



**UNIVERSITATEA “POLITEHNICĂ” DIN BUCUREȘTI**  
**ȘCOALA DOCTORALĂ din cadrul FACULTĂȚII DE**  
**INGINERIE INDUSTRIALĂ ȘI ROBOTICĂ**  
**Departamentul Roboți și Sisteme de Producție**

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

## **REZUMAT**

**CONTRIBUȚII PRIVIND UTILIZAREA**  
**ROBOȚILOR ÎN INSPECȚIA**  
**REZERVOARELOR DE COMBUSTIBIL ALE**  
**AERONAVELOR**

***Autor:***

***Ing. GĂINĂ (KHAN) MARIA-GIORGIANA***

***Conducător de doctorat:***

***Prof. dr. ing. OLARU ADRIAN***

<b>COMISIA DE DOCTORAT</b>			
Președinte	Prof. Dr. Ing. Popescu Diana	de la	Universitatea Politehnică București
Conducător de doctorat	Prof. Dr. Ing. Olaru Adrian	de la	Universitatea Politehnică București
Referent	Prof. Dr. Ing. Vlădăreanu Luige	de la	IMSAR – Academia Română
Referent	Prof. Dr. Ing. Rugescu Radu	de la	Universitatea Politehnică București
Referent	Prof. Dr. Ing. Alexandru Cătălin	de la	Universitatea Transilvania din Brașov

**BUCUREȘTI**  
**2022**

# Cuprins

(Paginarea este cea din teză)

<b>INTRODUCERE</b> .....	pag. 5
<b>CAPITOLUL 1</b>	
<b>1. CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND SIGURANȚA ÎN AERONAUTICĂ</b> .....	pag. 12
1.1. GENERALITĂȚI PRIVIND SIGURANȚA ZBORULUI ȘI PROTOCOALELE DE VERIFICARE .....	pag. 12
1.1.1. Descrierea unei aeronave Boeing 737-300 .....	pag. 24
1.1.2. Sisteme de siguranță, monitorizare și control .....	pag. 29
1.2. MENTENANȚA ȘI ROBOTIZAREA ÎN AERONAUTICĂ .....	pag. 38
1.2.1. Generalități privind mentenanța în aeronautică .....	pag. 38
1.2.2. Servicii în aeronautică .....	pag. 39
1.2.3. Utilizarea roboților în aeronautică .....	pag. 40
1.3. GENERALITĂȚI, PROTOCOALE ȘI INSPECȚIA REZERVOARELOR AERONAVELOR .....	pag. 42
1.3.1. Metoda de inspecție cu ajutorul roboților mobili .....	pag. 46
1.3.2. Metoda de inspecție Eelescopică/Endoscopică .....	pag. 48
1.4. ANALIZA CRITICĂ A STADIULUI VERIFICĂRII REZERVOARELOR AERONAVELOR .....	pag. 62
<b>CAPITOLUL 2</b>	
<b>2. CONSIDERAȚII GENERALE ASUPRA ROBOȚILOR MOBILI</b> .....	pag. 64
2.1. SCURT ISTORIC ROBOȚI .....	pag. 64
2.2. ROBOȚI MOBILI .....	pag. 68
2.2.1. Tipuri de roboți mobili .....	pag. 68
A. Roboți mobili cu roți. Roboți mobili cu șenile .....	pag. 69
B. Roboți mobili cuadrupezi (Roboți mobili cu patru picioare) .....	pag. 71
C. Roboți mobili hexapozi (Roboți mobili cu șase picioare) .....	pag. 73
2.2.2. Structura roboților mobili .....	pag. 75
A. Sistemul de acționare electrică .....	pag. 75
B. Sistemul de localizare .....	pag. 75
C. Sistemul de percepere a mediului și de ghidare .....	pag. 76
D. Sistemul de tratare a informațiilor și gestionare a sarcinilor .....	pag. 76
E. Sistemul de comandă și prelucrare a informațiilor .....	pag. 77
F. Sistemele senzoriale ale roboților mobili .....	pag. 77
a) Senzorii de legătură .....	pag. 78
b) Senzori cu infraroșii .....	pag. 79
c) Senzori ultrasonici .....	pag. 81
d) Senzori laser .....	pag. 82
e) Senzori piroelectrici .....	pag. 83
f) Senzori video .....	pag. 83
g) Senzori de stare internă .....	pag. 84
h) Roboții mobili și fuziunea datelor .....	pag. 85
2.3. CONSIDERAȚII GENERALE ASUPRA AUTOMATIZĂRII AEROSPAȚIALE .....	pag. 85

2.3.1.	Folosirea roboților mobili în automatizarea industriei aerospațiale .....	pag. 86
A.	Roboții mobili în industria de exploatare .....	pag. 86
B.	Roboții mobili în activitatea de mentenanță .....	pag. 86
C.	Roboții mobili în activitatea de siguranță și securitate .....	pag. 87

### CAPITOLUL 3

<b>3.</b>	<b>CONTRIBUȚII TEORETICE .....</b>	<b>pag. 88</b>
3.1.	SISTEMELE DE LOCOMOȚIE ALE ROBOTULUI MOBIL .....	pag. 88
3.1.1.	Sisteme de locomoție diferențial .....	pag. 89
3.1.2.	Sisteme de locomoție sincron .....	pag. 91
3.1.3.	Sistem de locomoție de tip tricicletă .....	pag. 91
3.1.4.	Sistemul de locomoție Ackerman .....	pag. 92
3.1.5.	Sistemul de locomoție cu picioare – robot hexapod .....	pag. 93
3.2.	APLICAȚIA AERONAUTICĂ ROBOTIZATĂ PROPUȘĂ .....	pag. 97
3.2.1.	Rezervorul de combustibil al avionului .....	pag. 97
3.2.2.	Posibile accidente/pericole în rezervorul de combustibil .....	pag. 98
3.2.3.	Etape premergătoare inspecției interne .....	pag. 99
3.2.4.	Condiții necesare pentru a intra în rezervorul de combustibil .....	pag. 101
3.2.5.	Planul de intervenție în caz de urgență .....	pag. 104
3.2.6.	Alegerea tipului de robot mobil pentru inspecția internă a rezervorului de combustibil al avionului .....	pag. 105
3.3.	ROBOTUL HEXAPOD-AFTRH (AIRCRAFT FUEL TANK ROBOT HEXAPOD) UTILIZAT ÎN CERCETARE .....	pag. 106
3.3.1.	Descrierea robotului și principalele caracteristici tehnice .....	pag. 106
3.3.2.	Principalele componente ale robotului .....	pag. 111
3.3.3.	Analiza cinematică a robotului (Legăturile articulațiilor picioarelor robotului mobil hexapod AFTRH) .....	pag. 117
A.	Cinematica directă picior .....	pag. 121
B.	Cinematica directă hexapod .....	pag. 129
C.	Cinematica inversă picior .....	pag. 132
3.3.4.	Simularea sistemului de locomoție .....	pag. 134
3.3.5.	Arhitectura sistemului electronic al robotului .....	pag. 138
3.3.6.	Sistemul de control al servomotoarelor .....	pag. 139
A.	Impulsuri modulate în durată PWM (Pulse Width Modulation) .....	pag. 141
B.	Control în buclă deschisă .....	pag. 144
C.	Prezentarea controlerului utilizat SSC-32 .....	pag. 144
3.3.7.	Unitățile principale de procesare .....	pag. 146
3.3.8.	Sistemele de comunicare .....	pag. 147
3.3.9.	Inteligența artificială și autonomia .....	pag. 147
3.3.10.	Stabilitatea și controlul .....	pag. 157
3.3.11.	Stabilitatea sistemului de mobilitate. Poligonul de sprijin .....	pag. 160
3.3.12.	Mobilitatea robotului pe plan înclinat .....	pag. 160
3.3.13.	Tipuri de mișcări ale robotului .....	pag. 161
3.3.14.	Monitorizarea bateriilor .....	pag. 162
3.3.15.	Camerele video utilizate .....	pag. 165
3.3.16.	Schema logică de programare .....	pag. 169
3.3.17.	Descrierea structurii complete a aplicației și specificul programării ....	pag. 173

## CAPITOLUL 4

<b>4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE</b> .....	pag. 174
4.1. SINTEZA DE ANSAMBLU A APLICAȚIEI ROBOTIZATE ȘI TEHNOLOGIA DE INSPECȚIE A REZERVORULUI DE COMBUSTIBIL .....	pag. 174
4.1.1. Reguli generale de securitate în inspecția rezervoarelor de combustibil .....	pag. 174
A. Înainte de începerea inspecțiilor din rezervorul de combustibil al avionului .....	pag. 174
B. În timpul desfășurării inspecțiilor din rezervorul de combustibil al avionului .....	pag. 175
C. Reguli generale de securitate.....	pag. 176
4.1.2. Prezentarea ansamblului general al aplicației robotizate .....	pag. 176
4.1.3. Tehnologia de inspecție a rezervorului de combustibil .....	pag. 177
4.1.4. Siguranța în exploatare a aplicației .....	pag. 178
4.2. TESTAREA SISTEMULUI ROBOTIZAT .....	pag. 178
4.2.1. Testarea sistemului de detectare și evitare a obstacolelor .....	pag. 178
4.2.2. Testarea sistemului de navigație .....	pag. 179
4.2.3. Testarea sistemului de control al mișcării .....	pag. 179
4.2.4. Testarea software-ului utilizat .....	pag. 180
4.2.5. Testarea sistemului de achiziție imagine .....	pag. 182
4.2.6. Testarea sistemului de navigație .....	pag. 183
4.3. UTILIZAREA EXPERIMENTALĂ A ROBOTULUI HEXAPOD-AFTRH .	pag. 184
4.3.1. Aplicația inspecției robotizate la rezervorul avionului Boeing 737-300	pag. 184
4.3.2. Scopul, descrierea și aplicarea practică .....	pag. 188
4.3.3. Tehnologia de inspecție robotizată abordată .....	pag. 189
4.3.4. Prelucrarea imaginilor obținute de la robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. aflat în rezervorul de combustibil central al avionului Boeing 737-300 .....	pag. 197

## CAPITOLUL 5

<b>5. CONCLUZII ȘI PERSPECTIVE</b> .....	pag. 203
5.1. Concluzii .....	pag. 203
5.2. Perspective .....	pag. 209

<b>BIBLIOGRAFIE</b> .....	pag. 211
---------------------------	----------

### ANEXE

<b>A1</b> Lista abrevieri .....	pag. 216
<b>A2</b> Lista figurilor .....	pag. 220
<b>A3</b> Lista tabelelor .....	pag. 225
<b>A4</b> Recunoașterea formelor și interpretarea imaginilor obținute de la de robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. folosind programul MatLAB .....	pag. 226
<b>A5</b> Sarcinile de lucru privind inspecția rezervorului de combustibil central al avionului Boeing 737-300 folosind robotul mobil hexapod .....	pag. 229

**CUVINTE CHEIE:** roboți mobili, aeronave, inspecții, control, factor uman, rezervorul de combustibil al avionului, cinematica și dinamica robotului mobil, robot hexapod, aeronava Boeing 737-300.

**Notă:** Rezumatul păstrează formatul tezei de doctorat privind cuprinsul, numerotarea capitolelor, figurilor și indicațiilor bibliografice.

## *MULȚUMIRI*

*În urma finalizării lucrării științifice, doresc să adresez cuvinte de mulțumire sinceră coordonatorului tezei mele de doctorat, **domnului profesor universitar doctor OLARU ADRIAN** pentru modul în care m-a îndrumat, pentru răbdarea, suportul și sfaturile excepționale care m-au ajutat la elaborarea și finalizarea tezei.*

*Totodată aș dori să mulțumesc și familiei care m-a susținut pe toată perioada derulării stagiului de doctorat, mamei mele fiindu-i dedicată această reușită.*

# **CAPITOLUL I**

## **CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND SIGURANȚA ÎN AERONAUTICĂ**

### **1.1.GENERALITĂȚI PRIVIND SIGURANȚA ZBORULUI ȘI PROTOCOALE DE VERIFICARE**

Domeniul ingineriei aerospațiale este reprezentat printr-un ansamblu complex de cercetări științifice, care au ca finalitate aplicații prin care treptat, se proiectează, se produc și se valorifică mecanisme care poartă numele de aparate de zbor, avizate să zboare în spațiul cosmic.

Dacă ne întoarcem în trecut, în antichitate, se poate considera că primul “inginer” aerospațial a fost Icar, cel care, împreună cu tatăl său Dedal și-au construit aripi din pene, peste care au aplicat un strat de ceară și au încercat să zboare, eliberându-se în acest fel, din Labirintul regelui Minos, care se afla în insula Creta. Poate că tentativa ar fi reușit dacă, din cauza soarelui, nu s-ar fi topit ceara. În urma acestui proces, penelile s-au desprins, iar Icar și tatăl său au sfârșit tragic. Acest eveniment nefericit ar putea fi considerat ca fiind primul “accident aviatic” [12].

De-a lungul timpului au avut loc nenumărate incidente/accidente aviatice și se impunea, ca anumite instituții de specialitate să ia măsuri, pentru a evita asemenea episoade nedorite. În acest sens, s-au elaborat norme și proceduri de către Asociația Internațională de Transport Aerian (IATA- International Air Transport Association), alături de Agenția Uniunii Europene pentru Siguranța Aviației (AESA - European Aviation Safety Agency), norme pe care trebuie să le respecte toți participanții din traficul aerian [2].

IATA (International Air Transport Association- Asociația Internațională a Transportatorilor Aerieni) reprezintă așa cum derivă din titulatura sa, o asociație nonguvernamentală, care are ca activitate esențială, reglementarea și dezvoltarea industriei transportului aerian [2].

Obiectivele urmărite de către această organizație sunt:

→Să studieze, să soluționeze toate dificultățile/greutățile care se referă: la siguranța transportului aerian, la partea economică care decurge din această activitate, dar și să se asigure un transport regulat, pentru a satisface nevoile unui număr cât mai mare de potențiali pasageri.

→Să reprezinte o autoritate care să modereze dezbateri și consultații între membrii companiilor aeriene, dar și ai celorlalți participanți din domeniul aeronautic, în ceea ce privește industria aeronautică.

→Să colaboreze cu ICAO (International Civil Aviation Organization- Organizația Internațională a Aviației Civile) și în același timp, cu organizații internaționale, dar și asociații regionale ale transportatorilor aerieni.

→Să se reflecte ca o asociație a transportatorilor, care se conformează principiilor care privesc competiția și liberul schimb de mărfuri în transporturile aeriene.

#### **►ACTIVITATEA AERONAUTICĂ DIN ROMÂNIA**

Codul Aerian, actele normative interne din domeniul aeronautic care sunt elaborate în conformitate cu prevederile Convenției privind aviația civilă internațională, încheiată la 7 decembrie 1944, la Chicago, la care s-au adăugat amendamente și acorduri internaționale, la care România este parte, reprezintă reglementările care coordonează activitatea aeronautică civilă și spațiul aerian național din România [8, 2], [103].

Reglementările aeronautice din România sunt redactate, transmise și adoptate, supunându-se prevederilor legilor naționale în vigoare și în același timp, prevederilor

Convenției privind aviația civilă internațională, încheiată la Chicago, respectând standardele și practicile recomandate în anexele acestei convenții, dar și prevederile tuturor convențiilor și acordurilor internaționale din care face parte România, asigurându-se în acest fel un caracter unitar, coerent și modern acțiunii de redactare și de dezvoltare a cadrului național cu privire la reglementările aeronautice române.

Conform cu prevederile Codului Aerian și pentru a reglementa domeniul aviației civile, Ministerul Transporturilor și Infrastructurii (MTI), având calitatea de autoritate de stat, emite sau autorizează organe competente pentru a elabora și/sau a emite reglementări aeronautice civile, care au caracter obligatoriu pentru toți participanții la activitățile aeronautice civile și conexe, precum și pentru instituții/persoane care își propun, sau desfășoară activități în perimetrele/zonele supuse servituților de aeronautică civilă [8, 103].

Autoritatea de stat, reprezentată de Ministerul transporturilor și Infrastructurii (MTI) delegă atribuții către Autoritatea Aeronautică Civilă Română pentru a se asigura că sunt respectate reglementările aeronautice civile naționale, de către toate persoanele fizice și juridice, atât de către cetățenii români, dar și de cei străini; de către instituții/persoane care furnizează produse sau servicii pentru aviația civilă din România, îndeplinind în acest fel, funcția de control a siguranței din domeniul aviației civile [8, 103].

### ► **VERIFICĂRI DE ÎNTREȚINERE ALE AERONAVEI**

Pentru a avea un nivel ridicat de exploatare a aeronavelor și pentru a le menține în siguranță, pentru a efectua lucrări eficiente și punctuale, dar și pentru a menține valoarea celor mai importante active, de capital ale unei companii aeriene este esențial să se întocmească un program strict de întreținere [1].

Industria aeronautică este un domeniu de activitate care este foarte bine reglementată, în sensul că atât companiile aeriene care transportă pasageri, dar și cele cargo trebuie să respecte programe de inspecție continuă, pe care le stabilesc autoritățile aeriene. În SUA, programele de întreținere și reparații ale aeronavelor sunt monitorizate de către Administrația Federală a Aviației (FAA - Federal Aviation Administration). FAA solicită fiecărei companii aeriene sau operator să stabilească un program de întreținere continuă de navigabilitate (CAMP – Continuous Airworthiness Maintenance Program). Programul CAMP prezintă inspecții de rutină, dar și detaliată ale aeronavelor pe care le dețin. Verificările sunt esențiale, deoarece mențin aeronavele în siguranță și pot fi operaționale. Programul de întreținere și reparații trebuie să fie riguros, pentru a avea siguranța că pasagerii vor ajunge în diferite destinații în siguranță, într-o aeronavă care a fost verificată înainte de a părăsi incinta unui aeroport [1,3,4].

În timp ce FAA monitorizează respectarea reglementărilor și a programelor, companiile aeriene sau operatorii aerieni trebuie să se asigure că lucrările de întreținere sunt realizate conform indicațiilor CAMP. Pentru aeronave sunt stabilite controale la diferite intervale de timp, cunoscute sub numele de verificări de întreținere a liniei de zbor și alte patru tipuri de întreținere cu un nivel ridicat, de tipul A, B, C și cel mai elaborat, de tip D [1].

Obiectivul acestor verificări este acela de a efectua întreținerea de rutină și de non-rutină a unei aeronave. Întreținerea include: programarea reparații problemelor cunoscute; înlocuirea unor componente/piese după un anumit timp de utilizare, după un număr de cicluri de zbor/timp calendaristic; repararea defectelor descoperite anterior și efectuarea reparațiilor programate.

Trebuie menționat faptul că toate aeronavele sunt diferite și de aceea pot impune verificări de întreținere în momente diferite.

În afară de Administrația Federală a Aviației (FAA- Federal Aviation Administration), mai sunt și alte autorități de navigabilitate, cum ar fi: Transport Canada, sau Agenția Europeană de Siguranță a Aviației (EASA) [4].

## ► **VERIFICĂRI DE ÎNTREȚINERE EFECTUATE LA LINIE (LINE MAINTENANCE CHECKS)**

Acest tip de întreținere este cel mai frecvent, cunoscut sub numele de întreținere post-zbor, sau înainte de zbor și care se realizează noaptea, fiind unul dintre cele mai tipice tipuri de întreținere a unei aeronave. Verificările de linie necesită un număr minim de instrumente folosite în acest proces și au loc în incinta aeroportului [1,3,4].

Verificările de linie sunt cele mai frecvente, deoarece acoperă inspecțiile de bază. În timpul verificărilor de linie, în mod obișnuit, personalul tehnic care asigură întreținerea aeronavei, vor avea în vedere următoarele componente: roțile, frânele și nivelul de lichid – ulei, hidraulică.

Verificarea de linie asigură o aeronavă în ceea ce privește siguranța zborului, dar și a îndeplinirii planurilor de zbor programate de către compania aeriană pe care o deservește. Întreținerea aeronavelor la linie se realizează la fiecare 24, până la 60 de ore din timpul de zbor acumulat, dar depinde de operatorul aeronavei [1,3,4].

## ► **COMITETUL DE REVIZUIRE A ÎNTREȚINERII (MAINTENANCE REVIEW BOARD)**

Aeronavele moderne din categoria de transport dispun de programe de întreținere derivată din MSG-3 (Maintenance Steering Group – 3rd Task Force – Grupul 3 pentru coordonarea întreținerii) care aplică parametri necesari fiecărei cerințe de întreținere, cum ar fi orele sau ciclurile de zbor, într-un interval de timp determinat. Intervalele dintre verificări bazate pe parametri de utilizare, permit o flexibilitate mai mare în proiectarea programului de întreținere și reparații, optimizând, astfel exploatarea în timp îndelungat a aeronavei, dar și reducând timpul cât se află inactivă, la sol [3].

## ► **INSPECȚII VIZUALE (VISUAL INSPECTIONS)**

Inspecțiile vizuale ale aeronavelor sunt proceduri pentru întreținerea, reparațiile și verificările din aviație (MRO – Maintenance Repair Overhaul), pentru a asigura navigabilitatea aeronavelor. Peste 75% dintre inspecțiile efectuate pe aeronavele mari pentru transport sunt vizuale. Este un proces care se realizează cu ochiul liber, pentru a inspecta și detecta daune sau anomalii care ar putea reprezenta un risc pentru funcționarea sigură a aeronavei. Așadar, metoda de bază prin care se realizează o evaluare a stării generale a unei aeronave și a elementelor sale componente, este inspecția vizuală, care trebuie să fie exactă și competentă și în acest fel, să fie raportate defectele, erorile de fabricație sau oboseala componentelor [1,3,4].

În funcție de gradul lor de dificultate și de eficacitate, inspecțiile vizuale ale aeronavelor pot fi împărțite în următoarele categorii:

→ **Inspecția generală (walk-around inspection)** este o verificare prin care se estimează starea generală a aeronavei și concordanța acesteia cu standardele de siguranță. Această inspecție este efectuată de către un inspector, care se deplasează pe pistă, sub avion și în jurul avionului, după cum arată și denumirea acestui tip de verificare a aeronavei [1].

→ **Inspecția vizuală generală (General visual inspection)** se realizează în mod curent, pentru a descoperi, a localiza și a evalua eventuale daune, defecțiuni sau anomalii. Pentru majoritatea suprafețelor, inspectorul folosește echipamente suplimentare, cum ar fi scări speciale care se ridică la nivelul avionului [1].

Examinarea vizuală poate fi în zone interioare, sau exterioare aeronavei, poate să vizeze un element, sau un ansamblu, pentru a detecta daune evidente, defecțiuni sau alte nereguli. Acest tip de inspecție se face de la distanță, cu excepția cazului în care se menționează altfel. Pentru a mări accesul vizual asupra suprafețelor care trebuie inspectate se



folosește o oglindă. Inspecția vizuală generală se face în următoarele condiții de iluminare: lumina zilei, dacă inspecția se realizează ziua; lumina primită de la hangar, care în anumite condiții impune îndepărtarea panourilor de acces, sau a ușilor; lumina provenită de la o lanternă sau o lampă de iluminat. De asemenea, într-o inspecție sunt necesare standuri, scări sau platforme pentru ca inspectorul să se poată apropia de zona pe care trebuie să o verifice.

→**Inspecția vizuală detaliată (Detailed visual inspection)** constă într-o examinare accentuată a unei anumite zone, a unor componente sau sisteme, pentru a detecta daune posibile. Sunt necesare anumite instrumente: lanterne, oglinzi, lentile pentru mărire, instrumente de măsurare specifice etc.. De asemenea, se impune curățarea suprafețelor care sunt supuse inspecției și de proceduri elaborate pentru acces [1].

### ► **PRINCIPII DE ÎNTREȚINERE**

Activitățile de întreținere includ, în general, sarcinile necesare pentru a reface sau întreține sistemele, componentele și structurile unei aeronave într-o stare de navigabilitate. Întreținerea unei aeronave este indispensabilă, din trei motive principale [1,3,4, 71]:

A.Operațional – Aeronava trebuie menținută într-o stare de service și fiabilă, astfel încât să genereze venituri.

B.Menținerea valorii – Aeronava trebuie să-și păstreze valoarea din momentul achiziționării, prin reducerea deteriorării fizice, pe tot parcursul utilizării sale.

C.Comandamente de reglementare – Condiția și întreținerea aeronavelor comerciale sunt reglementate de către autoritățile aeronautice din jurisdicția în care a fost înregistrată aeronava. Comandamentele stabilesc standarde pentru reparații, revizii periodice și modificări, impunând proprietarului sau operatorului să stabilească un program de întreținere și inspecție a navigabilității, care să fie efectuat de către persoane autorizate și care să elibereze un certificat de navigabilitate.

### ► **SARCINI DE ÎNTREȚINERE**

Sarcinile de întreținere ale aeronavelor se pot clasifica, după cum urmează [1,3,4]:

→**Hard-time (timp încărcat/greu)** – este un proces principal de întreținere, în cadrul căruia trebuie eliminat un element din service, înainte sau la o oră specific programată. Verificarea cadrelor și revizia trenului de aterizare sunt considerate ca fiind evenimente dificile.

→**On-Condition (OC) (Condiționat)** – un proces de întreținere limitat, la componentele prin care se poate stabili menținerea navigabilității, prin verificări vizuale, măsurători, teste sau mijloace, care să se realizeze fără o inspecție sau revizuire. Aceste controale trebuie efectuate în termenele înscrise în programul de întreținere aprobat de către un operator.

Toleranțele la performanță, dar și limitările la deteriorare ale fiecărei componente sunt descrise în Manualele de întreținere ale aeronavei. Criteriile suplimentare aplicate pentru a determina condiția unei componente, constau în competența de a inspecta o zonă în totalitate structurală, pentru a depista coroziune, fără dezasamblarea piesei.

## **1.2. MENTENANȚA ȘI ROBOTIZAREA ÎN AERONAUTICĂ**

### **1.2.1. Generalități privind mentenanța în aeronautică**

Întreținerea aeronavelor impune programe prin care trebuie să se asigure menținerea navigabilității acestora, prin inspecția, revizuirea, înlocuirea, repararea defecțiunilor și realizarea modificărilor, în conformitate cu directivele de navigabilitate (fig. 1.21) [3].



**Fig. 1.21** – Întreținerea unei aeronave aflate în incinta unui hangar [3]

Au fost formulate mai multe definiții despre ceea ce numim întreținerea aeronavelor [3,4]:

→“Acțiuni necesare pentru a determina starea unui element, care implică restaurarea și menținerea acestuia într-o stare funcțională, inclusiv, repararea, revizia, modificarea și inspecția” (World Airlines Technical Operation Glossary).

→“Întreținerea este o acțiune necesară pentru a susține, sau a restabili integritatea și performanța unei aeronave” (Hessburg, 2001).

→“Întreținerea este procesul prin care se asigură faptul că un sistem își îndeplinește continuu funcția pentru care a fost proiectat, la nivelul său de fiabilitate și siguranță” (Kinnison și Siddiqui, 2013).

Pentru a se asigura o funcționare în siguranță și corectă, întreținerea aeronavelor este reglementată în conformitate cu standardele internaționale, care sunt stabilite de International Civil Aviation Organization (Organizația Aviației Civile Internaționale - ICAO). Standardele ICAO sunt puse în aplicare de către autoritățile de navigabilitate locale, care la rândul lor, reglementează sarcinile de reparații, întreținere și inspecții. Aceste sarcini sunt realizate de către personal tehnic autorizat.

În general, în aviația civilă, întreținerea aeronavelor se face după un program, care impune lucrări de reparații și întreținere după un anumit timp de utilizare.

La finalizarea unei sarcini de întreținere, persoana autorizată de către autoritatea națională de navigabilitate, va semna un document care să ateste faptul că întreținerea a fost efectuată în conformitate cu normele de navigabilitate în vigoare. Pentru aeronavele certificate, întreținerea este realizată de către un inginer sau tehnician de întreținere, iar pentru aeronavele care aparțin amatorilor, întreținerea este realizată de către proprietar, sau de către constructorul aeronavei. După ce sunt realizate anumite tipuri de întreținere, se emite un certificat de punere în funcțiune (CRS – Certificate Release to Service).

### **1.2.3. Utilizarea roboților în aeronautică**

În industria aerospațială, un loc primordial îl ocupă automatizarea. Având o producție mare a produselor, dar și foarte multe comenzi de onorat, roboții industriali pot reduce substanțial costurile de producție, dar și durata de fabricare a acestora. Deși industria aeronautică folosea metode clasice în procesul de producție, în ultimul timp, folosește aplicații robotizate și automatizări pe scară largă [22, 115].

Deși rolul roboticii în procesul tehnologic de producție al produselor aerospațiale este foarte important, nu are o reprezentare la fel de mare, ca în domeniul auto. Roboții sunt folosiți la fabricarea motoarelor pentru aeronave, dar în același timp, și pentru alte activități

mai elaborate, cum ar fi forarea, vopsirea etc. . Roboții au capacitatea de a poziționa în mod repetat componente aerospațiale foarte mari, cu un grad ridicat de precizie.

Directorul tehnic al Grupului de Robotică Motoman de la Yaskawa America Inc. (Miamisburg, Ohio), Erik Nieves spune că: “Roboții tradiționali care au funcționat în ultimii 30 de ani, atât de bine în Detroit, nu funcționează bine în Everett. Roboții de acum sunt mai riguroși și mai capabili, pentru că au ajuns la un nivel de performanță, indispensabil în aplicațiile aerospațiale” [22, 115].

În industria aerospațială s-a dezvoltat tehnologia roboticii industriale, iar unele dintre ele sunt foarte răspândite și profitabile [22, 115].

### **1) Testare și inspecție nedistructivă (*non-destructive testing and inspection - NDT*)**

În industria aeronautică nu sunt admise greșeli, iar inspecțiile au un rol critic în ceea ce privește producția unui produs fiabil. Inspecția robotizată cu ultrasunete este una dintre cele mai folosite aplicații în inspecțiile robotizate din industria aeronautică, în special pentru a detecta defecțiunile componentelor compozite de formă neregulată.

Inspecția nedistructivă cuprinde:

- Inspecția cu ultrasunete – Ultrasonic Inspection (TTU/PAUT);
- Raze X – X Ray;
- Forfecare – Shearography;
- NDT (non-destructive testing) Eddy Current (fig. 1.22).



**Fig. 1.22** – Robot industrial-braț-articulat folosit în NDT [22]

### **2) Găurirea și fixarea robotică**

O multitudine de activități din industria aeronautică presupun folosirea roboților pentru aplicații de găurire și fixare (fig. 1.23), datorită vitezei și preciziei cu care execută aceste operații. Roboții industriali contribuie la dezvoltarea productivității, a găurilor pilot, forare și alezare [22].



**Fig. 1.23** – Robot industrial-braț-articulat folosit pentru găurire și fixare [22]

### 3) Sudarea robotizată

Pentru sudarea metalelor nobile, așa cum este titanul, sau aliajul de nichel folosit la motoare, roboții industriali garantează siguranța și calitatea produselor, prin repetabilitate și acuratețe (fig. 1.24). În industria aeronautică se folosesc pe scară largă piese compozite, dar se impune o sudare de precizie la motoare, turbine și alte piese metalice [22].



Fig. 1.24 – Robot industrial-braț-articulat folosit pentru sudură [22]

### 4) Etanșare și distribuire robotică

În mod obișnuit, în industria aeronautică, aplicațiile de etanșare și de distribuire, reprezentau procese lente și dificile, mai ales pentru piesele foarte mari. De aceea, s-a luat în considerare faptul că roboții pot fi proiectați, pentru a se deplasa pe distanțe de 40 de picioare (12,192 metri), sau mai mult și mai repede de cât un operator uman. Datorită preciziei cu care își desfășoară activitatea, roboții pot reduce cantitatea de rebuturi care rezultă în urma etanșării [22].

### 5) Plasarea automată a fibrelor (Automated fiber placement) (AFP)

Plasarea automată a fibrelor reprezintă un proces în care roboții industriali crează o combinație din mai multe straturi de benzi, din fibră de carbon, pe care îi așează într-o matriță. Datorită faptului că sunt ușoare și durabile, piesele compozite sunt folosite pe scară largă în industria aeronautică, dar și roboții industriali pentru AFP.

Aplicațiile robotizate prezentate sunt cele mai comune, dar și cele mai folosite în industria aeronautică [22].

## CAPITOLUL 2

### CONSIDERAȚII GENERALE ASUPRA ROBOȚILOR MOBILI

#### 2.1 SCURT ISTORIC ROBOȚI

Termenul de robot provine din limba slavă și anume, de la “rabot” care înseamnă muncă (de la “rabotnik” – lucrător). Scriitorul ceh Karl Čapek folosește pentru prima dată cuvântul robot în anul 1923, în piesa lui de teatru “Roboții universali ai lui Rosum”, denumind în acest fel personaje artificiale integrate în această operă, care a devenit celebră. Renumitul savant american Isaac Asimov, profesor la Universitatea din Columbia, care era preocupat în special de astrologie și viitorologie, a inițiat cele trei legi ale roboticii, la începutul anilor '40, legi care au rămas de actualitate. În acest fel, Isaac Asimov a definit o nouă știință, robotica, referindu-se la acele activități industriale care aveau ca obiectiv, producerea roboților. La fel ca multe alte încercări ale oamenilor, robotica s-a bucurat de o dezvoltare amplă. Robotul industrial nu a apărut într-o etapă a istoriei în care să putem vorbi



de o multitudine de realizări tehnice, dar terenul a fost pregătit, la sfârșitul celui de-al doilea război mondial. Prin urmare, primul robot industrial a fost realizat în anul 1961 [66, 74].

În 1961, în SUA, primul robot industrial, UNIMATE 001, își începea activitatea la uzinele General Motors din Ternsted, statul New Jersey. Rolul său era acela de a descărca o instalație de turnare sub presiune. Activitatea era apreciată ca fiind grea și periculoasă pentru un muncitor, în primul rând pentru că se desfășura sub o temperatură ridicată. Robotul reușise să acopere munca a doi muncitori pe parcursul celor opt ore de lucru pe zi. Odată instalat, primul robot a pus o serie de probleme nu numai de factură tehnică. Pentru mulți dintre cei care puteau decide în industria americană, robotul reprezenta un obiect din domeniul științifico – fantastic. Abia în anul 1975 firma producătoare a primului robot industrial din lume, Unimation Inc., realiza profit de pe urma producerii și comercializării roboților industriali. În acest moment primul robot este piesă de muzeu și se găsește la Smithsonian's Institute, tot în SUA. În 1966 Unimation Inc. a fost asimilată de către un grup de concurenți. Dar interesul pentru roboți a fost mult mai mare în Japonia decât cel stârnit la el acasă în SUA. În 1968 întreprinderea Kawasaki cumpăra primul robot industrial din Japonia, iar în 1971 lua ființă în această țară, Asociația Japoneză pentru Robotică Industrială (Japan Industrial Robot Association – JIRA), o asociație oficială având drept scop promovarea roboților în industrie (fig. 2.2). Printre membrii fondatori se regăseau marile întreprinderi japoneze Kawasaki, Mitsubishi, Fujitsu.



**Fig.2.2** – Primul robot japonez [64]

În 1973 la Universitatea din Stuttgart, din Germania, s-a publicat o carte cu titlul “Industrie Roboter” în care erau catalogate toate tipurile de roboți care au apărut, fără a aduce critici asupra performanțelor care le dețineau. Autorii au recenzat 71 de întreprinderi care produceau roboți industriali la acea vreme. În 1978 erau deja peste 200 de întreprinderi producătoare. Astăzi sunt mult mai multe, chiar dacă o serie de întreprinderi au fost nevoite să renunțe la producția de roboți, datorită concurenței puternice și a fluctuațiilor înregistrate în anumiți ani, în cererea de roboți industriali.

Scriitorul Isaac Asimov definește în literatura științifico-fantastică cele trei legi ale roboticii.

Cele trei legi fundamentale ale roboticii sunt [64]:

- 1. Un robot nu trebuie ca prin acțiunea sa să lezeze o ființă umană și nici să permită să fie lezată.**
- 2. Un robot trebuie să se supună ordinelor date lui de către ființele umane, cu excepția cazului când aceste ordine intră în conflict cu prima lege.**
- 3. Un robot trebuie să se protejeze pe sine însuși, cu excepția situațiilor când măsurile de protecție nu sunt în conflict cu primele două legi.**

O mare parte din creația lui Asimov este construită în jurul celor trei legi ale roboticii, pe care autorul le-a creat, pentru a stabili parametrii clari ai funcționării roboților, pentru a preveni ca aceștia să nu scape de sub control.

Acțiunea din romanele sale a determinat apariția unei legi suplimentare, intitulată Legea 0 (zero) și ea este formulată în modul următor:

*Un robot nu are voie să pricinuiască vreun rău umanității, sau prin neintervenție să permită ca umanitatea să fie pusă în pericol.*

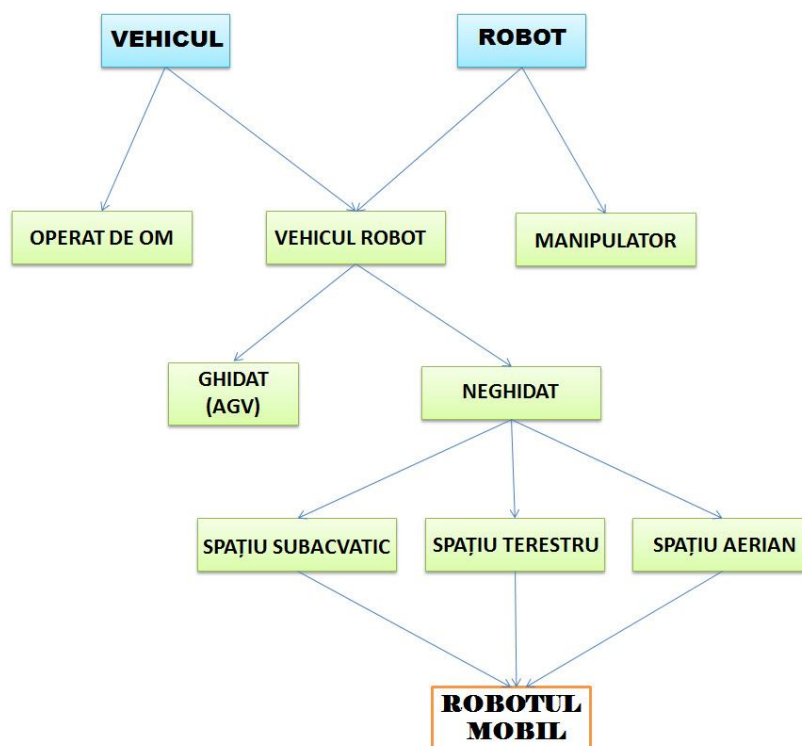
Ca urmare a Legii 0, toate celelalte legi se modifică corespunzător, **Legea 0 fiind legea supremă.**

## **CAPITOLUL 3**

### **CONTRIBUȚII TEORETICE**

#### **3.1. SISTEMELE DE LOCOMOȚIE ALE ROBOTULUI MOBIL**

Un vehicul robot, este un mecanism care dispune de posibilitatea de a fi programat pentru a se deplasa sub supraveghere, de către un operator și de a îndeplini o anumită atribuție indicată. În practică există o varietate destul de mare de vehicule robot. O clasificare minimală este descrisă în figura 3.1:



**Fig. 3.1** – Clasificarea vehiculelor – robot [80]

Din prima clasificare care se poate remarca din figura 3.1, derivă faptul că se face o deosebire între vehiculele ghidate, precum AVG-urile (Automated Guided Vehicles) și cele neghidate. Un vehicul ghidat este de regulă delimitat de un set de traiectorii predefinite în zona sa de funcționare. Aceste traiectorii pot fi trasate pe șine, linii optice, linii magnetice sau pot fi programate. Vehiculele ghidate, nu pot să abandoneze poziția deja determinată. A doua clasificare se poate remarca prin zona în care funcționează vehiculul robot. Vehiculele robot ghidate sunt terestre, cele neghidate pot acționa atât în mediu acvatic cât și spațial. Cele mai răspândite vehiculele robot sunt cele neghidate, iar acestea funcționează pe plan terestru [5, 6].

În domeniul de specialitate, vehiculele robot neghidate terestru cu un sistem locomotiv prevăzut cu roți, se mai numesc și – *roboți mobili* sau *vehicule robot mobile autonome* (*Wheeled Mobile Robots*) [80].

Un robot mobil are în componența sa o serie de elemente, unele de natură fizică (hardware), iar altele de natură logică (software). Din punct de vedere hardware, un robot mobil poate fi considerat ca o colecție de sisteme pentru:

→*LOCOMOȚIE* – regimul prin care robotul se deplasează în zona de lucru;

→*SISTEMUL SENZORIAL* – regimul prin care robotul evaluează însușirile sale și ale mediului înconjurător;

→*PROCESARE* – regimul prin care robotul apreciază și ia decizii în legătură cu informațiile primite de la sistemul senzorial;

→*COMUNICARE* - regimul prin care robotul comunică cu alți roboți sau cu un operator din mediu.

Locomoția este procesul prin care robotului mobil i se permite deplasarea prin mediu, prin acționarea anumitor forțe asupra sa. Studiul acțiunii acestor forțe se numește dinamică, iar studiul formulelor matematice asociate mișcării, fără a considera forțele fizice, se numește cinematică.

O tehnică de evaluare a poziției unui robot mobil în zona sa de lucru se numește *odometrie*. Odometria calculează distanța efectuată de un robot mobil în funcție de numărul de rotații în timp ce rulează. În cazul unei roți ideale, la fiecare rotație a acesteia se poate aprecia că robotul a realizat o distanță de  $2\pi r$ , unde  $r$  este raza roții respective. În practică însă, datorită forțelor de frecare și a alunecărilor, estimările sunt mai puțin precise.

Robotul mobil existent în plan are trei grade de libertate: o poziție  $(x, y)$  și o orientare  $\theta$  față de axa orizontală. Tripletul  $(x, y, \theta)$  mai poartă denumirea și de poziție relativă sau absolută și creează variabila efectivă de comandă a sistemului de locomoție.

Robotul mobil nu are un control integral asupra celor trei variabile. O serie de acțiuni complexe trebuie realizate pentru ca robotul mobil să ajungă dintr-o poziție în alta. În literatura de specialitate, poziția de start se notează cu  $(x_s, y_s, \theta_s)$ , iar poziția unde trebuie să ajungă robotul cu  $(x_g, y_g, \theta_g)$ .

În dotarea unor roboți mobili, pe lângă roțile motoare, se redescoperă fie roți adiționale, fie alte elemente de contact, care asigură suportul robotului. Roțile model-castor, sunt cele mai răspândite și de asemenea sunt roți care nu sunt considerate în ecuațiile cinematice ale robotului mobil. Sistemul de locomoție poate avea însușiri și elemente diferite.

În continuare voi prezenta unele dintre cele mai uzuale structuri de locomoție ale roboților mobili, pentru a stabili, care sistem este potrivit în vederea folosirii și implementării robotului mobil, în inspecțiile din interiorul rezervorului de combustibil al avionului, după cum urmează:

### 3.1.1. Sisteme de locomoție diferențiale

Sistemele diferențiale reprezintă sistemele simple, fără conotații complexe, de locomoție întâlnite la un robot mobil. Un sistem diferențial este format din două roți montate pe un ax comun, controlate prin două motoare separate (vezi fig. 3.2).

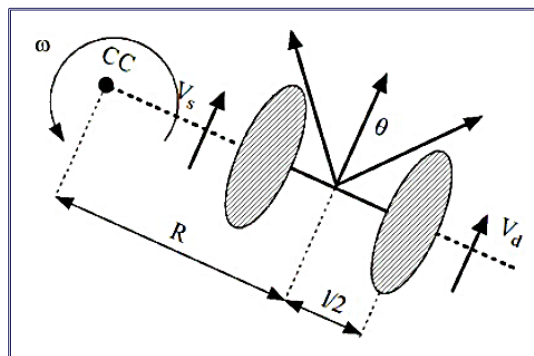


Fig. 3.2 – Sistem de locomoție diferențial [63]

Cinematica se preocupă de relațiile dintre caracteristicile de control și conduita ansamblului în spațiul în care se află. În cadrul unui sistem de locomoție diferențial, robotului i se impune să se rotească în jurul unui punct care se află pe axa comună a celor două roți motoare. Prin modificarea vitezelor celor două roți, traiectoria de rotație poate fi modificată. Vitezele celor două roți trebuie să respecte următoarea relație [63]:

$$\begin{cases} \omega \left( R + \frac{l}{2} \right) = v_d \\ \omega \left( R - \frac{l}{2} \right) = v_s \end{cases} \quad (3.1)$$

Unde  $v_s$  - reprezintă viteza roții din partea stângă,  $v_d$  - reprezintă viteza roții din partea dreaptă,  $R$  - este distanța dintre mijlocul axei celor două roți și centrul de curbură  $CC$ ,  $\omega$  - viteza unghiulară, iar  $l$  - distanța între cele două roți. Unghiul de rotație este reprezentat de  $\theta$ . Soluționarea sistemului de ecuații ale celor două roți, conduce la soluțiile:

$$R = \frac{l(v_d + v_s)}{2(v_d - v_s)}, \quad \omega = \frac{(v_d - v_s)}{l} \quad (3.2)$$

Un caz special îl constituie  $v_s = v_d$ . Distanța  $R$  devine în acest caz infinită, deci robotul se va deplasa într-o direcție dreaptă. Dacă  $v_s = -v_d$ , distanța  $R$  devine 0, iar robotul se va deplasa pe locul din jurul mijlocului axei  $l$ . Pentru orice valori ale lui  $v_s$  și  $v_d$ , robotul se va roti realizând un cerc de rază  $R$  față de centrul de curbură.

O mulțime de puncte diferite față de punctul de start se pot realiza prin selecționarea vitezelor  $v_s$  și  $v_d$ . Ecuațiile cinematice directe ale robotului, reprezintă stabilirea unui punct care poate fi însușit de robot prin manevrarea parametrilor de control.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega\delta t) & -\sin(\omega\delta t) & 0 \\ \sin(\omega\delta t) & \cos(\omega\delta t) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x - x_{CC} \\ y - y_{CC} \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_{CC} \\ y_{CC} \\ \omega\delta t \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Ecuația prezentată anterior prezintă mișcarea de rotație a robotului la distanța  $R$  dintre mijlocul axei celor două roți și centrul de curbură  $CC$  având viteza unghiulară  $\omega$ .

Prin integrarea ecuației de mai sus, pornind de la un set de condiții inițiale  $(x_0, y_0, \theta_0)$ , se poate stabili poziția robotului având un timp  $t$ , pe baza parametrilor de control  $v_1(t)$  și  $v_2(t)$ .

$$\begin{aligned} x(t) &= \frac{1}{2} \int_0^t [v_d(t) + v_s(t)] \cos[\theta(t)] dt \\ y(t) &= \frac{1}{2} \int_0^t [v_d(t) + v_s(t)] \sin[\theta(t)] dt \\ \theta(t) &= \frac{1}{2} \int_0^t [v_d(t) - v_s(t)] dt \end{aligned} \quad (3.4)$$

Ecuațiile cinematice inverse ale robotului mobil, stabilesc parametrii de comandă (vitezele  $v_s$  și  $v_d$ ) pentru a ajunge într-un anumit punct deja stabilit. Datorită faptului că soluționarea sistemului de ecuații de mai sus este anevoioasă, se recomandă crearea a două situații de mișcare a robotului cu sistem de locomoție diferențial.

În primul caz, dacă se egalează  $v_s$  cu  $v_d = v$ , ecuația de mai sus devine:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x + v \cos(\theta) \delta t \\ y + v \sin(\theta) \delta t \\ \theta \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

În al doilea caz, dacă se egalează  $v_s = -v_d = v$ , ecuația devine:



$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta + 2 \frac{v \delta t}{l} \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

Astfel, pentru a deplasa un robot din  $(x_s, y_s, \theta_s)$  în  $(x_g, y_g, \theta_g)$  cu  $\theta_g \neq \theta_s$ , se poate utiliza situația a doua de control:  $v_s = -v_d$  până în momentul în care  $\theta_g = \theta_s$ , continuând apoi prin deplasarea robotului, folosind prima situație de control  $v_s = v_d$ .

### 3.1.2. Sisteme sincrone de locomoție

Sistemul de locomoție sincron, este caracterizat prin faptul că, fiecare roată poate fi controlată separat. Configurațiile reprezentative ale sistemului de locomoție sincrone admit prezența a trei roți motoare poziționate pe capetele unui triunghi echilateral (vezi fig. 3.3).

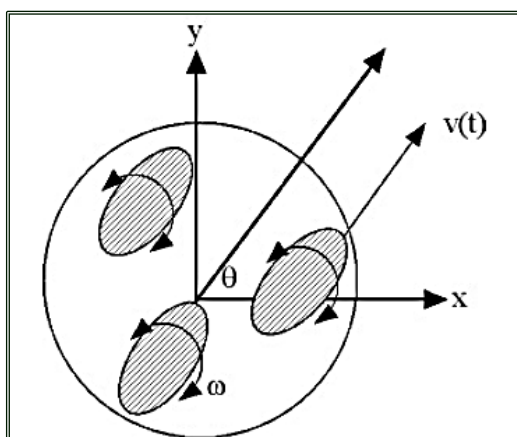


Fig. 3.3 – Sistem de locomoție sincron [63]

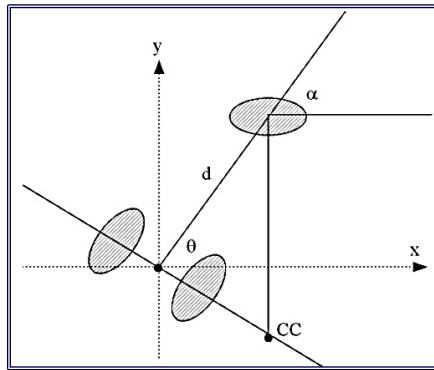
Pentru ca un model de robot să aibă un sistem de locomoție sincron, trebuie ca acesta să folosească două motoare, unul pentru a rula toate roțile într-o direcție, iar cel de-al doilea motor este pentru a se putea deplasa înainte sau înapoi. Datorită faptului că toate roțile rămân paralele, roboții cu locomoție sincronă rulează în jurul propriului centru de greutate.

Ecuțiile cinematice directe ale unui robot cu sistem de locomoție sincron, care rulează cu viteza unghiulară  $\omega$  și se deplasează cu viteza  $v$ , sunt:

$$\begin{aligned} x(t) &= \int_0^t v(t) \cos[\theta(t)] dt \\ y(t) &= \int_0^t v(t) \sin[\theta(t)] dt \\ \theta(t) &= \int_0^t \omega(t) dt \end{aligned} \quad (3.7)$$

### 3.1.3. Sistem de locomoție de tip tricicletă

Un sistem de locomoție de tip tricicletă este format din trei roți: două în spate, pasive și o roată în față; motoarele cu ajutorul cărora se pot preciza viteza de deplasare, dar și direcția vehiculului. Robotul de tip tricicletă este controlat prin unghiul  $\alpha$ , respectiv prin viteza de deplasare  $v$  (vezi fig. 3.4).



**Fig. 3.4** – Sistemul de locomoție de tip tricicletă [63]

Robotul va rula cu viteza unghiulară  $\omega$ , având distanță  $R$  pe direcția unei linii perpendiculare care trece prin roțile din spate, doar dacă roata din față se va poziționa la un unghi  $\alpha$ .  $R$  și  $\omega$  sunt date de ecuația:

$$R = d \cdot \tan\left(\frac{\pi}{2 - \alpha}\right), \quad \omega = \frac{v}{(d^2 + R^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (3.8)$$

Ca și în cazul sistemului de locomoție diferențial, ecuațiile cinematice inverse sunt destul de complicate. Având aceste argumente se consideră două cazuri aparte.

În primul caz:  $\alpha = 0$ , robotul se deplasează înainte, poziția lui fiind dată de:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x + v \cos(\theta) \delta t \\ y + v \sin(\theta) \delta t \\ \theta \end{pmatrix} \quad (3.9)$$

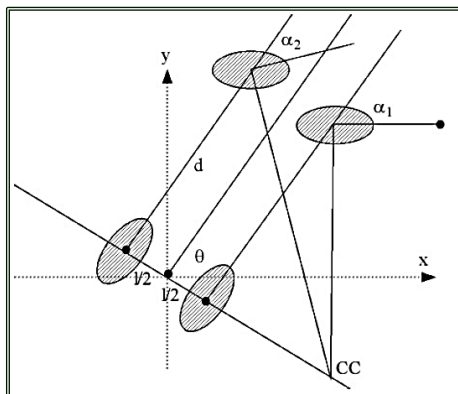
În cazul al doilea, dacă robotul are capacitatea de a manevra roata motoare, unghiul de +/- 90°, atunci robotul se poate întoarce pe loc, iar poziția va fi dată de:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta \pm \frac{v \delta t}{d} \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

Se pune accentul pe faptul că, dacă roata din față nu îndeplinește condiția de a se roti la unghiuri de +/- 90°, este practic irealizabil modul de a schimba orientarea robotului fără a-i schimba poziția.

### 3.1.4. Sistemul de locomoție Ackerman

Sistemele de locomoție Ackerman sunt prezente în structura automobilelor. În modelul Ackerman, roțile din față se pot roti individual, pentru a realiza schimbarea distanței față de centrul de curbură, acesta aflându-se pe o direcție perpendiculară care trece prin centrul roților din spate (vezi fig. 3.5).



**Fig. 3.5** – Sistem de locomoție Ackerman [63]

În sistemul de locomoție bazat pe modelul Ackerman, robotul rulează în apropierea unui punct care se află pe dreapta perpendiculară care traversează prin centrul roților de pe spate, la o distanță  $R$ , exprimată prin ecuația:

$$R + \frac{1}{2} = d \cdot \tan\left(\frac{\pi}{2} + \alpha_1\right) \quad (3.11)$$

Deoarece robotul trebuie să efectueze o deplasare de răsucire, se impune ca roata a doua motrică să se rotească cu un unghi de  $\alpha_2$ , unde:

$$R - \frac{1}{2} = d \cdot \tan\left(\frac{\pi}{2} + \alpha_2\right) \quad (3.12)$$

### 3.1.5. Sistemul de locomoție cu picioare – robot hexapod

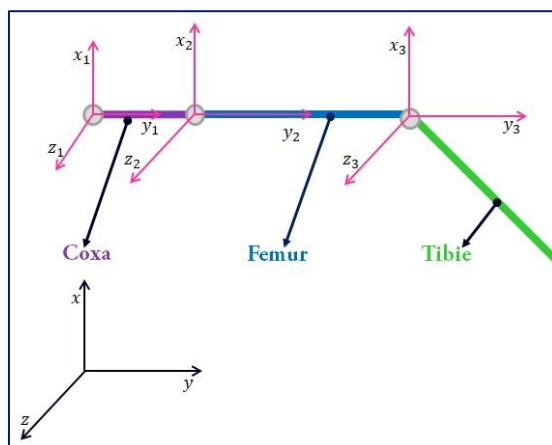
Problema principală a unui robot mobil autonom este aceea, de a duce la bun sfârșit controlul locomoției pe un teren accidental. Unele dintre structurile utilizate pentru a construi roboți mobili au fost obținute datorită inspirației din regnul animal, cum este cazul hexapodului. Mai mulți cercetători, s-au inspirat pentru cercetările lor, având ca model animalele patrupede sau insectele. În cazul roboților cu picioare, se poate spune că cel mai folosit este “BigDog”. Acesta are patru picioare și își desfășoară activitatea în cadrul aplicațiilor militare. De asemenea, se pot menționa roboții “RHex” (Moore, 2002) și “MELMANTIS” (Melmantis, 1997), care au șase picioare, denumiți în literatura modernă de specialitate ca fiind roboți hexapod. Primul, care se numește și “Robot Parkour”, prezintă un singur motor la nivelul membrilor, având capacitatea de a sări pe un teren solid și de la o extremitate, la alta. Robotul “MELMANTIS” are capacitatea de a folosi bare largi la extremitățile sale și de aceea, poate să execute o deplasare între picioare și brațul de manipulare. De asemenea, în 2006 cercetătorul Jianhua, face referire asupra roboților care au un număr mare de servomotoare pe fiecare dintre picioare, având 42 de grade de libertate.

Un robot cu picioare, are capacitatea de a se deplasa pe terenuri cu un grad crescut de dificultate, motiv pentru care roboții mobili cu roți nu au acest avantaj. Roboții cu picioare se pot deplasa peste alunecări de teren, pietriș, drumuri cu denivelări, obstacole sau peste terenuri unde nu există drumuri plane. Cu toate acestea, capacitatea de a controla un robot mobil hexapod, este o problemă complexă. Sistemul de locomoție angajat pe robot, costă în mișcarea simultană coordonată de șase picioare, fiecare cu câte trei grade de libertate (G.D.L.), robotul hexapod având în total 18 grade de libertate. Datorită faptului că, în timpul deplasării robotului se realizează interacțiunea cu un mediu nestructurat, este necesar să se utilizeze un sistem electronic senzorial pentru detectarea obstacolelor. Cu toate acestea, trebuie subliniat faptul că, problema principală o reprezintă coordonarea mișcării unghiulare a celor 18 articulații ale robotului în timpul deplasării, accentuând secvența pașilor. Această problemă se realizează implementând un sistem electronic dedicat arhitecturii distributive [78, 23].

#### a) Modelul cinematic al unui picior

Este important să se selecteze o configurație mecanică pentru piciorul robotului, care maximizează mișcarea și care impune un număr mic de restricții în locomoția acestuia. Pentru dimensionarea fiecărui picior al robotului hexapod s-a utilizat un lanț cinematic cu trei rotații sau articulații RRR. Modelul geometric direct pentru mecanismul fiecărui picior a fost formulat, folosind un sistem de referință mobil  $O_i(x_i, y_i, z_i)$  pentru fiecare articulație, cu  $i=1..2$  și un sistem de referință fix  $O_W(X_W, Y_W, Z_W)$ . Legăturile diferite ale picioarelor robotului au fost denumite astfel: coxa, femur și tibia (vezi fig. 3.6).

Sistemul de referință al piciorului robotului hexapod începe cu legătura zero, care este punctul de plecare al structurii robotului, unde piciorul este ancorat sau montat pe sol; legătura unu este coxa, legătura doi este femurul și legătura trei este tibia cu extremitatea finală ca bază [20, 21].



**Fig. 3.6** – Legătura dintre coxa, femur și tibie a piciorului robotului hexapod [34]

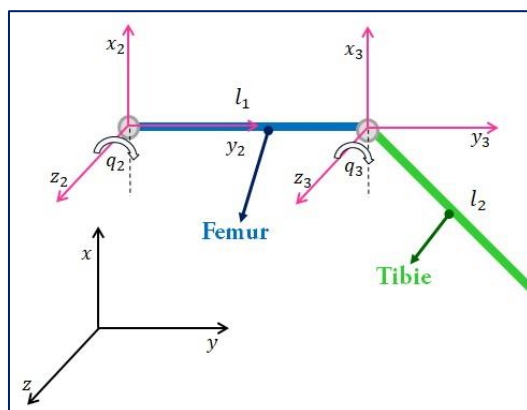
Pentru a calcula ecuația cinematică directă, se folosesc parametrii Denavit-Hartenberg (vezi fig. 3.7), cu modificări aduse de Craig (Ollero, 2007), care dau ca rezultat următoarele matrici de transformare [33]:

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} \cos(q_1) & -\sin(q_1) & 0 & 0 \\ \sin(q_1) & \cos(q_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} \cos(q_2) & -\sin(q_2) & 0 & l_1 \\ \sin(q_2) & \cos(q_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

$$T_{OT}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Unde:  $T_1^0, T_2^1, T_{OT}^2$  sunt matrici de transformare,  $q_1$  este unghiul femurului [grade],  $q_2$  este unghiul tibiei [grade],  $l_1$  este măsura femurului [cm],  $l_2$  măsura tibiei [cm].



**Fig. 3.7** - Parametrii Denavit-Hartenberg pentru un picior [34]

Pentru a găsi matricea de transformare  $T_{OT}^0$  se face produsul  $T_1^0 \cdot T_2^1 \cdot T_{OT}^2$ . Rezultatul obținut corespunde cu următoarele ecuații pentru cinematica directă, pentru fiecare picior al robotului hexapod. Astfel, coordonatele extremității finale al unui picior al robotului sunt:

$$x = l_1 \cos(q_1) + l_2 \cos(q_1 + q_2) \quad (3.14)$$

$$y = l_1 \sin(q_1) + l_2 \sin(q_1 + q_2)$$

În timp ce, cinematica diferențială directă relaționează vitezele articulațiilor cu vitezele în spațiul de lucru, prin intermediul matricei jacobiană a robotului, formula se obține cu ajutorul vitezelor, a cărei ecuație este [33,34]:

$$v = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{q}_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 0 \end{bmatrix} + R_2^0 \left( \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} l_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right) \quad (3.15)$$

$$R_2^0 = \begin{bmatrix} \cos(q_1 + q_2) & -\sin(q_1 + q_2) & 0 \\ \sin(q_1 + q_2) & \cos(q_1 + q_2) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Unde  $\vec{v}$  este vectorul vitezelor de translație a extremității tibiei [cm/s],  $\dot{q}_1$  și  $\dot{q}_2$  vitezele servomotoarelor [grade/s]. Dezvoltând ecuația (3.15), se poate obține un jacobian redus, care este [33, 34]:

$$J(q) = \begin{bmatrix} j_{11} & j_{12} \\ j_{21} & j_{22} \end{bmatrix}$$

$$j_{11} = -l_2 \sin(2q_1 + 2q_2) + l_1 \sin(q_1) + l_1 \sin(2q_1 + q_2)$$

$$j_{12} = -l_2 \sin(q_1 + q_2) \quad (3.16)$$

$$j_{21} = l_2 \cos(2q_1 + 2q_2) + l_1 \cos(q_1) + l_1 \cos(2q_1 + q_2)$$

$$j_{22} = l_2 \cos(q_1 + q_2)$$

Prin urmare, cinematica diferențială directă se definește ca :

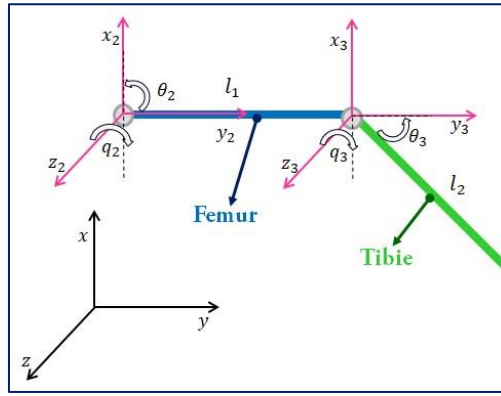
$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = J(q) \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

Unde  $\dot{x}$  și  $\dot{y}$  sunt vitezele translației [cm/s] a extremității tibiei cu planul.

#### b) Modelul cinematic invers al unui picior

Modelul cinematic invers, constă în a determina variabilele articulațiilor, plecând de la o poziție și orientare a cadrului situat la extremitatea finală. Obținând soluția acestei probleme este important să se specifice traiectoriile mișcării variabilelor articulațiilor pentru fiecare picior al robotului hexapod. Aceste traiectorii se obțin datorită transformării mișcării de la traiectoria atribuită în coordonatele de lucru (x, y, z), corespunzătoare cu mișcarea dorită a sistemului de referință, a extremității finale a piciorului. Prin urmare, obiectivul urmărit este de a obține cele două variabile ale articulației  $\theta_2$  și  $\theta_3$  și care corespund poziției dorite a cadrului extremității finale (vezi fig. 3.8) [33. 34].

În acest caz, nu se analizează orientarea sistemului de referință a extremității finale, pentru că suntem interesați de poziția sa. Aplicăm cinematica directă din ecuația (3.13) și considerăm următoarele limitări: toate articulațiile permit rotația doar în jurul unei axe, legăturile femurului și tibiei au mereu o rotație pe axe paralele; limitările fizice care pot fi determinate pentru fiecare unghi din articulație.



**Fig. 3.8** – Schema diagramei piciorului robotului hexapod pentru cinematica inversă [34]

În conformitate cu considerentele anterioare, modelul cinematic invers al unui picior al robotului hexapod are următoarea formă pentru articulațiile femurului și ale tibiei [33]:

$$q_1 = \arctan2(x, y) - \arctan2(l_2 - \sin(q_2), l_1 + l_2 \cos(q_2)) + \frac{\pi}{2} \quad (3.18)$$

$$q_2 = -\arccos\left(\frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_2}\right)$$

În timp ce, cinematica diferențială inversă leagă vitezele în spațiul de lucru cu vitezele articulației prin intermediul matricei jacobian a robotului hexapod, aceasta se poate exprima sub forma:

$$J^{-1}(q) = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix}$$

$$h_{11} = \frac{\cos(\theta_1 + \theta_2)}{l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_1 \sin(\theta_1) - l_1 \sin(\theta_2)}$$

$$h_{12} = -\frac{\sin(\theta_1 + \theta_2)}{l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_1 \sin(\theta_1) - l_1 \sin(\theta_2)}$$

$$h_{21} = -\frac{l_2 \cos(2\theta_1 + 2\theta_2) + l_1 \cos(\theta_1) + l_1 \cos(2\theta_1 + \theta_2)}{l_2^2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_1 \sin(\theta_1) - l_1 \sin(\theta_2)}$$

$$h_{22} = \frac{l_2 \sin(2\theta_1 + 2\theta_2) + l_1 \sin(\theta_1) + l_1 \sin(2\theta_1 + \theta_2)}{l_2^2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_1 \sin(\theta_1) - l_1 \sin(\theta_2)} \quad (3.19)$$

Precum și:

$$J^{-1}(q) = \begin{bmatrix} h_{34} & h_{45} \\ h_{56} & h_{66} \end{bmatrix}$$

$$h_{34} = \frac{\cos(\theta_1 + \theta_2)}{l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_1 \sin(\theta_1) - l_1 \sin(\theta_2)}$$

$$h_{45} = -\frac{\sin(\theta_1 + \theta_2)}{l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_1 \sin(\theta_1) - l_1 \sin(\theta_2)}$$

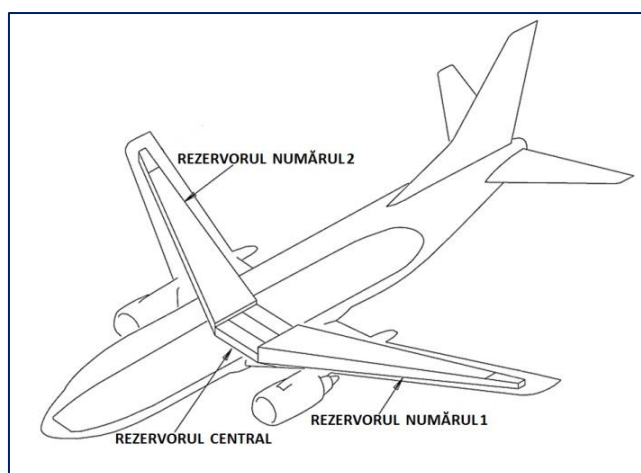
$$h_{56} = - \frac{l_2 \cos(2\theta_1 + 2\theta_2) + l_1 \cos(\theta_1) + l_1 \cos(2\theta_1 + \theta_2)}{l_2^2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_1 \sin(\theta_1) - l_1 \sin(\theta_2)}$$

$$h_{66} = \frac{l_2 \sin(2\theta_1 + 2\theta_2) + l_1 \sin(\theta_1) + l_1 \sin(2\theta_1 + \theta_2)}{l_2^2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_1 \sin(\theta_1) - l_1 \sin(\theta_2)}$$

## 3.2 APLICAȚIA AERONAUTICĂ ROBOTIZATĂ PROPUSĂ

### 3.2.1 Rezervorul de combustibil al avionului

Un număr mare de inspecții și modificări ale rezervoarelor de combustibil ale unui avion (fig. 3.9), precum și a sistemelor lor adiacente, trebuie să fie făcute în interiorul acestora. Îndeplinirea sarcinilor necesare de întreținere și reparație trebuie realizate de către un personal tehnic, care trebuie să intre fizic în interiorul rezervorului de combustibil, unde este expus la multe riscuri de mediu. Aceste potențiale riscuri includ: incendiul și explozia, produsele chimice toxice și iritante, deficitul de oxigen, precum și natura limitată a rezervorului de combustibil. Pentru a preveni leziunile asociate, organizațiile de întreținere, precum și operatorii trebuie să dezvolte proceduri specifice de identificare și control pentru a elimina pericolele [10, 43, 45].



**Fig. 3.9** – Rezervoarele de combustibil ale avionului [10]

Personalul tehnic de întreținere și reparații care pătrunde în rezervorul de combustibil al avionului pentru a realiza inspecții sau modificări, intră în relație strânsă cu diferite și multe potențiale pericole. Acestea sunt: expunerea la substanțe chimice toxice și inflamabile, condiții atmosferice cu potențial dăunător sănătății și configurația limitată a rezervorului. Operatorii și stațiile de reparație pot proteja personalul tehnic față de aceste pericole prin dezvoltarea unor proceduri de siguranță [10, 43, 45].

Pentru a preveni cu succes accidentele asociate, atât operatorii cât și personalul tehnic trebuie să țină cont de:

- posibile accidente/pericole în rezervorul de combustibil;
- pregătirea pentru a intra în rezervorul de combustibil;
- condițiile necesare intrării în rezervorul de combustibil;

→planul de intervenție în caz de urgență.

### 3.2.2. Posibile accidente/pericole în rezervorul de combustibil

Potențialul pericol pe care personalul tehnic îl poate experimenta este prezent în două forme: chimic și fizic.

#### a) *Chimic*

Pericolul cel mai frecvent întâlnit și recunoscut al rezervorului îl reprezintă combustibilul în sine. Combustibilul este un lichid inflamabil, care se poate aprinde în anumite condiții de mediu, temperatură și concentrație de vapori. Temperatura la care vaporii unui lichid inflamabil se pot “aprinde” este cunoscut sub numele de punct de aprindere. O concentrație critică de vapori este prezentă atunci când un vapor de combustibil ajunge la un nivel, cunoscut sub numele de limita inferioară de inflamabilitate (Lower Flammability Limit - LFL), sau limita de explozie inferioară (Lower Explosive Limit - LEL). Aceste limite sunt, de obicei, exprimate în procente raportate la volum. Combustibilii sub LFL/LEL (Lower Flammability Limit / Lower Explosive Limit) sunt considerați prea slabi pentru ardere. În cazul în care concentrația de vapori de combustibil depășește limita de inflamabilitate superioară sau limita superioară de explozie, combustibilul este considerat prea bogat pentru a arde. O concentrație de vapori de combustibil între aceste două limite se consideră a fi în gama sa de inflamabilitate, se va aprinde și va arde în contact cu o sursă de aprindere. Una dintre cele mai potrivite metode de a controla incendiile nedorite și exploziile, este aceea de a menține concentrația vaporilor de combustibil sub LFL/LEL (Lower Flammability Limit / Lower Explosive Limit), împiedicând astfel să ajungă în gama sa de inflamabilitate [10, 43, 45].

Alte produse chimice inflamabile pot fi, de asemenea, prezente în timpul efectuării lucrărilor de întreținere și reparație în rezervorul de combustibil. Produsele chimice cu un punct scăzut de aprindere (mai puțin de 70°F (21°C) ), cum ar fi metil etilic ketonă (methylethyl kenone – MEK), este mai periculoasă decât combustibilul din rezervor, de aceea și utilizarea ei trebuie să fie strict controlată [10, 45].

Produsele chimice, inclusiv combustibilul, pot prezenta de asemenea pericol toxic sau iritant. În concentrații mari, combustibilul împreună cu alte hidrocarburi pot afecta sistemul nervos, provocând dureri de cap, amețeli și lipsa de coordonare. Produsele chimice pot provoca probleme de sănătate cronice, care pot afecta ficatul și rinichii, iritații ale pielii, dacă nu sunt controlate [10,45].

#### b) *Fizic*

Caracteristicile fizice ale rezervorului de combustibil pot crea pericole de incendiu, explozie și toxicitate. Intrarea în acesta, se face, printr-un orificiu alungit care are mai puțin de 2 ft (0,6m) lungime și 1 ft (0,3 m) lățime. Deși dimensiunile interioare ale rezervoarelor de combustibil variază considerabil în comparație cu rezervorul central al aripii, care este cel mai mare, toate rezervoarele de combustibil au un volum limitat. O cantitate relativ mică a unui produs chimic din interiorul uneia dintre aceste spații închise, pot crea niveluri semnificative de inflamabilitate sau vapori toxici [10].

Rezervoarele aripii, au de obicei un singur orificiu de acces între fiecare cadru al secțiunii. Porțiunea interioară a rezervorului de combustibil, a aripii, oferă o claritate suficientă pentru personalul tehnic, acesta având acces de la brâu în sus, lasând picioarele în afara orificiului de acces. Rezervorul devine mai mic odată cu înaintarea spre exteriorul aripii, accesul reducându-se semnificativ, iar personalul tehnic poate intra doar cu capul și brațele. Rezervorul central poate fi suficient de mare astfel încât să permită personalului tehnic, accesul în totalitate [10].



### 3.2.3. Etape premergătoare inspecției interne

Înainte ca personalul tehnic să intre în rezervorul de combustibil al avionului trebuie parcurse mai multe etape. Acestea includ: împământarea și golirea rezervorului în conformitate cu practicile standard. Pentru a asigura condiții sigure pentru personalul tehnic, trebuie să fie efectuate trei etape finale, iar acestea sunt [10]:

- a) asigurarea ventilației adecvate;
- b) urmărirea tehnicilor de ventilație recomandate;
- c) monitorizarea și controlul în mod adecvat a aerului din rezervorul de combustibil.

#### **a) Asigurarea ventilației adecvate**

Ventilația este singura metodă pentru a controla focul, explozia și accidentele toxice din rezervorul de combustibil deschis. Mediul în care își desfășoară activitatea personalul tehnic devine mai sigur, atunci când pătrunde aer curat. Reîmprospătarea continuă a aerului din rezervorul de combustibil, împiedică creșterea nivelului concentrației vaporilor de combustibil, care pot ajunge la LFL (Lower Flammability Limit), prevenind un incendiu sau o explozie. De asemenea, aerul curat reduce concentrația de vapori ale substanțelor chimice, implicit, riscul unei expuneri toxice. Un volum mare de aer curat va împiedica apariția unei afecțiuni nedorite, cea a deficitului de oxigen [10].

Concentrația normală de oxigen atmosferic în aer este de 21%. Nivelul deficienței de oxigen (19,5% și mai jos) la o persoană se manifestă prin semne de “foame de oxigen”, având dureri de cap, greață, somnolență și tulburări de vorbire. La o concentrație mai scăzută de oxigen, apar reacții mai severe care pot cauza moartea prin asfixiere [10, 43, 45].

Apariția deficitului de oxigen este adesea provocată de deplasarea oxigenului în spațiu. De exemplu, pomparea azotului în rezervor pentru a preveni aprinderea focului, va determina scăderea concentrației de oxigen. Deficitul de oxigen poate determina oxidarea unui material, pentru că folosește oxigenul disponibil din spațiu. Oxidarea este o reacție chimică care combină oxigenul atmosferic cu un alt element, pentru a forma un oxid. Un exemplu este oxidul de fier, cunoscut sub numele de rugină [10].

#### **b) Supravegherea tehnicilor de ventilație recomandate**

Caracteristicile fizice ale rezervoarelor de combustibil ale avioanelor prezintă provocări, inevitabile în asigurarea unei ventilații adecvate. Acestea sunt reprezentate de acele spații unde nu intră aer proaspăt, care sunt denumite – “spații moarte” și de deschiderile mici între secțiunile rezervorului, care au capacitatea de a inhiba fluxul de aer care trebuie să pătrundă în interior. De aceea este necesară o planificare cât mai exactă pentru a realiza o ventilație adecvată.

Practica recomandată pentru realizarea ventilației rezervorului de combustibil este tehnica push-pull. În primul rând orificiul de acces din amonte trebuie să fie deschis pentru un “push” adecvat; apoi, pentru un “pull” trebuie deschis un orificiu din aval. În cele din urmă, o suflantă trebuie să fie amplasată la orificiul de împingere și aerul proaspăt să fie forțat să intre în rezervor [10].

#### **c) Monitorizarea aerului în rezervorul de combustibil**

Dacă rezervorul de combustibil nu este ventilat corespunzător, niciun membru al echipei tehnice nu poate să pătrundă în interiorul acestuia. Pentru a decide dacă mediul din rezervor este conform cu posibilitatea începerii inspecției acestuia, trebuie să fie verificate și monitorizate continuu, condițiile atmosferice, dar și concentrația de oxigen, concentrația de

vapori inflamabili și vapori toxici. Intrarea în rezervor nu ar trebui să fie permisă, cu excepția cazului în care concentrația de oxigen este între 19,5 și 23,5%. Concentrațiile sub 19,5% sunt considerate ca fiind – deficit de oxigen, iar concentrațiile mai mari de 23,5% sunt considerate ca fiind – oxigen îmbogățit și semnifică creșterea riscului de incendiu și de explozie. Dacă una dintre aceste condiții există, nu ar trebui permis în rezervor, accesul personalului tehnic [10].

### **3.2.4. Condiții necesare pentru a intra în rezervorul de combustibil**

Pentru a preveni posibilele accidente, care pot apărea în timpul inspecțiilor din interiorul rezervorului de combustibil, personalul tehnic trebuie să fie instruit și echipat, corespunzător. Echipa care execută inspecții în rezervorul de combustibil este alcătuită din minim trei persoane: monitorul (observatorul) operațiunii de inspecție a rezervorului, un însoțitor în așteptare și operatorul care va intra efectiv în rezervor. Monitorul (supraveghetorul) autorizează, supraveghează și coordonează toată activitatea din interiorul rezervorului, asigurându-se că sunt îndeplinite toate procedurile STANDARD. Însoțitorul în așteptare rămâne în afara rezervorului de combustibil și urmărește toată activitatea, din interiorul, dar și din jurul zonei în care se desfășoară inspecția. De asemenea, el este autorizat să decidă evacuarea tehnicianului din interiorul rezervorului, în momentul când constată că nu mai sunt îndeplinite condițiile de siguranță și pun în pericol viața acestuia. Tehnicianul care intră în rezervorul de combustibil trebuie să fie foarte bine pregătit profesional, pentru a rezolva cu succes problemele care apar în aceste situații. Trebuie să anticipeze și să recunoască posibilele pericole și să părăsească rezervorul, dacă condițiile de lucru se deteriorează [10, 43].

Fiecare membru al echipei desemnată pentru a efectua inspecții în interiorul rezervorului de combustibil al avionului, trebuie să respecte cu strictețe următoarele cerințe:

- a) să comunice permanent;
- b) să asigure protecție respiratorie tehnicianului din interiorul rezervorului;
- c) să monitorizeze calitatea aerului și a ventilației;
- d) să asigure echipamentul electric;
- e) să ia în considerare și să recunoască eventuale prejudicii, rezultate în urma inspecțiilor din rezervorul de combustibil.

#### **a) Comunicarea**

Comunicarea continuă prin voce, între tehnicianul din interiorul rezervorului de combustibil și însoțitorul în așteptare, trebuie menținută pe tot parcursul procesului de desfășurare a inspecției. O întrerupere a comunicării ar alerta însoțitorul în așteptare și ar lua măsurile care se impun, chiar părăsirea rezervorului [10].

#### **b) Protecție respiratorie**

În funcție de riscurile atmosferice prezente, personalul tehnic care intră în rezervor, trebuie să poartă mască de protecție. În cazul în care concentrația de oxigen este de cel puțin 19,5 % , atunci trebuie să poarte mască de oxigen [10].

#### **c) Monitorizarea aerului și ventilației**

Înainte unei inspecții, personalul tehnic trebuie să introducă aer proaspăt în rezervor. Dacă ventilația este întreruptă, atunci toată activitatea se suspendă, până la restabilirea ventilației. De asemenea, trebuie monitorizată condițiile atmosferice din rezervor, pe toată durata inspecției. În cazul în care nivelul concentrației de oxigen scade sub 19,5%, sau crește

până la 23,5%, atunci personalul tehnic, în special, cel din interiorul rezervorului, trebuie evacuat de urgență. Dacă nivelul de vapori inflamabili depășesc 10% din LFL (Lower Flammability Limit), sau concentrațiile de vapori toxici depășesc nivelul de expunere permis (permissible exposure level - PEL), atunci trebuie amânată inspecția în rezervor [10].

#### **d) Echipamentul electric**

Personalul tehnic care execută lucrări în interiorul rezervorului de combustibil folosește echipamente variate aflate sub tensiune, echipamente pentru teste, inclusiv iluminarea. Toate echipamentele acționate electric trebuie să prezinte siguranță și să fie adecvate, pentru a putea fi folosite într-un mediu cu potențial inflamabil. Sculele pneumatice ar trebui pornite doar cu aer comprimat, nu cu azot sau alte gaze inerte, care ar putea aprinde oxigenul din interiorul rezervorului [10].

#### **e) Consideranții asupra posibilelor daune provocate de către personalul tehnic**

În cazul în care personalul tehnic care execută inspecții în interiorul rezervorului de combustibil, nu a fost instruit corespunzător, sau unul dintre membrii nu are experiența necesară, pot apărea probleme serioase. Acestea constau în deteriorarea rezervorului. Suprafețele de contact ale orificiului de acces și capacele trebuie să fie protejate în timpul transportului în rezervor, astfel încât acestea să nu se zgârie, sau deterioreze în alt mod. De asemenea, componentele din interiorul rezervorului, cum ar fi: pompele de combustibil, senzori, cabluri, conducte, cadre etc. sunt vulnerabile la deteriorări, dacă sunt lovite sau dislocate într-un mod abuziv [10].

### **3.2.5. Planul de intervenție în caz de urgență**

Procedurile de lucru în interiorul rezervorului de combustibil trebuie să se refere și unui potențial caz de urgență. Dacă procedurile de intervenție nu sunt luate în considerare, o situație de urgență poate duce la rănirea gravă, sau chiar la moartea personalului tehnic. Operatorii și stațiile de reparație ar trebui să pregătească proceduri pentru personalul tehnic, astfel încât acesta să urmeze următoarele patru situații [10]:

- a) auto-evacuarea;
- b) evacuarea ordonată de către însoțitor;
- c) alarme asupra monitorizării aerului;
- d) operator de salvare în cazul în care nu mai există un răspuns din partea personalului tehnic aflat în interiorul rezervorului.

#### **a) Auto-evacuarea**

Personalul tehnic trebuie să fie capabil să recunoască pericolele la care se expune atunci când lucrează într-un rezervor de combustibil și ar trebui să părăsescă rezervorul atunci când condițiile se schimbă, inclusiv starea sa psihologică.

Munca în spații închise poate duce la claustrofobie care implică atacul de panică și incapacitatea de a acționa normal. Personalul tehnic care lucrează în rezervorul de combustibil, trebuie să fie pregătit temeinic, nu numai din punct de vedere profesional, ci și psihologic [10].

#### **b) Evacuarea dispusă de către însoțitor**

Însoțitorul în așteptare are obligația să supravegheze în permanență activitatea desfășurată de către operatorul tehnic din interiorul rezervorului, dar și din imediata apropiere a acestuia. Dacă observă că tehnicianul din interiorul rezervorului nu mai comunică cu cei din exterior, însoțitorul dispune evacuarea de urgență a acestuia. Însoțitorul este instruit, pentru a

recunoaște momentul când apare deficitul de oxigen, sau a expunerii la substanțe chimice toxice și de asemenea, trebuie să anticipeze comportamentul operatorului din rezervorul de combustibil. Prin urmare, însoțitorul în așteptare poate să hotărască evoluția evenimentelor, adică, în funcție de situație, să întrerupă activitatea de inspecție și s-o reia, în momentul când condițiile de mediu vor fi restabilite [10].

### **c) Alarmer asupra monitorizării aerului**

În cazul în care, instrumentele utilizate pentru monitorizarea condițiilor atmosferice din rezervor funcționează într-un mod alarmant, tehnicianul trebuie să evacueze imediat rezervorul. Condiția specifică care a provocat alarma, trebuie să fie identificată și corectată înainte de a reîncepe lucrările în interiorul rezervorului de combustibil [10].

### **d) Operator de salvare în cazul în care nu mai există un răspuns din partea personalului tehnic aflat în interiorul rezervorului**

Dacă pentru orice motiv, tehnicianul din rezervor nu mai răspunde, însoțitorul în așteptare ar trebui să inițieze imediat procedurile de salvare, inclusiv notificarea imediată a asistenței de urgență. Însoțitorul în așteptare trebuie să se asigure că rezervorul de combustibil este alimentat continuu cu aer curat. În acest sens, el trebuie să verifice toate echipamentele de ventilație, inclusiv cavitățile suplimentare, care rămân deschise pe toată perioada inspecției din rezervor.

Personalul tehnic care intră în rezervor, este instruit în mod special, pentru că trebuie să cunoască tehnici de salvare. De asemenea, operatorul care intră în rezervor este dotat cu echipament corespunzător, respectiv, cu un aparat de respirație, autonom.

În urma acestei analize care se referă la inspecția din rezervorul de combustibil al avionului, reiese faptul că mediul în care se execută lucrări este foarte dăunător pentru om. Prin urmare, această cercetare științifică are ca scop principal, rezolvarea acestei probleme, prin introducerea unui robot mobil. Acest robot nu trebuie privit a un obstacol în calea dezvoltării capacităților factorului uman și nici ca un substitut al acestuia, ci ca un ajutor. Prin această cercetare științifică doresc să subliniez faptul că, introducând un robot mobil în cadrul activităților de mentenanță, factorul uman este protejat de influența nefastă a factorilor de mediu. Acest lucru va fi demonstrat și dezvoltat în capitolele următoare [10].

## **3.2.6. Alegerea tipului de robot mobil pentru inspecția internă a rezervorului de combustibil al avionului**

Efectuarea unei inspecții în interiorul rezervorului de combustibil, impune un efort considerabil pentru personalul tehnic, specializat, care trebuie să intre în rezervor. Așa că, pentru mulți dintre cercetători, folosirea unui robot mobil a fost o soluție pentru a simplifica, chiar și parțial, această operație periculoasă pentru oameni.

Exploatarea unui robot într-un rezervor de combustibil, nu este întotdeauna, încununată cu succes. Așa cum am demonstrat, este extrem de periculos, să se introducă un robot într-un rezervor plin cu kerosen. Prin urmare, trebuie ca mai întâi, chiar dacă ocupă un interval de timp mai îndelungat, să se golească în totalitate rezervorul de kerosen și apoi să fie aerisit.

Alegerea tipului de robot pentru acest tip de inspecții, nu este tocmai un lucru ușor. Personal, am achiziționat un robot mobil octopod, pe care l-am introdus în rezervor. Robotul răspundea comenzilor mele, dar în momentul când trebuia să treacă peste cadrele din rezervor, se dezechilibra.

De la început, am gândit acest experiment, folosind robotul octopod - ROBUGTIX. L-am programat să inspecteze interiorul rezervorului, dar se pare că înălțimea cadrelor,

reprezentau o problemă. La un moment dat, într-o clipă de neatenție din partea mea, chiar s-a răsturnat.

Din acel moment, am început să fac calcule matematice și *am ajuns la concluzia că un robot hexapod reprezintă alegerea perfectă.*

Robotul mobil hexapod prezintă o siguranță mai mare în exploatare, pentru că poziționarea picioarelor sale, îl face stabil.

Experimentul a fost o reușită pentru că robotul s-a deplasat în tot rezervorul, a transmis imagini video din toate compartimentele acestuia, nu a prezentat probleme cu echilibrul, nu s-a supraîncălzit și nici nu a pierdut din energie.

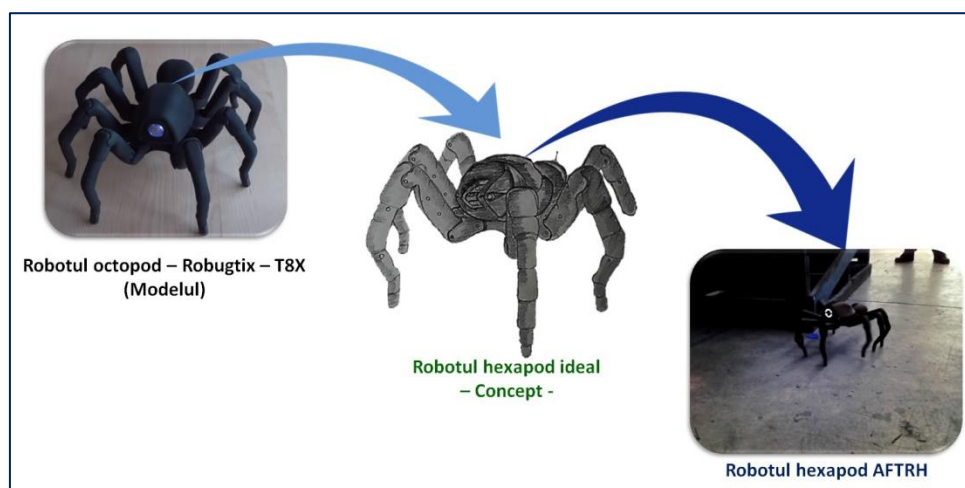
Am urmărit evoluția robotului mobil hexapod, atât în interiorul rezervorului, alături de el, cât și din exteriorul acestuia, pentru că, până la urmă, rolul său este acela de a efectua inspecții, fără intervenția umană. Am programat, am controlat și dirijat robotul din afara rezervorului.

Poate că și alți roboți mobili pot fi la fel de eficienți în inspecțiile din rezervoarele de combustibil, dar pentru că sunt și practicant al profesiei, nu numai teoretician, afirm că *robotul mobil hexapod este eficient în acest tip de inspecții.*

### 3.3. ROBOTUL HEXAPOD-AFTRH (AIRCRAFT FUEL TANK ROBOT HEXAPOD) UTILIZAT ÎN CERCETARE

#### 3.3.1. Descrierea robotului și principalele caracteristici tehnice

Robotul hexapod – A.F.T.R.H. (Aircraft Fuel Tank Robot Hexapod) (fig. 3.16) pe care l-am proiectat, este o unitate mobilă telecomandată de către un singur operator, de la un calculator sau un telefon inteligent, în vederea realizării inspecției, în interiorul rezervorului de combustibil, al avionului. Deoarece, interiorul rezervorului de combustibil al unui avion este un mediu foarte toxic pentru factorul uman, robotul hexapod AFTRH proiectat, efectuează cu succes aceste operații.



**Fig. 3.16** – Transformarea robotului hexapod A.F.T.R.H.(Aircraft Fuel Tank Robot Hexapod) pornind de la modelul robotului octopod Robugtix-T8X

Robotul hexapod - AFTRH pe care l-am proiectat, are o structură formată din:

- sistemul mecanic;
- sistemul de localizare;
- sistemul de percepere a mediului;

→ sistemul de tratare a informațiilor și gestionare a sarcinilor.

Singura sarcină a robotului hexapod este căutarea și urmărirea traiectoriei, în vederea inspectării unor suprafețe din interiorul rezervorului de combustibil al avionului. Funcționarea robotului AFTRH în rezervorul de combustibil este definită de agilitate și manevrabilitate. Agilitatea reprezintă capacitatea robotului hexapod de a trece obstacolele, iar manevrabilitatea este definită de suprafața minimă necesară pentru a o manevra.

Robotul hexapod AFTRH pe care l-am proiectat pentru inspecții, prezintă următoarele caracteristici:

→ gradul de mobilitate: permite urmărirea unei traiectorii variate ca formă, lungime și numărul punctelor de oprire;

→ viteza de deplasare: este cuprinsă între 1 – 10 m/s, după cum funcționează în rezervorul de combustibil, sau exteriorul acestuia, în cazul de față, hangarul;

→ autonomia: este dependentă de sursele proprii de energie (baterii de acumulare);

→ comanda: prin intermediul unui calculator sau telefon inteligent prin conexiunea la wi-fi.

Robotul hexapod AFTRH destinat proiectării va fi caracterizat ca un sistem mecanic de tip platformă mobilă, prevăzut cu un sistem de locomoție de tip picioare și senzori multipli, dotat cu camere video. Întregul sistem este proiectat în așa fel încât să se deplaseze cu un anumit grad de independență într-un mediu nefavorabil omului, prin verificarea unui sistem de calcul ierarhic, de tip multiprocesor.

Subsistemul senzorial va permite reactualizarea în timp real a referințelor privind configurația curentă a mediului înconjurător (interiorul rezervorului de combustibil) și recunoașterea condițiilor interne de funcționare, permițând astfel generarea și modificarea on-line a traiectoriilor de mișcare cât și a acțiunilor de lucru [78, 80]. Atribuțiile pe care le are de îndeplinit sistemul de control al robotului sunt:

→ achiziția de informații de la senzorii externi;

→ furnizarea datelor de la senzori având caracteristici diferite în interpretarea și procesarea acestor;

→ decizia, fundamentată pe pregătirea anterioară, recunoașterea comportamentelor anterioare și combinarea reacțiilor de acțiune pentru a construi comportamente agreate;

→ generarea comenzilor de deplasare în cadrul regimului de navigație, potrivit principiului “look / sense-and-move”, prin evitarea coliziunilor cu obstacole necunoscute în mișcare.

Adițional, sistemul de control trebuie să îndeplinească, în cazuri particulare, funcții suplimentare:

→ modelarea mediului, pe baza fuzionării informațiilor senzoriale diferite ca natură;

→ corecțiile de traiectorie către punctul / zona țintă;

→ răspunsul imediat la comenzi recepționate pe niveluri superioare;

→ echilibrarea erorilor și refacerea după un regim de eroare;

→ păstrarea unei comunicații on-line având informații de stare cu operatorul uman, prin intermediul unei interfețe om – robot.

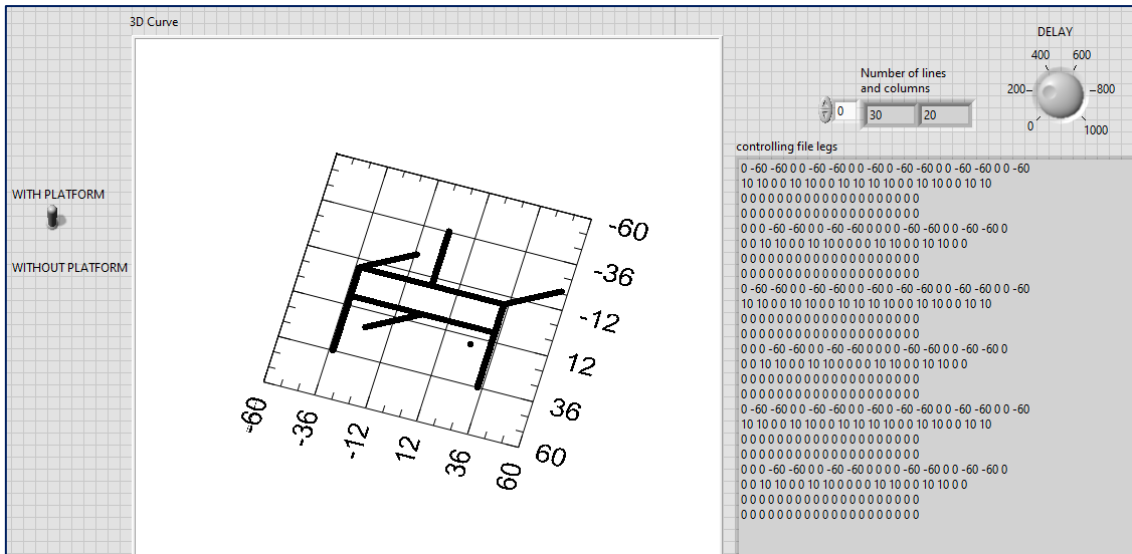
### **3.3.4. Simularea sistemului de locomoție**

Algoritmul pentru locomoție, implementat care duce la bun sfârșit navigația robotului este programat în limbajul de programare C++ pentru microcontroler ARM CORTEX M3. Mișcările de avans ale robotului hexapod sunt calculate în spațiul de lucru (x, y, z), prin intermediul traiectoriilor parabolice, în așa fel încât secvența pasului robotului se realizează prin intermediul controlului mișcării trepied, cu sarcina de a urmări traiectoria parabolică.

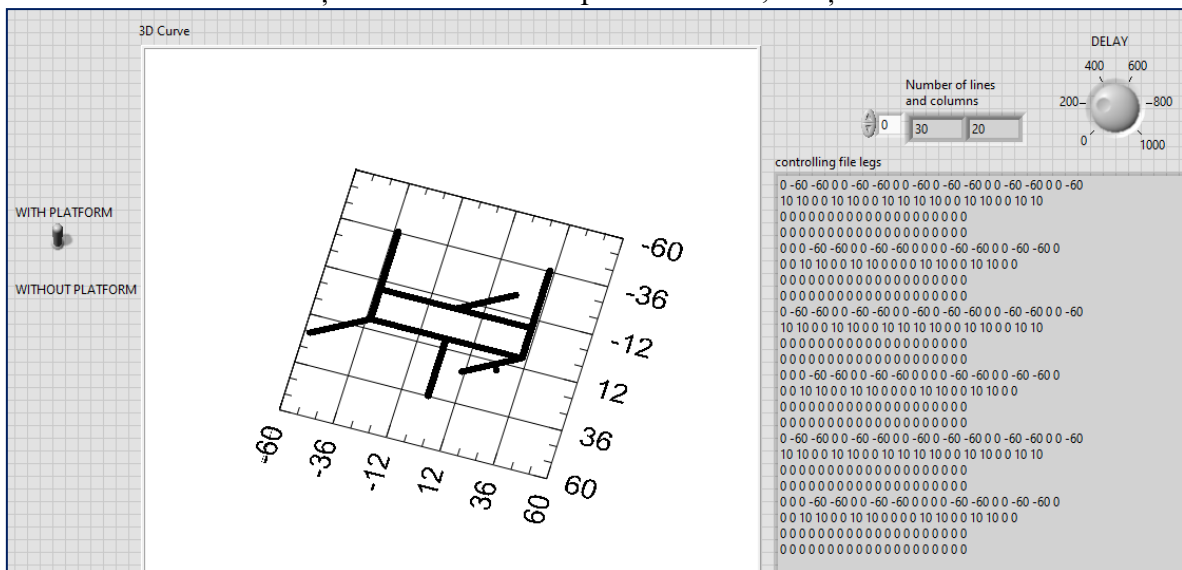
Robotul poate să avanseze frontal și lateral, dar și să realizeze mișcarea de rotație în jurul centrului său geometric. Pentru a realiza mișcări simultane cu trei picioare, se aplică conceptul cunoscut ca mersul cu trepied sau triunghi de echilibru, unde robotul hexapod își menține propriul echilibru, dacă acesta este susținut static, sau realizează o mișcare de avans

sau de rotație. Conceptul constă în a menține centrul de gravitație al robotului în interiorul suprafeței formate pentru tripod, sau triunghiul de echilibru.

Folosind programul LabView 14.0 am analizat parametri de viteză, deplasare unghiulară și poziția finală a picioarelor robotului, care sunt reprezentate în figurile 3.34 – 3.42.



**Fig. 3.34** - Panoul frontal care redă simularea deplasării robotului hexapod în schema 3D și fișierul cu comandă a picioarelor S2, D1 și D3



**Fig. 3.35** - Mișcarea picioarelor robotului mobil hexapod S1, S3 și D2





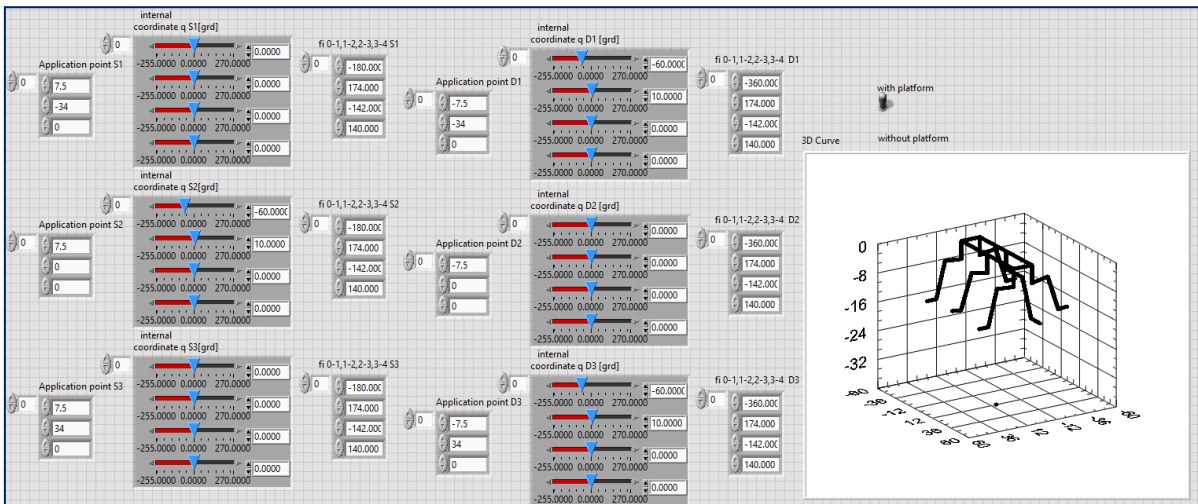


Fig. 3.39 - Panoul frontal al programului *SubVI* -LabView pentru robotul mobil hexapod, cu blocuri de control pentru fiecare picior al robotului

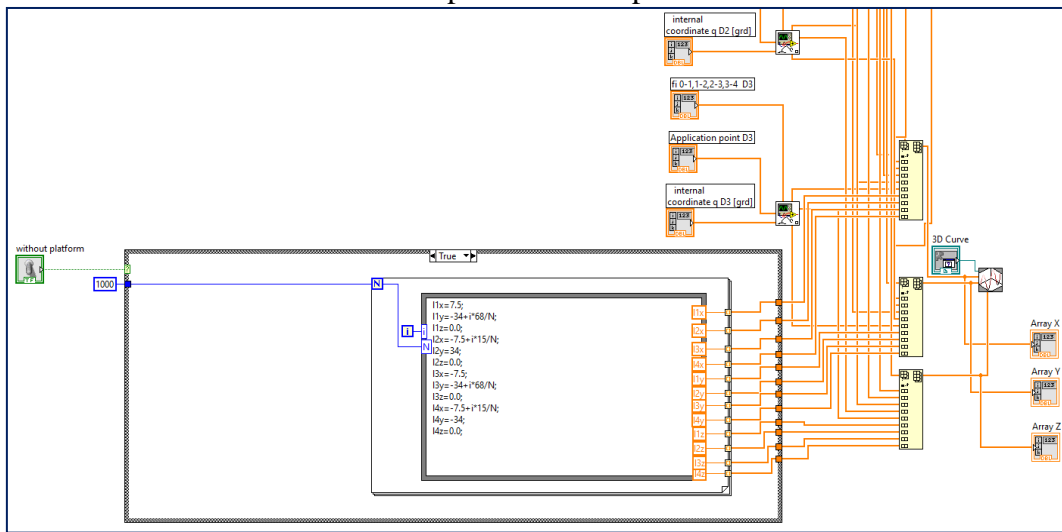


Fig. 3.40 - Parte a diagramei bloc a controlului robotului mobil hexapod în programul LabView

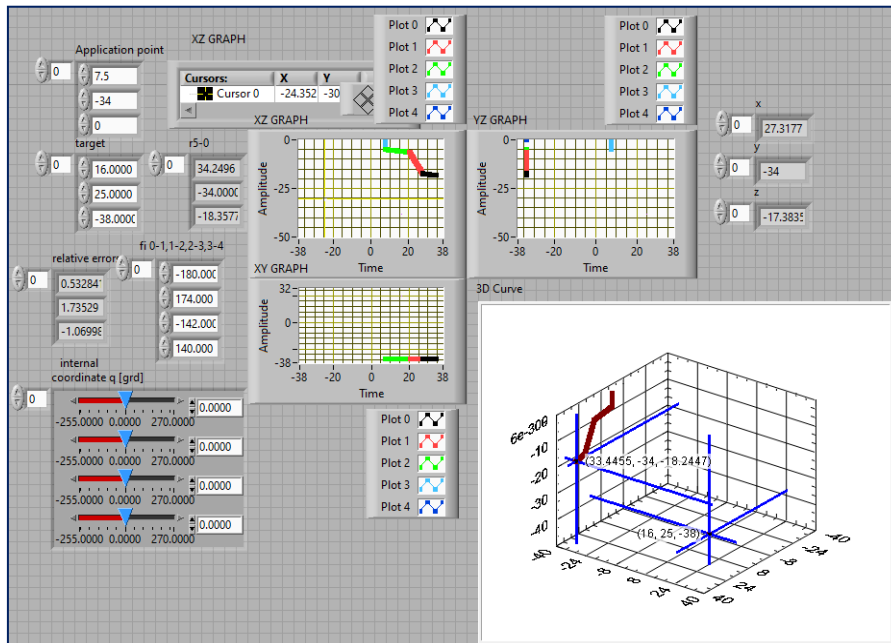
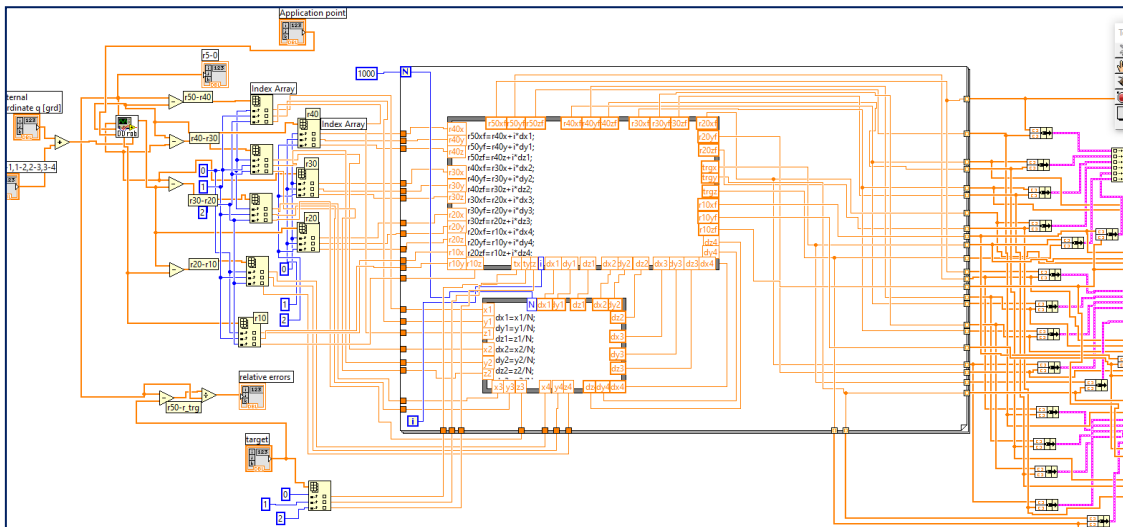


Fig. 3.41 - Panoul frontal pentru a simula piciorul unui robot



**Fig. 3.42** – Diagrama bloc în programul LabView a robotului mobil hexapod

Simularea deplasării robotului hexapod conține unele *SubVI*-s concepute pentru picioare și platformă mobilă fig. 3.34-3.36. Figura 3.37 conține diagrama bloc în programul LabView pentru a simula varianta de deplasare a robotului hexapod: mișcare simultană a trei picioare – picioarele S1 și S3 pe partea stângă a robotului și piciorul D2 de pe partea dreaptă și trei picioare care rămân pe sol, pentru a asigura stabilitatea acestuia. În figura 3.34 este prezentat fișierul animației acestui tip de mișcare. Aplicația pentru robotul hexapod constă dintr-o platformă care reprezintă un robot cu șase picioare, iar acestea au puncte de aplicare, de bază diferite, așa cum arată figura 3.35. Picioarele robotului se pot deplasa separat, la fel ca poziția de pornire a fiecăruia, care poate fi stabilită, de asemenea, separat. Diagrama bloc a comenzii robotului hexapod în programul LabView este prezentată în figura 3.36. *SubVI*-urile corespunzătoare unui picior al robotului, prezentate în figurile 3.37-3.42, au module de control pentru fiecare coordonată internă, dar și coordonate variabile, care au posibilitatea de a controla fiecare articulație, de la distanță. Aceste *SubVI*-uri asigură rezolvarea cinematicii directe (FK), dar și a cinematicii inverse (IK) a robotului mobil hexapod. În structura diagramei bloc, pentru fiecare comandă, există un model pentru FK, care indică noua poziție a fiecărei articulații, cât și animația acestuia.

## **CAPITOLUL 4**

### **CERCETARI EXPERIMENTALE**

#### **4.1. SINTEZA DE ANSAMBLU A APLICAȚIEI ROBOTIZATE ȘI TEHNOLOGIA DE INSPECȚIE A REZERVORULUI DE COMBUSTIBIL**

##### **4.1.1. Reguli generale de securitate în inspecția rezervoarelor de combustibil**

Normele de protecție a muncii în interiorul rezervorului de combustibil al unui avion se aplică: înainte de începerea inspecțiilor, în timpul desfășurării acestora și la finalul activităților.

Înainte de a intra în rezervorul de combustibil, echipa care va efectua inspecția trebuie să verifice condițiile de lucru: aerisirea rezervorului, cablurile electrice, tensiunea electrică, prezența unor obiecte care pot îngreuna activitatea, prezența persoanelor neautorizate și cel mai important, echipamentul de protecție a muncii.

În timpul desfășurării inspecțiilor, operatorul robotului, inspectorul B1.1 trebuie să asigure o legătură constantă cu acesta, fără a opera vreo modificare a programului software și fără să părăsească pupitrul de comandă.

Robotul mobil hexapod trebuie monitorizat continuu.

La finalul activității de inspecție, robotul va fi extras din interiorul rezervorului de combustibil de către personal calificat. Robotul nu va fi bruscat, lovit și va fi depus pe o suprafață plană, în condiții de mediu adecvate (temperatură constantă, nivel minim de umezeală).

#### A. Înainte de începerea inspecțiilor din rezervorul de combustibil al avionului

1. Activitățile unde se aplică tensiune electrică care poate fi periculoasă, sunt executate numai de către persoane calificate.
2. Planul de desfășurare a inspecțiilor din interiorul rezervorului de combustibil al avionului va fi dinainte stabilit, iar partenerii de lucru vor fi instruiți în prealabil.
3. Se vor îndepărta toate obiectele care îngreunează desfășurarea activității, sau care influențează negativ desfășurarea acestuia de pe locul unde se desfășoară activitatea de inspecție.
4. Părțile mecanice ale aparatelor care ar putea intra accidental sub tensiune vor fi legate la masă.
5. Racordurile dintre părțile componente ale montajului se vor face, în mod obligatoriu, prin cordoane perfect izolate și corespunzătoare tensiunilor folosite în acțiunea respectivă.
6. Datorită mediului foarte toxic din interiorul rezervorului de combustibil, care se datorează exclusiv kerosenului, acesta se va testa în vederea detectării calității acestuia. Datorită noilor tehnologii, testul pentru detectarea unor posibile contaminări durează doar 15 minute și se prezintă în figura 4.1.

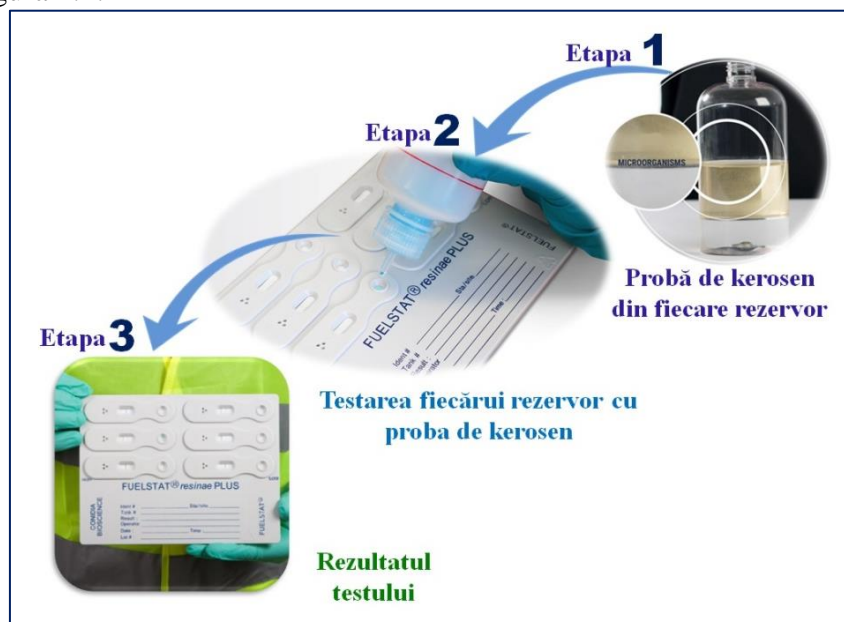


Fig. 4.1 – Modul de detectare a unui posibile contaminări a kerosenului

#### B. În timpul desfășurării inspecțiilor din rezervorul de combustibil al avionului

1. Operatorul robotului trebuie să rămână tot timpul la pupitrul de comandă.
2. În timpul acțiunii de inspecție, pe pupitrul de comandă, în afara părților componente ale aparatului, nu va fi amplasat nici un obiect care ar putea, accidental, afecta legătura dintre robot și operator.

3. Orice modificare în programul software al aparaturii se face numai după ce a fost întreruptă legătura de comandă cu robotul.
4. Nu se vor conecta legăturile dintre pupitrul de comandă aparatură și robot, decât după ce au fost verificate toate circuitele electrice.
5. Este interzisă părăsirea pupitrului de comandă.
6. Operatorul robotului trebuie să-și aleagă un loc sigur, poziționarea acestuia depinzând de conexiunea dintre sursă și robot.
7. Robotul trebuie coordonat cu precizie, fiecare mișcare făcută întâmplător, poate dezechilibra robotul.
8. Persoana specializată, inspectorul B1.1, trebuie să se asigure, că robotul este capabil să monitorizeze întreaga suprafață dorită.
9. În cazuri speciale, în care robotul nu mai poate să comunice informații operatorului, sau acesta nu mai funcționează corespunzător, robotul se închide, iar un alt operator va intra în rezervorul de combustibil al avionului.
10. Pentru a putea face posibilă acordarea primului ajutor, în cazul în care operatorului uman care se află în rezervorul de combustibil al avionului i s-a făcut rău, spațiul unde este amplasat avionul, trebuie dotat cu aparatură specială (trusă sanitară de prim ajutor mască de oxigen, garou, folii de azbest etc ).
11. În timpul acțiunii de inspecție, prioritatea de investigare a rezervorului de combustibil aparține inspectorului, apoi robotului.
12. Este obligatoriu ca inspectorul B1.1 să fie în permanentă legătură cu robotul. După investigații amănunțite și în urma analizei realizată de către robot, inspectorul poate observa toate detaliile care privesc rezervorul de combustibil și în acest fel, poate lua decizia de a intra, sau nu, în rezervor.
13. În mod obligatoriu, inspectorul trebuie să fie așezat la o distanță de 1,5 – 2 metri față de avion, pentru a putea manevra eficient, robotul.
14. Este necesar ca robotul să fie manevrat de către personal specializat.
15. Este necesar ca robotul să aibă funcția de navigație, având următoarele sub-funcții: reprezentarea spațiului de lucru, evitarea obstacolelor, funcția de localizare, planificarea mișcării, controlul mișcării.
16. Robotul trebuie să poată urca ușor cadrele .
17. Robotul trebuie să opereze într-o gamă variată de teren.
18. Robotul trebuie să fie ușor de întreținut și reparat.
19. Întreținerea și repararea robotului hexapod se efectuează în unități specializate, de către personal autorizat.

### **C. Reguli generale de securitate**

#### **Este cu desăvârșire interzis:**

1. Accesul personalului neautorizat în incinta hangarului, în interiorul rezervorului de combustibil al avionului, dar și de manevrabilitatea robotului;
2. Desfășurarea unor activități în rezervorul de combustibil al avionului, atunci când acesta este conectat la o sursă de tensiune;
3. Orice intervenție a personalului neautorizat la elementele de comandă și control al robotului;
4. Manevrabilitatea suplimentară decât cea prevăzută în manualul tehnic al robotului.

#### 4.1.2. Prezentarea ansamblului general al aplicației robotizate

Aplicația robotizată constă în folosirea unui robot mobil de tip hexapod, în interiorul rezervorului de combustibil al avionului, iar acesta trebuie să fie capabil să ducă la bun sfârșit inspecția pentru care a fost programat [48].

Robotul hexapod AFTRH l-am proiectat să depisteze fisuri și alte neconformități periculoase, din interiorul rezervorului de combustibil al avionului, punându-se accent pe simplitatea de operare și de întreținere. Robotul mobil hexapod AFTRH poate fi ghidat/controlat de un singur operator tehnic (vezi fig. 4.2).

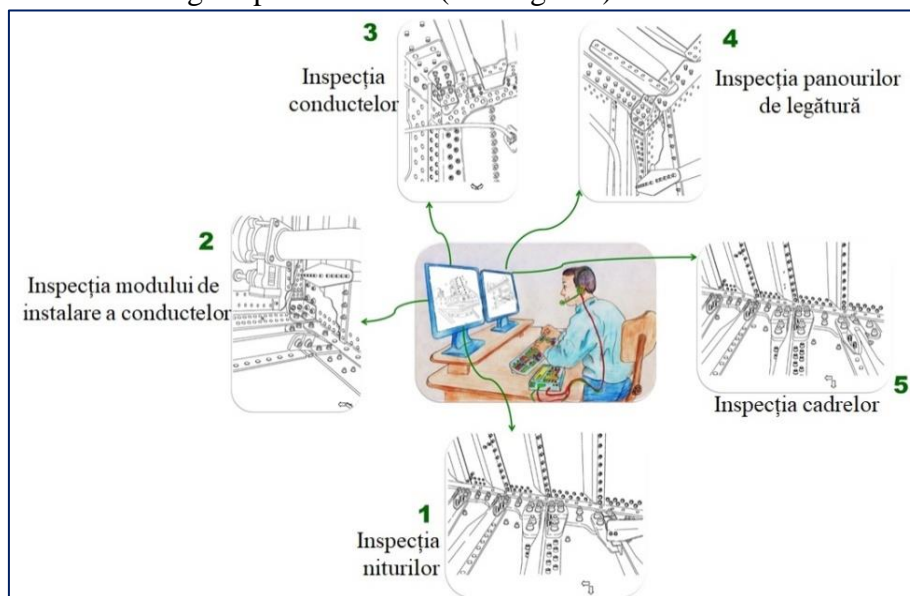


Fig. 4.2 – Inspecția realizată de către robotul mobil hexapod – AFTRH în rezervorul de combustibil al avionului

#### 4.1.3. Tehnologia de inspecție a rezervorului de combustibil

Tehnologia de inspecție a rezervorului de combustibil al avionului, utilizând un robot mobil hexapod pe care am creat-o, este una simplă. Aplicând sarcinile de lucru de la Boeing-Task Card ca model, am realizat pas cu pas, modul de inspecție a rezervorului de combustibil, folosind un robot mobil hexapod, după cum urmează:

→**Pasul 1:** Stabilirea zonei de inspectat din interiorul rezervorului de combustibil central al avionului Boeing 737-300;

→**Pasul 2:** Zona 1 – Inspecția niturilor;

Zona 2 – Inspecția modului de instalare a conductelor și integritatea acestora;

Zona 3 – Inspecția modului de instalare a șuruburilor pe panoul despărțitor.

→**Pasul 3:** Stabilirea modului de manipulare al robotului mobil hexapod: calculator, laptop sau smartphone;

→**Pasul 4:** Verificarea conexiunii wi-fi între operatorul uman și robot precum și programul robotului;

→**Pasul 5:** Verificarea acumulatorului robotului mobil hexapod;

→**Pasul 6:** Poziționarea robotului mobil hexapod în interiorul rezervorului de combustibil central al avionului Boeing 737-300;

→**Pasul 7:** Inspecția zonelor stabilite cu ajutorul robotului mobil hexapod și interpretarea datelor;

→**Pasul 8:** Sfârșitul inspecției – îndepărtarea robotului mobil hexapod precum și a tuturor obiectelor străine din interiorul rezervorului de combustibil central.



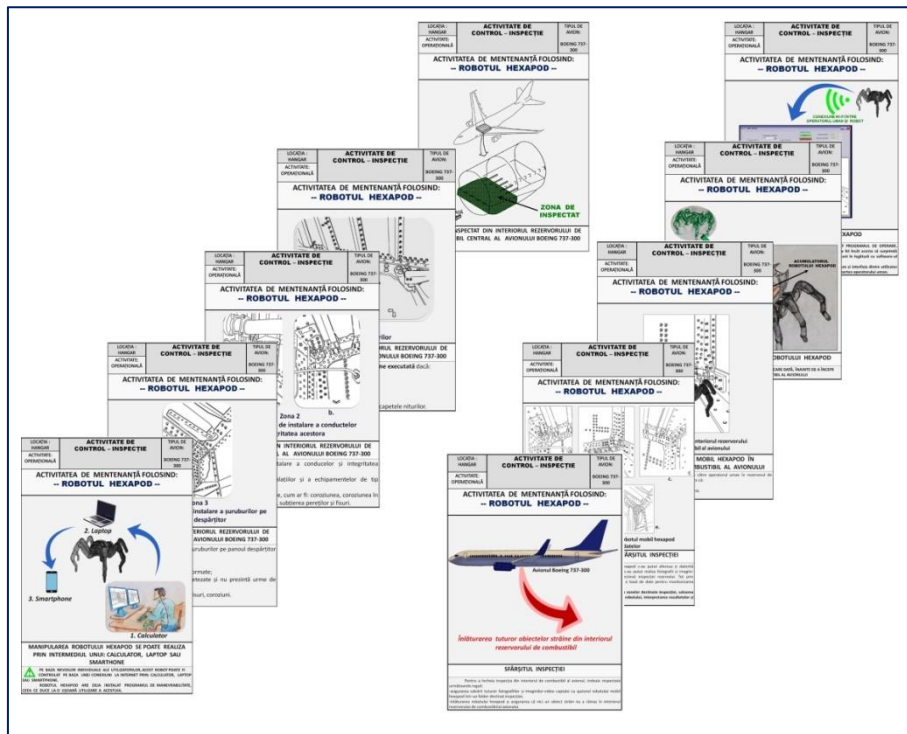


Fig. 4.3 - Fișele – Sarcinile de lucru privind inspecția rezervorului de combustibil central al avionului folosind robotul mobil hexapod

### 4.3. UTILIZAREA EXPERIMENTALĂ A ROBOTULUI HEXAPOD-AFTRH

#### 4.3.1. Aplicația inspecției robotizate în rezervorul avionului Boeing 737-300

Aplicația practică a fost realizată într-un hangar, pe un avion Boeing 737-300 (fig. 4.9), iar avionul se afla în control de tip C. Acest tip de control se desfășoară numai în incinta unui hangar, iar în timpul acestei verificări, majoritatea sistemelor și subsistemelor avionului sunt demontate, în vederea realizării unei inspecții și verificări detaliate, apoi se reasamblează și se testează pentru siguranța și certificarea continuității navigabilității [47].

Trebuie să precizez, că nu toate controalele de tip C includ și activitatea de inspecție a interiorului rezervorului de combustibil al avionului. În ceea ce privește aeronava Boeing 737-300 unde am realizat experimentul, am constatat că:

- rezervorul a fost supus unei inspecții, în urma unei lucrări anterioare;
- s-au realizat controale și monitorizări ale rezervorului, constând în îndepărtarea unor nituri vechi și montarea unora noi.

Această lucrare s-a realizat, pentru a preveni scurgerea de combustibil.

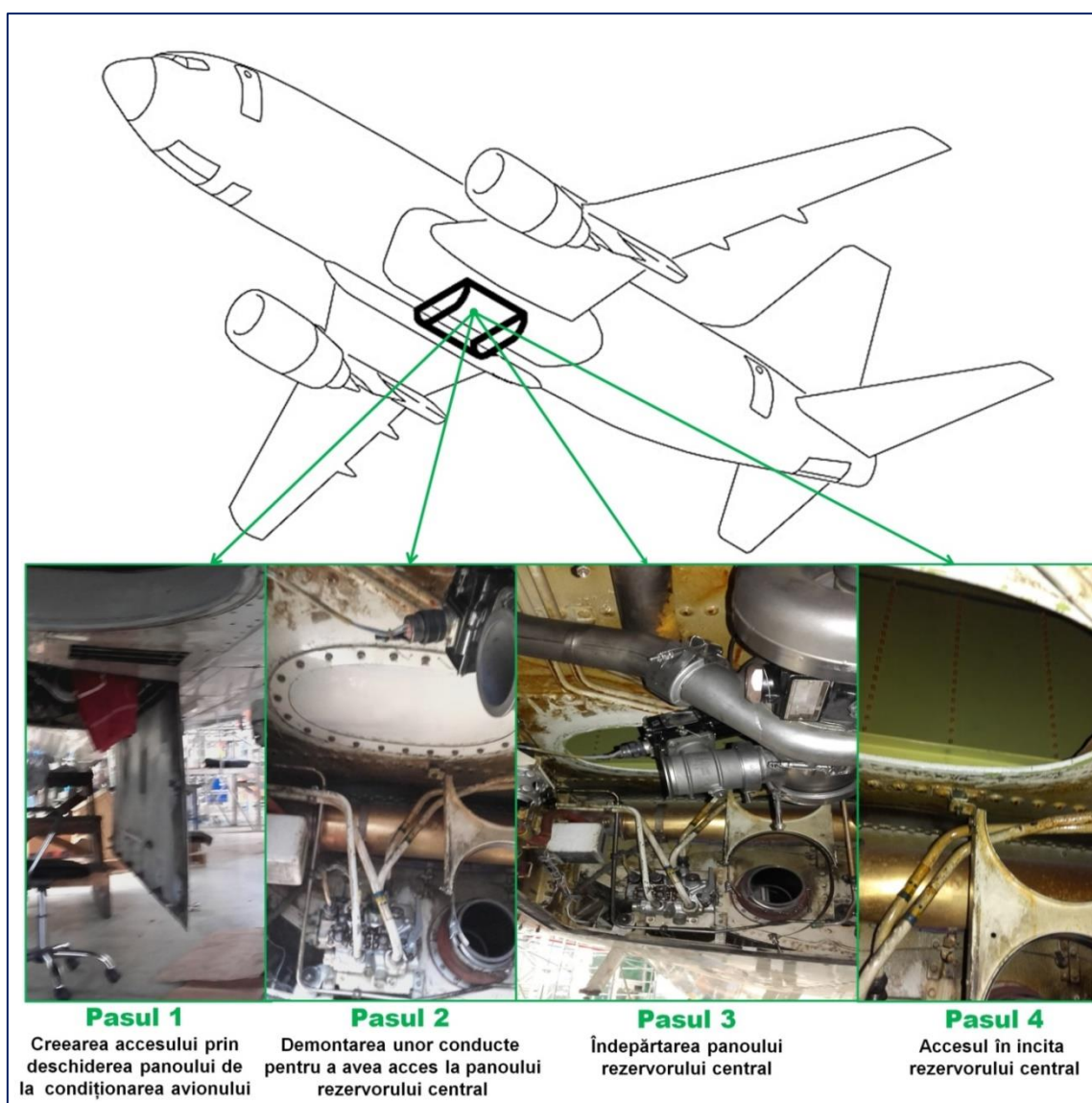


Fig. 4.9 –Aeronava Boeing 737-300 pe care s-a realizat aplicația practică [47]

Pentru a realiza aplicația practică de inspecție a rezervorului de combustibil al avionului, am folosit un robot mobil de tip hexapod și am parcurs următoarele etape [47]:

**Etapa 1: Studiarea cu atenție a documentelor și înțelegerea efectuării inspecției din interiorul rezervorului de combustibil al avionului.** Acestea se mai numesc și sarcini de lucru. Inspectarea avionului, impune ca anumite sarcini să fie atribuite fiecărui segment al avionului. Ca inginer aeronave, am făcut parte din echipa de control pe segmentul aripilor și cel al rezervorului de combustibil central. Având oportunitatea de a inspecta rezervorul de combustibil, am avut ideea, de a apela la ajutorul unui robot mobil hexapod. Robotul ar reprezenta soluția reducerii timpului pe care personalul tehnic îl petrece în interiorul rezervorului, care așa cum am menționat anterior, reprezintă un mediu extrem de toxic.

**Etapa 2: Accesul în rezervor.** Pentru a putea ajunge la rezervorul de combustibil central al avionului, unde trebuie realizată inspecția, se demontează mai multe conducte și tot ansamblul părții de condiționare a cabinei avionului, așa cum se poate observa în figura 4.10.



**Fig. 4.10** – Accesul în rezervorul de combustibil al avionului Boeing 737-300 [47]

În ceea ce urmează, voi descrie pașii care conduc la accesul în rezervorul de combustibil central, pentru a realiza inspecția acestuia, cu ajutorul unui robot mobil hexapod (fig. 4.10).

**Pasul 1** – accesul în rezervor se realizează prin deschiderea unui panou, aparținând sectorului de condiționare al avionului. Acest lucru este destul de simplu, deoarece panoul se poate deschide prin intermediul unor clame. **Pasul 2** este unul mai complex, deoarece constă în demontarea unor conducte și poziționarea acestora într-un loc ferit și sigur. **Pasul 3** este un pas mai simplu, deoarece, odată ce conductele au fost îndepărtate, panoul rezervorului are doar șuruburi care se pot demonta, relativ ușor. Ultimul pas, **Pasul 4** - se realizează accesul în incinta rezervorului de combustibil al avionului.

**Etapa 3: Aerisirea rezervorului.** După îndeplinirea cu succes a fiecărui pas în parte, privind accesul, urmează aerisirea rezervorului de combustibil al avionului. Aerisirea acestuia este foarte importantă, deoarece mediul este foarte toxic, iar vaporii de kerosen sunt foarte puternici. Aerisirea poate să dureze între 7 zile și 2 săptămâni, pentru a reduce cât mai mult posibil, cantitatea de vapori de kerosen și alte gaze.

După ce perioada de aerisire s-a încheiat, am început aplicația practică propriu-zisă. Cum se poate vedea în figura de mai jos (fig. 4.11), accesul este destul de greu de realizat, deoarece zona de intrare în rezervor este destul de limitată.

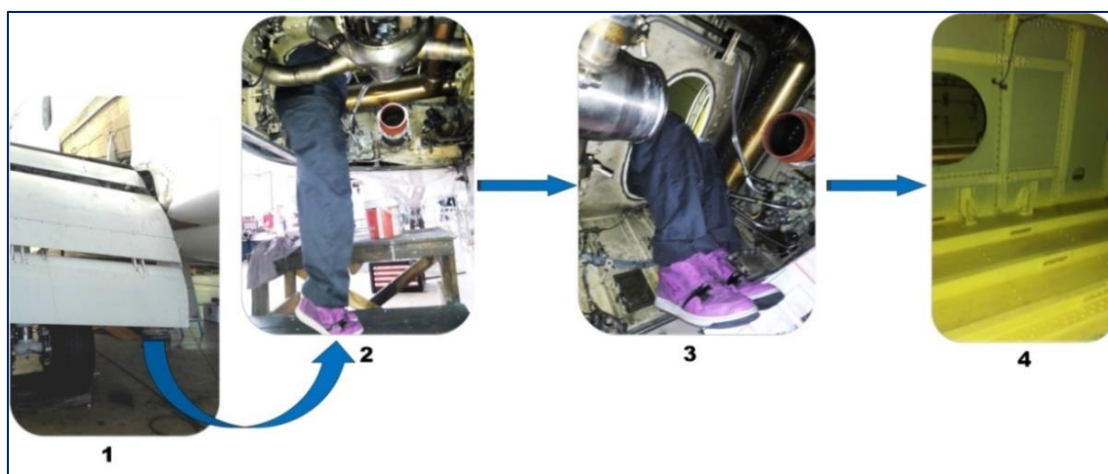


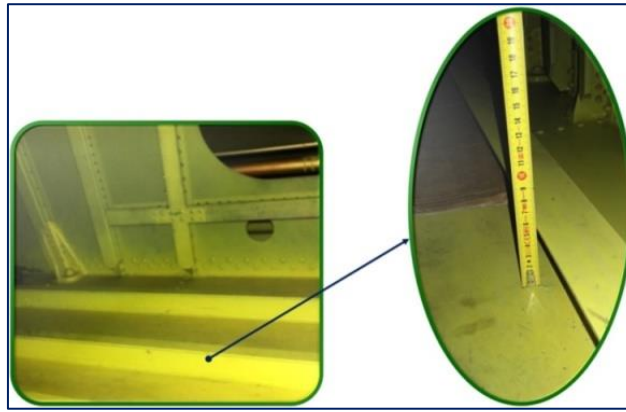
Fig. 4.11 - Intrarea în rezervorul central de combustibil al avionului Boeing 737-300 [47]



Fig. 4.12 – Îndepărtarea urmelor de kerosen rămase în rezervorul central de combustibil al avionului Boeing 737-300 [47]

**Etapa 4: Inspectia propriu-zisă realizată de către robot.** Forma rezervorului este masivă, formată din cadre de maxim 7 mm, așa cum se poate vedea în figura 4.12. Acesta a fost motivul pentru care am folosit un robot hexapod cu picioare alungite. Astfel, robotul poate să treacă peste cadre, doar cu o ușoară dificultate, depinzând foarte mult de coordonarea operatorului. Însă odată instalat în rezervor, robotul a fost capabil să realizeze inspecția, după cum rezultă din figurile de mai jos.





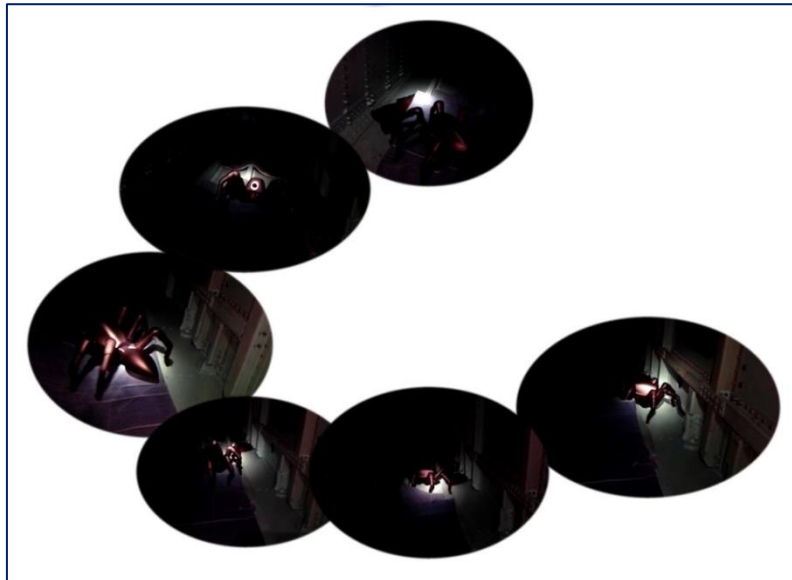
**Fig. 4.13** – Identificarea și măsurarea cadrelor din rezervorul central de combustibil al avionului Boeing 737-300 [47]

Este foarte important de precizat faptul că, prin identificarea cadrelor și măsurarea acestora (vezi fig. 4.13) am putut să stabilesc limitele robotului mobil hexapod. Cadrele măsurate au 7 mm și ca urmare, am proiectat lungimea picioarelor robotului, pentru a depăși obstacolele din rezervor, așa cum se observă în Fig. 4.14. Robotul mobil hexapod a fost ghidat prin intermediul unui telefon inteligent, însă trebuie să precizez, că modul de operare și de ghidare al operatorului reprezintă baza principală în depășirea tuturor obstacolelor, pentru ca robotul mobil hexapod să poată duce la bun sfârșit sarcina de a inspecta rezervorul central de combustibil al avionului [47].

Aplicația practică am realizat-o prin două metode. În prima metodă, operarea și ghidarea robotului mobil hexapod am realizat-o în interiorul rezervorului central de combustibil al avionului, iar în cea de-a doua metodă, din exteriorul acestuia. Prin prima metodă mi-am propus să observ deplasarea robotului în interiorul rezervorului. Am urmărit foarte atent dacă robotul poate să depășească cadrele și dacă se poate deplasa, chiar și atunci când în rezervor mai persistă urme de kerosen. Experimentul a fost îndeplinit cu succes, iar robotul mobil hexapod AFTRH a depășit toate obstacolele, după cum se poate observa în figurile de mai jos.



**Fig. 4.14 a** - Robotul mobil hexapod AFTRH aflat în poziție staționară în interiorul rezervorului central de combustibil al avionului Boeing 737-300



**Fig. 4.14b** – Robotul mobil hexapod AFTRH aflat în mișcare în interiorul rezervorului central de combustibil al avionului Boeing 737-300

**Metoda a doua** a constat în ghidarea robotului mobil hexapod AFTRH din exteriorul rezervorului, ceea ce a însemnat o provocare. S-a pus problema, dacă comenzile de deplasare vor ajunge în timp real la robot. Acesta a fost echipat doar cu o cameră video Sony, iar comenzile au fost transmise de pe un telefon inteligent. Imaginile transmise de camera video Sony, erau practic, cele pe care le vedeam pe telefon și în acest fel, am realizat comenzi, prin care robotul a început să se deplaseze încet. Trebuie să subliniez faptul că am realizat experimentul foarte aproape de avion, la o distanță relativ mică față de robot, mai exact, aproape de intrarea în rezervorul central de combustibil al avionului [47].

La început, cu multă prudență, prin comenzi, am reușit să-i imprim robotului o deplasare lentă. Viteza medie de deplasare a robotului a fost de 3 m/min. Camera video Sony mi-a oferit un avantaj real, deoarece calitatea imaginii a fost ireproșabilă și acest lucru se poate observa în imaginile prezentate. Fiecare moment al experimentului a fost surprins de camera video, dar am pus accent pe inspecția rezervorului. Trebuie subliniat un lucru foarte important și anume, faptul că am realizat o comunicare eficientă între telefonul pe care l-am folosit și robotul mobil hexapod. Un alt aspect la fel de important și care trebuie subliniat, este faptul că robotul AFTRH a fost programat să realizeze acțiuni care să fie bazate pe următoarele decizii: să se oprească automat, în cazul în care modul de ghidare este haotic; să raporteze prin iluminarea imaginii lămpii de pe monitor, că acumulatorul este consumat și astfel operatorul trebuie să acționeze în consecință, precum și un semnal luminos pe monitor, în cazul în care conexiunea Wi-fi este medie sau slabă.

În momentul în care m-am depărtat cu aproximativ 3 metri față de avion, am constatat că semnalul a rămas la fel de bun și în acest fel, am presupus că ghidarea/comanda robotului poate fi realizată și de la o distanță mai mare.

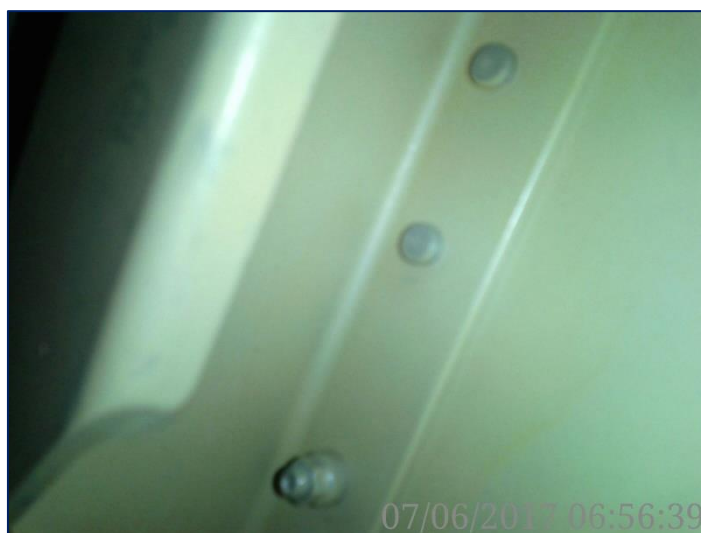
Inspecția rezervorului de combustibil central al avionului, cu ajutorul robotului mobil hexapod s-a desfășurat și s-a încheiat cu succes, deoarece: comunicarea robot – om a fost foarte bună; robotul s-a deplasat în rezervor cu o viteză de 3 m/min, fiind capabil să surprindă cadrele pe care am dorit să le evidențiez în mod deosebit și care urmăreau modul de instalare al niturilor. Timpul în care s-a desfășurat inspecția unei suprafețe de 5 metri a fost de 15 minute, timp în care au fost realizate 10 imagini. Imaginile transmise de robot, au arătat că rezervorul corespunde normelor AMM (Aircraft Maintenance Manual), niturile sunt montate în mod corespunzător și nici nu am observat nici o defecțiune care să ducă la o posibilă scurgere a combustibilului, pe fuselajul avionului.

În urma experimentului am ajuns la concluzia că robotul mobil hexapod a reușit să îndeplinească toate cerințele impuse de procedurile de inspecție. Inspecția s-a desfășurat pe o durată de 2 ore, iar viteza medie de deplasare a robotului a fost de 3 m/min, dat fiind faptul că geometria configurației robotului, permite deplasarea corectă în interiorul rezervorului.

În urma aplicației practice am demonstrat, că activitatea de mentenanță poate fi îmbunătățită prin integrarea unui robot, care ar avantaja în mod deosebit operatorul uman, deoarece rezervorul de combustibil al avionului constituie un mediu extrem de nociv, care poate afecta sănătatea fizică, dar și psihică a omului, în timp ce robotul poate să intervină cu succes și poate să-l ajute pe acesta.

#### **4.3.4. Prelucrarea imaginilor obținute de la robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. aflat în rezervorul de combustibil central al avionului Boeing 737-300**

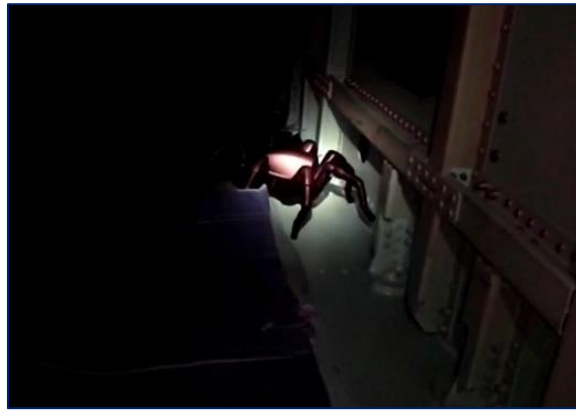
Aplicația practică precum și imaginile oferite de robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. au fost făcute în urmă cu 5 ani, după cum se poate vedea din figura 4.22.



**Fig. 4.22** – Imagine surprinsă la data de 07/06/2017 de robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. aflat în rezervorul central al avionului Boeing 737-300

La acel moment, având resurse limitate, precum și condițiile impuse intrării în rezervor, atât videoclipul, cât și imaginile surprinse de robot nu au calități foarte bune. Însă, folosind diferite metode de prelucrare a imaginilor, acestea se pot îmbunătăți.

Prelucrarea imaginilor obținute de la robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. aflat în rezervorul de combustibil central al avionului Boeing 737-300, are ca scop transformarea acestora în format digital, efectuând un proces asupra lor, pentru a obține imagini îmbunătățite, sau pentru a prelua unele informații care au un rol determinant în imagine. Este o metodă, pentru a converti imaginea în formă digitală, pentru a efectua unele operații, pentru a obține modele specifice, sau pentru a extrage informații utile din aceasta. Pentru a folosi această metodă, folosind robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. (fig. 4.23) aflat în rezervorul de combustibil central al avionului Boeing 737-300, s-a realizat un videoclip și mai multe fotografii, care au condus la așa numitele imagini. În urma acestui proces, robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. oferă informațiile dorite prin intermediul imaginilor.



**Fig. 4.23** – Robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. aflat în rezervorul de combustibil central al avionului Boeing 737-300

În principiu, prelucrarea imaginilor oferite de către robotul mobil A.F.T.R.H. implică **trei pași**:

- 1→Obținerea imaginilor prin intermediul fotografiilor digitale;
- 2→Analizarea și folosirea imaginilor care includ modele de culoare, cum ar fi: comprimarea datelor, remedierea imaginilor și a fotografiilor oferite prin intermediul conexiunii la wi-fi;
- 3→Eliminarea sau modificarea realizată pe baza analizei rezultatelor obținute, iar produsul final este pregătit pentru a putea fi aplicat într-o nouă imagine.

În plus, trebuie ținut cont de faptul că, rezervorul de combustibil central al avionului este un mediu destul de dificil și complex, iar anumite imagini se realizează cu dificultate, astfel se disting diferite caracteristici de procesare a imaginilor:

- 1.**Vizualizate** – identificarea elementelor care sunt greu de observat;
- 2.**Perfecționarea și refacerea imaginilor** – remedierea imaginilor care conțin sunete discordante;
- 3.**Recuperarea imaginii** – studierea imaginii relevante, oferindu-i o rezoluție înaltă;
- 4.**Recunoașterea modelelor** – definirea obiectelor/elementelor diferite dintr-o imagine;
- 5.**Identificarea imaginii** – detectarea/descoperirea obiectelor dintr-o imagine.

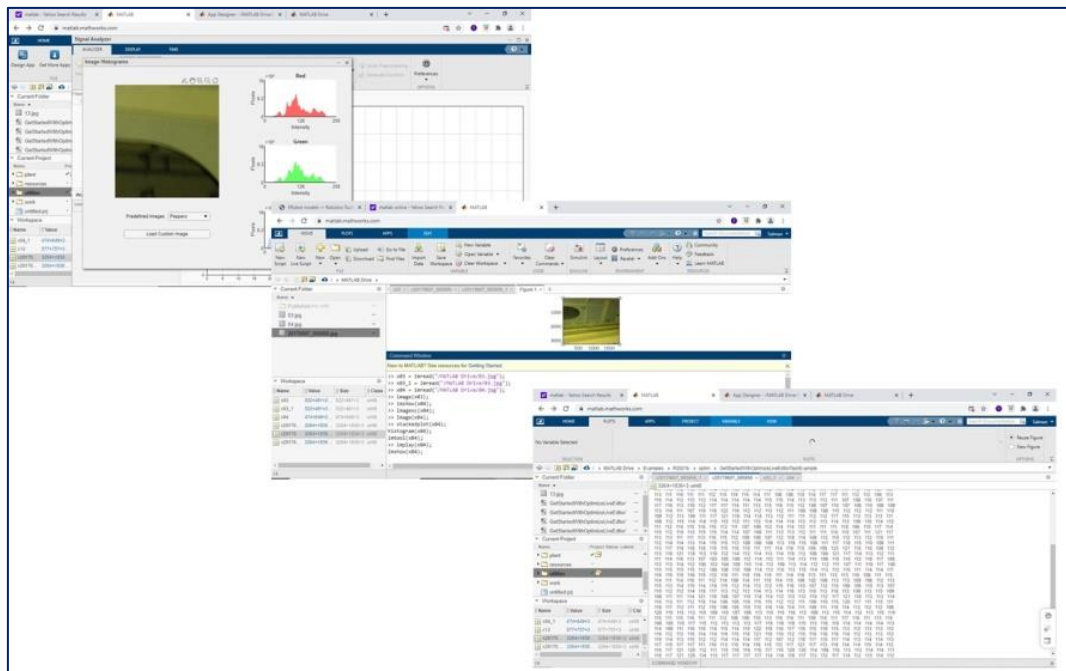
Pentru procesarea imaginilor din rezervorul de combustibil central al avionului Boeing 737-300 se folosesc metode analogice și digitale. Tehnicile de procesare a imaginilor analogice, sau vizuale se folosesc pentru realizarea copiilor tipărite, așa cum sunt fotocopiile oferite de Boeing task-card, mai exact sarcinile de lucru. Specialiștii, în cazul de față, inspectorul B1 care studiază imaginile, stabilește o interpretare pentru mediile variate, folosind tehnici vizuale. Prelucrarea imaginilor nu trebuie să se limiteze doar la cunoștințele tehnice, ci ar trebui să se sprijine pe imaginația și pe capacitatea de invenție a ingineriilor. Un alt instrument esențial, în domeniul procesării imaginilor cu ajutorul tehnicilor vizuale îl reprezintă datele brute, care se exprimă prin imaginile colectate anterior de către robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. și care nu au fost procesate. Prin analiză se studiază operațiunile anterioare proceselor pe care doresc să le identifice în sistemul de date. Ca tip de învățare profundă, procesarea imaginilor funcționează în funcție de datele istorice.

Tehnicile de procesare digitală sprijină manipularea imaginilor digitale, cu ajutorul computerelor. Trebuie ținut cont de faptul că, imaginile oferite de către robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. pot fi incomplete din cauza erorii produse de cameră. Pentru a depăși aceste deficiențe și pentru a obține informații cât mai corecte, trebuie să treacă prin etape diferite de procesare.

Ca o concluzie, aș putea să spun că, importanța prelucrării imaginii oferite de robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. se referă la metoda prin care se realizează unele procese pe aceasta, pentru a obține o imagine îmbunătățită, sau pentru a extrage anumite informații utile din ea. Obiectivul constă în convertirea imaginii brute, într-una procesată corect, care să fie arhivată și astfel folosită la un moment dat. Pe baza acestor arhive, inspecțiile din rezervorul

de combustibil central al avionului Boeing 737-300, ar putea fi optimizate prin calitatea inspecției și reducerea timpului.

În vederea prelucrării imaginilor obținute de la de robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. am folosit programul MatLab (fig. 4.31), deoarece acesta facilitează: pre-procesarea imaginilor, aplicând tehnica de îmbunătățire și filtrare; separă elementele de interes întrebunțând tehnici de segmentare precum și testează algoritmul pe seturi mari de imagini.



**Fig.4.31** - Prelucrarea imaginilor obținute de la de robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. au fost realizate prin intermediul programul MatLab

## **CAPITOLUL 5**

### **CONCLUZII ȘI PERSPECTIVE**

#### **5.1. Concluzii**

La momentul redactării acestei lucrări, asistăm la o creștere semnificativă a numărului de companii aeriene care se confruntă cu o creștere a numărului de aeronave, care au nevoie de diferite tipuri de controale, iar aceste servicii trebuie să fie analizate din mai multe puncte de vedere, cum ar fi: conformitate, legalitate, eficacitate, economie, eficiență, imagine fidelă și completă a poziției și situației financiare și mai ales modul de realizare a reparațiilor precum și timpul alocat acestora.

Obiectivele pe care mi le-am propus în realizarea acestei lucrări constau în: introducerea și folosirea unui robot mobil în inspecțiile din interiorul rezervorului de combustibil al avionului.

Teza de doctorat realizată, demonstrează posibilitatea integrării și folosirii tehnologiei asistate de roboții mobili în activitățile de mentenanță, astfel încât pot să subliniez, faptul că obiectivele pe care mi le-am propus, au fost îndeplinite cu succes. Un număr mare de inspecții și modificări ale rezervorului de combustibil al avionului, precum și ale sistemelor sale adiacente, trebuie realizate în interiorul acestuia, activitate ce presupune riscuri ridicate pentru operatori. După cum am demonstrat în lucrarea de față, factorul uman care lucrează în activitățile de mentenanță, cu precădere în interiorul rezervorului de combustibil al avionului este expus zi de zi, atât unui pericol fizic, cât și a unuia psihic. Pentru a elimina aceste

pericole, am demonstrat că prin introducerea unui robot mobil în realizarea inspecțiilor din interiorul rezervorului de combustibil al avionului, riscurile menționate se pot diminua considerabil, chiar elimina în mare parte.

Ideea utilizării robotului este rezultatul evaluării riscurilor, pe care factorul uman le întâlnește mereu în timpul inspecției rezervoarelor de combustibil și care este un mediu extrem de toxic pentru ființa umană. Utilizarea robotului hexapod proiectat, ar putea elimina în mare parte acest lucru, prin reducerea substanțială a timpului necesar pentru accesul personalului în rezervor, acces care se va face numai pentru situațiile speciale. Pentru a concretiza această aplicație am parcurs următoarele etape: analiza mediului de lucru și conștientizarea riscurilor acestuia, fundamentarea teoretică, conceptualizarea, implementarea, verificarea și acceptarea.

Pentru a realiza inspecțiile în interiorul rezervorului de combustibil al avionului, precum și pentru a stabili rezultatul acestuia, se impun anumite reguli care trebuie îndeplinite cu strictețe, de la momentul intrării în rezervor, până la finalizarea inspecției. Robotul hexapod are un nivel simplu de manipulare și control, manipularea acestuia fiind posibilă cu un calculator sau prin intermediul unui telefon inteligent. O posibilă upgradare a modelului ar putea fi: instalarea unor camere de luat vederi în interiorul fiecărui picior al robotului, pentru a vedea mai bine în interiorul rezervorului de combustibil, precum și instalarea unor anumiți senzori de scanare, etc. . În realizarea acestei aplicații intenția mea a fost, să demonstrez că robotul mobil proiectat, poate să se deplaseze și să surprindă imaginile necesare pentru inspecția din interiorul rezervorului de combustibil al avionului.

Rezultatele aplicației practice pe care am efectuat-o, au demonstrat că utilizarea roboților mobili, ar putea constitui o parte importantă a tehnicilor și instrumentelor de inspecție, asistate de robot și de om. Folosirea unor aplicații performante de software, implementate pe robot, poate contribui la îmbunătățirea calității, eficienței și eficacității inspecțiilor rezervoarelor de combustibil, fără a impune o prezență îndelungată a personalului de mentenanță în interiorul rezervorului.

Pentru a realiza cu succes această aplicație, pe parcursul tezei mele de doctorat, am studiat diverse surse bibliografice și metode de cercetare dintre care amintesc:

1. Diferite tipuri de roboți mobili, pentru a determina alegerea variantei optime, în realizarea aplicației mele de inspecție în interiorul rezervorului de combustibil al avionului.
2. Impactul tehnologic al roboților mobili, atât la nivel național, cât și nivel internațional, din perspectiva rezultatelor cercetărilor științifice, dar și ca urmare a adoptării acestora în practică, s-au dovedit a fi un sprijin real pentru munca mea de cercetare, iar pentru a avea rezultatul dorit m-am inspirat din acestea.
3. Noutatea folosirii roboților mobili în activitățile de mentenanță, ar putea favoriza factorul uman. În acest sens, am putut să demonstrez faptul că prin introducerea robotului mobil hexapod în activitatea de inspecție a rezervorului de combustibil al avionului, omul va fi protejat de influența factorilor de mediu.
4. Am folosit pentru aplicația practică rezervorul de combustibil al avionului, mai exact rezervorul de combustibil al aeronavei tip Boeing 737 – 300/400/500, în scopul conștientizării și definirii spațiului de lucru în care va lucra robotul mobil .
5. Roboții mobili nu au fost folosiți până în acest moment, în activitățile de inspecție din rezervorul de combustibil al avionului, lucru care m-a motivat, pentru a realiza această lucrare.

Pe parcursul cercetării:

1. Am realizat studiul cinematic și dinamic al robotului mobil și am ales un robot mobil pentru a realiza activitățile de inspecție a rezervoarelor de combustibil al avioanelor.
2. Am identificat posibilele dezavantaje ale robotului mobil și bineînțeles, am ales varianta optimă a robotului mobil ca fiind cea de tip - hexapod.
3. Am proiectat robotul hexapod și am realizat cu succes aplicația practică de inspecție a rezervorului de combustibil al avionului. Astfel, am putut să propun o tehnologie de



implementare a unui robot mobil de tip hexapod, utilizat în activitatea de mentenanță a rezervoarelor de combustibil al avioanelor.

În cadrul tezei mele de doctorat am folosit o metodologie care include studii teoretice și aplicații practice cuprinse în cinci capitole.

După ce am realizat o scurtă istorie a roboților de la începuturi, unde am punctat cele mai importante descoperiri până în zilele noastre, capitol în care am putut să demonstrez faptul că robotica cunoaște o dezvoltare rapidă, uimitoare, de la o zi la alta.

După ce am enunțat evoluția roboților mobili, cu precădere în industria aerospațială, am pus accentul pe roboții folosiți în exploatare, în mod explicit, în activitatea de mentenanță.

Prin cercetarea literaturii de specialitate, în ceea ce privește utilizarea roboților mobili în cadrul activităților de mentenanță și ca element de originalitate, am demonstrat faptul că acest lucru nu s-a dezvoltat suficient, fapt care m-a condus la obiectivul principal al acestei lucrări: de a introduce roboții mobili în cadrul activităților de mentenanță și de a putea dovedi, prin intermediul aplicației practice, că un robot mobil hexapod este ideal pentru a executa sarcini de lucru în rezervorul de combustibil al unui avion, deoarece are caracteristici, atât fizice cât și tehnice ideale, iar acest lucru reprezintă elementul de originalitate cel mai important al acestei lucrări.

Astfel, elementul de originalitate, îl constituie prezentarea într-o manieră proprie a evoluției roboților și importanța introducerii acestora în activitățile de exploatare, cu precădere, în activitatea de mentenanță din domeniul aviației.

Am realizat o prezentare a rezervorului de combustibil al avionului și am demonstrat că factorul uman este supus unui mediu ostil, în timp ce realizează inspecția rezervorului.

În această lucrare am demonstrat faptul că atât inspecțiile cât și modificările care trebuie executate în rezervorul de combustibil și a sistemelor adiacente lui, sunt efectuate numai în interiorul acestuia. Sarcinile de întreținere și reparație sunt executate de către personalul tehnic calificat numai în interiorul rezervorului de combustibil, personal care poate fi afectat de condițiile de mediu cu care intră în contact. De aceea, personalul tehnic trebuie să fie instruit înainte de a intra în rezervorul de combustibil al avionului, pentru a preîntâmpina eventuale incidente/accidente care s-ar putea declanșa. Trebuie luate măsuri pentru a nu se produce explozii sau incendii, personalul tehnic trebuie să poarte măști de oxigen, în momentul în care apare deficitul de oxigen sau pentru a nu inhala produse chimice toxice și iritante. Trebuie subliniat faptul că în interiorul rezervorului de combustibil, dat fiind spațiul limitat al acestuia, nu pot pătrunde decât operatori care au o anumită înălțime și greutate (nu prea înalți și nici prea corporali). Din propria experiență, în urma cercetării și a aplicației practice, am avut ideea de a introduce roboți mobili în activitățile de inspecție din interiorul rezervorului de combustibil al avionului.

În urma unei munci tenace, repetitive, grea, pe care am depus-o ca inginer, dar și în urma analizei pe care am făcut-o asupra rezervorului de combustibil al avionului, am conceput o metodă de inspecție a rezervorului prin intermediul unui robot mobil, metodă care constituie subiectul acestei teze. Numai prin practică zilnică, am putut să conștientizez necesitatea unui robot proiectat corespunzător care să execute activități de mentenanță.

Chiar dacă în activitatea de cercetare efectuată până acum s-a avut în vedere rolul pe care îl are factorul uman în activitățile de mentenanță, eu am adus un element de originalitate, punând factorul uman în prim plan, explicând în lucrarea mea, condițiile grele în care acesta își desfășoară activitatea. Personalul tehnic se confruntă zilnic cu probleme de mediu, care acționează în mod direct asupra stării sale de sănătate. Chiar dacă, de-a lungul timpului, aceiași lucrători execută lucrări de reparații în interiorul rezervorului de combustibil și intervine rutina, aceștia sunt stresați, lucru care poate influența negativ calitatea muncii prestate.

Ca inginer de mentenanță, am făcut parte din echipa care trebuia să execute lucrări de reparații din interiorul rezervorului de combustibil al avionului Boeing 737-300. După ce am

efectuat lucrările, am ajuns la concluzia că trebuie să elaborez o lucrare care să modifice tehnologia de inspecție.

Tehnologia poate fi îmbunătățită, modernizată cu ajutorul unui robot. Robotul este proiectat să execute aceleași activități pe care le face omul, doar că nu este la fel de afectat, din punct de vedere fizic.

Prin urmare, după ce am analizat toți factorii negativi care acționează asupra oamenilor atunci când trebuie să execute lucrări în interiorul rezervorului de combustibil al avionului, am avut ideea, dar am și transpus-o în practică, aceea de a introduce un robot mobil de tip hexapod.

Pentru a folosi un robot hexapod în interiorul unui rezervor de combustibil al unui avion, am realizat ansamblul general al acestuia și am pus accentul doar pe caracteristicile robotului pe care l-am proiectat. Elementul de originalitate constă în faptul că am realizat dimensionarea și modelarea robotului, iar prin programul LabView am analizat parametrii de viteză, deplasarea unghiulară și poziția finală a picioarelor, stabilitatea și controlul acestuia și am implementat calculele în schemele logice de programare.

Am proiectat și prezentat ansamblul general al aplicației robotizate, iar elementul de originalitate constă în faptul că am proiectat metoda prin care sunt realizate inspecțiile din interiorul rezervorului de combustibil al avionului. De asemenea, am descris structura completă a aplicației, dar și specificul programării. Inspirându-mă după fișele de lucru Boeing Task, am elaborat sarcinile de lucru, necesare pentru a se putea realiza această inspecție, folosind un robot mobil hexapod. Atât pentru siguranța operatorului uman, dar și pentru cea a robotului am elaborat norme de protecție a muncii, pe care le-am structurat în trei etape: înainte, în timpul și la finalul activității.

Aplicația robotizată constă în amplasarea unui robot mobil de tip hexapod în interiorul rezervorului de combustibil al avionului, iar aceasta trebuie să fie capabil să îndeplinească sarcinile pentru care a fost proiectat, în cadrul inspecției.

Am proiectat robotul hexapod AFTRH pentru a depista fisuri și alte neconformități periculoase din interiorul rezervorului de combustibil al avionului și în același timp, am pus accent pe simplitatea de operare și de întreținere a acestuia. Robotul hexapod poate fi manipulat doar de un singur operator. Fiind un robot care inspectează rezervorul de combustibil al unui avion, proiectarea mecanică pe care am efectuat-o, este avantajoasă datorită designului său modular, compact și robust. În robot sunt încorporate toate subsistemele sale și pot fi îndepărtate, pentru a fi testate individual, lucru care permite efectuarea a mai multor teste simultan. Dimensiunile platformei îndeplinesc cerințele, astfel încât având un gabarit redus, robotul poate fi manevrat în spații înguste, respectiv, în rezervorul de combustibil al avionului. În interiorul cadrului, robotul dispune de un compartiment prevăzut cu un loc sigur, unde este atașată camera video, precum și sursa de alimentare.

Un alt element de originalitate este acela că am conceput un robot hexapod care să depășească cadre de maxim 7 mm. Pentru că are o manevrabilitate superioară față de alți roboți hexapozi, acesta este apt să urce pante cu o înclinație de 15°.

În aplicația practică am folosit robotul AFTRH proiectat de mine. Ca element de originalitate am realizat tehnologia privind inspecția rezervorului central de combustibil al avionului Boeing 737-300.

Inspecția rezervorului de combustibil central al avionului cu ajutorul robotului mobil hexapod s-a desfășurat cu succes, deoarece: comunicarea om-robot a fost foarte bună; robotul s-a deplasat în interiorul rezervorului cu o viteză medie de 3 m/min; a fost capabil să surprindă cadrele pe care am pus accent, acestea fiind legate de modul de nituire.

Timpul în care s-a efectuat inspecția unui suprafațe de 5 metri pătrați a fost de 15 minute și s-au realizat 10 imagini concludente. Inspecția în interiorul rezervorului de combustibil a durat două ore iar robotul mobil hexapod a reușit să îndeplinească toate cerințele impuse de procedurile de inspecție.



Importanța majoră a utilizării robotului mobil hexapod pe care l-am propus și l-am implementat într-o astfel de inspecție, în cadrul companiei aeriene unde am lucrat, constă în eliminarea factorului de expunere a omului la un mediu foarte toxic și de economie de timp. Durata inspecției a fost redusă cu cel puțin două zile, pentru că o astfel de inspecție se realizează, de obicei, într-un interval cuprins între 3 și 5 zile, sau chiar mai mult, depinzând de zona în care se desfășoară inspecția, dar mai ales de intervalul de timp pe care îl poate petrece personalul tehnic în interiorul rezervorului de combustibil (rezistență fizică/psihică).

Considerând riscurile la care este expus factorul uman atunci când execută inspecții în interiorul rezervorului de combustibil al avionului și ținând cont de toate caracteristicile spațiului în care se desfășoară activitatea de mentenanță, respectiv hangarul și în același timp, ca element de originalitate, am redactat normele de protecție a muncii, înainte, în timpul și la finalul inspecțiilor.

### ► *Contribuții proprii*

Principalele contribuții personale aduse în lucrare constau în:

Am realizat o scurtă prezentare privind siguranța zborului precum și protocoalele de verificare a aeronavelor, cum ar fi: verificări de tip A, B, C și D, precum și diferența dintre controalele de linie și cele de hangar. Ca element de originalitate am făcut o analiză critică a stadiului de verificare a rezervoarele de combustibil al avioanelor. Ca orice domeniu de activitate, industria aeronautică reprezintă o provocare a tuturor cercetătorilor, care își doresc să-și aducă contribuția, în ceea ce privește siguranța zborurilor, dar și confortul tuturor participanților, atât a pasagerilor, cât și a echipajului dintr-o aeronavă. Dat fiind faptul că rezervoarele de combustibil ale aeronavelor sunt componente esențiale ale acestora, ele trebuie inspectate în mod regulat, așa cum cere manualul de întreținere, realizat de către producător și de câte ori se impune acest lucru. Toate inspecțiile din rezervoarele de combustibil sunt efectuate de personal tehnic specializat, chiar dacă mediul din interiorul acestora este unul nociv. S-au încercat diferite metode de inspectare digitală, cu robot continuu, Eeloscop etc., dar din cauza condițiilor de mediu din interiorul rezervorului, aceste experimente au rezolvat doar parțial inspecția.

Am realizat și stabilit o scurtă prezentare a istoriei roboților de la începuturi până în prezent și am putut să demonstrez, pe baza literaturii de specialitate, faptul că robotica se bucură de o istorie bogată.

Pe lângă această scurtă istorie a evoluției roboților mobili, am prezentat și evoluția acestora în industria aerospațială, astfel am realizat prezentarea roboților folosiți în exploatare, dar și a roboților folosiți în activitățile de mentenanță, bineînțeles, punând accentul pe activitatea de mentenanță a rezervorului de combustibil.

Ca element de originalitate, prin cercetarea literaturii de specialitate a roboților mobili, în cadrul activităților de mentenanță, am demonstrat faptul că acest lucru nu a fost dezvoltat, fapt care duce la obiectivul principal al acestei lucrări: de a introduce roboții mobili în cadrul activităților de mentenanță. Am identificat câteva motive pentru care se poate investi în roboți, atât pentru exploatare cât și pentru mentenanță. Principalul motiv și cel mai important, mai ales în activitatea de mentenanță, ar fi mediul de lucru foarte toxic pentru om, mai ales, pentru că, teza mea pune accentul pe inspecțiile care se realizează în interiorul rezervorului de combustibil al avionului. Un alt motiv foarte important ar fi spațiul limitat al rezervorului de combustibil, deficitul de oxigen și bineînțeles starea psihică a omului. Aceste motive m-au condus la realizarea cercetării și posibilitatea de a introduce robotul mobil de tip hexapod, în activitatea de inspectare din interiorul rezervorului de combustibil al avionului.

Am analizat rezervorul de combustibil al avionului, ca spațiu de lucru al robotului. Am demonstrat într-o manieră originală, faptul că factorul uman este supus unui mediu foarte periculos.

Un număr mare de inspecții și modificări ale rezervoarelor de combustibil ale unui avion, precum și sistemele lor adiacente, trebuie să fie făcute în interiorul acestora. Îndeplinirea sarcinilor impuse de întreținere și reparație, trebuie realizate de către personal tehnic, care trebuie să intre fizic în interiorul rezervorului de combustibil, un mediu în care acesta este expus la multe riscuri de mediu. Aceste potențiale riscuri includ: incendiul și explozia, produsele chimice toxice și iritante, deficitul de oxigen, precum și dimensiunea limitată a rezervorului de combustibil. Pentru a preveni leziunile asociate, organizațiile de întreținere, precum și operatorii trebuie să dezvolte proceduri specifice de identificare și control, pentru a elimina pericolele.

În plus, în acest capitol am prezentat și am stabilit faptul că, personalul tehnic de întreținere și reparații care intră în rezervorul de combustibil al avionului, pentru a realiza inspecții sau modificări, intră în relație strânsă cu diferite și multe potențiale pericole. Acestea sunt: expunerea la substanțe chimice toxice și inflamabile, condiții atmosferice cu potențial dăunător sănătății și configurația limitată a rezervorului. Pentru a preveni cu succes accidente asociate, atât operatorii cât și personalul tehnic trebuie să ia în considerare următoarele aspecte: posibilele accidente/pericole în rezervorul de combustibil; pregătirea pentru a intra în rezervorul de combustibil; condițiile necesare pentru a intra în rezervorul de combustibil, dar și planul de intervenție în caz de urgență.

În urma acestei analize, am identificat necesitatea introducerii roboților mobili în activitatea de inspecție a rezervorului de combustibil al avionului, prin urmare, elementul de originalitate constă în implementarea roboților în activitățile de mentenanță, cu precădere, în realizarea inspecțiilor din interiorul rezervorului de combustibil al avionului.

Am proiectat ansamblul general al robotului hexapod, ales pentru inspecțiile din interiorul rezervorului de combustibil al avionului, ținând cont de geometria structurii, din interiorul rezervorului de combustibil al avionului, spre exemplu; robotul trebuie să avanseze peste cadre de dimensiuni aproximativ de 5 sau 7 mm. Robotul pe care l-am ales și proiectat, este de tip hexapod, tip de robot care se poate comporta perfect în interiorul rezervorului de combustibil al avionului datorită formei, dar mai ales, datorită caracteristicilor sale fizice pe care le-am considerat, ca fiind: înălțimea – 25 cm, lățimea – 27,2 cm și lungimea – 30 cm, precum și rezultatele modelării cinematice, stabilitatea și controlul acestuia. Astfel, ca urmare a contribuției mele în stabilirea caracteristicilor fizice ale robotului mobil hexapod, acesta depășește cu succes obstacolele din interiorul rezervorului de combustibil al avionului, ceea ce îl face adecvat misiunii pentru care a fost proiectat.

Metodele de calcul folosite în vederea realizării modelării cinematice a robotului mobil hexapod proiectat – modelul cinematic al unui picior și modelul cinematic invers, sunt: parametrii Denavit-Hartenberg modificați de către Craig (Ollero, 2007), criteriile Messuri și Klein pentru analiza stabilității și controlului, iar pentru analiza dinamicii robotului hexapod, am folosit criteriile Ghasempoor și Sepehri, care a fost normalizată de către S. Hiroseși Garcia, precum și criteriile P.A.G. de Santos. Contribuțiile mele au constat în alegerea, interpretarea și calcularea datelor oferite de aceste metode, pentru a putea proiecta robotul mobil hexapod ideal, pentru inspecțiile rezervorului de combustibil al avionului.

Ca element de originalitate, am proiectat ansamblul general al aplicației robotizate, care constă în introducerea unui robot mobil de tip hexapod în interiorul rezervorului de combustibil al avionului, iar acesta trebuie să fie capabil, să ducă la bun sfârșit, inspecția. Robotul hexapod - A.F.T.R.H. (Aircraft Fuel Tank Robot Hexapod) a fost proiectat să depisteze fisuri și alte neconformități periculoase, din interiorul rezervorului de combustibil al avionului, punând accent pe simplitatea de operare și de întreținere. Pentru a manipula robotul hexapod este nevoie doar de un singur operator.

Pentru ca inspecția să decurgă în condiții normale și să fie îndeplinită cu succes, am conceput tehnologia de inspecție a rezervorului de combustibil al avionului, care cuprinde zece fișe.

Atât pentru siguranța operatorului uman, dar și pentru cea a robotului am elaborat norme de protecție a muncii, pe care le-am structurat în trei etape: înainte, în timpul și la finalul activității.

Am proiectat tehnologia de lucru, în vederea realizării inspecțiilor din interiorul rezervorului de combustibil al avionului.

Ca element de originalitate, am realizat aplicația practică cu robotul mobil hexapod - AFTRH, constând în realizarea efectivă a unei inspecții. Aplicația practică validează întreaga lucrare și mai ales, demonstrează că este posibil ca roboții să fie introduși cu succes în aviație, în cazul de față, în activitățile de mentenanță, cum ar fi realizarea inspecțiilor în interiorul rezervorului de combustibil. Aplicația practică a demonstrat că robotul hexapod ar putea elimina cu desăvârșire expunerea factorului uman la riscurile inspecțiilor din rezervor. Practic, în realizarea acestei aplicații s-au urmărit următoarele etape: analiza mediului și conștientizarea problemelor acestuia, crearea cunoștințelor, conceptualizarea, implementarea, verificarea și acceptarea .

Contribuțiile proprii au fost acelea, de a: realiza robotul – AFTRH, de a instala camera video - Sony și de a-l plasa în rezervorul de combustibil al avionului, precum și de a executa inspecția în interiorul acestuia. Acest lucru s-a desfășurat cu succes, robotul fiind capabil să se deplaseze și să capteze imaginile dorite de mine în interiorul rezervorului de combustibil, astfel încât obiectivul lucrării a fost realizat. De precizat un alt lucru foarte important, este faptul că, folosind un robot mobil hexapod într-o astfel de inspecție, s-a eliminat factorul de expunere a omului la un mediu foarte toxic pentru acesta.

Deoarece factorul uman care efectuează inspecțiile din interiorul rezervorului de combustibil al avionului este expus la numeroase riscuri în realizarea acestora, dar și în incinta locului de desfășurare a activității de mentenanță – hangarul, ca element de originalitate, am punctat normele de protecție a muncii, atât înainte de începerea, cât și în timpul desfășurării inspecțiilor din rezervorul de combustibil al avionului.

Datorită faptului că, aplicația practică, precum și imaginile oferite de robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. au fost făcute în urmă cu cinci ani, la acel moment, având resurse limitate, precum și condițiile impuse intrării în rezervor, atât videoclipul, cât și imaginile surprinse de robot nu au o calitate foarte bună. Însă, ca element de originalitate am folosit diferite metode de prelucrare a imaginilor, pentru a le îmbunătăți.

Prelucrarea imaginilor obținute de la robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. aflat în rezervorul de combustibil central al avionului Boeing 737-300, are ca scop transformarea acestora în format digital, efectuând un proces asupra lor, pentru a obține imagini îmbunătățite, sau pentru a prelua unele informații care au un rol determinant în imagine. Este o metodă, pentru a converti imaginea în formă digitală, pentru a efectua unele operații, pentru a obține modele specifice, sau pentru a extrage informații utile din aceasta. Pentru a folosi această metodă, folosind robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. aflat în rezervorul de combustibil central al avionului Boeing 737-300, am realizat un videoclip și mai multe fotografii, care au condus la așa numitele imagini. În urma acestui proces, robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. oferă informațiile dorite prin intermediul imaginilor.

Ca o concluzie și tot ca element de originalitate, aș putea să spun că, importanța prelucrării imaginii oferite de robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. se referă la metoda prin care se realizează unele procese pe aceasta, pentru a obține o imagine îmbunătățită, sau pentru a extrage anumite informații utile din ea. Obiectivul constă în convertirea imaginii brute, într-una procesată corect, care să fie arhivată și astfel folosită la un moment dat. Pe baza acestor arhive, inspecțiile din rezervorul de combustibil central al avionului Boeing 737-300, ar putea fi optimizate prin calitatea inspecției și reducerea timpului. În vederea prelucrării imaginilor obținute de la de robotul mobil hexapod A.F.T.R.H. am folosit programul MatLab, deoarece acesta facilitează: pre-procesarea imaginilor, aplicând tehnica de îmbunătățire și filtrare; separă elementele de interes întrebunând tehnici de segmentare precum și testează algoritmul pe seturi mari de imagini.

## 5.2. Perspective

Ca o perspectivă în viitorul apropiat, aş propune utilizarea sistemelor robotizate în activităţile de reparaţii şi mentenanţă, punându-se accentul pe asigurarea calităţii, cum ar fi: calitatea inspecţiilor şi supravegherea acestora, iar un exemplu de aplicaţie ar putea fi boroscoparea motoarelor sau inspecţiile pentru detectarea fisurilor de pe fuselajul avioanelor.

În ceea ce priveşte sistemele robotizate, este clar că acestea pot constitui un instrument important pentru dezvoltarea şi optimizarea activităţilor de mentenanţă. Prin urmare, cercetările viitoare pot analiza proiectarea de noi sisteme expert, care pot fi utilizate în domeniul inspecţiilor de mare precizie, cum ar fi depistarea fisurilor atât ale fuselajului avionului cât şi ale cadrelor din interiorul avionului. De asemenea, noi funcţii de analiză a datelor pot fi investigate în viitor. Cu privire la robotul mobil de tip hexapod, cercetările viitoare s-ar putea realiza prin intermediul unor analize mai complexe şi ar putea consta şi în îmbunătăţirea structurii şi performanţelor robotului. Mai mult, cercetări viitoare s-ar putea concentra pe dezvoltarea unor sisteme de integrare om – robot, bazate pe noile tehnologii de mentenanţă. Proiectarea de noi modele de roboţi pentru a fi utilizate în activitatea de mentenanţă, poate fi o altă direcţie de investigaţii pentru cercetători.

În general, cercetarea poate fi orientată către analiza unui nou mod de abordare a inspecţiilor din cadrul activităţilor de reparaţie şi mentenanţă a avionului.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] A, B, C, D check – Airline Maintenance - <https://studyflying.com/a-b-c-d-check-airline-maintenance/>, 2021
- [2] Aeronautical Information Service - [https://en.wikipedia.org/wiki/Aeronautical\\_Information\\_Service](https://en.wikipedia.org/wiki/Aeronautical_Information_Service)
- [3] Aircraft maintenance checks - <https://www.aircraftengineer.info/aircraft-maintenance-checks/#gsc.tab=0>, 2021
- [4] Aircraft maintenance - [https://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft\\_maintenance#:~:text=Aircraft%20maintenance%20is%20the%20performance,with%20airworthiness%20directives%20and%20repair](https://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_maintenance#:~:text=Aircraft%20maintenance%20is%20the%20performance,with%20airworthiness%20directives%20and%20repair) , 2021
- [5] Agheli, M., Nestinger, S.– “*Study of the foot force stability margin for multilegged/wheeled robots under dynamic situations*”. In: Proceedings of the 8th IEEE/ASME International Conference on Mechatronics and Embedded Systems and Applications, pag. 99–104, 2012.
- [6] Agheli, M., and Nestinger, S.S. - “*Closed-form solution for constant-orientation workspace and workspace-based design of radially symmetric hexapod robots*”, *Journal of Mechanisms and Robotics*, ASME, 2014, Vol 6, pag. 031007-13, 2014.
- [7] R.C. Arkin – “*Navigational Path Planning for a Vision-Based Mobile Robot*”, *Robotica*, vol. 7, pag. 49-63, 1989.
- [8] Dan Antoniu, George Cicos – “*Romanian Aeronautical Constructions*”, Ed. a 2-a, București: Editura Vivaldi, 2007, pag. 67-90.
- [9] Shannon Ankert – „*Aircraft Maintenance Handbook for Financiers*”, pag. 5. -30, 2018, [www.aircraftmonitor.com](http://www.aircraftmonitor.com)
- [10] Aircraft Maintenance Manual (AMM) oferit de Boeing, ultima revizie: 6 februarie 2020, pag. 78-1231-5667.
- [11] Aerospace Quality Standard, catalog tehnic, 2018, pag. 3-10, <http://articles.sae.org/6188/>
- [12] Avionul – istoric, definiție, caracteristici, 2019, <https://ro.wikipedia.org/wiki/Avion>
- [13] Axis Communications - Echipamente și software, [www.axis.com](http://www.axis.com)
- [14] Abe, Y., Stephens, B., Murphy, M. P., and Rizzi, A. A. - “*Dynamic whole-body robotic manipulation*”, in *Unmanned System Technology*, Proc. of SPIE, Vol. 8741, pag. 87410V-1 - 87410V-11, 2013.
- [15] ABB Robotics, catalog tehnic, pag. 3-8, 2018, <http://www.abb-robotics.com>
- [16] Army Technology- Roboți mobili, 2019, <http://www.army-technology.com>
- [17] ABP – Innovation in Engineering, 2021, <https://www.abprecision.co.uk/explosive-ordnance-disposal/unmanned-ground-vehicles/>
- [18] P. Bande, M. Siebt, E. Uhlmann, S.K. Saha and P.V.M. Rao – “*Kinematics Analyses of Dodekapod*,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 40, Martie 2005, pag. 740-756.
- [19] Barbie Earl - “*Practica cercetării sociale*”, Editura Polirom, 2010, Iași, pag. 50
- [20] Theodor Borangiu – “*Advanced Robot Motion Control*”, Editura Academiei Române, I ISBN 973-27-0976-6, 2003.
- [21] Theodor Boragiu, Florin Ionescu – “*Robot Modelling and Simulation*”, Editura Academiei Romane, ISBN 973-27-1082-9, 2002
- [22] Bennett Brumson, Contributing Editor – “*Robots in Aerospace Applications*”, 07/31/2012 <https://www.automate.org/industry-insights/robots-in-aerospace-applications>, 2021
- [23] J. Borenstein and Y. Koren – “*Real-Time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots*” , pag. 120-123, 2000.
- [24] Brooks, R. A. - “*A Robust Layered Control System for a Mobile Robot*” , *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-2, No. 1, pag. 14–23, 1986.
- [25] Boeing Aircraft - caracteristici tehnice, 2020, <http://www.boeing.com>
- [26] Boeing 737 CL – “*General Familiarization Course*”, pag. 1 – 1524, Aviation Learning, Maintenance Engineering, 2020
- [27] Boston Dynamic, 2021, <https://www.bostondynamics.com/legacy>
- [28] Theodore Caplow – “*The sociological survey*”, Ed. Armand Colin, Paris, 1970, pag. 119
- [29] D. Chablat, D. Kannan, P. Wenger – “*Kinematic Analysis of Serial-Parallel Machine Tool: the Verne Machine*,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 44, Aprilie 2008, pag. 487-498.
- [30] Componente roboți – RobotFun, 2019, <https://www.robofun.ro/>

- [31] Camera-video Sonny – caracteristici tehnice, dimensiuni și foto, 2019, [www.sony.com](http://www.sony.com)
- [32] Chu, S. K. K., and Pang, G. K. H. - “*Comparison between different model of hexapod robot in fault-tolerant gait*,” *System, Man, Cybernetics, Part A: Systems Humans, IEEE Transactions on*, Vol. 32(6), pag. 752–756, 2002.
- [33] J. Denavit, R.S. Hartenberg –“*A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices*”, Editura Trans. ASME, J. of Appl., Martie 1955, pag. 65-125
- [34] J. Denavit –“*A symbolic approach to mechanisms leading to electrical computation methods* ” , MS Thesis, Universitatea Northwestern Evanston, Illinois, Iunie, 1953-2013, pag. 23-125.
- [35] J. K. Davidson and G. Schweitzer –“*A mechanics-based computer algorithm for displaying the margin of static stability in four-legged vehicles*,” *Transaction of the ASME Journal of Mechanical Design*, vol. 112, nr. 3, pag. 480-487, Decembrie, 1990.
- [36] A. Davidoviciu, R. Magda – “*Roboți industriali*”, Editura : Tehnică, București, 1983, pag. 22-78.
- [37] D. Drimer, A. Oprean, Al. Dorin, N. Alexandrescu, A. Paris, H. Panaitopol, C. Udrea, I. Crișan – “*Roboți industriali și manipolatoare*”, Editura: Tehnică, București, 1985, pag. 10-48.
- [38] Echipamente și software - Innovation in Engineering, 2018, <http://www.abprecision.co.uk/>
- [39] Echipamente și software - Electronic Countermeasures, 2018, <http://www.allenvanguard.com/>
- [40] Echipamente și software - Rototics Online, 2018, <https://www.cybernetix.fr/>.
- [41] Fanuc Robotics - catalog tehnic, pag. 5-7, 2018, <http://www.fanucrobotics.com>
- [42] E. Garcia and P. A. G. de Santos –“*A new dynamic energy stability margin for walking machines*,” in *Proceedings of International Conference on Advanced Robotics*, pag. 1014-1019, 2003.
- [43] Maria-Giorgiana Găină – “*Dangerous entry into the aircraft fuel tank - Introduction of mobil robot*”, INCAS National Institute for Aerospace Research “Elie Carafoli”, Volume 11 Issue 2/2019, pag. 97-110, 2019, DOI: 10.13111/2066-8201.2019.11.2.8.
- [44] Maria-Giorgiana Găină – “*The hexapod robot for aircraft fuel tank and the use of calculation in the analysis of the effectiveness of radio interference*”, INCAS National Institute for Aerospace Research “Elie Carafoli”, Volume 11 Issue 3/2019, pag. 67-76, 2019, DOI: 10.13111/2066-8201.2019.11.3.6.
- [45] Maria-Giorgiana (Khan) Găină – “*Toxic And Microbial Environment in The Aircraft Fuel Tank For The Human Factor*”, *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)* e-ISSN: 2319-2402,p- ISSN: 2319-2399. Volume 15, Issue 3 Ser. I (March 2021), pag. 30-35, DOI: 10.9790/2402-1503013035.
- [46] Maria-Giorgiana (Khan) Găină - “*The role of automation and robotics in improving aviation safety*”, *Quest Journals, Journal of Research in Humanities and Social Science (JRHSS)*, Volume 9 ~ Issue 3 (2021), pag: 69-77, ISSN(Online): 2321-9467, (March 2021), DOI:10.35629 .
- [47] Maria-Giorgiana Găină - “*Practical application using the hexapod robot for interior inspection of a Boeing 737-300 aircraft fuel tank*” în curs de publicare în revista INCAS National Institute for Aerospace Research “Elie Carafoli”, 2021.
- [48] Maria-Giorgiana Găină - “*Introduction of hexapod robot in aircraft fuel tank inspection*” în curs de publicare în revista *Buletinul Politehnicii din București, Seria D- Inginerie Mecanică*, 2021.
- [49] Maria-Giorgiana Găină - “*The role of automation and robotics in improving aviation safety. Hexapod robot* ” , Editura: LAMBERT Academic Publishing, pag. 3-47, Noiembrie 2019.
- [50] Ghasempoor and Sepehri - “*A measure of machine stability for moving base manipulators*”, Ed. Engineering, Computer Science, 1995, International Conference on Robotics and Automation
- [51] Grigore Gogu – “*Families of 6R orthogonal robotic manipulators with only isolated and pseudo-isolated singularities*”, *Mechanism and Machine Theory* nr. 37, Volumul 37, Issue 11, Noiembrie 2002, Pag. 1347-1375
- [52] Petrice Grigore – “*Principii de cercetare*”, București, 2018, pag. 55
- [53] P. Grodzinski, Emmot and Company – “*A practical Theory of Mechanisms*” , Manchester-Londra, Anglia, 1945, pag. 23-78.
- [54] A. Ghasempoor and N. Sepehri – “*A measure of machine stability for moving base manipulators*,” in *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 3, pag. 2249 - 2254, Mai 22-27, 1995.
- [55] Constantin Ghiță – “*Mașini electrice*”, Ed Matrix Rom, pag.56-89, București, 2005.
- [56] Florian Heilemann, Alireza Dadashi and Kai Wicke – “*Eeloscope—Towards a Novel Endoscopic System Enabling Digital Aircraft Fuel Tank Maintenance*”, *Aerospace* **2021**, 8, 136. <https://doi.org/10.3390/aerospace8050136>, Academic Editor: Wim J. C. Verhagen, Theodoros H.

- Loutas and Bruno F. Santos, Received: 31 March 2021, Accepted: 5 May 2021, Published: 12 May 2021, *Aerospace* 2021, 8, 136. <https://doi.org/10.3390/aerospace8050136>
- [57]Halme, A., Koskinen, K., Aarnio, V.P., Salmi, S., Leppnen, I., and Ylmen, S. - “*Workpartner-future interactive service robot*”. In Proceedings of the Millenium of Artificial Intelligence Conference, Finnish Conference on Artificial Intelligence, CE-Rom Proceedings. Finnish Artificial Intelligence Society, ISBN: 9-5122-5128-0, 2000.
- [58]Hahn, H. - “*Rigid Body Dynamics of Mechanisms I*”, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2003, pag. 45-98.
- [59]S. Hirose, H. Tsukagoshi, and K. Yoneda –“*Normalized energy stability margin: Generalized stability criterion for walking vehicles,*” in Proceedings of International Conference on Climbing and Walking Robots, pag. 71-76, 1998.
- [60]Q. Huang, K. Tanie, and S. Sugano –”*Coordinated motion planning for a mobile manipulator considering stability and manipulation,*” The International Journal of Robotics Research, pag. 400-411, August, 2000.
- [61]Hvilshøj, M., Bøgh, S., Nielsen, O.S., and Madsen, O. - “*Autonomous industrial mobile manipulation (AIMM): past, present and future*”, In *Industrial Robot: An International Journal*, Emerald Insight, Vol. 39 (2), pag. 120-135, 2012.
- [62] X. Huang, Q. Liao, S. Wei, “*Closed Form Forward kinematics fro a Symmetrical 6-6 Stewart Platform Using Algebraic Elimination,*” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 45, pag. 327-334, Octombrie 2009, Oct. 2009.
- [63] Marius Iancu – “*Cinematica roboților mobili*”, Editura Tehnică, Iași, 1995, pag. 45-89
- [64] Romeo Ionescu, Dan Semenciuc – “*Roboți industriali. Principii de bază și aplicații*”, Editura: Tehnică, București, 1996, pag. 67-211.
- [65] Dumitru Ion, Eugeniu Diatcu – “*Roboți mobili și vehicule ghidate automat*”, Editura Victor, 2003, ISBN: 973-9226-03-7, București, pag. 23-68.
- [66]Viorel Ispas, Ioan I. Pop, Mircea Bocu – “*Roboți industriali*”, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1985, pag. 23-125.
- [67]Inteligența Artificială - <https://builtin.com/artificial-intelligence>, 2021
- [68]G. Jianhua, H. Zhejiang –“*Design and Kinematic Simulation for Six-DOF Leg Mechanism of Hexapod Robot,*” IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Decembrie 2006.
- [69]Byron Johns – “*DESIGN AND CONTROL OF A NEW RECONFIGURABLE ROBOTIC MOBILITY PLATFORM*”, School of Mechanical Engineering Georgia Institute of Technology, Mai, pag. 34-100, 2007.
- [70] Junichi, A., Mineo, I., Takashi, N., and Asamu, A. - “*Field Test of Aquatic Walking Robot for Underwater Inspection,*” Proc. 7th ISARC, Bristol, United Kingdom, pag. 151-156, 1990.
- [71]Jack Hessburg – “*Aircraft inspections defined*”, Aprilie 2000 - <https://www.aviationpros.com/aircraft/article/10388655/whats-this-a-check-c-check-stuff>, 2021
- [72]D. O. Kang, Y.-J. Lee, S.-H. Lee, Y. S. Hong, and Z. Bien –“*A study on an adaptive gait for a quadruped walking robot under external forces,*” in Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 4, pag. 2777-2782, Noiembrie, 1997.
- [73]J. Kim, W. K. Chung, Y. Youm, and B. Lee –“*Real-time zmp compensation method using null motion for mobile manipulators,*” in Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 2, pag. 1967-1972, 2002.
- [74]Teun Koetsier, Marco Ceccarelli –“*Explorations in the history of machines and mechanisms*”, Springer Dordrecht Heidelberg, New York, London, 2012, pag. 56-98.
- [75]C. H. Kothari -“*Research Methodology, Methods and Techiques*”, New Delhi, New Age International (P) Ltd. Publishers, 2004, pag. 1.
- [76] Krzysztof Kozlowski, Mohammad O. Tokhi, Gurvinder S. Virk - “*Mobile Service Robotics*”, Editura World Scientific Publishing Company, 2014, ISBN-13: 9789814623346, pag. 10- 689.
- [77] Kuka Robotics, catalog tehnic, pag. 8-10, 2018, <http://www.kuka-robotics.com>
- [78] Koyachi, N., Arai, T., Adachi, H., Asami, K. ichi, and Itoh, Y. - “*Hexapod with integrated limb mechanism of leg and arm*” In *Robotics and Automation 1995*, ICRA’95, IEEE international conferences on , Vol. 2, pag. 1952–1957,1995.
- [79]Lauron robot, 2021, <https://www.fzi.de/en/research/projekt-details/lauron/>
- [80] J.-H. Lee, J.-B. Park, and B.-H. Lee –“*Turnover prevention of a mobile robot on uneven terrain using the concept of stability space,*” *Robotica*, vol. 27, no. 05, pag. 641-652, 2009 și K. Yoneda, S.

- Hirose –“*Tumble stability criterion of integrated locomotion and manipulation*,” in Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol. 2, pag. 870-876, 1996.
- [81]B.-S. Lin and S.-M. Song –“*Dynamic modeling, stability and energy efficiency of a quadrupedal walking machine*,” in Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 3, pag. 367-373, Mai, 1993.
- [82]Shidong Long, Guiyang Xin, Guoliang Zhong – “*An Improved Force-Angle Stability Margin for Radial Symmetrical Hexapod Robot Subject to Dynamic Effects*”, International Journal of Advanced Robotic Systems, pag. 112-123, 2015.
- [83]Mahapatra, A., Roy, S. S., Bhavanibhatla, K., and Pratihar, D. K. - “*Energy-efficient inverse dynamic model of a Hexapod robot*”, International Conference on Robotics, Automation, Control and Embedded Systems 2015, RACE’15, pag. 1–7, 2015.
- [84] Mars Science Laboratory – “*Touchdown! Huge NASA Rover Lands on Mars*”, pag. 1123, 6 August, 2012.
- [85]Nicolae Meret – “*Roboții industriali și aplicațiile lor*”, Editura: Științifică și enciclopedică, București, 1985, pag. 15-78.
- [86]Messuri and Klein - “*Automatic body regulation for maintaining stability of a legged vehicle during rough-terrain locomotion*”, Ed. Engineer, Computer Science, 1985
- [87] Motor electric – istoric, definiție, caracteristici, 2019, [http://ro.wikipedia.org/wiki/Motor\\_electric](http://ro.wikipedia.org/wiki/Motor_electric)
- [88] Adrian Florin Nicolescu – “*Roboți industriali*”, Editura Didactică și Pedagogică. R.A., București, 2005, pag. 12-93.
- [89] Adrian Nicolescu – “*Proiectarea roboților industriali*”, Editura Didactică și Pedagogică. R.A., București, 2005, pag. 10-48.
- [90] Javier Olervides, Nadxielli Pineda, Armando Saenz, Victor Santibanez and Alejandro Dzul - “*Sistema de control de locomoción de un robot hexapodo caminante*” - Congreso Nacional de Control Automático 2013, Ensenada, Baja California, Mexico, Octombrie 16-18, 2013 .
- [91]Ali Gürçan Özkil – “*Technical Report on Autonomous Mobile Robot Navigation*”, DTU Library, Martie 2009
- [92]E. Papadopoulos and D.A.Rey “*The force – angle measure of tipover stability margin for mobile manipulators*”, Vehicle System Dynamics, vol 33, nr. 1, pag. 29-48, 2000.
- [93] Christian Pellecudi –“*Bazele analizei mecanismelor*”, Editura Academiei, București 1967, pag. 23-45.
- [94]Augustin Petre – “*Proiectarea structurilor de aeronave și astronave*”, Editura Academiei Române București, pag. 12, 1999, pag. 78-123.
- [95] Quality Android Robot, catalog tehnic, pag. 3-10, 2018, [www.dfrobot.com](http://www.dfrobot.com)
- [96]L. V. Redman, A. V. H. Nory - “*The Romance of Research*” , First Edition, U.S.A, 1923, pag. 10,
- [97] Rehman, B. U., Focchi, M., Lee, J., Dallali, H., Caldwell, D. G., and Semini, C. - “*Towards a multi-legged mobile manipulator*,” In *Robotics and Automation 2016*, ICRA’16, IEEE international conferences on, pag. 3618–3624, 2016 .
- [98]Robotics and Autonomous Systems Group, 2021, - <https://research.csiro.au/robotics/legged-robots/>
- [99] RobotikLab, 2021, <https://robotiklab.co.uk/aliengo/>
- [100] Robotic – componente adecvate sistemelor mobile, 2020 [https://www.dndkm.org/.com/news\\_details.asp?id=36](https://www.dndkm.org/.com/news_details.asp?id=36) -
- [101] Robot Mobil – poză, 2018 <https://www.neuraldump.net/tag/mk-5/> ; <https://www.vincross.com/hexa>
- [102] Robot Mobil – poză, 2018 [https://www.incdmtm.ro/editura/documente/articol\\_Piotr\\_Szynkarczyk.pdf](https://www.incdmtm.ro/editura/documente/articol_Piotr_Szynkarczyk.pdf); [https://www.researchgate.net/figure/VANGUARD-MK-2-robot-1-Features-The-MK2-is-the-newest-version-of-the-Vanguard-robot\\_fig1\\_304041240](https://www.researchgate.net/figure/VANGUARD-MK-2-robot-1-Features-The-MK2-is-the-newest-version-of-the-Vanguard-robot_fig1_304041240)
- [103] Romatsa – AIS Romania - <http://www.aisro.ro/index.php>, 2021
- [104]José Ramón Roldán Ruiz, Mtro. Eduardo E. Ramírez Sánchez – Tezã - “*Diseño y construcción de un robot hexápodo*”, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Mexico D.F., Octombrie 2012, pag. 73-91.
- [105] Lorenzo Sciavicco, Bruno Siciliano –“*Robotica industriale*”, Editura McGraw-Hill Libri Italia SRL , Februarie 2003, pag. 5-45.



- [106] Shankar, K., and Burdick, J.W. - “*Kinematics and Methods for Combined Quasi-Static Stance/Reach Planning in Multi-Limbed Robots*”, In *Robotics and Automation 2014, ICRA’14*, IEEE international conferences, Hong Kong, China , IEEE, pag. 2963–2970, 2014.
- [107] Bruno Siciliano, Lorenzo Sciavicco, Luigi Villani, Giuseppe Oriolo – “*Robotics: Modelling, Planning and Control (Advanced Textbooks in Control and Signal Processing)*”, Editura SPRINGER LONDON Colectia Springer, August 2010, ISBN-13: 9781846286414 , pag. 34-90.
- [108] S. Sugano, Q. Huang, and I. Kato –“*Stability criteria in controlling mobile robotic systems,*” in *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, vol. 2, pag. 832-838, Iulie, 1993.
- [109] M. H. Showalter - “*Work Space Analysing and Walking Algorithm Development for a Radially Symmetric Hexapod Robot,*” M. S. Eng. thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, US, pag. 2, August 2008 - Octombrie 2009.
- [110] The Robotics Institute - Robot Ambler en el CMU, 2004, pag. 23-125.
- [111] The Advanced Learner’s Dictionary of Current English ,Oxford 1952, pag. 1069
- [112] Mohammad O. Tokhi, Gurbinder S. Virk, Kenneth J. Waldron – “ *Nature-Inspired Mobile Robotics*”, Editura World Scientific Publishing Company, 2013, ISBN-13: 9789814525527, pag. 300-459.
- [113] Tsuda, S., Shinozaki, K., and Nakatsu, R. - “*Development and evaluation of a centaur robot*”, in *Digital Interactive Media in Entertainment and Arts 2008, DIEMA’08*, pag. 219-223, 2008.
- [114] Spyros G. Tzafestas – “ *Introduction to Mobile Robot Control*”, Editura: ELSEVIER SCIENCE , 30 Octombrie, 2018, ISBN-13: 9780124170490, pag. 45-735.
- [115] Top Aerospace Robotic Applications Today - <https://www.genesis-systems.com/blog/top-aerospace-robotic-applications-today>, 2021
- [116] Types of Aviation Maintenance Checks - <https://www.naa.edu/types-of-aviation-maintenance-checks/> , 2021
- [117] S. M. Varedi, H. M. Daniali and D. D. Ganji – “*Kinematics of an offset 3-UPU Translational Parallel Manipulator by the Homotopy continuation Method,*” *Nonlinear Analysis*, vol. 10, Februarie 2008, pag. 1767-1774.
- [118] Kenneth J. Waldron, Gary L. Kinzel, Sunil K. Agrawal – “ *Kinematics, Dynamics, and Design of Machinery* ”, Editura Wiley, Chichester, United Kingdom, Iulie 2016, ISBN-13: 9781118933282, pag. 450-520.
- [119] Yang, F., Ding, X., and Chirikjian, G.S. - “*Kinematic Analysis of Hexapod Manipulation*”, In *Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, IDETC/CIE’16*, ASME international conferences on, Vol. 5B, ASME, pag. 05-89, 2016 .
- [120] Cheng Yang – “*Research on Path Planning of Robot Based on Artificial Intelligence Algorithm*”, *Journal of Physics: Conference Series*, doi: 10.1088/1742-6596/1544/1/012032, pag. 1-5, 2020
- [121] K. Yoneda, S. Hirose –“*Tumble stability criterion of integrated locomotion and manipulation,*” in *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, vol. 2, pag. 870-876, 1996.
- [122] Guoliang Zhong, Y. Kobayashi, Y. Hoshino – “*Optimal control of the dynamic stability for robotic vehicles in rough terrain*”, *Nonlinear Dynamics*, pag.235-345, 2013.
- [123] Zhong, G., Kobayashi, Y., Emaru, T. and Hoshino, Y. - “*Trajectory tracking of wheeled mobile robot with a manipulator considering dynamic interaction and modeling uncertainty*”, *Intelligent Robotics and Applications*, pag.366-375, 2012.