cu cureaua Velcro (Figura 4.11).

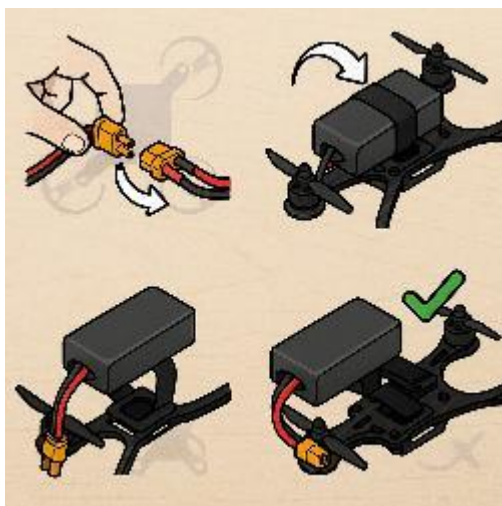


Figura 4.11 Poziționarea și fixarea corectă a bateriei dronei

Pasul

Conectați cablul de alimentare respectând polaritatea corectă. O conexiune incorectă poate deteriora bateria și controlerul de zbor (capetele marcate cu + trebuie conectate între ele, iar capetele marcate cu - trebuie conectate între ele).

Notă: Este foarte important să respectați polaritatea, altfel echipamentul electronic poate fi deteriorat.

Pasul

Măsurați tensiunile celulelor bateriei. Intervalul ideal este între 3,7 V (nominal) și 4,2 V (complet încărcat).

Pasul

Porniți sistemul și verificați dacă este alimentat cu energie electrică, verificând indicatorii LED.

4.2.5.4. Testare și siguranță

- Păstrați durata zborului scurtă la primul zbor și monitorizați tensiunea bateriei.
- Verificați echilibrul celulelor înainte de fiecare încărcare.
- Utilizați numai încărcătoare compatibile cu LiPo și de înaltă calitate.
- Dacă nu veți utiliza bateriile pentru o perioadă lungă de timp, depozitați-le într-o pungă de siguranță LiPo și protejați-le de lumina directă a soarelui.

Notă: Bateriile LiPo sunt sensibile; manipularea necorespunzătoare crește riscul de incendiu, trebuie să aveți grijă.

4.2.6. PDB (placă de distribuție a energiei)

Placa de distribuție a energiei (PDB) este circuitul electronic care distribuie central energia electrică de la baterie către toate componentele electronice ale dronei (Figura 4.12). ESC (controlul electronic al vitezei), controlerul de zbor, transmițătoarele video (VTX), sistemele LED și alte module sunt alimentate prin PDB. Multe PDB-uri au regulatoare de tensiune de 5V și 12V pentru a satisface diferite cerințe de tensiune, filtre și senzori de curent pentru a măsura puterea disipată în timpul zborului.



*Figura 4. Placa de distribuție a energiei (PDB) a dronei*¹²

4.2.6.1. Ce face?

- Distribuie tensiunea înaltă de la baterie, convertind-o în tensiuni sigure și regulate, adecvate pentru nevoile componentelor dronei.
- Furnizează energie directă către ESC și controlerul de zbor.
- PDB-urile cu ieșiri de 5V sau 12V permit transmiterea energiei adecvată pentru senzori și dispozitive care funcționează la tensiuni diferite.
- Modelele cu senzori de curent optimizează gestionarea bateriei prin monitorizarea consumului de energie în timpul zborului.

4.2.6.2. Simptome de defectare

- Drona nu se aprinde deloc sau întregul sistem se oprește brusc în timpul zborului.
- Se observă deteriorări fizice, cum ar fi urme de arsuri, miros sau înnegrire pe PDB.
- ESC sau controlerul de zbor nu vor primi energie și nu vor funcționa.
- Valori anormale, cum ar fi dezechilibru sau 0V, sunt măsurate la ieșirile de tensiune.
- Nu există continuitate la ieșirile PDB atunci când se testează cu un multimetru.

4.2.6.3. Procedura de schimbare și asamblare

Ingrediente necesare:

- Stație de lipit (fier de lipit cu temperatură controlată)
- Sârmă de lipit, flux, pompă de lipit

- Multimetru (pentru testare)
- Tuburi rezistente la căldură
- Pensete și clești

Pasul 1

Opriți alimentarea întregului sistem prin scoaterea bateriei dronei.

Pasul

Etichetați toate cablurile conectate la PDB și documentați punctele de conectare făcând fotografii de înaltă rezoluție (Figura 4.13). Acest lucru este foarte important pentru o conectare corectă.

Pasul

Deconectați cu atenție ESC, controlerul de zbor și toate celelalte conexiuni de cabluri cu vârful de lipit (Figura 4.13).

Pasul

Dacă PDB are șuruburi de fixare, deșurubați-le și scoateți vechiul PDB din carcasă.

Pasul

Fixați noul PDB pe corpul dronei, ținând cont de poziția și orientarea inițială.

Pasul

Lipiți firele în ordine la terminalele corespunzătoare (Figura 4.13):

- Intrări de alimentare ESC (+ și -)
- Ieșiri ale dispozitivului, cum ar fi controlerul de zbor (FC), VTX, LED
- Conectorul de intrare al bateriei (de obicei soclu XT60)

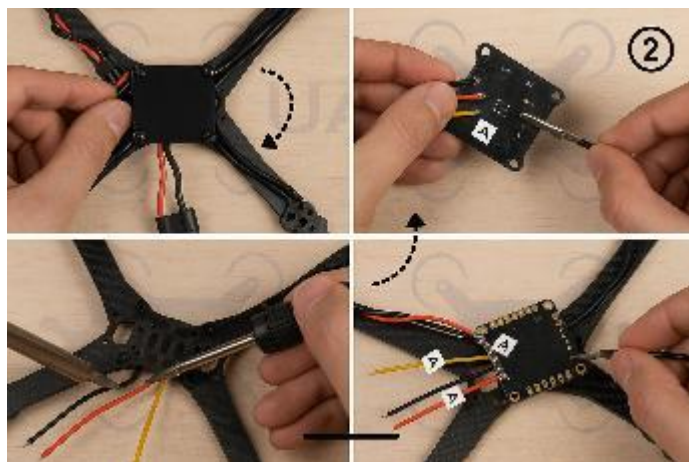


Figura 4.13 Înlocuirea și asamblarea PDB

Pasul 7

Verificați punctele de lipire cu un multimetru pentru a vă asigura că nu există scurtcircuit și că continuitatea este menținută și - asigurați-vă că liniile nu se ating între ele.

Pasul

Efectuați o verificare vizuală finală și, dacă conexiunile sunt sigure și corecte, conectați bateria și alimentați sistemul.

4.2.6.4. Testare și calibrare

- Măsurați tensiunile de ieșire PDB (5V, 12V) cu un multimetru.
- Verificați dacă ESC și controlerul de zbor sunt alimentate.
- Dacă există un senzor de curent pe PDB, verificați dacă acest senzor este conectat corect la controlerul de zbor și dacă este definit prin intermediul software-ului (Betaflight, iNav).

4.2.6.5. Sfaturi

- Lipiți rapid, dar cu atenție, având grijă să nu deteriorați plăcuțele de lipit prin căldură excesivă.
- Cablurile de alimentare scurte și groase sunt importante pentru o capacitate mare de transport al curentului și pentru a preveni supraîncălzirea.
- Partea PDB care intră în contact cu corpul dronei trebuie să aibă un tampon izolant sau un protector din plastic; acest lucru elimină riscul de scurtcircuit.

Notă: Funcționarea corectă a PDB este esențială pentru gestionarea generală a energiei și siguranța dronei.

4.2.7. Receptor

Receptorul este modulul electronic care transmite semnale de frecvență radio (RF) de la telecomandă la controlerul de zbor al dronei (Figura 4.14). Comenzile trimise de pilot de la telecomandă - cum ar fi accelerația, orientarea, controlul altitudinii - sunt mai întâi recepționate de receptor și apoi transmise controlerului de zbor. Prin urmare, receptorul joacă un rol esențial în controlul manual sau semi-autonom al dronei.



Figura 4.14 . Componenta receptorului dronei

4.2.7.1. Ce face?

- Recepționează semnalele trimise de la telecomandă.
- Asigură mișcările dronei prin transferul semnalelor primite către controlerul de zbor.
- Utilizează diferite protocoale de transfer de date (PWM, PPM, SBUS, iBUS, CRSF - Crossfire).
- Unele receptoare trec în modul de siguranță (de urgență) pentru siguranță în cazul pierderii semnalului.

Notă: Funcția Failsafe permite dronei să se comporte în siguranță în cazul pierderii semnalului (de exemplu, aterizare).

4.2.7.2. Simptome de defectare

- Drona emite un avertisment „fără semnal” la pornire.
- Nu există conexiune cu telecomanda.
- Indicatorul LED de pe receptor luminează roșu continuu sau nu luminează deloc.
- ESC-urile nu funcționează deoarece controlerul de zbor nu poate recepționa semnalul.

4.2.7.3. Procedura de schimb și asamblare

Ingrediente necesare:

- Mini șurubelniță
- Stație de lipit (pentru unele modele)
- Pensetă
- Bandă 3M sau bandă adezivă dublu adezivă
- Multimetru (opțional pentru testarea conexiunilor)

Pasul 1

Dezactivați complet sistemul prin scoaterea bateriei.

Pasul

Localizați receptorul de curent pe dronă. Acesta se află de obicei în apropierea controlerului de zbor.

Pasul

Deconectați cu atenție firele de semnal (3 pini: semnal, +5V, GND) conectate la controlerul de zbor. Dacă sunt lipite, deconectați firele folosind un vârf de lipit.

Pasul

Scoateți vechiul receptor de pe bandă sau suportul de fixare.

Pasul

Așezați noul receptor în aceeași poziție și fixați-l bine cu bandă adezivă dublu adezivă. Antena trebuie orientată spre exterior și, dacă este posibil, într-o locație fără vibrații.

Pasul

Conectați cablurile de semnal, +5V și GND la pinii corespunzători. Conectați la portul SBUS sau iBUS de pe controlerul de zbor.

Pasul

Efectuați conectarea cu telecomanda. Porniți receptorul, de obicei apăsând și ținând apăsat butonul de conectare, și comutați telecomanda în modul de conectare.

Pasul 8

Conexiunea este reușită dacă LED-ul de pe receptor se aprinde în verde. Efectuați testele de mișcare în interfața software (de exemplu, Betaflight > fila Receiver).

4.2.7.4. Testare și calibrare

- Mișcați joystick-urile și observați comenzile din software.
- Verificați dacă secvența canalelor (TAER / AETR) este corectă.
- Configurați setările Failsafe pentru a determina ce va face drona în cazul unei defecțiuni a semnalului.

4.2.7.5. Sfaturi

- Amplasați receptorul și antenele departe de motoarele care generează interferențe magnetice și electrice.
- Intensitatea semnalului crește dacă antenele sunt poziționate la unghiuri de 90° pe dronă.
- Monitorizați regulat calitatea semnalului și jurnalele de zbor pe distanțe lungi.

Notă: Poziționarea receptorului și a antenei este esențială pentru calitatea semnalului și siguranța zborului.

4.2.8. Modul GPS

Modulul GPS (Sistemul global de poziționare) permite dronei să-și determine poziția precisă pe Pământ prin intermediul sateliților (Figura 4.15). Aceste informații de poziție sunt esențiale pentru modurile de zbor autonom al dronei, menținerea poziției, întoarcerea la bază (RTH) și misiunile cu puncte de referință.



Figura 4.15 Modul GPS (Sistem de poziționare globală) pentru drone

4.2.8.1. Ce face?

- Detectează coordonatele instantanee de latitudine, longitudine și altitudine ale dronei.
- Furnizează date privind viteza și direcția.
- Indispensabil în misiunile de zbor autonom (de exemplu, urmărirea unei rute prestabilite).
- Funcția RTH permite dronei să se întoarcă în siguranță la punctul de plecare în cazul pierderii semnalului de control.

Notă: În cazul pierderii semnalului GPS, drona poate trece în modul de siguranță.

4.2.8.2. Simptome de defecțiune

- Imposibilitatea conectării la sateliți sau lipsa completă a semnalului GPS.
- Drona nu poate trece în modul GPS.
- Coordonatele GPS nu sunt vizibile în interfața software-ului.
- Date de poziție întârziate, inexacte sau inconsistente.

4.2.8.3. Procedura de schimb și asamblare

Ingrediente necesare:

- Mini șurubelniță
- Pensetă
- Stație de lipit (poate fi necesară pentru unele modele GPS)
- Placă sau bandă de montare GPS
- Multimetru (pentru control, opțional)

Pasul

Opriti alimentarea sistemului deconectând drona de la baterie.

Pasul

Localizați modulul GPS pe dronă. De obicei, acesta este montat în partea superioară a dronei, izolat de vibrații, orientat spre spațiul deschis.

Pasul

Deconectați cablul cu 4 fire care conectează cablul antenei GPS la controlerul de zbor. Aceste fire constau de obicei din linii TX (transmițător), RX (receptor), 5V și GND.

Pasul

Îndepărtați cu atenție banda adezivă sau suportul de montare care fixează modulul.

Pasul

Montați noul modul GPS în aceeași poziție și orientare.

- Pentru o recepție optimă a semnalului satelit, antena trebuie orientată în sus și nu trebuie să fie înconjurată de surse de câmp magnetic sau metale.

Pasul

Conectați cablurile TX și RX la controlerul de zbor prin conectarea încrucișată a acestora (TX → RX, RX → TX). Conectați, de asemenea, cablurile GND și 5V la pinii corespunzători.

Pasul

Porniți drona și verificați conexiunea GPS prin intermediul software-ului (de exemplu, Betaflight > fila GPS).

Pasul

Așteptați ca modulul GPS să se „blocheze” prin stabilirea unei conexiuni cu 6 sau mai mulți sateliți. După blocare, sistemul este gata de zbor.

4.2.8.4. Testare și calibrare

- Se poate efectua un zbor de testare controlat pentru a testa funcția RTH.
- Datele privind viteza și direcția primite prin GPS trebuie monitorizate pe interfața software-ului.
- Istoricul zborului și precizia localizării trebuie verificate prin analizarea fișierelor jurnal GPS.

4.2.8.5. Sfaturi

- Antena GPS trebuie amplasată cât mai departe posibil de suprafețele metalice și de câmpurile magnetice generate de motoare.
- Antena trebuie orientată întotdeauna în sus și izolată de vibrații.
- Modulele GPS pot necesita mai mult timp pentru a se conecta la pornirea inițială, în special în zone noi sau cu semnal slab; se recomandă răbdare.

Notă: Poziția și montarea modulului GPS sunt esențiale pentru succesul navigării dronei.

4.2.9. Camera și senzorii de imagine

Camera este o componentă optică care permite dronei să vadă lumea exterioară și să transmită această imagine în timp real pe ecranul FPV (First Person View) sau ochelarii pilotului (Figura 4.16). Senzorii de imagine sunt elemente electronice care convertesc informațiile luminoase ale camerei într-un semnal digital; cele mai comune tipuri sunt senzorii CMOS. Camera permite pilotului să perceapă mediul înconjurător, să evite obstacolele, să urmărească ținte și să înregistreze atât în misiuni de pilotare manuală, cât și în misiuni de zbor autonom.



Figura 4.16 Camera dronei și senzorul de imagine

4.2.9.1. Ce face?

- Asigură transmisia imaginilor în timp real (sistem FPV).
- Înregistrează videoclipuri și imagini statice; de obicei, înregistrarea se face pe un card SD.
- Sprijină deciziile de mișcare bazate pe date vizuale în sarcini autonome.
- Este utilizată în funcții avansate, cum ar fi detectarea vizuală, urmărirea țintelor și recunoașterea platformelor de aterizare.

4.2.9.2. Simptome de defectare

- Nu apare nicio imagine pe ecranul FPV.
- Probleme de afișare, cum ar fi ecran negru sau pixeli defecte.
- Întreruperi ale imaginii din cauza conexiunilor slabe ale camerei.
- Probleme de detectare a luminii: imagini prea întunecate sau prea luminoase.
- Interferențe sau transmisie intermitentă în imaginea FPV.

4.2.9.3. Procedura de schimb și asamblare

Ingrediente necesare:

- Șurubelniță mică
- Stație de lipit (unele modele pot necesita)
- Pensetă
- Bandă de montare sau tampon anti-vibrații
- Cablu de conectare FPV (de obicei cu 3-4 pini)

Pasul 1

Oprii complet alimentarea sistemului prin scoaterea bateriei.

Pasul

Localizați poziția camerei pe corpul dronei (de obicei pe fața frontală).

Pasul

Deconectați cablul de conectare al camerei. Camerele FPV au de obicei 3 pini: ieșire video (VTX), alimentare (5V) și împământare (GND).

Pasul

Scoateți cu atenție șuruburile sau banda adezivă care fixează camera. La unele modele, camera poate fi înșurubată în cadrul lateral.

Pasul 5

Așezați noua cameră în aceeași poziție de montare (Figura 4.17). Utilizați un tampon de cauciuc anti-vibrații, dacă este necesar.



Figura 4.17 Înlocuirea și asamblarea camerei dronei

Pasul 6

Conectați firele în ordine:

- Cablu video → la intrarea VTX
- +5V și GND → PDB sau controler de zbor la conexiunea de alimentare

Pasul

Porniți drona și testați imaginea cu afișajul FPV sau ochelarii.

Pasul

Dacă imaginea este disponibilă, reglați unghiul camerei în direcția de vizualizare a pilotului și stabiliți-o.

4.2.9.4. Testare și calibrare

- Trebuie verificată claritatea imaginii camerei; dacă este neclară, obiectivul trebuie curățat.
- Calitatea imaginii trebuie evaluată în funcție de condițiile de lumină (dacă există distorsiuni în întuneric).
- Transmisia video prin VTX trebuie să fie neîntreruptă și stabilă.
- Latența imaginii trebuie menținută cât mai scăzută posibil.

4.2.9.5. Sfaturi

- Se recomandă utilizarea unui capac pentru obiectiv pentru a proteja obiectivul camerei de zgârieturi.
- Cablurile camerei și VTX trebuie ținute la distanță de componente precum motoarele și ESC-urile care creează câmpuri magnetice.
- Cablul FPV de înaltă calitate îmbunătățește calitatea semnalului și stabilitatea transmisiei.
- Exteriorul camerei nu trebuie expus la praf și umiditate excesive.

Notă Funcționarea stabilă și fiabilă a camerei și a sistemului de imagistică este esențială pentru siguranța zborului FPV.

4.2.10. Senzori (IMU, barometru, busolă etc.)

Senzorii sunt unități electronice care transmit continuu date către controlerul de zbor, detectând mediul înconjurător al dronei și propriile mișcări (Figura 4.18). Acești senzori contribuie la asigurarea unui zbor stabil și controlat, măsurând informații despre echilibrul, orientarea, înălțimea și poziția dronei.

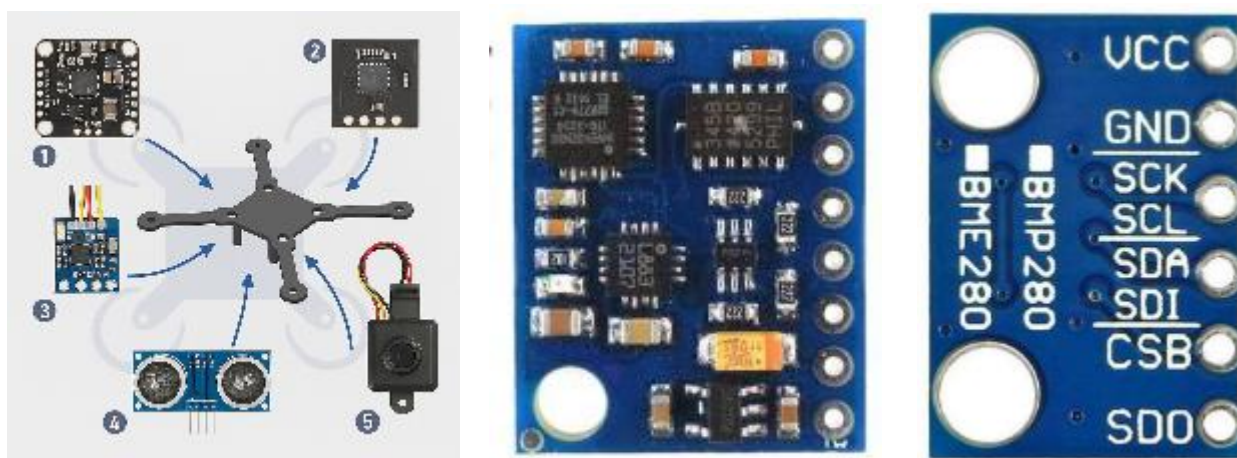


Figura 4.18 Senzori pentru drone

4.2.10.1. Ce fac aceștia?

- **IMU (unitate de măsurare inerțială):** include accelerometru și giroscop. Furnizează informații despre mișcarea și orientarea dronei pe trei axe.
- **Barometru:** calculează altitudinea dronei prin măsurarea presiunii atmosferice. Este utilizat în funcțiile de stabilizare a altitudinii și altimetru.
- **Busolă:** determină orientarea dronei în raport cu nordul magnetic. Esențială pentru urmărirea traseului asistată de GPS și rutarea automată.
- **Senzor de flux optic sau TOF:** Măsoară distanța până la sol în timpul aterizării sau efectuează detectarea mișcării pentru poziția staționară.

Notă: Împreună, acești senzori formează conștiința spațială a dronei și sunt indispensabili pentru siguranța zborului.

4.2.10.2. Simptome de defectare

- Drona alunecă sau derapează constant într-o singură direcție.
- Se observă spasme, sărituri sau deviații direcționale în timpul aterizării și decolării.
- Modul GPS nu funcționează sau nu se poate realiza blocarea direcției.
- Înălțimea nu poate fi stabilizată din cauza unei erori a barometrului.
- Pe interfața software apar avertismente de eroare, cum ar fi „Eroare senzor”, „Giroscopul nu a fost găsit”, „Compas defect”.

4.2.10.3. Procedura de schimb și asamblare

Ingrediente necesare:

- Stație de lipit (pentru senzori lipiți)
- Clește pentru îndepărtarea microconectorilor
- Pensete
- Brățară de protecție împotriva electricității statice
- Software de calibrare (Betaflight, iNAV, Mission Planner)

Pasul 1

Opriți alimentarea sistemului prin scoaterea bateriei.

Pasul

Identificați modulul sau senzorul extern care conține senzorul defect (de obicei situat pe controlerul de zbor (FC)).

Pasul

Conectorul de conectare al senzorului (cum ar fi I2C, SPI sau UART) este deconectat cu atenție. Dacă senzorul este sudat direct, acesta este separat cu grijă cu ajutorul unei stații de sudare.

Pasul

Noul senzor este montat pe același modul, în orientarea corectă și cu ordinea corectă a pinilor. Deoarece majoritatea senzorilor sunt direcționali, montarea lor cu susul în jos va duce la generarea de date incorecte.

Pasul 5

După finalizarea conexiunilor, sistemul este repornit.

4.2.10.4. Calibrarea senzorului (cu software)

- Calibrarea IMU: Drona este plasată pe planuri fixe pe axe diferite (de exemplu, în meniul Betaflight > Setup).
- Calibrarea busolei: Drona este rotită la 360° pe fiecare axă și sunt colectate valorile câmpului magnetic.
- Calibrarea barometrului: De obicei se efectuează automat, dar se recomandă testarea manuală într-un mediu ventilat.
- GPS - Alinierea busolei: Se verifică direcția și potrivirea busolei.

4.2.10.5. Sfaturi

- Senzorii trebuie amplasați cât mai departe posibil de motoare, ESC și alte componente care generează câmpuri magnetice.
- Calibrarea trebuie efectuată într-o zonă deschisă, departe de interferențe electromagnetice.
- Dacă senzorul integrat în controlerul de zbor (FC) se defectează, este de obicei necesară înlocuirea completă a plăcii FC.
- Senzorii optici plasați sub trenul de aterizare trebuie protejați de praf, murdărie și umiditate.

Notă: Funcționarea corectă a senzorilor este esențială pentru stabilitatea zborului și siguranța dronei.

4.2.11. Trenul de aterizare și elementele de protecție

Trenul de aterizare este partea structurală prin care drona intră în contact cu solul și protejează componentele electronice și mecanice prin absorbția energiei de impact în timpul aterizării (Figura 4.19). Acesta asigură o aterizare lină și ajută drona să se așeze pe o platformă stabilă și echilibrată.



Figura 4.19 Tren de aterizare pentru drone

Elementele de protecție includ protecții pentru elice, suporturi pentru caroserie, cauciucuri de absorbție a șocurilor, scuturi pentru antene și piese similare (Figura 4.20). Aceste componente asigură protecția dronei împotriva impacturilor fizice, cum ar fi căderile, loviturile sau frecarea.



Figura 4. Elemente de protecție pentru drone20

4.2.11.1. Ce rol au?

- **Tren de aterizare:** protejează caroseria dronei și componentele interne prin absorbția undelor de șoc în timpul contactului cu solul dur.
- **Protecție elice:** împiedică ruperea sau deteriorarea elicelor în cazul unui accident.
- **Protector carcasă / amortizor de șocuri:** previne deteriorarea componentelor electronice sensibile în urma impacturilor fizice.

- **Stabilizator de antenă:** previne ruperea și deplasarea antenelor FPV.

4.2.11.2. Simptome de defectare

- Drona este instabilă la aterizare sau pe sol, înclinându-se într-o parte.
- Trenul de aterizare poate fi crăpat, rupt sau întins.
- Elementele de protecție s-ar putea să se fi slăbit sau deplasat în urma impactului.
- Dacă se observă vibrații crescute în timpul zborului (în special dacă nu sunt disponibile tampoane de aterizare moi).

4.2.11.3. Procedura de schimbare și asamblare

Ingrediente necesare:

- Mini șurubelniță (de obicei M2 sau M3)
- Tren de aterizare nou sau kit de protecție de rezervă
- Pensete
- Bandă adezivă dublu adezivă sau tampoane de montare (pentru unele modele)
- Clemă de conectare din plastic (bandă de fixare)

Pasul

Deconectați toate sursele de alimentare ale dronei, sistemul trebuie să fie deconectat de la sursa de alimentare.

Pasul

Identificați piesele rupte, deteriorate sau defecte ale trenului de aterizare. Acesta este format, de obicei, din 2 sau 4 piese fixate pe baza dronei.

Pasul

Scoateți șuruburile sau suporturile care fixează trenul de aterizare. Unele modele pot avea un sistem de cleme de fixare, scoateți-le cu atenție.

Pasul

Instalați noul tren de aterizare în poziția sa originală și simetric. Stabilitatea înălțimii afectează în mod direct performanța la decolare și aterizare.

Pasul

Introduceți elementele de protecție:

- Protecția elicei este de obicei fixată la nivelul elicei sau în suportul motorului.
- Tampoanele de absorbție a șocurilor sunt lipite de baza dronei cu bandă adezivă dublu adezivă.

- Scuturile sau suporturile pentru antene sunt montate în partea din spate a dronei pentru a preveni ruperea antenelor FPV.

Pasul 6

Așezați drona pe o suprafață plană și dură. Asigurați-vă că toate părțile sunt la aceeași înălțime și simetrice.

4.2.11.4. Testare și controale înainte de zbor

- Drona trebuie să se afle pe un teren nivelat și stabil înainte de decolare.
- După fiecare aterizare, șuruburile, benzile adezive și elementele de montare ale trenului de aterizare nu trebuie să fie slăbite.
- Trebuie verificat dacă elementele de protecție nu vibrează în timpul zborului.

4.2.11.5. Sfaturi

- Materialele din carbon armat sau aluminiu ușor sunt de preferat în locul trenului de aterizare din plastic, deoarece durabilitatea acestora este mai mare.
- Utilizarea protecțiilor pentru elice este obligatorie pentru dronele utilizate în scopuri educaționale.
- Piese de protecție nu trebuie să fie prea grele și nu trebuie să afecteze negativ dinamica de zbor și performanța dronei.

4.2.12. Gimbal

Gimbalul este un sistem electronic și mecanic de stabilizare care permite camerei de pe dronă să ofere o imagine stabilă și echilibrată, fără vibrații (Figura 4.21). De obicei, este echipat cu motoare cu 2 axe (pitch-yaw) sau 3 axe (pitch-yaw-roll). Chiar dacă drona se mișcă, camera de pe gimbal rămâne fixă în plan orizontal, obținându-se astfel imagini sau videoclipuri clare. Gimbalul poate funcționa atât cu control manual, cât și automat.



Figura 4. Cardan21

4.2.12.1. Ce face?

- Asigură stabilitatea imaginii prin absorbția vibrațiilor și a zguduiturilor care apar în timpul zborului dronei.
- Oferă o calitate înaltă a imaginii în filmările video și fotografiile profesionale.
- Permite controlul de la distanță al unghiului camerei (de exemplu, prin intermediul controlerului FPV).
- În misiunile autonome, este utilizat în funcțiile de captare a imaginii și de urmărire a obiectelor la un anumit unghi.
- Oferă algoritmi de procesare a imaginii cu un punct de referință fix.

4.2.12.2. Simptome de defectare

- Dacă camera tremură constant, fluctuează sau funcția de stabilizare a orientării nu funcționează.
- Dacă se observă zgomote mecanice sau încălzire din partea motoarelor cardanului.
- Dacă cardanul nu efectuează mișcări de calibrare la pornirea dronei.
- Dacă cardanul nu reacționează sau nu își schimbă unghiul cu telecomanda.
- Dacă unghiul imaginii nu rămâne constant, ci se deplasează în funcție de direcția de zbor.

4.2.12.3. Procedura de schimbare și asamblare

Ingrediente necesare:

- Mini șurubelniță și cheie Allen
- Pensete și clești

- Stație de lipit (unele modele)
- Gimbal de schimb (model compatibil)
- Cabluri de conectare (UART, semnal servo etc.)

Pasul 1

Opriți complet alimentarea sistemului prin scoaterea bateriei dronei.

Pasul

Determinați poziția modulului cardanic existent. Acesta se află de obicei în partea din față, în partea de jos a dronei și este montat cu curele de cauciuc anti-vibrații.

Pasul

Deconectați cu atenție cablurile de conectare ale camerei, cablul de alimentare și cablurile de semnal. Etichetați fiecare conexiune sau faceți o fotografie.

Pasul

Scoateți șuruburile și suporturile care fixează gimbalul. Îndepărtați cu atenție toate cauciucurile de suspensie.

Pasul

Plasați noul cardan în același loc, cu aceeași orientare și axă. Obiectivul camerei trebuie să fie aliniat cu partea frontală a dronei.

Pasul

Conectați cablurile de alimentare ale cardanului și conexiunile de semnal la pinii corespunzători (de exemplu, UART1 TX/RX).

Pasul

Efectuați calibrarea gimbalului prin intermediul software-ului (de exemplu, Betaflight, Mission Planner, firmware-ul gimbalului).

Pasul

Efectuați un zbor de testare pentru a observa funcționarea corectă a gimbalului, stabilitatea imaginii și mișcarea camerei.

4.2.12.4. Testare și calibrare

- Gimbalul ar trebui să efectueze o mișcare de auto-calibrare la pornire.
- Nu ar trebui să existe pâlpâiri sau schimbări de direcție în imaginea din sistemul FPV.

- Mișcările de înclinare și panoramare efectuate prin intermediul comenzii trebuie să fie fluide.
- Dacă este necesar, setările PID și echilibrul puterii motorului trebuie reconfigurate prin intermediul software-ului.

4.2.12.5. Sfaturi

- Nu forțați motoarele gimbalului cu mâna, deoarece acest lucru poate deteriora motoarele.
- Camera și gimbalul trebuie curățate regulat pentru a le proteja de praf, umiditate și vibrații excesive.
- Cablurile camerei și cardanului trebuie să fie scurte și bine fixate, cablurile slăbite putând interfera cu cardanul.
- Actualizările software-ului și firmware-ului cardanului trebuie verificate în mod regulat.

Notă: Funcționarea corectă a sistemului gimbal este esențială pentru calitatea imaginii, siguranța FPV și filmarea profesională.

4.2.13. Cabluri și conectori

Cablarea în sistemele de drone este infrastructura de bază care permite conectarea între ele a tuturor componentelor electronice (motoare, ESC, controler de zbor, baterie, GPS, receptor, cameră etc.). Aceasta este clasificată în trei grupe de bază: cabluri de transmisie a energiei, linii de transport al semnalului și linii de transmisie a datelor. Dispunerea cablurilor este de o importanță majoră pentru eficiența electrică, stabilitatea semnalului și siguranța dronei.

4.2.13.1. Ce face?

- Asigură transmiterea în siguranță a energiei electrice de la baterie la ESC, motoare și plăci de control.
- Transmite semnale de control între componente precum ESC, receptor, senzori.
- Asigură transmisii de date, cum ar fi telemetrie, imagini și GPS (UART, I2C, SPI, SBUS etc.).
- Ajută la menținerea polarității și a nivelurilor de tensiune corecte în întregul sistem.
- În sistemele modulare, conectorii facilitează înlocuirea pieselor.

4.2.13.2. Tipuri de cabluri și conectori utilizați în mod obișnuit

- Cabluri de alimentare: cabluri izolate cu silicon cu grosimea de 12-16 AWG (între baterie-ESC-PDB)
- Cabluri de semnalizare: linii de jumper simple sau multiple de 26-30 AWG (FC-ESC-la-receptor)
- Cabluri FPV: linii de transmisie video cu 3-4 pini (de la cameră la VTX)
- Tipuri de conectori:
 - XT60 / XT90: Pentru conexiuni la baterie
 - JST / PH / SH: conexiuni receptor și senzor
 - Servo (3 pini): Pentru semnal + 5V + GND
 - USB / Micro-USB / Tip C: Pentru configurare și actualizări

4.2.13.3. Simptome de defectare

- Sistemul nu se pornește deloc (cablu rupt sau conexiune incorectă)
- ESC sau FC se opresc și pornesc din cauza alimentării neregulate cu energie
- Întreruperi bruște de alimentare sau pierderea semnalului în timpul zborului
- Eșecul transmiterii datelor telemetrice, pierderea imaginilor
- Scurtcircuit din cauza lipirii incorecte (miros de ars, fum)

4.2.13.4. Procedura corectă de cablare și conectare

Ingrediente necesare:

- Stație de lipit și sârmă de lipit de calitate
- Foarfece, clești, pensete
- Tuburi rezistente la căldură și pistol de căldură
- Multimetru (pentru testarea continuității și tensiunii)
- Set de conectori (XT60, JST, servo etc.)
- Clemă pentru cabluri și spirală de organizare

Pasul

Oprăți alimentarea întregului sistem, scoateți bateria.

Pasul

Pregătiți cablurile care urmează să fie conectate, cu grosimea și izolația adecvate. Lungimea acestora trebuie să fie scurtă și adecvată funcției lor.

Pasul

Dezizolați cu atenție capetele cablurilor care urmează să fie lipite și acoperiți-le în prealabil (cositorire) cu sârmă de lipit.

Pasul

Lipiți rapid și curat.

- Plăcuțele de lipire pentru cablurile de alimentare trebuie să fie rezistente.
- Evitați conectarea inversă a cablurilor de semnal.

Pasul 5

Izolați cu tuburi după lipire, folosiți un pistol de caldura dacă este necesar.

Pasul

Verificați corectitudinea conectorilor cu un multimetru (în special terminalele + și -).

Pasul

Utilizați coliere de cablu sau tamponi izolante pentru a fixa cablurile. Conexiunile slăbite și instabile pot fi o sursă de defecțiuni viitoare.

4.2.13.5. Testare și calibrare

- Testul de tensiune trebuie efectuat pe toate liniile de alimentare cu un multimetru.
- Verificați dacă porturile cablurilor de semnal (UART1, SBUS, i2C) sunt conectate la portul corect.
- Verificați dacă toate componentele conectate sunt recunoscute de interfața software (ESC, receptor, GPS etc.).
- Înainte de a porni sistemul, toate traseele cablurilor trebuie verificate din nou.

4.2.13.6. Sfaturi

- Cablurile de semnal trebuie ținute la distanță de cablurile motorului (anti-interferență)
- Utilizați coduri de culori: roșu (+), negru (-), alb/galben (semnal)
- Acordați atenție calității lipirii; o lipire de slabă calitate va duce la defecțiuni pe termen lung.
- Planificarea schematică a traseelor cablurilor în fiecare sistem nou facilitează întreținerea în viitor.
- Evitați cablurile inutile de lungi; acestea adaugă greutate și aglomerează sistemul.

Notă: Utilizarea corectă a cablurilor și conectorilor este esențială pentru funcționarea sigură și fără probleme a unei drone. Cea mai mică eroare la cabluri poate pune în pericol întregul sistem.

4.3. Proceduri de instalare și actualizare a software-ului

Acest capitol oferă un ghid cuprinzător pentru instalarea, actualizarea și testarea funcționalității software-ului de control al zborului dronelor. De asemenea, include informații de bază despre arhitectura software-ului dronelor, tehnologiile de simulare și ecosistemul global al software-ului (Figura 4.22). Scopul este de a permite chiar și utilizatorilor fără experiență în software să înțeleagă și să aplice conceptele de bază. În acest fel, sunt prezentate împreună atât cunoștințele teoretice, cât și aplicațiile practice.

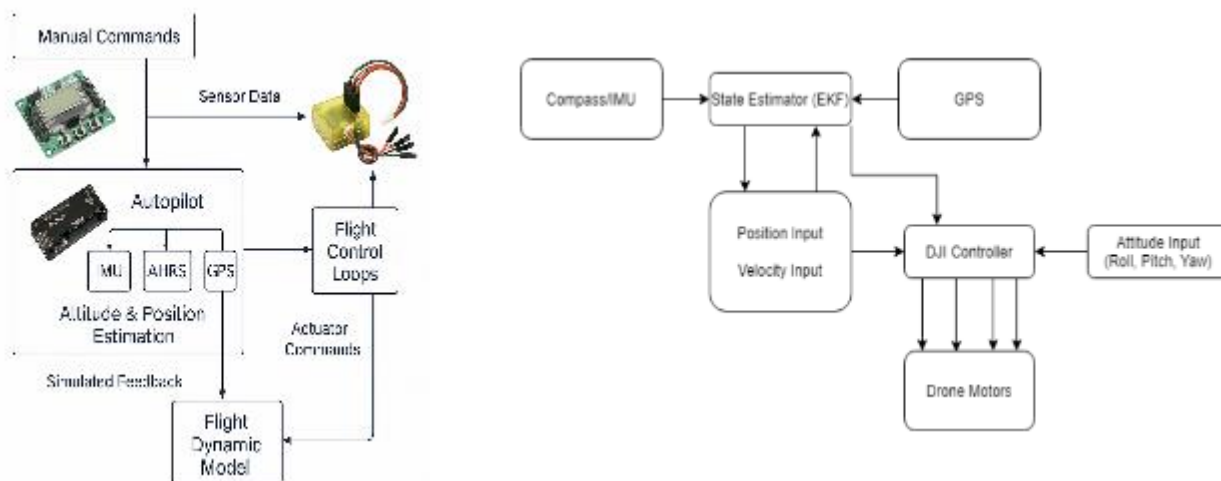


Figura 4.22 Diagrame ale sistemului software și arhitecturii de control al zborului dronelor

4.3.1. Ce este software-ul pentru drone?

Software-ul pentru drone este un set de programe care reglează fluxul de date între controlerul de zbor, senzori, GPS, motoare și alte componente electronice, integrează sistemele și execută operațiunile de zbor ale dronei. Acest software este de obicei organizat în două straturi principale:

- **Software de control al zborului (firmware):**

Acesta detectează starea instantanee de zbor a dronei, procesează datele senzorilor, transmite comenzi de zbor către motoarele dronei și asigură un zbor stabil și sigur al acesteia. Acest strat interacționează direct cu hardware-ul și creează mecanismul de decizie în timp real. De exemplu, firmware-ul open source PX4 și ArduPilot se încadrează în această categorie.

- **Stația de control la sol (GCS):**

Stratul software care permite operatorilor de drone să comunice cu drona, să planifice misiuni, să determine rutele de zbor și să monitorizeze datele telemetrice

în timp real prin intermediul unui computer sau dispozitiv mobil . Printre cele mai populare programe software GCS se numără QGroundControl și Mission Planner.

- **Straturi suplimentare și integrare:**

Unele sisteme avansate pot include straturi software suplimentare, cum ar fi zborul autonom, inteligența artificială și modulele de procesare a imaginilor. Aceste module sporesc capacitățile dronei de detectare a mediului și de efectuare a sarcinilor complexe.

Componentele principale ale software-ului dronei pot fi rezumate în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2 . Componente de bază ale software-ului dronei

Componentă	Descriere
FC (controler de zbor)	Acesta acționează ca creierul central al dronei, procesând toate datele senzorilor și trimițând comenzi către motoare.
Firmware	Este stratul software de bază instalat pe FC. Poate fi actualizat și determină performanța de zbor.
GCS (stație de control la sol)	Este software-ul care rulează pe computerul sau dispozitivul mobil al utilizatorului, oferind planificare de zbor, monitorizare a datelor și actualizări de software.
Driver USB / serial	Driver care permit schimbul de date între dronă și computer.
IMU / AHRS / INS	Sisteme de senzori care determină orientarea, accelerația și poziția dronei (IMU: unitate de măsurare inerțială, AHRS: sistem de referință pentru atitudine și direcție, INS: sistem de navigație inerțială)
MAVLink	Este un protocol ușor și standardizat care permite comunicarea între dronă și stația de control de la sol.
Bootloader / Mod DFU	Moduri speciale de operare utilizate în timpul instalării și actualizării firmware-ului.

4.3.2. Importanța și funcțiile software-ului

Software-ul dronei este esențial nu numai pentru controlul hardware-ului, ci și pentru siguranța, precizia și eficiența zborului. Software-ul potrivit crește stabilitatea dronei, procesează cu precizie datele senzorilor și declanșează intervenții automate (de exemplu, RTH - Return To Home) în situații de urgență.

4.3.3. Arhitectura software-ului dronei

Sistemul software de pilot automat al dronei urmează următoarea operațiune în timpul zborului:

- Colectarea datelor senzorilor: Senzori precum IMU, GPS, AHRS și INS colectează în timp real informații despre mișcarea, poziția și direcția dronei.
- Buclă de control: Datele colectate sunt transferate către bucla de control al zborului, unde sunt analizate și se creează un mecanism de decizie.
- Generarea comenzilor: controlerul trimite comenzi către motoare și alte actuatore în conformitate cu datele procesate.
- Comunicare manuală și telemetrie: Controlul manual și monitorizarea de la distanță sunt asigurate cu semnale de control RC și date telemetrice.
- Gestionarea driverelor: Driverile seriale gestionează atât fluxul de date de intrare (de la senzori), cât și fluxul de date de ieșire (către motoare și alte actuatore).
- Modelul dinamic de zbor: Performanța de zbor este testată prin simularea caracteristicilor de zbor (utilizată în special în simulări).

4.3.4 Procedura de instalare a software-ului

Pregătire:

Pasul 1

Drona este conectată la computer prin cablu USB.

Pasul 2

Software-ul necesar (de exemplu, Betaflight Configurator) este instalat pe computer.

Pasul 3

Trebuie instalate driverile pentru portul serial (de exemplu, Zadig).

Procesul de instalare a software-ului:

Pasul 1

Conectați controlerul de zbor la computer prin USB.

Pasul

Se deschide aplicația GCS (Betaflight, iNav, Mission Planner etc.).

Pasul 3

Selectați modelul controlerului de zbor (de exemplu, STM32F405).

Pasul

Selectați versiunea de firmware corespunzătoare din fila „Firmware Flasher”.

Pasul 5

Apăsați butonul „Flash Firmware” pentru a începe instalarea.

Pasul

După încărcarea firmware-ului, FC se repornește și sistemul este recunoscut automat.

Notă: În cazul unor modele de controlere de zbor, poate fi necesar să apăsați butonul „BOOT” de pe dispozitiv sau să comutați la modul DFU (Device Firmware Upgrade) pentru a încărca firmware-ul.

Actualizare ESC (control electronic al vitezei)

Pasul

Bateria dronei este instalată.

Pasul

Se deschide software-ul de actualizare ESC, cum ar fi BLHeli Suite sau BLHeli Configurator.

Pasul

ESC-urile sunt introduse și se efectuează actualizarea firmware-ului, dacă este disponibilă.

Pasul 4

Direcțiile motorului sunt testate prin intermediul software-ului și inversate, dacă este necesar.

4.3.5. Platforme software avansate pentru drone

Platformele software avansate pentru drone pot fi rezumate în tabelul 4.3.

Tabelul 4.3 Platforme software avansate pentru drone

Platformă	Caracteristică
PX4 Autopilot	Este un software de control al zborului modular și open source, potrivit pentru utilizare industrială.
ArduPilot	Software open source care acceptă multiple platforme, cum ar fi aripi fixe, multicoptere, vehicule terestre și maritime.
DJI SDK	SDK pentru aplicații mobile avansate și integrări de drone cu sistem închis dezvoltat de DJI.
ROS	Sistemul de operare pentru roboți este utilizat pentru logica de zbor asistată de IA, misiuni autonome și aplicații SLAM (localizare și cartografiere simultană).

4.3.6. Sisteme de simulare: SITL și HITL

SITL (Software in the Loop): SITL este o simulare de zbor efectuată la nivel de software, fără hardware real. Software-ul de control al zborului este rulat într-un mediu virtual pe un computer și se simulează dinamica zborului (Figura 4.23). Această metodă accelerează procesele de dezvoltare și testare a software-ului, elimină necesitatea hardware-ului și permite examinarea situațiilor riscante într-un mediu sigur. Este utilizată în special pentru verificarea algoritmilor de control al zborului.

HITL (Hardware in the Loop): Simularea HITL se realizează prin integrarea hardware-ului real al controlerului de zbor în mediul de simulare. În acest fel, software-ul și hardware-ul sunt testate împreună. Datele senzorilor și comenzile de control sunt transferate între hardware și simulator în timp real. HITL este esențial pentru evaluarea performanței reale a controlerului de zbor și detectarea problemelor de integrare hardware-software.

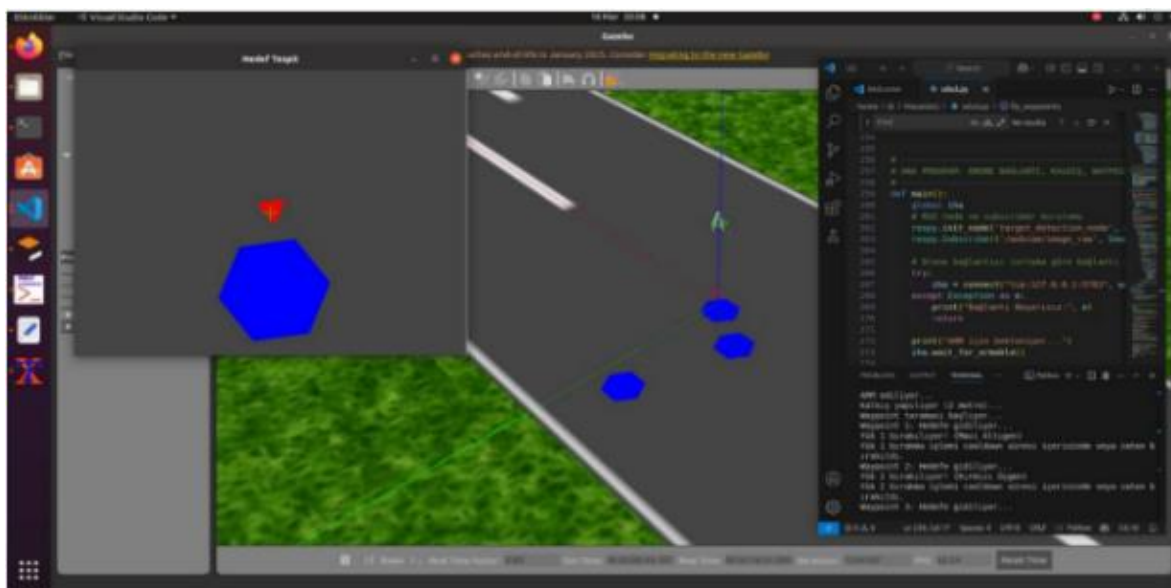


Figura 4.23 . Mediu de simulare a dronelor Software-in-the-Loop (SITL)

Informații comparative detaliate despre instrumentele de simulare a dronelor sunt rezumate în tabelul 4.4.

Tabelul 4.4 Instrumente de simulare comparative

Simulator	Suport SITL	Suport HITL	Suport ROS	Descriere
AirSim	✓	✓	✦ (indirect)	Platformă de simulare bazată pe Unreal Engine dezvoltată de Microsoft. Este utilizată pentru testarea inteligenței artificiale a vehiculelor fără pilot și pentru procesarea imaginilor.
Gazebo	✓	✓	✓	Oferă integrare completă cu sistemul de operare pentru roboți (ROS). Creează medii realiste de zbor pentru drone cu motoare fizice și simulare de senzori.
JMavSim	✓	✓	✓	Simulator ușor și rapid, integrat în ecosistemul PX4. Ideal pentru teste de bază privind dinamica zborului și navigația.
FlightGear	✓	✓	✗	Simulator de zbor open source cu o hartă mondială extinsă și condiții meteorologice realiste. Este preferat în general pentru scopuri de instruire și simulări de aviație generală.
X-Plane	✓	✓	✗	Simulator de zbor profesional și comercial. Oferă un realism fizic ridicat și o dinamică de zbor detaliată. Potrivit pentru utilizatori avansați și pentru instruirea piloților comerciali.

MATLAB/Simulink	✓	✓	◆	Este utilizat în principal în scopuri academice și de cercetare, sisteme de control și modelare dinamică.
------------------------	---	---	---	---

4.3.7. GCS (Software de control la sol) - Recenzie detaliată

QGroundControl:

- Compatibilitate: Compatibil cu protocolul PX4 și MAVLink.
- Caracteristici: Interfață grafică ușor de utilizat, care oferă planificare de misiuni, afișare telemetrie în timp real, setare detaliată a parametrilor de zbor și trasarea traseului pe hartă. Disponibil în versiuni mobile și desktop.
- Avantaje: Open source, actualizat periodic, suport multi-platformă.

Mission Planner:

- Compatibilitate: Dezvoltat pentru vehicule bazate pe ArduPilot.
- Caracteristici: Setări detaliate de zbor, calibrări ale senzorilor, înregistrare avansată și analiză a datelor post-zbor (Figura 4.24).
- Domeniu de utilizare: Este preferat de utilizatorii profesioniști și cercetători.

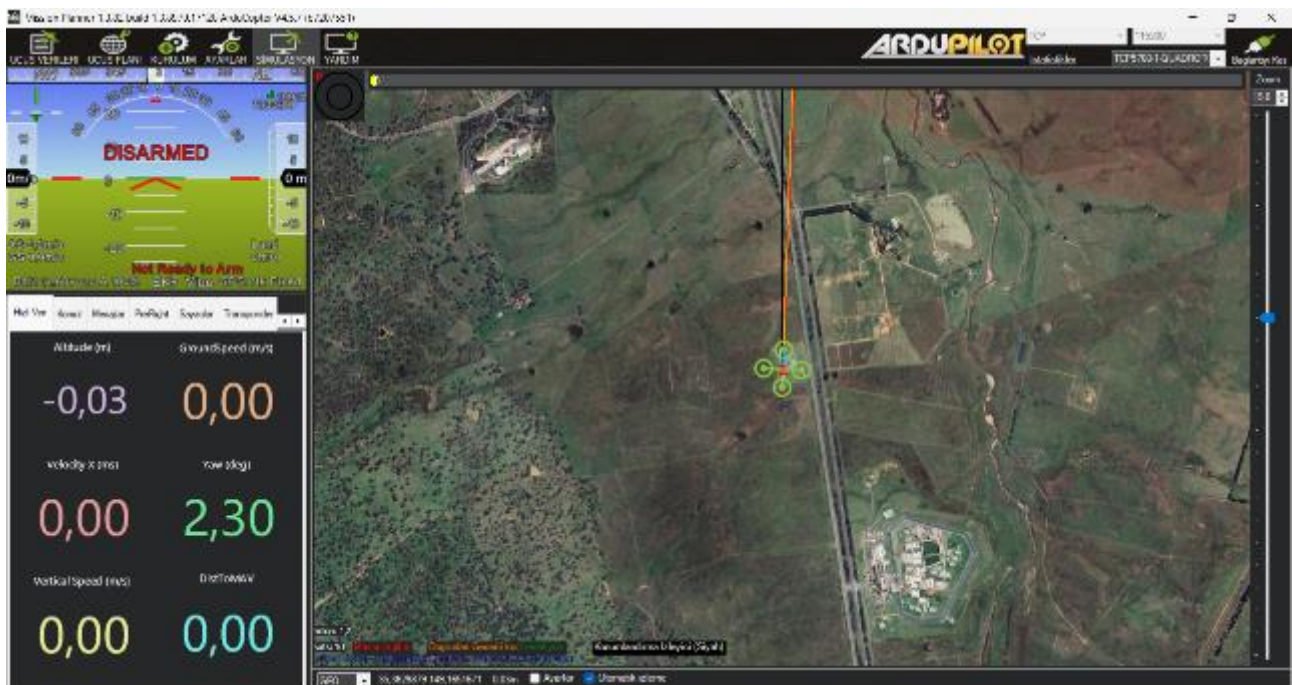


Figura 4. Interfața Mission Planner a24 - Date telemetrice și urmărirea locației pe hartă

MAVProxy:

- Compatibilitate: Funcționează cu toate dronele bazate pe MAVLink.

- Caracteristici: Bazat pe linie de comandă, oferă operațiuni de control și automatizare prin terminal cu consum redus de resurse.
- Avantaje Ideal pentru proiecte de automatizare și integrare datorită structurii sale ușoare.

UGCS (Universal Ground Control Software):

- Compatibilitate: Compatibil cu mai multe platforme de drone.
- Caracteristici: Oferă soluții profesionale, cum ar fi planificarea avansată a misiunilor bazată pe hărți, gestionarea flotei, gestionarea spațiului aerian și automatizarea misiunilor.
- Domeniu de utilizare: Potrivit pentru operațiuni comerciale și industriale cu drone.

Informații suplimentare

- Protocolul MAVLink: Protocolul standard pentru comunicarea între GCS și dronă. Datele telemetrice, comenzile și informațiile senzorilor sunt transferate prin acest protocol.
- Importanța simulărilor: Oferă testarea software-ului și hardware-ului înainte de zborul propriu-zis, reducând costurile și riscurile.
- Selectarea software-ului GCS: Depinde de nevoile utilizatorului, de tipul dronei și de scopul misiunii. QGroundControl este preferat pentru misiuni simple, Mission Planner pentru analize avansate sau UGCS pentru operațiuni comerciale.

4.3.8. Proceduri de backup/restaurare a parametrilor

Acest capitol descrie procesul de copiere de rezervă a tuturor parametrilor de configurare (setări PID, calibrări senzori, moduri de zbor, valori limită etc.) utilizați în sistemul de control al zborului dronei și restaurarea acestora atunci când este necesar. Acest proces previne pierderea de timp și efort în cazuri precum resetarea sistemului, actualizarea firmware-ului sau trecerea la un controler de zbor diferit. Este un pas critic atât pentru siguranță, cât și pentru gestionarea durabilă a sistemului.

4.3.8.1. Ce este backupul și de ce este important?

Toate setările efectuate în software-ul de control al zborului dronei sunt stocate în memoria sistemului. Aceste setări afectează în mod direct caracteristicile de zbor.

Procesul de backup permite salvarea acestor setări într-un fișier extern și face posibilă reutilizarea aceleiași configurații în cazul unei defecțiuni sau înlocuirii a sistemului.

4.3.8.2. Avantaje

- Restaurarea ușoară a tuturor setărilor după actualizarea firmware-ului
- Mutarea setărilor similare între diferite platforme de drone

- Analiza parametrilor istorici pentru detectarea și compararea problemelor
- Reproducerea setărilor standard în instituțiile de învățământ

4.3.8.3. Parametri care pot fi salvați

- Valori PID
- Setări RC și definiții de mod
- Informații de calibrare ESC
- Date de calibrare a senzorilor (IMU, busolă, barometru)
- Setări Failsafe
- Configurații gimbal, GPS, OSD
- Sarcini de zbor automate (puncte de referință)

4.3.8.4. Procedură de rezervă

Software necesar

- Configurator Betaflight (pentru multicopter)
- Mission Planner (pentru sisteme bazate pe ArduPilot)
- QGroundControl (pentru sisteme PX4)

1. Conectarea sistemului:

Pasul 1

Drona este conectată la computer prin cablu USB.

Pasul 2

Se deschide software-ul relevant de control al etajului și se stabilește conexiunea.

2. Copierea de rezervă a parametrilor:

Betaflight:

Pasul 3

Treceți la fila „CLI”.

Pasul 4

Tastați comanda diff all → sunt afișate numai parametrii modificați.

Pasul

Rezultatul este selectat în întregime și exportat ca fișier cu extensia .txt.

Alternativă: toate configurațiile pot fi recuperate cu comanda dump.

Mission Planner:

Pasul

Selectați „Full Parameter List” (Lista completă de parametri) sau „Full Parameter Tree” (Arbore complet de parametri) din fila „CONFIG/TUNING” (CONFIGURARE/REGLAJ).

Pasul 7

Apăsați butonul „Salvare în fișier” din partea dreaptă jos și exportați ca fișier cu extensia .param.

QGroundControl:

Pasul

În fila „Parametri”, faceți clic pe pictograma de backup din partea dreaptă sus.

Pasul

Acesta este salvat pe computer ca fișier .params.

Procedura de restaurare

Pasul

Controlerul de zbor nou sau resetat este conectat la computer.

Pasul

Selectați restaurarea parametrilor prin intermediul software-ului GCS.

Betaflight:

Pasul 3

Treceți la fila CLI.

Pasul

Lipiți ieșirea diff all primită anterior în fereastra CLI.

Pasul

Sistemul este repornit cu comanda save.

Mission Planner:

Pasul

Fișierul .param este încărcat cu opțiunea „Load from File” (Încărcare din fișier).

Pasul

Parametrii sunt scriși în sistem apăsând butonul „Write Params” (Scrie parametri).

QGroundControl:

Pasul 8

Fișierul .params salvat anterior este importat.

Pasul 9

Sistemul recunoaște și aplică automat parametrii.

4.3.8.5. Sfaturi și avertismente

- Versiunea firmware utilizată înainte de operațiunea de restaurare trebuie să fie compatibilă cu versiunea firmware salvată. În caz contrar, unii parametri pot fi invalizi.
- Trebuie să se acorde atenție la transferul parametrilor redundanți către drone cu structuri hardware diferite (de exemplu, IMU sau ESC diferite), trebuie aplicați numai parametrii comuni.
- Fișierele diff pot fi editate; numai setările dorite pot fi restaurate manual.
- Denumirea fișierelor de rezervă cu data, modelul dronei și informații despre firmware previne confuzia.

4.3.8.6. Recomandări suplimentare de siguranță

- După fiecare modificare importantă a setărilor, trebuie făcută o nouă copie de rezervă.
- Copiile de rezervă trebuie stocate în cloud sau pe discuri externe.
- Se recomandă un depozit centralizat de copii de rezervă pentru organizațiile de instruire și gestionare a flotelor.

Notă: Operațiunile de backup și restaurare a parametrilor oferă avantaje semnificative în ceea ce privește timpul și costurile, în special în procesele de dezvoltare, testare și operaționale. Transformarea acestui proces într-un obicei este esențială pentru utilizatorii de la toate nivelurile.

4.3.9. Proceduri de resetare la setările din fabrică

Această secțiune se referă la restaurarea software-ului controlerului de zbor al dronei la setările din fabrică. Resetarea este necesară în cazuri precum erori complexe de configurare, comportament de zbor instabil, parametri incompatibili sau predarea către un nou utilizator. După acest proces, dispozitivul revine la setările implicite din fabrică ale software-ului și devine gata pentru reconfigurare.

4.3.9.1. Ce este resetarea și când se efectuează?

O resetare la setările din fabrică readuce toți parametrii de pe placa de control al zborului la valorile predefinite (implicite) ale sistemului.

Aceasta se aplică de obicei în următoarele cazuri:

- Imposibilitatea de a anula setările incorecte ale software-ului
- Comportament neașteptat al sistemului după instalarea unui nou firmware
- Parametrii restaurați duc la un zbor instabil
- Resetarea sistemului la transferul dronei către un alt utilizator/student
- Repornire curată pentru depanarea configurațiilor PID, senzor sau UART

Avertismente

- Resetarea nu poate fi anulată. Toate setările curente sunt șterse.
- Se recomandă insistent efectuarea unei copii de rezervă a parametrilor înainte de resetare.
- Dacă există o problemă hardware, resetarea nu va funcționa; mai întâi trebuie efectuat un test fizic.

4.3.9.2. Procedura de resetare (conform software-ului)

1. Resetare cu Betaflight Configurator

Pasul 1

Drona este conectată la computer prin USB.

Pasul

Deschideți Betaflight și conectați-vă la controlerul de zbor.

Pasul

Treceți la fila CLI din meniul din stânga.

Pasul 4

Se tastează următoarea comandă:

- *defaults*
- *salvare*

Pasul

Sistemul se restartează și toate setările revin la valorile implicite din fabrică.

Alternativă:

Resetarea poate fi efectuată și utilizând ecranul de încărcare a firmware-ului, cu opțiunea Resetare setări sau Ștergere completă cip din meniul principal.

2. Resetare cu Mission Planner

Pasul

Deschideți Mission Planner, conectați drona.

Pasul

Accesați fila Config/Tuning.

Pasul

În secțiunea Full Parameter List (Lista completă de parametri), faceți clic pe opțiunea Reset to Default (Resetare la valorile implicite) din partea dreaptă jos

Pasul

Avertismentele sunt confirmate și sistemul revine automat la valorile implicite.

Pasul

Apăsați butonul Scribe parametri și reporniți sistemul.

3. Resetare cu QGroundControl

Pasul

Conectați drona prin USB, porniți QGroundControl.

Pasul

Accesați fila Parameters (Parametri).

Pasul

Selectați butonul Resetare toate la valorile implicite din partea dreaptă sus.

Pasul

După confirmare, sistemul se va reporni automat.

Resetare cu butonul hardware (disponibil pe unele FC)

Unele controlere de zbor pot fi resetate cu combinația fizică „RESET” sau „BOOT + POWER”.

Deoarece metoda de utilizare variază în funcție de modelul cardului, trebuie consultată documentația producătorului.

Pași următori:

După revenirea la setările din fabrică, trebuie urmați pașii următori:

- Calibrările senzorilor trebuie recalibrate (IMU, busolă, barometru).
- Modurile de zbor și setările de control trebuie reconfigurate.
- Trebuie efectuată calibrarea ESC și testarea direcției motorului.
- Dacă este necesar, parametrii selectați pot fi restaurați cu ajutorul copiei de rezervă diff.

4.3.9.3. Sfaturi

- Resetarea după actualizarea firmware-ului poate preveni incompatibilitățile sistemului.
- Comanda implicită resetează doar parametrii, nu modifică firmware-ul.
- Dacă mutați aceeași placă pe o altă platformă de dronă, o resetare asigură un start curat.
- Pentru dronele utilizate în scopuri educaționale, se recomandă resetarea înainte de fiecare elev.

Notă: Resetarea la setările din fabrică permite utilizatorilor neexperimentați să elimine configurațiile incorecte și să sporească siguranța zborului. Prin urmare, fiecare utilizator ar trebui să fie capabil să efectueze această procedură în mod sigur și conștient.

4.4. Evaluarea practică a proceselor de schimbare a pieselor

Scopul acestei secțiuni este de a evalua competența practică a persoanelor care efectuează operațiuni de înlocuire a pieselor pe vehicule aeriene fără pilot (UAV). Evaluarea acoperă numai cele 13 piese din secțiunea **4.2 Identificarea pieselor dronei, înlocuirea și tipurile de defecțiuni.**

Domeniul de evaluare:

Procesele de înlocuire a următoarelor 13 piese de bază vor fi evaluate pas cu pas, pe baza criteriilor de precizie a aplicării, respectarea normelor de siguranță, utilizarea corectă a uneltelor și durata procesului:

1. Controler de zbor (FC)
2. ESC (controler electronic de viteză)
3. Motor
4. Elice
5. Baterie
6. PDB (placă de distribuție a energiei)
7. Receptor
8. Modul GPS
9. Cameră / Senzori de imagine
10. Senzori (IMU, barometru, busolă)
11. Tren de aterizare
12. Elemente de protecție (cușcă pentru elice etc.)
13. Testare după asamblare (putere, conexiune, verificare direcție)

4.4.1. Metode de evaluare

Procesul de evaluare se va desfășura conform tabelului 4.5. Exemplul de listă de verificare și sistemul de punctare sunt prezentate în tabelul 4.6 și tabelul 4.7.

Tabelul 4.5. Procesul de evaluare

Metodă	Descriere
Sarcina practică	Fiecărui student i se atribuie aleatoriu o parte și se așteaptă să efectueze o operațiune practică de demontare/asamblare.
Observare cu lista de verificare	Formatorul observă și notează fiecare etapă în conformitate cu lista de verificare.
Criterii de timp	Se așteaptă ca timpul de procesare să fie finalizat în anumite limite.
Siguranță și conformitate ESD	Se evaluează brățara ESD, siguranța la lipire și utilizarea corectă a uneltelor.

Tabelul 4.6. Exemplu de listă de verificare (schimbarea controlorului de zbor)

Criterii	Scor	Descriere
Întreruperea alimentării cu energie	5	Bateria trebuie scoasă înainte de începerea procesului
Marcarea și fotografierea cablurilor	10	Toate conexiunile sunt documentate corect?
Demontarea piesei vechi	10	Soldarea este realizată fără a o deteriora?
Instalarea corectă a piesei noi	20	Controlul precis al direcției și al înșurubării
Precizia conexiunilor	20	Există polaritate inversă sau cablu liber?
Calitatea lipirii	10	Riscul de lipire rece / scurtcircuit
Test final (conexiune USB / iluminare LED)	15	FC se inițializează corect?
Ordine generală și siguranța la locul de muncă	10	Utilizarea uneltelor și echipamentelor, curățarea locului de muncă
Total: 100 puncte		

Tabelul 4.7. Scala de punctaj

Interval de punctaj	Nivel de realizare
90	Excelent - Toate procedurile au fost respectate în totalitate și fără erori
75	Reușit - Satisfăcător, cu excepția unor erori minore
60	Necesită îmbunătățiri - Prezintă deficiențe necritice
0	Eșec - Nu este familiarizat cu procedura de aplicare

Ciclul de evaluare și certificare

- În urma evaluării, se întocmește un raport individual pentru fiecare student.
- Dacă este necesar, se acordă dreptul de a depune o nouă cerere și de a corecta.

- Toate operațiunile sunt documentate și înregistrate cu ajutorul unor înregistrări video/fotografii.

4.5. Utilizarea echipamentelor de bază și aplicații în domeniul dronelor

Scopul principal al acestei secțiuni este de a transfera calitățile de bază ale echipamentului pe care utilizatorul le poate folosi în timpul reparării, întreținerii, reparației sau depanării dronelor și de a demonstra diferite tehnici.

4.5.1. Utilizarea și aplicațiile multimetrului în drone

4.5.1.1. Scop

În acest capitol sunt explicate noțiunile de bază privind utilizarea unui multimetru și modul și situațiile în care acest dispozitiv este utilizat în sistemele de drone. Multimetrul este un dispozitiv de testare indispensabil utilizat pentru măsurarea valorilor electrice, cum ar fi tensiunea, curentul, rezistența și detectarea defectelor. În sistemele de drone compuse din componente electronice, comenzile care pot fi efectuate cu un multimetru fac procesele de întreținere sigure și eficiente.

În acest capitol, utilizatorii vor învăța tehnicile de măsurare de bază și vor putea înțelege cum să efectueze depanarea practică, controlul conexiunilor și testele de siguranță cu un multimetru.

4.5.1.2. Ce este un multimetru?

Un multimetru este un instrument de măsurare digital sau analogic capabil să măsoare mai multe mărimi electrice. De obicei, include următoarele moduri de măsurare:

- Tensiune continuă ($V=$): Măsurarea tensiunii constante (de exemplu, controlul bateriei)
- Tensiune alternativă ($V\sim$): Măsurarea tensiunii alternative (în unele sisteme de încărcare a dronelor)
- Rezistență (Ω): Măsurarea valorii rezistenței în circuit sau componente
- Test de continuitate (modul Continuitate/Buzzer): verifică conductivitatea între două puncte (semnal sonor)
- Măsurarea curentului (A): Măsoară curentul care trece prin circuit (de obicei în conexiune în serie)

Tabelul 4.8. Domenii de utilizare a multimetrului în drone

Domeniu de aplicare	Tipul măsurătorii	Descriere
Controlul tensiunii bateriei	Tensiune CC	Se verifică dacă bateria lipo se află într-un interval de tensiune adecvat.
Test de scurtcircuit pe cablurile de alimentare	Continuitate (sonerie)	Se determină dacă există un scurtcircuit între bornele + și - ale bateriei.
ESC - Test de conectare a motorului	Continuitate / Rezistență	/ Se verifică conexiunea cablurilor de la ESC la motor.
Verificarea integrității punctelor de lipire	Continuitate	Se verifică dacă capetele sudate sunt conectate între ele.
Verificarea conectorului	Continuitate	Se verifică conductivitatea conectorilor, cum ar fi XT60, servo, JST.
Controlul tensiunii de ieșire PDB	Tensiune CC	Ieșirile plăcii de distribuție a energiei (PDB) sunt măsurate pentru a se verifica dacă tensiunea este corectă.
Testarea regulatorului de tensiune	Tensiune continuă	Se verifică acuratețea ieșirilor de 5 V și 12 V.
Testarea componentelor pasive, cum ar fi siguranțele, rezistențele etc.	Rezistență	Se verifică dacă componentele funcționează în conformitate cu circuitul.

4.5.1.3. Utilizare de bază: pas cu pas

Materiale necesare:

- Multimetru digital
- Sonde multimetru (roșu: pozitiv / negru: negativ)
- Dronă (se recomandă pornirea în stare dezinfectată)

1. Măsurarea tensiunii continue (testarea bateriei):

- Setați multimetrul în poziția „DCV” (de exemplu, scala 20 V).
- Sonda neagră se pune în contact cu polul negativ (-) al bateriei, iar sonda roșie se pune în contact cu polul pozitiv (+) al bateriei.
- Valoare citită:
 - $\approx 11,1\text{--}12,6$ V pentru bateria 3S

- Pentru bateria 4S, ar trebui să fie $\approx 14,8-16,8$ V.

2. Verificarea scurtcircuitului (test de continuitate):

- Multimetrul este comutat în modul „Buzzer / Continuitate”.
- Dispozitivul emite un semnal sonor când două sonde ating o linie scurtcircuitată.
- Dacă se aude un semnal sonor între bornele pozitive și negative din soclul de conectare al bateriei, acesta este un semn de scurtcircuit.

3. Măsurarea rezistenței (testarea lipirii sau a componentelor):

- Comutați multimetrul în poziția „ Ω ”.
- Cele două sonde sunt atinse de cablurile lipite sau conectate.
- O valoare între $0-1\Omega$ înseamnă o conexiune bună. Dacă există o valoare infinită sau o rezistență foarte mare, este posibil să existe o deconectare.

4. Testarea tensiunii de ieșire PDB:

- Bateria este conectată (cu precauție).
- Se utilizează un multimetru pentru a măsura ieșirea de 5V sau 12V a PDB.
- Tensiune scăzută sau zero, defecțiuni PDB sau defect de lipire.

4.5.1.4. Avertismente de siguranță

- Când efectuați măsurători cu bateria conectată, manipulați sondele cu atenție pentru a evita scurtcircuitarea.
- Dacă se efectuează măsurarea curentului, dispozitivul trebuie conectat în serie și trebuie utilizat portul „10A” al dispozitivului.
- Nu efectuați testul de scurtcircuit cu bateria conectată.
- Pentru liniile cu curent ridicat, trebuie efectuate mai întâi testul de tensiune și apoi testul de continuitate.

4.5.1.5. Sfaturi

- Fixarea cablurilor multimetrului cu cleme crocodil colorate vă eliberează mâinile.
- După fiecare instalare nouă, trebuie efectuat un test de scurtcircuit înainte de a porni sistemul.
- Primul loc de verificat în caz de defecțiuni: tensiunea bateriei și liniile de alimentare.
- Dacă lucrați cu mai multe drone, crearea de puncte de testare etichetate asigură un control sistematic.

Note: Multimetrul este instrumentul cel mai de bază și cel mai important nu numai pentru tehnicienii profesioniști, ci și pentru utilizatorii amatori de drone. Atunci când este utilizat corect, acesta previne multe probleme și face procesele de întreținere sigure.

4.5.2. Utilizarea de bază și aplicațiile osciloscopului în drone

În acest capitol, vor fi prezentate semnalele (PWM, UART, semnale ESC, ieșiri senzor) care pot fi testate cu osciloscopul în sistemele de drone, iar utilizatorii vor putea efectua analize de bază ale formei de undă, frecvenței, tensiunii și continuității semnalului.

4.5.2.1. Scop

Acest capitol are ca scop învățarea funcțiilor de bază ale osciloscopului, a metodelor de utilizare și a domeniilor de aplicare, în special în sistemele de drone. Osciloscopul este un dispozitiv de testare indispensabil pentru observarea schimbării în timp a semnalelor electrice, în special pentru calitatea semnalului, protocoalele de comunicare și analiza zgomotului.

4.5.2.2. Ce este un osciloscop?

Un osciloscop este un dispozitiv care poate afișa instantaneu graficul **amplitudine-timp (V-t)** al semnalelor electrice dintr-un circuit. Acesta permite analizarea caracteristicilor semnalelor, cum ar fi **forma, frecvența, amplitudinea, perioada și conținutul de zgomot**.

Tabelul 4.9. Mărimi de bază care pot fi măsurate cu osciloscopul

Parametru de măsurare	Descriere
Amplitudine (Vpp/Vmax)	Diferența de tensiune între vârfurile semnalului
Frecvență (Hz)	Numărul de repetări ale semnalului într-o secundă
Perioadă (T)	Durata semnalului într-un ciclu
Lățime PWM (ms)	Durata impulsului pe semnalele ESC și servo
Zgomot / Undă	Fluctuații nedorite ale semnalului pe liniile de alimentare
UART / SBUS	Precizia și durata protocoalelor de comunicație serială

Tabelul 4.10. Aplicații ale osciloscopului în sistemele de drone

Aplicație	Descriere
Analiza semnalului ESC PWM	Se testează durata impulsului și frecvența semnalelor FC → ESC.
Controlul conexiunii UART	Se analizează fluxul de date între FC și GPS, receptor sau modulul de telemetrie.

Aplicație	Descriere
Testarea ieșirii senzorului (de exemplu, barometru, IMU)	Se observă răspunsul la tensiune al senzorilor cu ieșire analogică.
Analiza zgomotului PDB / regulator	Detectarea undelor se efectuează pe liniile de ieșire de 5V / 12V.
Testarea semnalului gimbal / servo	Se controlează fluiditatea și frecvența semnalelor PWM.

4.5.2.3. Utilizarea de bază a osciloscopului: pas cu pas

Echipament necesar:

- Osciloscop digital (minimum 2 canale)
- Set de sonde (cu opțiune de atenuare 1x/10x)
- Sistem drone deschis sau placă de testare pentru aplicație

1. Conectarea sondei:

- Sonda cu clemă neagră (GND) se conectează la masa sistemului.
- Sonda de capăt (de obicei BNC → capăt cu cârlig) se conectează la linia de semnal care urmează să fie măsurată.

2. Setări canal:

- Se selectează canalul 1, setarea **de atenuare a sondei 1x/10x** este poziționată corect.
- Se efectuează setările Volt/div și timp/div (de exemplu, 2V/div - 1ms/div).
- Valorile sunt optimizate până când forma semnalului apare pe afișaj.

3. Setarea declanșatorului:

- Modul de declanșare (Edge, Auto) este setat pentru a stabili semnalul.
- Se selectează marginea ascendentă sau descendentă, nivelul de declanșare este setat la centrul semnalului.

4. Revizuire:

- Se analizează frecvența, amplitudinea, ciclul de lucru (pentru PWM) și forma semnalului.
- Dacă există forme de undă neregulate, zgomot, cădere de tensiune, acestea sunt notate.
- Se verifică acuratețea biților de start/stop sau a ratei de transfer în semnalele de date seriale.

4.5.2.4. Exemplu practic de testare a dronei: Analiza ESC PWM

- Când controlerul de zbor este pornit, o sondă este conectată la pinul semnalului ESC.
- Frecvența semnalului PWM observat este de obicei în jur de **400 Hz - 600 Hz**.
- Durata impulsului PWM variază de la 1000 μ s (0%) la 2000 μ s (100%), în funcție de poziția clapetei de accelerație.
- Formă de undă neregulată → poate fi un semn de zgomot / problemă de conexiune.

4.5.2.5. Avertismente de siguranță

- Nu măsurați tensiunea bateriei direct cu osciloscopul; acest lucru poate deteriora dispozitivul.
- Dacă cablul de împământare al sondei este conectat la o linie greșită, există riscul de scurtcircuit.
- Dacă măsurătorile trebuie efectuate în sisteme diferite, trebuie verificat raportul de atenuare al sondei.
- Poziționarea sondei este foarte importantă pe liniile de date de înaltă frecvență (poate provoca interferențe).

4.5.2.6. Sfaturi

- Este ușor să tăiați orice cablu de semnal și să creați puncte de testare speciale pentru măsurare.
- Modurile de stocare ale osciloscopului pot fi utilizate pentru analiza semnalelor pe termen lung.
- Nivelul de undă al regulatorului trebuie să fie ≤ 50 mV la testarea ieșirilor PDB.
- Semnalele PWM ar trebui să apară ca o formă de undă pătrată pe osciloscop.

Notă: Utilizarea osciloscopelor joacă un rol esențial în diagnosticarea avansată și depanarea sistemelor de drone. În special pentru precizia nivelurilor de semnal, securitatea conexiunii și stabilitatea sistemului, utilizarea corectă a acestui dispozitiv este o abilitate indispensabilă pentru inginerii și tehnicienii de sistem.

4.5.3. Tehnici de lipire și aplicații pentru drone

4.5.3.1. Scop

Acest capitol are ca scop explicarea în detaliu a procesului **de lipire**, o abilitate fundamentală în asamblarea circuitelor electronice, și învățarea modului în care această tehnică este aplicată în sistemele de drone. Lipirea permite îmbinarea permanentă a cablurilor, conectorilor, componentelor circuitului și plăcuțelor de pe placă. Lipirea corectă

este vitală pentru conexiuni sigure, durabile și precise de transmitere a semnalului în sistemele de drone.

4.5.3.2. Ce este lipirea?

Lipirea este îmbinarea a două sau mai multe piese metalice folosind **sârmă de lipit topită**. Acest proces este asistat de căldură și asigură atât **rezistența mecanică**, cât și **conductivitatea electrică** a îmbinărilor. Aliajul de lipit utilizat în mod obișnuit este 60% staniu - 40% plumb (Sn/Pb) sau lipituri fără plumb, conforme cu RoHS.

Tabelul 4.11. Materiale de bază utilizate în lipire

Material	Descriere
Fier de lipit (creion de lipit)	Unealtă manuală cu diferite opțiuni de putere care generează căldură din vârf
Sârmă de lipit	Sârmă pe bază de staniu cu flux în interior
Flux (material de flux)	Permite lipirii să se răspândească pe suprafață și să îndepărteze oxizii
Pompă de lipit / Plasă de sârmă	Utilizat pentru îndepărtarea lipiturilor defecte
Pensete/clești rezistenți la căldură	Utilizate pentru fixarea componentelor
Macaron și pistol de căldură	Asigură izolarea cablurilor după lipire

Tabelul 4.12. Punctele principale care necesită lipire în drone

Component	Punct de lipire
PDB (placă de distribuție a energiei)	Cabluri de alimentare ESC, conector baterie
ESC - Conexiune motor	Cablu motor trifazic → plăcuțe ESC
FC - Receptor / GPS / Telemetrie	Cabluri de semnal UART / I2C
Camăra - VTX	Cabluri video și de alimentare
Module senzor	Conexiuni I2C, SPI sau sudate direct

4.5.3.3. Pași de bază pentru lipire

1. Curățați suprafața: Suprafața de lipit sau capătul cablului trebuie să fie curate și fără oxid. Ștergeți cu alcool și vată, dacă este necesar.
2. Reglați temperatura fierului de lipit: 320-370 °C este temperatura ideală pentru lipirea generală. Căldura excesivă poate deteriora plăcuțele.

3. Pregătiți firul de lipit și vârful: vârful este cositorit (preacoperit) prin atingerea ușoară a firului de lipit de vârful fierului de lipit.

4. Lipirea:

- Atingeți suprafața care urmează să fie lipită cu vârful fierului de lipit.
- Sârma de lipit este atinsă de punctul încălzit și topită.
- Lipitura trebuie să se răspândească uniform și să fie „lucioasă și netedă”.
- După retragerea fierului de lipit, conexiunea trebuie menținută nemișcată (până se răcește).

5. Control și curățare: După răcire, conexiunea este verificată. Dacă este necesar, reziduurile de flux sunt curățate cu alcool izopropilic.

4.5.3.4. Exemplu de aplicare pentru drone: lipirea soclului bateriei XT60

Materiale: conector XT60, cablu siliconic 12 AWG, sârmă de lipit, tuburi

Pași

1. Capetele cablurilor sunt dezizolate și cositorite.
2. Se determină capetele + și - ale conectorului XT60.
3. Firele sunt lipite la conector (într-un timp scurt, prin contact).
4. Punctele de lipire sunt izolate cu tuburi.
5. Se efectuează testul de continuitate cu un multimetru.

Tabelul 4.13. Erori frecvente de lipire

Tipul erorii	Descriere
Lipire rece (îmbinare rece)	Suprafață mată și crăpată, contact electric slab
Exces de lipit	Sârmă în exces → risc de scurtcircuit
Încălzire inadecvată	Lipitura nu aderă la suprafață, se produce o conexiune slabă
Ruptura plăcuței	Placa cardului se poate ridica după expunerea prelungită la căldură

4.5.3.5. Siguranță și sfaturi

- Lipirea trebuie efectuată într-un mediu bine ventilat (fumul este nociv).
- Utilizarea ochelarilor de protecție și a mănușilor în timpul lipirii asigură siguranța.
- Când se efectuează lipirea pe placă, timpul de utilizare a fierului de lipit trebuie să fie scurt pentru a evita dispariția căldurii către alte componente.
- Se recomandă întotdeauna testarea punctelor de lipire cu un multimetru.

- După lipire, cablurile trebuie fixate și nu trebuie lăsate să atârne.

Notă: O îmbinare de lipire de calitate este cerința de bază pentru o funcționare durabilă, sigură și stabilă a sistemului dronei. Lipirea incorectă, în special în conexiunile ESC, baterie și semnal, poate duce la defecțiuni ale sistemului și la risc de incendiu.

CAPITOLUL 5

Documentație și comunicare

5.1. Formulare de înregistrare a întreținerii

Înainte de fiecare utilizare a unui vehicul aerian fără pilot, denumit în continuare dronă, asigurați-vă că acesta funcționează corespunzător. În acest scop, se recomandă păstrarea unor înregistrări detaliate privind starea tehnică, service-ul, reparațiile și întreținerea dronei. În funcție de complexitatea proiectului, de tipul sarcinilor efectuate, de dimensiunea dronei, de mijloacele transportate (inclusiv materiale și substanțe periculoase), precum și de locațiile și domeniul de aplicare al întreținerii, această documentație poate fi păstrată într-un singur registru sau în mai multe registre separate.

Documentația poate fi păstrată și în format electronic, de exemplu sub forma unui program de calculator sau a unei aplicații mobile, dacă acest lucru este permis de reglementările naționale. Aceste date ar trebui arhivate (cu copii de rezervă, dacă este necesar), astfel încât să poată fi reconstituit istoricul complet al reparațiilor și întreținerii efectuate, precum și informațiile privind resursele, materialele, echipamentele și personalul implicat.

În cazul utilizării unei aeronave fără pilot, personalul care operează drona trebuie să fie în măsură să determine starea tehnică a acesteia, indiferent dacă este complet, parțial sau deloc operațională. Documentația care specifică starea tehnică a dronei are scopul de a determina starea tehnică a acesteia și de a confirma că toate operațiunile de întreținere periodică necesare au fost efectuate conform programului și că starea dronei îi permite să îndeplinească sarcina prevăzută. Documentația privind starea tehnică a dronei trebuie să includă, de asemenea, informații despre toate actualizările de software și configurațiile sistemului dronei care pot afecta siguranța și funcționalitatea acesteia.

Dacă drona este complet operațională, personalul de operare poate îndeplini sarcina utilizând drona. Dacă drona nu este operațională, sarcinile nu pot fi îndeplinite utilizând drona. Cu toate acestea, dacă drona este parțial operațională, personalul trebuie să fie conștient de defecțiunile și limitările dronei (se poate crea o listă a componentelor defecte și a limitărilor în utilizarea dronei). Trebuie remarcat faptul că, atunci când se utilizează o dronă pentru zbor, personalul trebuie să aibă acces direct la informații privind reparațiile și întreținerea care reflectă starea tehnică directă a dronei și utilizabilitatea acesteia.

Informațiile detaliate privind întreținerea specifică (performanță, utilizarea uneltelor, resurse etc.) nu trebuie să fie disponibile direct persoanei care efectuează zborurile, dar trebuie arhivate și disponibile pentru inspecție, după cum este necesar.

Pentru a asigura corectitudinea procesului de reparații și întreținere, acesta este precedat de planificare și de resursele necesare pentru efectuarea reparațiilor și întreținerii, astfel încât să se asigure disponibilitatea UAV. Documentația de raportare, pe de altă parte, furnizează informații despre lucrările efectuate și permite desfășurarea corectă a procesului de planificare.

Documentația de planificare se referă la documentele create înainte de începerea activităților de service sau întreținere. Aceasta este utilizată pentru a planifica, organiza și pregăti toate sarcinile legate de drone. Documentația de planificare include un program de întreținere și un plan pentru inspecții și întreținere periodică a dronelor. În plus, planul de gestionare a resurselor acoperă planificarea resurselor umane, materiale și financiare necesare pentru a menține dronele în stare de funcționare. Documentația de planificare permite planificarea sistematică și eficientă a serviciilor și asigură conformitatea cu cerințele de reglementare, ajută la alocarea resurselor și minimizează riscurile. Această documentație trebuie să specifice frecvența, domeniul de aplicare și resursele și materialele necesare pentru efectuarea întreținerii. Un factor foarte important este determinarea timpului necesar pentru personal, echipamente și locații de întreținere, ceea ce este de o mare importanță pentru buna executare a sarcinilor. Planificarea financiară și achizițiile sunt cruciale în acest sens.

Planificarea periodică a întreținerii dronelor se referă la activitățile de întreținere periodică necesare pentru menținerea echipamentului în stare bună de funcționare și operațională. Documentația de planificare trebuie să specifice tipul de inspecție, frecvența efectuării acesteia și domeniul de aplicare al lucrărilor (inclusiv resursele implicate – forță de muncă, mijloace și materiale).

Această documentație se referă la:

- inspecția tehnică – zilnică (verificarea stării generale a dronei, a bateriilor, a elicelor și a senzorilor înainte de fiecare zbor);
- după zbor (verificarea faptului că drona nu a fost deteriorată în timpul misiunii și că toate sistemele funcționează corect);

- întreținerea după un număr specificat de ore de zbor – inspecții recomandate de producător după un număr specificat de ore de zbor, care pot include înlocuirea pieselor uzate, actualizări de software, calibrarea senzorilor și alte activități tehnice;
- inspecția anuală – o inspecție mai detaliată, care poate include teste mai cuprinzătoare de performanță și siguranță, înlocuirea componentelor cheie și actualizări de software;
- reparații – ad hoc (eliminarea defectelor sau defecțiunilor care pot apărea în mod neașteptat) și post-incident (lucrări de reparație în urma avariilor rezultate din accidente sau defecțiuni);
- actualizări și modificări – actualizări software (instalarea celor mai recente actualizări software pentru a îmbunătăți funcționalitatea, securitatea sau compatibilitatea cu noile sisteme) și modificări hardware (adăugarea de componente noi sau modificarea celor existente pentru a îmbunătăți performanța, durabilitatea sau pentru a îndeplini noi cerințe operaționale).

Documentația de planificare ar trebui să includă informații privind prestarea serviciilor, data ultimei intervenții de service/întreținere și data următoarei intervenții.

O problemă separată este formarea periodică a persoanelor care efectuează reparații și întreținerea dronelor, care ar trebui, de asemenea, planificată și pentru care ar trebui rezervate resurse financiare adecvate. Documentația de planificare permite gestionarea corespunzătoare a atelierelor și planificarea aprovizionării și a materialelor pentru service și întreținere, precum și planificarea implicării spațiului și personalului atelierului.

Documentația executivă constă în documente care sunt create în timpul implementării activităților de reparații și întreținere. Acestea sunt utilizate pentru a înregistra activitățile efective care au fost efectuate. Documentația executivă include rapoarte de service, rapoarte detaliate privind inspecțiile și reparațiile efectuate, conținând date, descrieri ale lucrărilor, resurse și materiale enumerate (inclusiv piese) și personalul implicat. Documentația operațională ar trebui să includă, de asemenea, date privind testele post-reparație, rezultatele zborurilor de testare și orice comentarii privind funcționarea ulterioară a dronei. Documentația operațională înregistrează activitățile efective, ceea ce permite monitorizarea și analiza proceselor, furnizează dovezi ale conformității cu procedurile și reglementările și facilitează identificarea problemelor și punerea în aplicare a măsurilor corective.

Documentația trebuie să conțină înregistrări exacte și transparente ale tuturor activităților de service, reparații și întreținere efectuate asupra UAV. Informațiile conținute în documentație trebuie să includă: data exactă a finalizării fiecărei sarcini de service, reparație sau întreținere; o descriere detaliată a tipului de lucrări efectuate (de exemplu, inspecție periodică, repararea daunelor, înlocuirea pieselor, actualizări de software) sau o referință la procedura de service relevantă care identifică domeniul de aplicare al lucrărilor efectuate, materialele, resursele și instrumentele utilizate; informații despre toate piesele, resursele și materialele înlocuite, inclusiv numerele de catalog d , cantitatea, starea înainte și după înlocuire; identificarea personalului implicat în lucrările de service și reparații; confirmarea obținerii acreditărilor și certificatelor de specialitate, dacă componentele dronei sau mijloacele, materialele sau echipamentele transportate de aceasta necesită astfel de acreditări și certificate; finalizarea reparației sau service-ului (dacă este necesar) după verificarea funcționării corecte a dronei. În cazul unei defecțiuni, al neefectuării întreținerii etc., documentația trebuie să indice în mod clar că drona nu poate fi utilizată pentru a efectua sarcini sau poate fi utilizată numai cu restricții. Se recomandă ca lipsa aprobării să fie confirmată cu informații adecvate și ca repunerea în funcțiune a dronei să fie, de asemenea, autorizată cu informații adecvate.

Documentația trebuie să includă, de asemenea, istoricul defecțiunilor, testele de diagnosticare efectuate, rezultatele testelor și recomandările tehnice pentru întreținerea ulterioară. Documentația de implementare trebuie să includă toate consumabilele utilizate (de exemplu, lubrifianți, fluide, filtre) și uneltele specializate, împreună cu numerele de serie și data ultimei calibrări.

În plus, se recomandă să existe documentație tehnică pentru agenții specializați, cum ar fi fișele cu date de securitate pentru agenți și materiale, care conțin informațiile necesare privind proprietățile agenților și materialelor, modul de manipulare a acestora, informații privind sănătatea și siguranța, informații privind siguranța la incendiu etc.

Documentația de raportare, după finalizarea activităților, se referă la documentele create după finalizarea activităților de reparație și întreținere. Aceasta este utilizată pentru analiză, raportare și arhivare.

Această categorie include rapoarte privind starea tehnică, rapoarte periodice de evaluare a stării tehnice a dronelor, care conțin recomandări pentru viitoarele activități de întreținere. Arhivarea documentelor implică stocarea sistematică a tuturor documentelor legate de funcționarea și întreținerea dronelor, în conformitate cu cerințele de reglementare. Analizele

de performanță sunt rapoarte care analizează eficacitatea activităților de întreținere, conținând concluzii și sugestii de optimizare. Documentația post-activitate permite analiza retrospectivă a activităților și formularea de concluzii, asigură conformitatea cu cerințele de reglementare privind stocarea documentelor și contribuie la îmbunătățirea continuă a proceselor de reparații și întreținere. Documentația de raportare ar trebui să sprijine planificarea achizițiilor de piese de schimb, consumabile și materiale, precum și angajarea facilităților și personalului atelierului.

Raportarea și analiza periodică a datelor din documentație permit optimizarea proceselor logistice și operaționale, ceea ce se traduce printr-o eficiență și siguranță sporite ale funcționării dronelor. Această documentație ar trebui să includă și date privind eliminarea materialelor periculoase.

Pentru a asigura transparența și coerența documentației, se recomandă ca aceasta să fie reflectată în format tipărit sau electronic (software de service, aplicații dedicate).

Modele pentru păstrarea evidențelor – de exemplu, fișe de inspecție zilnică, rapoarte de reparații, fișe de întreținere periodică. Formularele trebuie să fie standardizate, transparente și uniforme, pentru a permite introducerea și citirea ușoară a datelor. Acest lucru facilitează atât documentarea activităților de întreținere, cât și arhivarea și analiza ulterioară a activităților.

Proceduri de autorizare – documentația trebuie să indice în mod clar persoanele responsabile cu aprobarea repunerii în funcțiune a dronei după întreținere sau reparații. Trebuie specificată forma confirmării (semnătură, ștampilă, autorizare electronică) și metoda de înregistrare a deciziei în registre.

Sistemul de clasificare a defectelor – se recomandă implementarea unei clasificări uniforme a defectelor în:

- critice – care împiedică utilizarea dronei,
- semnificative – limitarea sferei de aplicare a sarcinilor,
- minore – care nu afectează siguranța zborului, dar care necesită înregistrare și planificare pentru remediere.

Un element important este integrarea cu sistemul de management al siguranței (SMS) – documentația trebuie să fie conectată la sistemul SMS în scopul analizării evenimentelor, detectării tendințelor de defectare și implementării măsurilor preventive și de precauție.

Perioada de păstrare a documentației – se recomandă ca documentele referitoare la service, reparații și întreținere să fie păstrate timp de cel puțin 5 ani sau în conformitate cu reglementările naționale aplicabile. Documentația poate fi păstrată în format tipărit sau electronic, cu condiția să fie asigurate securitatea, integritatea și capacitatea de a reproduce istoricul complet al service-ului.

Într-un mediu tehnic în care activează specialiști în repararea și întreținerea vehiculelor aeriene fără pilot (UAV), documentația tehnică servește nu numai ca înregistrare, ci, mai presus de toate, ca mijloc de comunicare. Este un element cheie pentru a permite transferul eficient de informații tehnice între membrii echipei, supervizori, clienți și autorități de supraveghere. O documentație bine întreținută asigură respectarea procedurilor, permite evaluarea calității muncii, sprijină siguranța operațională și oferă o bază pentru audituri și certificare.

Documentația tehnică a UAV nu este uniformă – ea constă în multe forme diferite care îndeplinesc funcții separate și necesită competențe diferite. Aceste documente trebuie să fie nu numai corecte din punct de vedere factual, ci și transparente, organizate, complete și ușor accesibile pentru factorii de decizie. Standardele profesionale UAV (OSE) indică în mod clar necesitatea unei documentații operaționale, de întreținere și de comunicare cuprinzătoare și impun tehnicienilor să fie capabili să o creeze, să o analizeze și să o utilizeze în procesele de reparație și de luare a deciziilor.

5.1.1. Tipuri de documentație

5.1.1.1. Documente operaționale

Această categorie include documentele utilizate în timpul funcționării continue a UAV-urilor. Acestea sunt în principal:

- Proceduri operaționale standard (SOP) – proceduri operaționale standardizate care descriu pas cu pas modul de efectuare a inspecțiilor, reparațiilor, testelor și a altor activități.
- Ordinele de lucru (WO) – ordine de lucru care conțin instrucțiuni specifice, o listă a materialelor necesare, date de finalizare și persoane responsabile.
- Liste de verificare – liste de verificare înainte și după zbor pentru a se asigura că toate etapele sunt efectuate în conformitate cu procedura.

Acestea sunt documente de instruire și coordonare – scopul lor este de a se asigura că întregul echipaj operează în mod uniform și în conformitate cu standardele stabilite.

5.1.1.2. Documentație tehnică și de întreținere

Aceasta include toate documentele legate de diagnosticarea, reparațiile și întreținerea UAV:

- Jurnale de întreținere – jurnale de întreținere în care sunt înregistrate activitățile tehnice, datele, piesele de schimb și persoanele responsabile.
- Rapoarte de reparații – rapoarte detaliate de reparații care conțin o descriere a defectului, diagnosticul, măsurile corective luate și rezultatele finale ale testelor.
- Buletine de service și TSL (scrisori de service tehnic) – actualizări de la producătorii de UAV cu privire, de exemplu, la noi cerințe de întreținere sau defecte de fabricație detectate.

Tehnicienii UAV trebuie să fie capabili să mențină independent această documentație, să analizeze conținutul acesteia și să formuleze recomandări pentru acțiuni ulterioare.

5.1.1.3. Documentație de comunicare (documente de comunicare profesională)

Acestea sunt documente al căror scop principal este de a transmite informații între membrii echipei, cu clientul sau cu autoritatea de supraveghere:

- Rapoarte pentru clienți – rapoarte finale pentru client, care conțin o descriere a serviciilor prestate, o evaluare a stării UAV-ului și recomandări operaționale.
- Rapoarte de incidente – rapoarte oficiale privind defecțiuni, incidente, avarii sau situații neobișnuite, care conțin date despre UAV, circumstanțe, măsuri corective și persoane responsabile.
- Comunicare prin e-mail și note – documentație electronică care include e-mailuri, note de la ședințe tehnice, rezumate ale briefingurilor și debriefingurilor.

Competența de comunicare include atât capacitatea de a redacta astfel de documente, cât și de a înțelege semnificația acestora în contextul muncii în echipă și al contactelor externe.

5.1.1.4. Documentația operațiunilor de zbor.

Acest grup include:

- Jurnale de zbor – jurnale de zbor care conțin date, locații, durata zborului, date despre operator și obiectivele misiunii.
- Rapoarte de telemetrie – date de telemetrie din misiunile UAV, utilizate pentru a analiza parametrii de funcționare și a diagnostica erorile.
- Formulare de autorizare de zbor și reglementare – documente legate de obținerea autorizațiilor de zbor, planificarea rutelor și respectarea reglementărilor EASA sau naționale.

Tehnicienii trebuie să fie familiarizați nu numai cu procedurile de operare, ci și cu reglementările privind spațiul aerian, ceea ce necesită documentarea corespunzătoare a conformității cu legea.

5.1.1.5. Înregistrări privind calitatea și evaluarea

Acestea sunt documente utilizate pentru evaluarea internă a activităților tehnice:

- Liste de verificare pentru audit – liste de verificare utilizate pentru audituri interne și externe.
- Recomandări de întreținere preventivă – concluzii ale inspecțiilor și analizelor tehnice, care propun măsuri preventive.
- Jurnale de îmbunătățire continuă – documentație care colectează observații și idei pentru îmbunătățirea procedurilor.

Un tehnician UAV trebuie să fie capabil să analizeze datele colectate, să identifice neregulile și să comunice necesitatea unor schimbări organizaționale sau tehnologice.

5.1.2. Componentele documentelor

Fiecare dintre tipurile de documente menționate mai sus conține un set de componente obligatorii, cum ar fi:

- antet cu data, numele UAV-ului, numărul de serie,
- detalii despre persoana responsabilă cu completarea sau verificarea documentului,
- descrierea activității sau evenimentului,
- o listă a materialelor și instrumentelor utilizate,
- referire la SOP sau WO,
- comentarii, recomandări, semnătură sau autorizare electronică.

Completitudinea, transparența și conformitatea acestor documente cu standardele interne și externe sunt esențiale pentru funcționarea eficientă a echipelor UAV, operațiunile lor legale, siguranța și responsabilitatea profesională.

În standardele profesionale UAV, documentația tehnică este prezentată nu numai ca o evidență a activităților, ci și ca un instrument strategic pentru comunicarea profesională. Aceasta permite schimbul eficient de informații între specialiști, asigură siguranța operațiunilor, sprijină conformitatea cu reglementările și permite îmbunătățirea continuă a proceselor tehnice. Conform OSE, un tehnician UAV trebuie să fie capabil nu numai să țină evidența, ci și să o utilizeze ca instrument de analiză, coordonare și consultanță. Această

competență combină abilități tehnice, precizie lingvistică și responsabilitate profesională și este, prin urmare, esențială pentru calitatea și siguranța întregului sector al aviației fără pilot.

5.2. Informații privind conformitatea cu reglementările

Reglementările de siguranță și cerințele de conformitate sunt un element cheie al gestionării flotei de drone (UAV). Asigurarea faptului că toate operațiunile sunt efectuate în conformitate cu reglementările aplicabile este esențială pentru menținerea unui nivel ridicat de siguranță, protejarea proprietății și respectarea reglementărilor legale.

Toate operațiunile cu drone trebuie să respecte reglementările naționale și internaționale care reglementează aeronavele fără pilot. În multe regiuni ale lumii, principalele organisme de reglementare sunt instituții de , cum ar fi Agenția Europeană de Siguranță a Aviației (EASA) în Europa și Administrația Federală a Aviației (FAA) în Statele Unite, care stabilesc reglementări pentru operațiunile cu drone. Aceste reglementări acoperă diverse aspecte, cum ar fi înregistrarea dronelor, licențierea operatorilor, regulile de zbor în spațiul aerian, cerințele tehnice și reglementările privind siguranța și confidențialitatea.

În conformitate cu reglementările internaționale, toate dronele care depășesc o anumită greutate trebuie înregistrate în registrele naționale relevante. Această înregistrare este necesară înainte de începerea operațiunilor și trebuie actualizată în cazul schimbării proprietarului, al modernizării sau al scoaterii din uz a dronei. Înregistrarea asigură trasabilitatea dronei și facilitează supravegherea reglementară.

Operatorii de drone trebuie să dețină licențe și certificate adecvate care să confirme calificările și capacitatea lor de a zbura în siguranță. Aceste licențe includ atât pregătire teoretică, cât și practică, care trebuie reînnoită periodic. Personalul responsabil cu întreținerea echipamentelor trebuie să dețină certificate adecvate care să confirme calificările și capacitatea lor de a opera și repara echipamentele.

Procesul de licențiere a operatorilor include instruire teoretică și practică, examene și reînnoirea periodică a licenței. Operatorii trebuie să fie familiarizați cu reglementările privind traficul aerian, normele de siguranță, procedurile de urgență și restricțiile privind operarea dronelor. În plus, operatorii trebuie să fie familiarizați cu reglementările locale privind confidențialitatea, în special dacă dronele sunt echipate cu camere sau alte dispozitive de monitorizare.

Personalul de întreținere tehnică trebuie să participe în mod regulat la cursuri de formare, să promoveze examene și, în cazul unei întreruperi îndelungate a activității, să se supună unei reevaluări a competențelor și calificărilor sale. Trebuie remarcat faptul că, în multe cazuri, același personal efectuează atât întreținerea tehnică, cât și zborurile de testare ale dronelor după reparații, ceea ce necesită competențe tehnice și operaționale extinse.

Atunci când o dronă transportă materiale periculoase sau echipamente specializate, trebuie respectate reglementări suplimentare, care pot include atât considerente de siguranță, cât și de sănătate.

La proiectarea, achiziționarea și operarea dronelor, trebuie respectate reglementările tehnice cu care dronele trebuie să se conformeze. Dronele trebuie să respecte cerințele privind proiectarea, sistemele de navigație, comunicațiile și sistemele de siguranță. Inspecțiile tehnice și întreținerea periodică sunt esențiale pentru a se asigura că dronele rămân în stare de zbor și îndeplinesc toate cerințele tehnice.

Orice modificare sau modernizare a unei drone trebuie raportată și aprobată de autoritățile de reglementare competente. Operatorii trebuie, de asemenea, să păstreze înregistrări detaliate ale fiecărei operațiuni, inspecții și reparații pentru a dovedi conformitatea cu reglementările în cazul unei inspecții.

Dronele care înregistrează imagini sau colectează date trebuie să funcționeze în conformitate cu reglementările privind confidențialitatea. Multe țări au reglementări specifice care reglementează colectarea și prelucrarea datelor cu caracter personal. Operatorii trebuie să cunoască aceste reglementări și să se asigure că operațiunile lor nu încalcă confidențialitatea terților.

Toate persoanele responsabile de operarea și întreținerea dronelor ar trebui să aibă acces constant la documentația tehnică actualizată și la reglementările aplicabile privind operarea dronelor. Revizuirea și actualizarea periodică a acestor documente este esențială pentru a asigura respectarea reglementărilor și siguranța operațională.

Se recomandă ca manualele și documentația operațională să conțină referințe clare la legile aplicabile, standardele tehnice și orientările autorităților naționale de aviație. Documentația ar trebui să includă, de asemenea, proceduri pentru raportarea incidentelor și încălcărilor, precum și orientări privind răspunderea juridică a operatorului în cazul unei încălcări.

De asemenea, este important să se asigure că toate actualizările normative sunt încorporate prompt în documentație și comunicate personalului.

5.3. Liniile directe ale producătorului

Liniile directe ale producătorului constituie baza pentru funcționarea, depozitarea și întreținerea corespunzătoare a vehiculelor aeriene fără pilot (UAV) și a echipamentelor acestora. Acestea au fost elaborate pe baza testelor tehnice, a experienței operaționale și a cerințelor de siguranță. Respectarea acestor linii directe este esențială pentru a asigura fiabilitatea echipamentelor, pentru a reduce la minimum riscul de defectare și pentru a respecta standardele și reglementările aviatice aplicabile.

5.3.1. Recomandările producătorilor

Recomandările producătorului trebuie elaborate sub forma:

- instrucțiuni tehnice – conținând date detaliate privind parametrii de funcționare, depozitare și transport ai UAV-ului,
- proceduri de operare – specificând pas cu pas modul de efectuare a inspecțiilor, întreținerii și reparațiilor,
- fișe tehnice și specificații tehnice – care specifică valorile admise (de exemplu, temperatura, umiditatea, tensiunea bateriei, durata de viață a consumabilelor),
- actualizări și buletine tehnice (buletine de service) – care introduc modificări rezultate din evoluțiile tehnologice sau din experiența operațională.

Instrucțiunile trebuie să fie disponibile în format tipărit și electronic, în limba originală și în limba utilizatorului.

5.3.2. Responsabilitățile operatorilor UAV

Pentru a asigura conformitatea cu instrucțiunile producătorului, operatorii UAV trebuie:

- să urmeze procedurile descrise în documentație înainte și după fiecare zbor,
- să țină o evidență a activităților tehnice în jurnalul de bord al UAV sau în baza de date centrală,
- utilizeze numai piese și consumabile aprobate de producător,
- să instruiască personalul tehnic și operațional în conformitate cu cele mai recente instrucțiuni și buletine tehnice,
- să aplice un sistem de control al calității, inclusiv verificarea conformității activităților efectuate cu documentația producătorului,
- verifiți și actualizați periodic instrucțiunile tehnice și implementați recomandările rezultate din noile ediții ale documentației. Condițiile de depozitare pot fi împărțite în echipamente de depozit (adică ceea ce se află permanent în depozit, așa-numitele echipamente și dispozitive de depozit) și

articole depozitate. Echipamentele de depozit în sine trebuie să îndeplinească cerințe specifice . Depozitul și echipamentele sale trebuie să ofere condiții adecvate pentru depozitarea bunurilor.

Condițiile create în depozite pot fi împărțite în condiții pentru depozitarea activelor fixe (piese, echipamente pentru drone), resurse și materiale cu durată de viață limitată (fluide de funcționare) și materiale periculoase (baterii, lubrifianți, arme etc.).

Atunci când se creează condiții de depozitare, este necesar să se identifice nevoile legate de scopul dronei și de echipamentul său specific.

Condițiile de depozitare pentru drone (UAV) și componentele acestora sunt cruciale pentru a asigura longevitatea, fiabilitatea și siguranța operațională a acestora. Depozitarea corespunzătoare minimizează riscul de deteriorare, coroziune și alte efecte negative asupra mediului. Condițiile de depozitare trebuie să respecte toate recomandările și reglementările producătorului privind spațiile și bunurile depozitate. Acest lucru acoperă o serie de domenii, de la accesul neautorizat, sistemele de monitorizare și notificare, până la cerințele producătorilor privind starea tehnică a bunurilor, reglementările de sănătate și siguranță, reglementările de siguranță împotriva incendiilor etc.

Documentarea condițiilor de depozitare a echipamentelor, componentelor și a dronelor în sine are scopul de a documenta starea reală a mediului. Această documentație constă în grafice de temperatură și umiditate actualizate zilnic. De asemenea, este esențial să se documenteze eficiența și întreținerea echipamentelor care asigură condiții adecvate, de exemplu aparate de aer condiționat, dehumidificatoare etc. Documentația trebuie să includă referințe la protecția împotriva luminii și a dăunătorilor.

Trebuie remarcat faptul că activele fixe trebuie să îndeplinească o serie de condiții (de exemplu, rafturile trebuie să aibă o capacitate de încărcare adecvată etc.), în timp ce activele mobile necesită adesea o certificare specializată care să confirme eficiența lor (macarale, poduri rulante etc.).

Camerele de baterii sau punctele de încărcare a bateriilor trebuie să îndeplinească cerințele pentru punctele de încărcare a bateriilor sau camerele de baterii, în conformitate cu tipul de baterii utilizate. Această documentație trebuie să permită identificarea cantității și stării tehnice a bateriilor furnizate, inspecțiile periodice și determinarea domeniului de aplicare al lucrărilor efectuate asupra bateriilor, în conformitate cu procedurile.

Documentația pentru depozitarea materialelor periculoase trebuie să respecte condițiile de depozitare pentru fiecare material, în conformitate cu recomandările producătorului.

Raportarea stării tehnice a dronelor și recomandarea măsurilor de întreținere adecvate reprezintă un element cheie al gestionării eficiente a flotei de vehicule aeriene fără pilot (UAV). Acest proces nu numai că menține un nivel ridicat de siguranță, dar afectează și fiabilitatea operațională a dronelor, ceea ce este deosebit de important în misiunile comerciale și specializate.

Fiecare dronă trebuie să fie supusă inspecțiilor periodice și reviziilor tehnice în conformitate cu programul stabilit de producător și cu reglementările în vigoare în țara respectivă. Aceste inspecții includ mai multe tipuri de revizii și sunt documentate în:

- Documentația inspecției înainte de zbor: aceste inspecții sunt efectuate înainte de fiecare zbor pentru a se asigura că drona este pe deplin operațională pentru misiune.
- Documentația privind inspecția post-zbor: aceste inspecții evaluează starea tehnică a dronei după operațiune pentru a identifica eventualele deteriorări sau uzuri.
- Documentația privind inspecțiile periodice: aceste inspecții sunt inspecții regulate, în conformitate cu programul recomandat de producător, care permit detectarea problemelor înainte ca acestea să devină grave.
- Documentația privind inspecțiile speciale: efectuate după incidente sau defecțiuni, aceste inspecții evaluează starea tehnică a dronei și determină dacă este necesară repararea sau înlocuirea componentelor cheie.

Fiecare dintre aceste inspecții trebuie documentată corespunzător, iar rezultatele trebuie înregistrate într-o bază de date centrală sau în jurnalul tehnic al dronei. Documentația trebuie să reflecte în mod clar starea tehnică a dronei, precum și starea sistemelor individuale, cum ar fi sistemul de propulsie, sistemele de navigație, bateriile, motoarele și alte componente cheie.

5.3.3. Rapoartele tehnice și importanța lor

Rapoartele tehnice constituie baza pentru evaluarea stării tehnice a dronei și planificarea activităților viitoare de întreținere. Fiecare raport tehnic trebuie să includă:

- Descrierea stării tehnice a dronei: informații detaliate despre starea actuală a dronei, inclusiv orice defecte identificate, deteriorări sau semne de uzură ale componentelor.
- Jurnal de întreținere: informații despre orice activități de întreținere efectuate, cum ar fi curățarea, lubrifierea, calibrarea sistemului, înlocuirea pieselor sau reparațiile.

- Recomandări pentru acțiuni ulterioare: pe baza rezultatelor inspecțiilor și rapoartelor tehnice, tehnicienii pot recomanda întreținerea sau reparațiile viitoare care ar trebui efectuate pentru a asigura funcționarea în siguranță a drinei.

5.3.4. Planificarea întreținerii și aprovizionării

Rapoartele tehnice au un impact semnificativ asupra planificării întreținerii și logisticii aprovizionării cu piese de schimb și consumabile. Rapoartele detaliate vă permit să:

- Planificați implicarea personalului: pregătiți în avans programele de lucru pentru tehnicieni și operatori pentru a efectua activitățile de întreținere necesare.
- Planificați aprovizionarea: pe baza rapoartelor, puteți comanda piesele de schimb necesare, cum ar fi baterii, motoare, filtre sau alte componente cheie, minimizând riscul de întrerupere a funcționării.
- Optimizați operațiunile atelierului: documentația și rapoartele bine gestionate permit o mai bună gestionare a resurselor atelierului, astfel încât toate reparațiile și întreținerea să fie efectuate la timp și în mod eficient.

5.3.5. Importanța raportării pentru conformitatea cu reglementările

Raportarea precisă a stării drinelor și documentarea tuturor activităților de întreținere sunt esențiale nu numai pentru menținerea disponibilității operaționale, ci și în contextul conformității cu reglementările. În multe țări, raportarea inspecțiilor periodice, a reparațiilor și a activităților de întreținere este o cerință legală, iar nerespectarea acestor reguli poate duce la consecințe grave, cum ar fi pierderea licenței sau răspunderea legală în cazul accidentelor.

Arhivarea rapoartelor tehnice permite:

- Monitorizarea istoricului tehnic al drinei.
- Partajarea documentației necesare cu autoritățile de supraveghere în cazul auditurilor sau inspecțiilor.
- Asigurarea conformității depline cu reglementările locale și internaționale privind siguranța aviației.

În concluzie, raportarea periodică a stării tehnice a dronelor și recomandarea activităților de întreținere sunt aspecte cheie ale gestionării flotei de UAV. Acestea vă permit să mențineți un nivel ridicat de siguranță, să minimizați riscul de defectare și să optimizați logistica operațiunilor tehnice.

Se recomandă ca documentația tehnică a producătorilor să includă instrucțiuni detaliate privind transportul dronelor și al componentelor acestora, condițiile de depozitare în diferite zone climatice și recomandări privind perioadele maxime de depozitare pentru consumabile. Instrucțiunile producătorului ar trebui să includă, de asemenea, proceduri pentru tratarea abaterilor de la standarde (de exemplu, depășirea umidității, a temperaturii, pierderea capacității bateriei) și să specifice componentele care trebuie retrase imediat din serviciu. Aceste instrucțiuni ar trebui actualizate și verificate periodic de către producători.

5.4. Liste de piese de schimb

Gestionarea eficientă a pieselor de schimb și a stocurilor este un element cheie în menținerea continuității operaționale a unei flote de drone (UAV). Evidența corectă a pieselor de schimb asigură disponibilitatea componentelor la momentul potrivit, minimizează riscul de întrerupere a operațiunilor, sprijină conformitatea cu reglementările și permite controlul costurilor de exploatare. Documentația privind piesele de schimb ar trebui să fie corelată cu sistemul de gestionare a stocurilor și cu documentația tehnică a dronelor, pentru a asigura coerența și transparența proceselor de întreținere.

Inventarul în contextul gestionării vehiculelor aeriene fără pilot (UAV) este un element cheie în asigurarea gestionării eficiente a resurselor, a controlului costurilor și a conformității cu reglementările. Acest proces implică identificarea, înregistrarea, monitorizarea și controlul tuturor resurselor fizice legate de operațiunile cu drone. Iată o descriere detaliată a inventarului bunurilor:

Registrul de active permite identificarea tuturor activelor legate de operațiunile cu drone. Aceste active includ:

- fiecare vehicul aerian fără pilot, inclusiv numărul de serie, modelul, data achiziției și specificațiile tehnice.
- toate piesele de schimb, accesoriile, bateriile, senzorii și echipamentele suplimentare utilizate în drone.
- unelte și echipamente specializate utilizate pentru întreținerea și repararea dronelor.

- atelierelor, depozitele, stațiile de încărcare și alte proprietăți legate de operațiunile cu drone.

Fiecare activ identificat trebuie înregistrat în sistemul de gestionare a inventarului. Trebuie făcută o distincție între registrele activelor din încăperi (facilități) și registrele activelor din depozite. Înregistrarea activelor include:

- Fiecărui activ i se atribuie un număr de identificare unic pentru a facilita urmărirea și gestionarea acestuia. Este recomandabil ca acesta să fie asociat cu numărul sau codul de bare al producătorului.
- O descriere detaliată a resursei, inclusiv specificațiile tehnice, producătorul, modelul, numărul de serie, data achiziției și valoarea.
- Locul de depozitare sau utilizare a activului, care facilitează localizarea și controlul acestuia.
- Starea tehnică actuală a bunului, adică categoria sa de depozitare (de exemplu, nou, uzat, în reparație) și starea sa (de exemplu, disponibil, rezervat, retras din uz).

Monitorizarea periodică a stării activelor și actualizarea datelor în sistemul de depozitare sunt esențiale pentru menținerea acurateței și actualității activelor. Această documentație ar trebui să permită:

- controlul și revizuirea activelor pentru a verifica starea, locația și conformitatea acestora cu înregistrările din registru.
- actualizarea datelor privind activele în cazul unor modificări, cum ar fi relocarea, reparațiile, modificările sau scoaterea din uz.
- urmărirea ciclului de viață - monitorizarea ciclului de viață al activelor, de la achiziție, prin utilizare, până la scoaterea din uz și eliminare.
- Controlul stocurilor de piese de schimb și consumabile pentru a asigura continuitatea operațională a dronelor.

Gestionarea eficientă a pieselor de schimb necesită nu numai păstrarea evidențelor, ci și implementarea unor proceduri clare pentru depunerea cererilor pe formulare tipărite sau electronice adecvate. Acest proces ar trebui organizat în două moduri:

Modul curent (reactiv). Utilizat în situații de urgență, când este necesară înlocuirea imediată a unei componente deteriorate sau uzate, a cărei absență împiedică funcționarea în continuare a dronei. Cererile sunt depuse pe baza rapoartelor de inspecție, reparațiilor ad-hoc sau incidentelor. Documentația trebuie să includă: o descriere a defectului, indicarea piesei necesare, numărul de catalog, urgența cererii și persoana responsabilă de cerere.

Acest mod permite restabilirea rapidă a stării de funcționare a UAV-ului, dar implică un risc de cost mai mare (de exemplu, achiziție urgentă, lipsa optimizării prețului).

Modul de planificare (proactiv). Se bazează pe programele de întreținere periodică, recomandările producătorului și datele istorice privind uzura pieselor. Cerințele planificate sunt transmise în avans, ceea ce permite includerea lor în buget, optimizarea livrărilor și reducerea costurilor de depozitare. Documentația de planificare trebuie să indice: tipul piesei, data de înlocuire preconizată, cantitatea și locul de depozitare. Acest mod minimizează riscul de nefuncționare și crește predictibilitatea proceselor logistice.

Cele mai bune rezultate se obțin prin combinarea ambelor abordări – planificarea pieselor consumabile și a consumabilelor tipice, menținând în același timp procedurile de solicitare de urgență.

Documentația trebuie să specifice în mod clar: cine trimite cererea (de exemplu, tehnicianul de service, șeful atelierului), cum este aprobată (autorizare, semnătură, sistem electronic), unde se trimite (departamentul de logistică, depozit, direct la furnizor) și când trebuie îndeplinită.

Sistemul ideal de depozitare este unul care nu numai că permite trimiterea cererilor, ci și generează automat comenzi, controlează nivelurile stocurilor și completează în mod continuu lipsurile, atât în mod planificat, cât și ca răspuns la nevoile ad-hoc. Acesta ar trebui să includă planificarea achizițiilor pe baza programelor de service, a ciclurilor de service și a intensității anticipate a operațiunilor UAV, precum și gestionarea stocurilor în timp real, cu monitorizarea continuă a nivelurilor stocurilor de piese, accesorii, scule și consumabile. Un element important este capacitatea de a gestiona cererile curente, adică generarea imediată a nevoilor în situații de urgență, cum ar fi defecțiuni bruște sau necesitatea înlocuirii urgente a pieselor. Sistemul ar trebui să fie integrat cu documentația de întreținere a UAV, astfel încât să genereze automat liste de piese necesare pentru întreținere pe baza înregistrărilor de reparații, întreținere și inspecție. O parte integrantă a sistemului este și menținerea istoricului achizițiilor și consumului, inclusiv numerele de serie ale pieselor, datele de achiziție, perioadele de garanție, datele privind durata de valabilitate, adică utilizabilitatea limitată de a acestora din cauza îmbătrânirii materialelor, precum și o evidență completă a utilizării lor. Acest lucru permite planificarea rotației resurselor, evită utilizarea pieselor expirate și minimizează pierderile rezultate din expirarea duratei de valabilitate a acestora. Sistemul de depozitare ar trebui să dispună, de asemenea, de mecanisme de autorizare care să definească în mod clar persoanele responsabile de aprobarea comenzilor și de acceptarea pieselor în stoc și să fie conectat la un sistem financiar care să permită controlul bugetului, rezervarea fondurilor și raportarea costurilor legate de întreținerea flotei de UAV.

Acest lucru asigură controlul deplin asupra circulației pieselor de schimb, minimizează riscul de epuizare a stocurilor, reduce timpul de răspuns în situații de urgență, permite planificarea eficientă a cheltuielilor și garantează că dronele sunt operate în condiții de siguranță și în mod economic, în conformitate cu cerințele tehnice și de reglementare.

5.5. Norme de sănătate și siguranță la locul de muncă

Normele de sănătate și securitate în muncă (OHS) și cerințele de conformitate cu reglementările constituie fundamentul gestionării flotei de vehicule aeriene fără pilot (UAV). Acestea sunt concepute pentru a proteja sănătatea și viața operatorilor și a persoanelor din jur și pentru a proteja proprietatea și mediul. Responsabilitățile operatorilor și ale personalului tehnic, precum și cerințele privind documentația și infrastructura care susțin funcționarea în siguranță a UAV-urilor trebuie să fie clar definite și cunoscute de întreg personalul.

Toate operațiunile cu drone trebuie să respecte reglementările naționale și internaționale care reglementează aeronavele fără pilot. În multe regiuni ale lumii, principalele organisme de reglementare sunt instituții precum Agenția Europeană de Siguranță a Aviației (EASA) în Europa și Administrația Federală a Aviației (FAA) în Statele Unite, care stabilesc reglementări pentru operațiunile cu drone. Aceste reglementări acoperă diverse aspecte, cum ar fi înregistrarea dronelor, licențierea operatorilor, regulile de zbor în spațiul aerian, cerințele tehnice și reglementările privind siguranța și confidențialitatea.

În conformitate cu reglementările internaționale, toate dronele care depășesc o anumită greutate trebuie înregistrate în registrele naționale relevante. Această înregistrare este necesară înainte de începerea operațiunilor și trebuie actualizată în cazul schimbării proprietarului, modernizării sau scoaterii din uz a dronei. Înregistrarea asigură trasabilitatea dronei și facilitează supravegherea reglementară.

Fiecare organizație care operează UAV-uri ar trebui să aibă o persoană responsabilă cu respectarea reglementărilor (manager de conformitate) care monitorizează modificările legislative și actualizează procedurile.

Operatorii de drone trebuie să dețină licențe și certificate adecvate care să confirme calificările și capacitatea lor de a zbura în siguranță. Aceste licențe includ atât pregătire teoretică, cât și practică, care trebuie reînnoită periodic. Personalul responsabil cu întreținerea echipamentelor trebuie să dețină certificate adecvate care să confirme calificările și capacitatea lor de a opera și repara echipamentele.

Operatorii trebuie să urmeze periodic cursuri de formare în domeniul sănătății și siguranței în exploatarea UAV-urilor, în activitatea pe teren și în intervențiile de urgență. În cazul unei întreruperi îndelungate a activității, este necesară recertificarea.

La proiectarea, achiziționarea și operarea dronelor, trebuie respectate reglementările tehnice pe care dronele trebuie să le respecte. Dronele trebuie să respecte cerințele privind proiectarea, sistemele de navigație, comunicațiile și sistemele de siguranță. Inspecțiile tehnice și întreținerea periodică sunt esențiale pentru a se asigura că dronele rămân în stare de zbor și îndeplinesc toate cerințele tehnice.

În cazul în care o dronă transportă materiale periculoase sau echipamente specializate, trebuie respectate reglementări suplimentare, care pot include atât considerente de siguranță, cât și de sănătate.

Orice modificare sau modernizare a unei drone trebuie raportată și aprobată de autoritățile de reglementare competente. Operatorii trebuie, de asemenea, să păstreze înregistrări detaliate ale fiecărei operațiuni, inspecții și reparații, pentru a dovedi conformitatea cu reglementările în cazul unei inspecții.

Trebuie păstrate înregistrări privind legalizarea și calibrarea echipamentelor de măsurare utilizate pentru operarea UAV-urilor (de exemplu, testere de baterii, stații de diagnosticare). Componentele dronelor cu termen de valabilitate (de exemplu, baterii, giroscopae, componente pirotehnice) trebuie verificate pentru a se stabili data expirării.

Dronele care înregistrează imagini sau colectează date trebuie să funcționeze în conformitate cu reglementările privind confidențialitatea. Multe țări au reglementări specifice care reglementează colectarea și prelucrarea datelor cu caracter personal. Operatorii trebuie să cunoască aceste reglementări și să se asigure că operațiunile lor nu încalcă confidențialitatea terților.

Procedurile de anonimizare a datelor (de exemplu, estomparea fețelor, a plăcuțelor de înmatriculare) sunt necesare pentru materialele înregistrate de UAV-uri. Datele trebuie securizate într-un sistem cu backup și control al accesului.

Păstrarea unor înregistrări exacte ale zborurilor cu drone (UAV) este esențială pentru asigurarea siguranței, respectarea reglementărilor și monitorizarea stării tehnice a dronelor. Fiecare zbor trebuie înregistrat într-un jurnal de zbor pentru a permite analiza retrospectivă, urmărirea uzurii echipamentelor și identificarea oricăror probleme tehnice.

Înregistrarea zborurilor efectuate trebuie să includă următoarele informații:

- Data și ora zborului: înregistrați data și ora exactă a începerii și încheierii zborului.
- Operatorul dronei: detalii despre persoana responsabilă de controlul dronei în timpul misiunii.
- Modelul și numărul de serie al dronei: identificarea echipamentului utilizat.
- Durata zborului: timpul total de funcționare a dronei în aer.
- Ruta și altitudinea zborului: informații despre ruta de zbor, altitudine și orice modificări survenite în timpul misiunii.
- Obiectivele misiunii: o scurtă descriere a sarcinilor efectuate în timpul zborului (de exemplu, monitorizare, filmare, inspecție etc.).
- Condiții meteorologice: informații despre condițiile meteorologice predominante care ar fi putut afecta zborul.
- Probleme tehnice: orice defecțiuni sau probleme întâmpinate în timpul zborului, cum ar fi pierderea comunicării, defecțiuni ale sistemului, restricții de navigație.

Jurnalul de zbor servește ca instrument de bază pentru analizarea stării tehnice a dronei și planificarea întreținerii. Aceste date permit evaluarea uzurii componentelor, a duratei de viață a bateriei și a altor elemente care necesită inspecții periodice. Documentația trebuie arhivată digital timp de cel puțin 5 ani și integrată cu modulul de planificare a misiunii și întreținere.

În multe țări, operatorii de drone sunt obligați să dețină o asigurare de răspundere civilă în caz de daune cauzate terților sau proprietății. Această asigurare este deosebit de importantă pentru zborurile comerciale sau zborurile deasupra zonelor populate.

Se recomandă ca organizațiile care operează UAV-uri să dețină și o asigurare a echipamentelor împotriva pierderii sau deteriorării.

Operatorii de UAV trebuie să cunoască și să respecte procedurile de urgență, inclusiv procedurile în caz de pană de curent, pierderea comunicației, aterizare de urgență, incendiu al bateriei litiu-ion, coliziune sau deteriorare a UAV.

Fiecare incident trebuie înregistrat într-un raport de incident. Angajatorul și organizația responsabilă de operarea UAV-ului sunt obligați să: furnizeze angajaților echipament de protecție personală (de exemplu, ochelari de protecție, mănuși antistatice), organizeze

instruiri periodice, supravegheze respectarea normelor de sănătate și siguranță și să implementeze un sistem de management al siguranței (SMS).

5.6. SOP și WO

Procedurile standard de operare (SOP) și ordinele de lucru (WO) constituie baza gestionării eficiente a exploatării și întreținerii unei flote de drone (UAV). Acestea introduc ordine, sistematizează activitățile și asigură că toate procesele – de la pregătirea misiunii până la asistența tehnică – sunt efectuate în conformitate cu standardele acceptate și reglementările legale. SOP-urile definesc „cum” trebuie îndeplinită o anumită sarcină, în timp ce WO-urile indică „ce” trebuie făcut, de către cine și când. Împreună, ele formează un sistem integrat care asigură siguranța, operațiuni de înaltă calitate și documentarea completă a proceselor.

5.6.1. Proceduri operaționale standard (SOP)

Acestea sunt un element cheie al gestionării flotei de drone (UAV). SOP asigură consecvența, siguranța și eficiența operațiunilor prin stabilirea unor linii directoare detaliate, pas cu pas, pentru diferite aspecte ale operării dronelor. Cu ajutorul SOP, organizațiile pot, de asemenea, minimiza riscul de erori operaționale și asigura conformitatea cu reglementările legale.

Fiecare organizație care operează drone ar trebui să elaboreze și să implementeze SOP adaptate specificului operațiunilor sale și să respecte reglementările aplicabile. Acest proces implică analiza riscurilor, identificarea sarcinilor critice și definirea procedurilor standard. SOP ar trebui revizuite și actualizate periodic, ca răspuns la schimbările tehnologice, de reglementare și operaționale.

SOP-urile ar trebui să includă, de asemenea, proceduri de urgență care să specifice acțiunile care trebuie întreprinse în situații de criză, cum ar fi pierderea comunicării, probleme tehnice sau defecțiuni ale sistemului de drone.

5.6.1.1. Proceduri premergătoare zborului

Procedurile premergătoare zborului pot fi împărțite în două categorii: pregătirea dronei pentru zbor și pregătirea personalului pentru zbor. Ambele categorii sunt esențiale pentru a se asigura că drona este pe deplin operațională și pregătită pentru un zbor în condiții de siguranță. Procedurile standard de operare (SOP) trebuie să includă:

- Liste de verificare detaliate care acoperă inspecția stării tehnice a dronei, verificarea încărcării bateriei, testarea sistemului de navigație și comunicații și verificarea stării fizice (de exemplu, deteriorări mecanice, contaminare etc.).

- Pregătirea personalului include revizuirea și aprobarea planului de zbor, ținând seama de condițiile meteorologice, zonele de restricție de zbor și obiectivele misiunii. Operatorii ar trebui, de asemenea, să participe la o ședință informativă privind procedurile de siguranță și reglementările aviatice aplicabile în spațiul aerian în cauză. Operatorii ar trebui, de asemenea, să pregătească planuri alternative în cazul în care condițiile se schimbă.

Adesea, se organizează o informare înainte de zbor pentru operatori, adică o reuniune a echipei operaționale pentru a discuta detaliile misiunii, a identifica riscurile potențiale și a atribui roluri și responsabilități. Informarea poate fi, de asemenea, înregistrată sau documentată sub forma unui raport pentru arhivare și analiză ulterioară.

5.6.1.2. Proceduri post-zbor

Procedurile post-zbor sunt concepute pentru a se asigura că drona este securizată corespunzător și pregătită pentru misiunile ulterioare. SOP include domeniul de aplicare al inspecției post-zbor a dronei pentru a detecta orice deteriorare sau uzură, precum și verificarea stării de încărcare a bateriei și înregistrarea rezultatelor în jurnalul de zbor.

Dacă drona nu are un înregistrator de date de zbor, trebuie păstrată o documentație manuală, în care să fie înregistrate datele privind zborul, inclusiv durata, ruta, obiectivele atinse și eventualele probleme întâmpinate. Această documentație este necesară pentru a analiza eficacitatea operațiunii și pentru a detecta eventualele probleme tehnice.

De asemenea, pot fi păstrate înregistrări ale ședințelor de debriefing, în cadrul cărora sunt analizate desfășurarea misiunii, eventualele probleme întâmpinate și concluziile care pot îmbunătăți eficacitatea operațiunilor viitoare.

5.6.1.3. Funcția procedurilor standard de operare

SOP-urile ar trebui să definească metode standard pentru îndeplinirea diverselor sarcini, cum ar fi:

- Proceduri de decolare și aterizare în condiții de siguranță, ținând seama de condițiile terenului și de cerințele tehnice.
- Proceduri de navigație și menținerea comunicării cu centrul de operațiuni, inclusiv raportarea periodică a poziției și stării dronei.
- Proceduri standard pentru gestionarea defecțiunilor tehnice, a pierderii comunicării, a coliziunilor sau a altor situații de urgență.

- Proceduri de siguranță care asigură funcționarea în condiții de siguranță a dronelor, inclusiv evaluarea periodică a riscurilor operaționale, identificarea și analiza potențialelor pericole și elaborarea de strategii pentru minimizarea acestora.

SOP-urile ar trebui să includă, de asemenea, norme privind utilizarea echipamentului individual de protecție (EIP) de către operatori și personalul de întreținere.

Pentru a menține un nivel ridicat de siguranță și eficiență operațională, SOP-urile trebuie tratate ca documente „vii”, supuse actualizărilor periodice. Se recomandă revizuirea acestora cel puțin o dată pe an sau ori de câte ori sunt introduse noi tehnologii, se modifică reglementările sau au loc incidente operaționale. Un alt element important este modul în care este gestionată documentația – procedurile trebuie să fie disponibile atât în format tipărit, cât și electronic, cu o metodă clar definită de distribuire și arhivare. SOP-urile ar trebui, de asemenea, integrate în sistemul de management al siguranței (SMS), astfel încât fiecare procedură să fie legată de analiza riscurilor, monitorizarea evenimentelor și concluziile din rapoarte. De asemenea, este necesar să se asigure că toate procedurile includ o indicație a responsabilității – cine efectuează activități specifice și cine le aprobă. În acest fel, SOP-urile devin nu numai instrucțiuni de lucru, ci și un instrument pentru construirea unei culturi a siguranței și a ordinii organizaționale.

5.6.2. Ordinele de lucru (WO)

WO sunt un element cheie al operațiunilor cu drone (UAV) și al gestionării întreținerii. Ordinele de lucru sunt create ca răspuns la inspecțiile planificate, întreținerea, reparațiile și alte sarcini operaționale.

Procesul de creare a ordinelor de lucru începe cu identificarea necesității de a efectua o sarcină, care poate rezulta dintr-un program de întreținere, rezultatele inspecțiilor, defecțiunile raportate sau operațiunile planificate. Aceste ordine pot apărea și ca urmare a recomandărilor din rapoartele privind operațiunile și reparațiile anterioare.

5.6.2.1. Conținutul WO

O comandă de lucru trebuie să conțină următoarele informații:

- Identificarea sarcinii: număr unic al comenzii de lucru, data emiterii și identificarea dronei (număr de serie, model).
- Descrierea detaliată a sarcinii care trebuie efectuată, inclusiv domeniul de aplicare al lucrării, obiectivul și acțiunile necesare.

- Data și ora planificate pentru începerea și finalizarea sarcinii.
- Resurse umane necesare (operatori, tehnicieni), materiale (piese de schimb, unelte, consumabile) și orice sprijin logistic.
- Referire la procedurile operaționale standard (SOP) și instrucțiunile tehnice relevante.

Odată ce comanda de lucru a fost creată, sarcina este atribuită tehnicienilor sau echipelor de service corespunzătoare. Atribuirea sarcinilor ține cont de calificările și certificările personalului, disponibilitatea resurselor și prioritatea sarcinilor. Fiecare angajat desemnat trebuie să primească o copie a comenzii de lucru și toate instrucțiunile și materialele necesare.

5.6.2.2. Executarea comenzii de lucru

Personalul procedează la executarea comenzii de lucru în conformitate cu procedurile și standardele specificate. În timpul executării sarcinii, specialiștii:

- Înregistrează progresul lucrărilor, documentează activitățile efectuate, materialele utilizate, piesele înlocuite și orice probleme întâmpinate.
- Respectă SOP-urile: se asigură că toate activitățile respectă procedurile operaționale standard aplicabile.
- Comunică cu supervizorii: informează periodic supervizorii cu privire la progresul lucrărilor și la orice probleme care ar putea necesita decizii sau resurse suplimentare.

Ordinele de lucru trebuie create și executate într-un mod care să permită urmărirea completă a ciclului lor de viață – de la momentul raportării sarcinii, până la executarea, închiderea și arhivarea acesteia. Fiecare ordin de lucru trebuie să conțină o identificare clară a sarcinii, detalii despre persoanele responsabile și semnăturile (pe hârtie sau digitale) ale persoanelor care execută și aprobă sarcina.

Documentația trebuie păstrată într-un mod care să permită integrarea cu gestionarea depozitului – ordinele de lucru pot genera automat cereri de piese de schimb, consumabile sau unelte. Este, de asemenea, un element important, la fel ca și documentarea concluziilor din raportările după finalizarea sarcinilor – analiza desfășurării operațiunilor și a problemelor permite nu numai îmbunătățirea sarcinilor viitoare, ci și perfecționarea procedurilor standard de operare. Arhivarea și analiza periodică a WO finalizate permit identificarea tendințelor, evaluarea eficacității activităților de întreținere și implementarea îmbunătățirilor organizaționale, ceea ce se traduce direct în creșterea siguranței și fiabilității flotei de UAV.

5.6.2.3. Verificări de control al calității

După finalizarea lucrării, supervizorul sau inspectorul desemnat efectuează un control al calității sarcinilor îndeplinite. Acest control include:

- Verificarea faptului că toate activitățile au fost efectuate în conformitate cu comanda de lucru și procedurile aplicabile.
- Efectuarea de teste funcționale pe dronă pentru a se asigura că aceasta este complet operațională și gata de funcționare.
- Confirmarea finalizării sarcinii în sistemul de gestionare a ordinelor de lucru și actualizarea documentației tehnice a dronei.
- Arhivarea și analizarea comenzii de lucru și a documentației aferente. Analiza periodică a comenzilor de lucru arhivate permite identificarea tendințelor, evaluarea eficacității activităților de întreținere și optimizarea proceselor operaționale.

Organizațiile ar trebui să efectueze periodic revizuri interne și audituri ale ordinelor de lucru pentru a asigura conformitatea cu reglementările și procedurile și pentru a îmbunătăți procesele de gestionare. Aceste audituri pot include revizuirea documentației, evaluarea performanței tehnicienilor și analiza eficacității gestionării resurselor.

5.7. Răspundere (asigurare, raportarea incidentelor)

Raportarea incidentelor și accidentelor cu drone este o parte importantă a asigurării siguranței și a respectării reglementărilor din întreaga lume. Fiecare operator de drone ar trebui să fie familiarizat cu regulile locale de raportare a incidentelor, să păstreze înregistrări detaliate și să raporteze orice nereguli în termenele specificate. Aceste acțiuni contribuie la creșterea siguranței operaționale și la prevenirea problemelor viitoare. Deși metodele și detaliile de raportare pot varia în funcție de reglementările în vigoare într-o anumită țară, principiile cheie rămân similare. Fiecare țară are, de obicei, propriul sistem de raportare a incidentelor, care respectă standardele internaționale de siguranță aeriană.

5.7.1. Raportarea incidentelor

Un angajat care este martor la un incident sau este implicat într-un accident trebuie să raporteze imediat evenimentul superiorului său sau unității organizaționale corespunzătoare. Prin urmare, trebuie stabilită o metodă sau un document pentru ca angajații să poată raporta evenimentele (indiferent dacă acestea necesită o reacție imediată sau nu).

Organizația trebuie să identifice în mod clar persoana responsabilă cu autorizarea raportului (de exemplu, managerul, managerul de conformitate).

Raportarea incidentelor este de obicei obligatorie atunci când dronele sunt implicate în incidente sau accidente grave.

5.7.1.1. Incidente posibile

Incidentele pot include:

- Defecțiuni tehnice: avarii mecanice, defecțiuni ale sistemului de navigație, probleme cu motoarele, bateriile sau alte componente critice ale dronei.
- Pierderea comunicării: întreruperea comunicării între operator și dronă, ceea ce poate duce la un zbor necontrolat.
- Coliziuni: coliziunea dronei cu obiecte (naturale sau artificiale) în timpul zborului.
- Pericole pentru siguranță: orice situație care ar putea pune în pericol viața, sănătatea sau proprietatea persoanelor din jur.
- Încălări ale reglementărilor: zborul în zone interzise sau depășirea limitelor stabilite de reglementările legale.

5.7.1.2. Modalități de raportare a incidentelor

Incidentele și accidentele trebuie raportate într-un anumit interval de timp, care poate varia de la o țară la alta: incidentele trebuie raportate, în general, în termen de 72 de ore de la producerea lor, în timp ce accidentele trebuie raportate imediat, de obicei în termen de 24 de ore.

Deși metodele specifice de raportare pot varia de la o țară la alta, există, în general, două modalități principale de raportare a incidentelor:

- Raportarea online: multe țări dispun de sisteme electronice de raportare a incidentelor care vă permit să transmiteți rapid și ușor detaliile incidentului online.
- Formulare de raportare: în unele cazuri, puteți descărca formulare, le puteți completa manual și le puteți trimite autorităților competente în format electronic sau pe hârtie.

5.7.1.3. Conținutul rapoartelor de incident

Fiecare incident trebuie raportat imediat și înregistrat într-un sistem de gestionare a incidentelor, care trebuie să includă următoarele informații:

- Data și ora evenimentului: momentul exact în care a avut loc incidentul.
- Locația: locul exact în care a avut loc incidentul.
- Detalii despre operator: Informații despre persoana responsabilă de operarea dronei în momentul incidentului.
- Detalii despre dronă: modelul, numărul de serie și alte informații tehnice despre drona implicată în incident.
- Participanți
- Descrierea incidentului: Informații detaliate despre incident, inclusiv toate circumstanțele relevante.
- Consecințe: Descrierea oricăror daune materiale, daune aduse dronei și leziuni suferite de persoanele aflate în apropiere.
- Măsuri luate: Descrierea măsurilor luate pentru a preveni agravarea incidentului și pentru a asigura siguranța.
- Recomandări: Concluzii și recomandări pentru îmbunătățirea procedurilor sau tehnicilor de prevenire a incidentelor similare în viitor.

5.7.1.4. Alte considerații

Raportarea rapidă a incidentelor este esențială pentru o analiză rapidă și pentru introducerea eventuală a unor măsuri preventive.

Incidentele trebuie analizate în mod regulat de echipa tehnică, iar orice concluzii trebuie reflectate în modificările procedurilor de operare, în formarea personalului și în îmbunătățirile tehnice ale echipamentelor.

Raportarea corespunzătoare a incidentelor nu numai că ajută la prevenirea problemelor viitoare, dar și sporește siguranța operațională și consolidează încrederea în procedurile de gestionare a dronelor.

Aceste rapoarte ar trebui să permită analiza incidentelor, identificarea riscurilor și punerea în aplicare a procedurilor pentru îmbunătățirea situației.

În multe țări, operatorii de drone sunt obligați să dețină o asigurare de răspundere civilă în cazul daunelor cauzate persoanelor terțe sau proprietății. Această asigurare este deosebit de importantă pentru zborurile comerciale sau zborurile deasupra zonelor populate.

Pentru a spori eficacitatea raportării incidentelor și accidentelor și a îmbunătăți siguranța, organizația ar trebui să integreze sistemul de raportare în Sistemul de management al siguranței (SMS). Acest lucru garantează că fiecare raport de incident devine parte a unei analize mai ample a riscurilor și permite elaborarea de măsuri preventive eficiente.

Un alt aspect important este implementarea unei „culturi juste”, adică a unui mediu în care angajații pot raporta incidente fără teama de sancțiuni disciplinare, cu excepția cazurilor de neglijență gravă. Această abordare promovează deschiderea, crește numărul de incidente raportate și permite identificarea mai eficientă a pericolelor. În cazul incidentelor sau accidentelor grave, operatorii sunt obligați nu numai să raporteze incidentul la nivel intern, ci și să notifice autoritățile de reglementare relevante, cum ar fi autoritatea națională de aviație civilă (de exemplu, EASA în Europa, FAA în SUA, ULC în Polonia).

În plus față de raportarea continuă a incidentelor, organizația ar trebui să pregătească rapoarte sumare periodice (de exemplu, lunare sau anuale) pentru a permite analiza tendințelor, evaluarea eficacității acțiunilor corective și planificarea măsurilor preventive suplimentare. Aceste rapoarte pot fi utilizate atât la nivel intern, cât și transmise autorităților de supraveghere.

Un sistem de raportare a incidentelor bine conceput, combinat cu o asigurare obligatorie, nu numai că sporește siguranța operațională, dar și consolidează încrederea clienților, a autorităților de reglementare și a publicului în organizația care gestionează flota de drone.

5.8. Comunicare profesională eficientă

În mediul de lucru al unui tehnician implicat în operarea și întreținerea vehiculelor aeriene fără pilot (UAV), comunicarea profesională joacă un rol cheie în asigurarea bunei desfășurări a operațiunilor, a eficienței reparațiilor și a siguranței întregului proces operațional. Unul dintre cele mai importante instrumente pentru această comunicare este documentația tehnică întreținută corespunzător. Această documentație nu numai că permite transferul de informații între membrii echipei, dar constituie și baza pentru contactul cu clienții, supervizorii, auditorii și reprezentanții instituțiilor de supraveghere. În acest context, comunicarea profesională ia forma unui transfer ordonat de informații tehnice, operaționale, logistice și formale, utilizând documente pregătite corespunzător și standardizate.

Cu toate acestea, pentru ca documentația să își îndeplinească sarcinile de comunicare, ea trebuie să fie susținută de un set de reguli și componente ale unei comunicări profesionale eficiente. Eficacitatea acestei comunicări include, printre altele: claritatea și lipsa de

ambiguitate a mesajului, utilizarea unui limbaj comun și a unor formate standardizate, informații actualizate, precum și disponibilitatea și securitatea datelor. Comunicarea tehnică profesională necesită, de asemenea, o structură logică a documentelor, respectarea procedurilor și deschiderea față de feedback. Fiecare tehnician ar trebui să aibă, de asemenea, competențele lingvistice și digitale necesare pentru a naviga eficient în mediul de documentare multicanal. Toate aceste componente formează împreună baza pentru un schimb de informații eficient și responsabil, care este esențial atunci când se lucrează cu UAV-uri.

Tipurile de documente tehnice care au o funcție de comunicare sunt diverse și includ documente legate atât de funcționarea continuă, cât și de planificarea și raportarea activităților. Cele mai importante documente sunt rapoartele tehnice, care sunt create de tehnicienii de service după efectuarea întreținerii, reparațiilor sau inspecțiilor UAV-urilor. Un astfel de raport conține o descriere detaliată a stării tehnice a dispozitivului, a defectelor detectate, a uzurii componentelor, a testelor efectuate, precum și recomandări pentru acțiuni ulterioare. Acest tip de documentație este transmis atât intern – către supervizori sau planificatori tehnici – cât și extern, de exemplu către client, care primește feedback cu privire la starea echipamentului încredințat. Profesionalismul acestui document se reflectă în claritatea sa, respectarea standardelor de documentare și capacitatea tehnicianului de a formula concluzii precise și obiective.

Un alt tip important de document care susține comunicarea profesională sunt ordinele de lucru. Aceste tipuri de documente sunt emise de persoanele responsabile cu planificarea sau gestionarea întreținerii tehnice și conțin instrucțiuni specifice privind domeniul de activitate, termenele, resursele necesare și personalul alocat. Un ordin de lucru servește ca o comunicare formală a unei sarcini care trebuie îndeplinită în conformitate cu procedurile specificate. Odată ce lucrarea a fost finalizată, documentul este adesea returnat emitentului cu o notă privind cursul implementării, eventualele probleme întâmpinate și rezultatele finale. În acest fel, constituie un canal de comunicare bidirecțional: de la client la contractant și invers, asigurând transparență deplină și responsabilitate operațională.

Procedurile operaționale standard, sau SOP, sunt, de asemenea, deosebit de importante în comunicarea în cadrul echipei și a organizației. Documentele de acest tip definesc în detaliu modul de desfășurare a activităților specifice, de la pregătirea dronei pentru zbor, la regulile pentru decolare, navigație și aterizare în condiții de siguranță, până la întreținere, eliminarea

materialelor și procedurile de urgență. SOP-urile au o funcție educativă și de coordonare, permițând tuturor membrilor echipei să opereze în conformitate cu modele uniforme și verificate. Comunicarea prin intermediul SOP elimină speculațiile, ambiguitățile și interpretările individuale, conducând la o mai mare previzibilitate și repetabilitate a rezultatelor muncii. De asemenea, acestea constituie baza pentru instruire, certificare și audituri interne de calitate.

Jurnalele de service și notele tehnice, care sunt de natură operațională și actualizate, joacă, de asemenea, un rol important în practica tehnică de zi cu zi. Acestea înregistrează toate activitățile efectuate pe UAV într-o anumită zi, materialele utilizate, instrumentele utilizate și comentariile privind utilizarea ulterioară a echipamentului. Astfel de documente sunt deosebit de utile atunci când mai mulți tehnicieni lucrează la un singur dispozitiv pe bază de rotație sau în ture. Jurnalul de service permite transferul fără probleme al informațiilor și continuarea lucrărilor fără a fi necesară instruirea îndelungată a personalului nou în situația actuală. Din perspectiva comunicării interne, acesta este un instrument de bază pentru menținerea continuității operațiunilor.

Atunci când reparațiile, inspecțiile sau operațiunile de zbor sunt efectuate la cererea clientului, raportul final furnizat clientului devine un document extrem de important. Acest tip de document trebuie întocmit într-o manieră profesională, accesibilă și fără ambiguitate. Acesta trebuie să conțină atât date tehnice, cât și o interpretare a rezultatelor lucrărilor, informații despre riscurile potențiale și sugestii pentru pașii următori. Comunicarea profesională cu clientul sub forma unui raport tehnic scris este esențială pentru construirea încrederii, asigurarea transparenței serviciilor și menținerea unor standarde ridicate în relațiile comerciale.

Rolul notificărilor și al rapoartelor de incidente nu poate fi nici el neglijat. În mediul de operare al UAV-urilor, se produc adesea situații de urgență, defecțiuni, încălcări ale spațiului aerian și alte nereguli. Fiecare astfel de eveniment trebuie documentat și raportat în mod corespunzător la nivel intern și, adesea, și către instituții externe. În plus față de descrierea evenimentului, raportul de incident conține detaliile operatorului, detaliile dronei, locul și ora evenimentului, precum și măsurile luate. Acest tip de documentație este un instrument extrem de important de comunicare în situații de criză, permițând un răspuns rapid, analiza situației și implementarea măsurilor corective. În același timp, aceste documente au o funcție juridică și pot constitui baza pentru măsuri de control, asigurare sau corective.

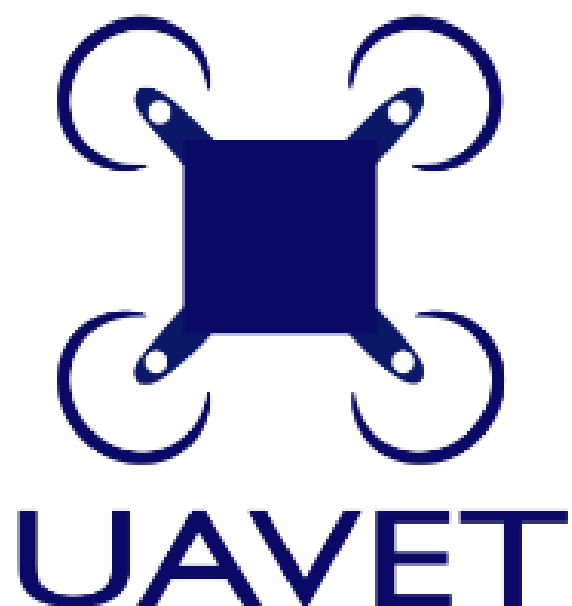
În contextul comunicării profesionale, nu trebuie uitate documentele mai puțin formale, dar totuși importante, cum ar fi șabloanele de e-mail, notele de ședință și procesele-verbale de debriefing și briefing. Deși aparent mai puțin tehnice, aceste forme de documentare sunt, de asemenea, o parte integrantă a funcționării zilnice a echipelor UAV și afectează eficacitatea cooperării. Un șablon de mesaj bine pregătit poate accelera răspunsul la o solicitare a clientului, poate facilita raportarea rezultatelor zborului sau poate îmbunătăți organizarea echipei.

În concluzie, documentația tehnică UAV nu servește doar la înregistrarea datelor și la asigurarea conformității cu procedurile, ci constituie și baza unei comunicări profesionale eficiente într-un mediu tehnic. Prin selectarea și utilizarea tipurilor potrivite de documente și respectarea principiilor unei comunicări profesionale eficiente, este posibil să se transmită informații cu acuratețe, să se planifice și să se execute sarcini în mod eficient, să se răspundă rapid la situații de criză și să se construiască relații bazate pe încredere și transparență. Utilizarea corectă a acestei documentații afectează în mod direct calitatea serviciilor, siguranța operațională și dezvoltarea competențelor întregii echipe tehnice.

Pentru a completa comunicarea profesională eficientă în mediul UAV, ar trebui să se acorde atenție și rolului instrumentelor digitale moderne care sprijină procesele de raportare, arhivare și schimb de informații. Sistemele CMMS (Computerised Maintenance Management System), aplicațiile mobile și platformele integrate de gestionare a flotei de UAV sunt utilizate din ce în ce mai mult pentru a permite documentarea în timp real, înregistrarea automată a parametrilor de zbor și raportarea continuă a stării tehnice a echipamentelor. Astfel de soluții permit partajarea rapidă a datelor în cadrul echipei, precum și monitorizarea mai ușoară a tendințelor de defectare, planificarea inspecțiilor și analiza eficienței operaționale. Un element important al comunicării profesionale eficiente este și formarea adecvată a personalului în domeniul competențelor soft.

În plus față de pregătirea tehnică, operatorii și tehnicienii ar trebui să participe în mod regulat la cursuri de formare privind redactarea rapoartelor, pregătirea notelor tehnice, briefingurile înainte și după zbor și furnizarea de feedback adecvat. Aceste cursuri de formare permit standardizarea comunicării în cadrul echipei, elimină riscul de interpretare eronată și garantează că toate datele furnizate în documentație sunt clare, fără ambiguitate și conforme cu standardele. Integrarea instrumentelor digitale cu abilitățile de comunicare ale personalului creează un sistem coerent de schimb de informații care afectează în mod direct

calitatea serviciilor tehnice, siguranța operațională și transparența activităților întregii organizații.



DEZVOLTAREA COMPETENȚELOR PROFESIONALE ALE TEHNICIENILOR ELECTROMECHANICI PENTRU
ÎNTREȚINEREA ȘI REPARAREA UAV-URILOR
2023-1-TR01-KA220-VET-000151085



Co-funded by
the European Union

