

Optimizarea echipamentului tehnologic robotizat destinat lucrărilor în sere și solarii

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea Politehnica Timișoara
în domeniul Inginerie Industrială
de către

ing. Mariș Ștefan-Alfred

Conducător științific: Prof.univ.dr.ing.& ec. Dumitru Țucu
Referenți științifici: prof.univ.dr.
prof.univ.dr.ing.
conf.univ.dr.ing.

Ziua susținerii tezei:

CUVÂNT ÎNAINTE

Nevoile actuale de hrană ale populației impun o creștere a suprafeței cultivate cu fructe și legume în sere, care însă nu poate face față unei piețe a muncii în schimbare și crește cererea pentru roboți agricoli specializați.

Lucrarea de față își propune să realizeze un concept optimizat de sistem robotizat folosit pentru recoltat - în speță un sistem robotic pentru recoltat roșii în sere.

Pentru că mi-a oferit oportunitatea de a urma ciclul de studii doctorale, pentru îndrumarea profesională, pentru încrederea, aprecierea și susținerea pe care mi le-a arătat permanent, precum și pentru toate sfaturile acordate pe parcursul pregătirii doctorale, doresc să mulțumesc și să-mi exprim respectul conducătorului științific, domnului profesor universitar doctor inginer și economist Dumitru ȚUCU, vicepreședinte al Filialei Timișoara a ASAS.

Cu deosebită recunoștință, exprim mulțumiri domnului dr. habil. Gábor GÉCZI, precum și colectivului de colaboratori de la Facultatea de Inginerie Mecanică din cadrul Szent István University, Gödöllő, Hungary, pentru sprijinul acordat și colaborarea deschisă și deosebit de fructuoasă din timpul stagiului de cercetare efectuat în Gödöllő, Hungary, în cadrul unei mobilități Erasmus+ în perioada 21.05.2018 – 30.09.2018.

Mulțumesc pentru îndrumarea și sprijinul acordat de către membrii comisiei de îndrumare: prof. univ. dr. ing. habil. dr. ec. Titus Slavici, prof. univ. dr. ing. habil. Mircea Vasilescu și conf. univ. dr. ing. Ioan Vasile Groza.

Mulțumesc pentru susținerea primită și pentru colaborarea din partea membrilor departamentului MMUT al Universității Politehnica Timișoara.

Nu în ultimul rând, mulțumesc familiei care a crezut în mine și mi-a fost alături în acest demers, și colegilor de serviciu care m-au sprijinit pe parcursul întregii perioade doctorale.

Timișoara, august 2022

ing. Ștefan-Alfred Mariș

Mariș Ștefan-Alfred

Optimizarea echipamentului tehnologic robotizat destinat lucrărilor în sere și solarii

CUPRINS

CUVÂNT ÎNAINTE.....	3
CUPRINS	5
LISTA TABELELOR.....	8
LISTA FIGURILOR	9
LISTA ABREVIERILOR.....	12
1 IMPORTANȚA ȘI NECESITATEA TEMEI. OBIECTIVELE ȘI STRUCTURA TEZEI	14
1.1 Importanța și necesitatea temei.....	14
1.1.1 Scurt istoric și aspecte structurale generale și istoric	14
1.1.2 Posibilități de folosire a roboților la munci agricole.....	15
1.2 Obiectivele tezei	21
1.3 Structura tezei.....	22
2 ANALIZA POSIBILITĂȚILOR DE UTILIZARE A SISTEMELOR ROBOTIZATE ÎN SERE	24
2.1 Condiții preliminare	24
2.2 Descrierea metodologiei cercetării.....	25
2.3 Rezultate și discuții	29
2.4 Concluzii parțiale.....	42
3 ANALIZĂ CRITICĂ PRIVIND STADIUL ACTUAL AL PRINCIPALELOR SISTEME DE PREHENSIUNE UTILIZATE ÎN AGRICULTURĂ.....	44
3.1 Stadiul actual al cunoașterii în domeniul soluțiilor de prehensiune aplicabile la sistemele de recoltat legume	44
3.2 Posibilități pentru integrarea soluțiilor de prehensiune în sistemele robotice de recoltat.....	53
3.3 Realizarea unui echipament tehnologic robotizat în concepție proprie pentru culegerea roșiilor în sere.....	55
4 CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND PARTICULARITĂȚILE ELEMENTELOR STRUCTURALE ȘI FUNCȚIONALE ALE SISTEMELOR DE PREHENSIUNE FOLOSITE LA LUCRĂRILE DIN SERE	57
4.1 Obiectivele cercetării	57
4.2 Descrierea metodologiei cercetării.....	57
4.3 Investigarea procesului de lucru al unui prehensur	58
4.4 Conceperea, integrarea și optimizarea funcțională a unui prehensur folosit la sistemele robotizate în sere.....	60
4.5 Concluzii parțiale.....	64
5 CERCETĂRI PRIVIND OPTIMIZAREA SISTEMELOR DE IDENTIFICARE A FRUCTELOR COAPTE	65
5.1 Obiectivele cercetării	65

5.2	Materiale și metode utilizate pentru optimizarea sistemelor de identificare a fructelor coapte	65
5.3	Rezultate și discuții referitoare la sistemul de identificare al fructelor coapte	73
5.4	Concluzii parțiale.....	79
6	CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INTERACȚIUNEA ÎNTRE SISTEMUL DE PREHENSIVNE ȘI ROȘIILE COAPTE	81
6.1	Obiectivele cercetării	81
6.2	Materiale și metode utilizate în studiul interacțiunii dintre sistemul de prehensiune și roșiile coapte	81
6.3	Rezultate și discuții	91
6.4	Analiza fezabilității soluțiilor obținute pentru transpunerea la alte soiuri de roșii	116
6.5	Concluzii parțiale.....	122
7	CERCETĂRI PRIVIND PROIECTAREA, INTEGRAREA ȘI OPTIMIZAREA COMPONENTELOR ÎNTR-UN ECHIPAMENT TEHNOLOGIC ROBOTIZAT DESTINAT LUCRĂRILOR ÎN SERE ȘI SOLARII.....	124
7.1	Obiectivele cercetării	124
7.2	Condiții impuse de teren	124
7.3	Schema de principiu a unui ETR pentru culesul roșiilor	124
7.3.1	Platforma mobilă	127
7.3.2	Unitatea de comandă și sistemul de alimentare.....	131
7.3.3	Brațul robotic propriu-zis.....	137
7.4	Sistemul de mobilitate specific în sere	140
7.5	Calculul optimizării deplasării la recoltat.....	144
7.6	Culegerea efectivă a roșiei	148
7.7	Concluzii parțiale.....	154
8	CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE. PERSPECTIVE VIITOARE	156
8.1	Concluzii generale	156
8.2	Contribuții personale	156
8.2.1	Contribuții teoretice.....	157
8.2.2	Contribuții experimentale	157
8.2.3	Contribuții aplicabile industrial	157
8.3	Perspective de dezvoltare ulterioară a cercetării.....	157
	LISTA PUBLICAȚIILOR REZULTATE ÎN URMA CERCETĂRII DOCTORALE, PUBLICATE SAU ACCEPTATE SPRE PUBLICARE, SUB AFILIERE UPT	159
	Lucrări științifice publicate în reviste indexate Web of Science-WoS (ISI)	159

Importanța și necesitatea temei

Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice (Proceedings) indexate Web of Science-WoS (ISI) Proceedings	159
Lucrări științifice publicate în reviste de specialitate indexate BDI.....	160
Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice (Proceedings) indexate BDI.....	160
Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice internaționale (Proceedings) din străinătate	161
BIBLIOGRAFIE	162
ANEXE	171
ANEXA 1 Chestionar exploatații agricole închise	171
ANEXA 2 Răspunsurile colectate și centralizate la chestionar.....	173

LISTA TABELELOR

Tabelul 1.1 Suprafețe cultivate în sere, în Uniunea Europeană, ca număr de hectare ([36])	17
Tabelul 1.2 Suprafața cultivată în sere, în Uniunea Europeană, ca număr de exploatații agricole ([36])	18
Tabelul 2.1 Sinteza răspunsurilor colectate în urma aplicării chestionarului ...	29
Tabelul 2.2 Sinteza răspunsurilor la întrebările privind ierarhizarea criteriilor.	31
Tabelul 2.3 Centralizarea datelor care presupun o ierarhizare a criteriilor	39
Tabelul 2.4 Sumarul analizei statistice pentru întrebarea 10	40
Tabelul 2.5 Sumarul analizei statistice pentru întrebarea 11	40
Tabelul 2.6 Sumarul analizei statistice pentru întrebarea 12	41
Tabelul 2.7 Sumarul analizei statistice pentru întrebarea 13	41
Tabelul 5.1 Parametri folosiți pentru culegerea unei imagini	69
Tabelul 6.1 Caracteristicile probelor de roșii analizate	87
Tabelul 6.2 Coeficienții de corelație pentru datele înregistrate în experiment (forța medie aplicată F , unghiul de strângere U , deformația relativă ΔD_{rel}).....	91
Tabelul 6.3 Tipuri de modele pentru dependența dintre ΔD_{rel} și U care explică mai mult de 90% din variația datelor	92
Tabelul 6.4 Tipuri de modele pentru dependența dintre F și U care explică mai mult de 90% din variația datelor.....	101
Tabelul 6.5 Tipuri de modele care explică mai mult de 90% din variația lui D_{rel} în funcție de F	108
Tabelul 6.6 Valori admisibile pentru F astfel încât deformația relativă a roșiei la cules să nu depășească limitele impuse	116
Tabelul 6.7 Coeficienții de corelație pentru datele înregistrate în experiment (diametru mediu D_{med} , înălțimea medie H_{med} , masa m , forța medie aplicată F , unghiul de strângere U , deformarea relativă ΔD_{rel}).....	117
Tabelul 6.8 Valoarea P asociată a coeficienților de corelație pentru datele înregistrate în experiment (diametru mediu D_{med} , înălțimea medie H_{med} , masa m , forța medie aplicată F , unghiul de strângere U , deformarea relativă D_{rel})	118
Tabelul 6.9 Soiuri de tomate hibrid produse de SCDL Buzău și caracteristicile lor din punct de vedere al culegerii cu soluția propusă în teză (după [107])	119
Tabelul 6.10 Forța medie de apăsare pentru o deformare relativă 10 (0,1%) pentru soiuri și hibrizi produși la SCDL Buzău	120
Tabelul 6.11 Forța medie de apăsare pentru o deformare relativă 20 (0,2%) pentru soiuri și hibrizi produși la SCDL Buzău	120
Tabelul 6.12 Forța medie de apăsare pentru o deformare relativă 30 (0,3%) pentru soiuri și hibrizi produși la SCDL Buzău	121
Tabelul 6.13 Deformări relative și valori ale forței medii de apăsare calculate pentru roșii mature din soiul San Marzano	121

LISTA FIGURILOR

Figura 1.1 Suprafața medie a unei exploatații agricole de tip seră (bazat pe [36])	20
Figura 2.1 Suprafața cultivată cu legume în solarii și sere și suprafața serelor în perioada 2010-2020 (după [50])	24
Figura 2.2 Suprafața cultivată cu legume în solarii și sere în regiunea de Vest a României și în județul Timiș	25
Figura 2.3 Metodica activității de cercetare	26
Figura 2.4 Zona de distribuire a chestionarului	27
Figura 2.5 Mărimea exploatației (întrebarea 2)	33
Figura 2.6 Tipul de agrotehnică (întrebarea 5).....	33
Figura 2.7 Tipul de sol folosit pentru cultură (întrebarea 7)	34
Figura 2.8 Valoarea investiției producătorului în sere și solarii (întrebarea 6). 34	
Figura 2.9 Distanța dintre exploatație și piața de desfacere (întrebarea 8)	35
Figura 2.10 Nivelul de cunoaștere al respondenților în legătură cu utilizarea roboților în sere (întrebarea 10).....	36
Figura 2.11 Preferințele respondenților referitor la utilizarea roboților în sere – exprimate procentual (întrebarea 11)	36
Figura 2.12 Criterii de decizie privind robotizarea lucrărilor în sere (întrebarea 12)	37
Figura 2.13 Posibilitatea de asociere în vederea robotizării (întrebarea 13) ...	38
Figura 2.14 Vârsta respondenților (întrebarea 14).....	39
Figura 2.15 Posibilitatea de asociere (1 = Imposibilă, 2 = Posibilă, 3 = Puțin probabilă, 4 = Probabilă)	42
Figura 3.1 a. Prehensur natural (după [140]) și b. prehensur artificial (după [65])	44
Figura 3.2 Moduri de clasificare a prehensurilor artificiale (după [141], [124])	45
Figura 3.3 Clasificarea sistemelor de prehensiune din punct de vedere al aplicațiilor specifice (după [124], [48]).....	46
Figura 3.4 Prehensur moale în poziție deschisă (a și b) și în poziție închisă (c și d) (după [98]).....	47
Figura 3.5 Micro prehensur (a – vedere de ansamblu, b – detaliu de prehensiune) (după [21]).....	48
Figura 3.6 Prehensur pentru materiale moi (a – dimensiuni în mm, b – strategia de prindere a obiectelor, c – detaliu de prehensiune) (după [33])	48
Figura 3.7 Prehensur bazat pe principiul lui Bernoulli – design și principiu de funcționare (după [25])	49
Figura 3.8 Prehensur pentru culegerea ciorchinilor de roșii (după [57])	50
Figura 3.9 Sistem de prindere și tăiere a ciorchinilor de roșii (după [57]).....	51
Figura 3.10 Prehensur cu spumă moale pentru cules roșii (după [24]).....	51
Figura 3.11 Tipuri de prehensuri după principiul de funcționare și scala la care aceștia se aplică (după [37])	52
Figura 3.12 Sistem robotic pentru recoltat tomate ([38]).....	54
Figura 3.13 Sistem robotizat pentru culesul roșiilor (după [64]).....	55
Figura 4.1 Metodologia cercetărilor – schemă	58
Figura 4.2 Etape ale procesului de prehensiune (după [37]).....	59

Figura 4.3 Sistem prehensor antropomorf (după [16])	60
Figura 4.4 Robot în seră	61
Figura 4.5 Servomotor MG995 conectat la placa Arduino (schite realizate cu Tinkercad): a) schema constructivă, b) schema electrică	62
Figura 4.6 Prehensor pentru servomotoare MG995 (1 – brațul stâng, 2 – brațul drept, 3 – servomotor, 4 – roșie)	63
Figura 5.1 Poziția serei în care s-au efectuat experimentele (prelucrare Google Maps)	65
Figura 5.2 Roșii San Marzano în sera proprie de la Lugoj (arhiva personală) ..	66
Figura 5.3 Etape de maturitate ale tomatelor (după [130])	67
Figura 5.4 Modulul cameră conectat la Raspberry Pi (după [81])	68
Figura 5.5 Rutina de detectare a unei roșii efectuată de Raspberry Pi	70
Figura 5.6 Rutina de prelucrare a imaginii	71
Figura 5.7 Rutina de determinare a coordonatelor unui fruct copt	72
Figura 5.8 Determinarea pozițiilor extreme ale unui segment de culoare roșie (a – pe orizontală, b – pe verticală)	73
Figura 5.9 Spectrul culorilor (după [73])	74
Figura 5.10 Culori admisibile pentru o roșie coaptă, raportat la spectrul culorilor și cele 3 componente ale filtrului pentru culoarea roșie	75
Figura 5.11 Cantitatea de roșu aferentă fiecărei etape de coacere a roșiilor... de seră	75
Figura 5.12 Validarea programului de recunoaștere a roșiilor coapte în condiții	76
Figura 5.13 Lampă COB LED folosită ca lampă ajutătoare (după [2])	78
Figura 5.14 Poziționarea lămpilor ajutătoare	79
Figura 6.1 Stand experimental în laborator pentru cercetarea interacțiunii dintre prehensor și roșie în vedere principală (arhiva personală)	82
Figura 6.2 Stand experimental (detaliu vedere de sus)	84
Figura 6.3 Probe de roșii analizate	85
Figura 6.4 Definirea dimensiunilor unei roșii	85
Figura 6.5 Detaliu de măsurare a dimensiunilor roșiei cu șublerul	86
Figura 6.6 Detaliu de măsurare a masei cu balanța Ohaus	87
Figura 6.7 Detaliu de funcționare al comparatoarelor	88
Figura 6.8 Deformația totală și deformația relativă a roșiei	89
Figura 6.9 Detaliu de prindere a roșiei	90
Figura 6.10 Matricea de împrăștiere pentru cele 3 variabile analizate: deformația relativă (ΔD_{rel}), variația forței de apăsare (F) și unghiul servomotorului (U)	91
Figura 6.11 Dependența dintre deformația relativă și unghiul servomotorului ..	92
Figura 6.12 a) Deformația relativă ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 1	95
Figura 6.13 Dezaxaj între punctele de aplicare a forțelor specifice și centrul de greutate C al roșiei	100
Figura 6.14 Dependența dintre variația forței de apăsare și unghiul servomotorului	101
Figura 6.15 a) Variația forței medii ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 1	103
Figura 6.16 Dependența dintre ΔD_{rel} și F	110
Figura 6.17 a) Deformația relativă ca funcție de variația forței medii pentru proba 1	111
Figura 6.18 Forțele care acționează la prinderea unei roșii	117
Figura 7.1 Schema de cultivare a tomatelor în sera în care s-au efectuat experimentele	124

Importanța și necesitatea temei

Figura 7.2 Schema cinematică de principiu a unui sistem robotic automat pentru culesul roșiilor	126
Figura 7.3 Schema funcțională bloc a sistem robotic automat pentru culesul roșiilor propus	127
Figura 7.4 Platforma mobilă: a) vedere din lateral, b) vedere de sus (după [3])	128
Figura 7.5 Driver L293D (după [88])	129
Figura 7.6 Senzor ultrasonic HC-SR04 (după [127])	129
Figura 7.7 Schema de legare a motoarelor platformei mobile la Arduino	130
Figura 7.8 Microcontroler compatibil Arduino Mega 2560 (după [84])	131
Figura 7.9 Microcontroler compatibil Arduino Mega 2560 – schema de conectare a pinilor (după [84])	132
Figura 7.10 Raspberry Pi 3B+ (după [95])	135
Figura 7.11 Raspberry Pi 3B+ - schema conectorilor	136
Figura 7.12 Acumulator TED GBS12505 (după [133])	137
Figura 7.13 Platformă rotativă Sain Smart (după [105])	137
Figura 7.14 Brațul robotic original, cu 5 grade de libertate (după [4])	138
Figura 7.15 Brațul robotic modificat: a) vedere din spate, în seră, b) vedere din față, în condiții de laborator (concepție proprie)	139
Figura 7.16 Servomotor FS5115M (după [91])	139
Figura 7.17 Schema logică pentru deplasarea robotului în seră	141
Figura 7.18 Determinarea deplasării brațului robotic pentru a se centra pe axa roșiei	145
Figura 7.19 Calculul distanței până la roșia coaptă	145
Figura 7.20 Relații între deplasarea pe orizontală și unghiurile servomotoarelor	148
Figura 7.21 Relații între deplasarea pe verticală și unghiurile servomotoarelor	149
Figura 7.22 Procesul de prindere a roșiei	153
Figura 7.23 Prinderea roșiei fără a o deteriora	154

LISTA ABREVIERILOR

Ah	amper-oră
bmp	bitmap, format pentru stocarea digitală a imaginilor
cd	candelă
COB LED	chip on board light emitting diode
CROPS	CROPS - Clever robots for crops, proiect Wageningen Plant Research; Technical University München; Ben-Gurion University in the Negev; Jentjens Machinetechnik B.V. (01.01.2011 - 31.12.2012).
CSI	Camera Serial Interface (interfața / portul serial de conectare a camerei video)
D8	pin de comunicare dintre prehensor și placa Arduino
DEXONLINE	Dicționarul Explicativ al Limbii Române, Online
d_{med}	diametrul suprafeței sensorului
D_{med}	diametrul roșiei, măsurat pe baza a 2 diametre longitudinale, $D_i (i = \overline{1,2})$
DOF	degree of freedom (grad de libertate)
et al	și ceilalți
etc	et caetera
EUR	Euro, moneda
ETR	echipament tehnologic robotizat
$F_{spec}, F_{spec,i}$	forța specifică, respectiv forța specifică înregistrată de senzorul $i (i = \overline{1,2})$
g	grame
GND	ground, polul negativ de alimentare
GNSS	Global Navigation Satellite System (sistem de navigație bazat pe semnale de la sateliți)
GPS	Global positioning system, rețea de sateliți folosită pentru determinarea diferitelor locații pe Pământ
H_{med}	înălțimea roșiei, măsurată pe baza a 2 înălțimi transversale, $H_i (i = \overline{1,2})$
ha	hectar ($1 ha = 10.000 m^2$)
HelpMate	primul robot independent utilizat în spitale, în 1988
HSL	hue-saturation-lightness
HSV	hue-saturation-value
INSSE	Institutul Național de Statistică din România (denumire în perioada 1998-2001 Institutul Național de Statistică și Studii Economice)
ISCED	International Standard Classification of Education (Clasificarea internațională standard a educației)
ISO	International Organization for Standardization
K	potasiu
kg	kilogram
kHz	kilo Hertz
km	kilometru
m^2	metri pătrați
mAh	miliamper-oră
MBPS	mega biți pe secundă
MP	mega pixel ($1MP = 10^6 pixels$)
NASA	National Aeronautics and Space Administration

Importanța și necesitatea temei

NO	monoxid de azot
P	fosfor
pH	potențial de hidrogen (indicator al acidității unei soluții)
PWR	power, polul pozitiv de alimentare
RADAR 00	Robot Automat De Adunat Roșii, nivelul model experimental
RGB	red-green-blue
rpm	rotații pe minut
s	secundă
SCARA	selective compliance assembly robot arm (braț robotic de asamblare a conformității selective)
SIG	signal, pinul de semnal
UE 2017	Uniunea Europeană în componența administrativ-teritorială din 2017
UE	Uniunea Europeană
U.M.	unități de măsură
V	volt
ΔD_e	deformația relativă a roșiei măsurată cu un comparator electronic
ΔD_m	deformația relativă a roșiei măsurată cu un comparator mecanic
ΔD_{rel}	deformația relativă a roșiei
ΔD	deformația totală a roșiei
F	forța aplicată pe suprafața de măsurare
$G = mg$	greutatea unei roșii
R	rezistența înregistrată pe senzor
U	unghiul servomotorului
m	masa roșiei
mm	milimetru ($1\text{ mm} = 10^{-3}m$)
nm	nanometru ($1\text{ nm} = 10^{-9}m$)
p	presiunea suportată pe suprafața de măsurare
μm	micrometru ($1\ \mu m = 10^{-6}m$)

1 IMPORTANȚA ȘI NECESITATEA TEMEI. OBIECTIVELE ȘI STRUCTURA TEZEI

1.1 Importanța și necesitatea temei

1.1.1 Scurt istoric și aspecte structurale generale și istoric

Robotica este, conform DEXONLINE [30], un domeniu interdisciplinar al științei și tehnicii care studiază proiectarea și tehnicile de construcție a roboților. Tot din perspectiva definirii conceptului, un **robot** este un "aparatur automat al cărui program conține un sistem complex cu legături inverse (cu reacție), stabilite la anumite excitații exterioare și care, ca urmare, este capabil de o serie de acțiuni dirijate"[29]. Așadar, un robot este un dispozitiv care poate fi programat pentru realizarea anumitor munci repetitive, inclusiv pentru manipularea diverselor obiecte.

Din punct de vedere istoric, roboții există încă din antichitate [129], conceptul fiind menționat de Heron din Alexandria în lucrările sale despre automate. În Evul mediu, automatele mecanice bazate pe mecanisme asemănătoare cu cele ale ceasurilor erau construite mai degrabă ca amuzamente, cum a fost cavalerul mecanic propus de Da Vinci în 1495 sau rața lui Vaucanson, în 1737 [75]. Totuși, deși prima mașină robotizată modernă a fost războiul de țesut Jacquard produs în 1804, termenul de „robot” a fost utilizat pentru prima dată în accepțiunea modernă în 1921, de către scriitorul ceh Karel Čapek [10].

Ca ramură modernă și avansată a științei calculatoarelor, robotica are un rol important în mai toate domeniile vieții cotidiene. Roboții au devenit omniprezenți, îndeplinind roluri variate, de la asistență în gospodărie (roboții de bucătărie sau chiar roboții de curățenie) și asistenți personali [52], la mijloace de transport fără șofer, jucării robotice, roboți industriali sau roboți agricoli.

Robotica presupune o automatizare și specializare a activităților, care pot fi realizate urmând o anumită schemă logică de tip „dacă [CONDIȚIE] atunci [ACȚIUNE]”.

Începând cu secolul XX, roboții au fost folosiți pe scară largă în industrie. Roboții industriali pot fi clasificați din punct de vedere al aplicațiilor sau al configurațiilor [128].

Din punct de vedere al aplicațiilor se disting 4 tipuri de roboți industriali [128]: roboți non-servo (utilizați cu precădere pentru a muta și deplasa obiecte), roboți servo (care pot realiza mai multe sarcini, datorită manipulatorilor și efectorilor integrați), roboți programabili (care pot stoca un număr de comenzi într-o bază de date și pot efectua diverse sarcini de mai multe ori), roboți programabili de pe computer (care sunt, în esență, roboți servo dar care pot fi controlați de la distanță, printr-un computer).

Din punct de vedere al configurațiilor se disting 5 tipuri de roboți industriali [128]: roboți articulați vertical (brațe articulate), roboți cu configurație carteziană, roboți cu configurație de tip SCARA (selective compliance assembly robot arm), roboți cu configurație cilindrică, roboți cu configurație polară, etc.

Sistemele robotice actuale pot fi alimentate de motoare electrice, hidraulice sau actuatoare pneumatice. Gama de mișcare a unui robot se măsoară prin numărul de grade de libertate („degree of freedom”, DOF), noțiune care se referă la numărul de axe pe care un braț robotic este capabil să se miște. Deoarece fiecare mișcare axială este asigurată de un motor electric, numărul gradelor de libertate poate fi asimilat, de regulă, cu numărul de motoare care acționează robotul.

Controlul unui robot modern se realizează cu un computer pe care este instalat sistemul de operare al robotului și elementele software necesare pentru rularea sarcinilor automate. Controlul se poate realiza de la distanță sau prin intermediul consolelor de control portabile, conectate prin cabluri la robot și la computerul de comandă.

Montarea sistemelor robotice se realizează în așa fel încât să permită accesibilitatea în spațiul de lucru pentru care este proiectat robotul.

Integrarea roboților se realizează considerând 3 aspecte: complexitate, preț și performanță. Un sistem integrat ar trebui să folosească pe scară largă tehnologiile moderne pentru a simplifica sistemul cât mai mult posibil dar fără a face rabat de la performanță sau a compromite prețul. Atingerea unui echilibru între complexitate, preț și performanță se face fie prin alegerea componentelor – generalizate sau specifice – fie prin integrarea componentelor sistemului robotic [128], [5].

1.1.2 Posibilități de folosire a roboților la munci agricole

Dacă scopul inițial în dezvoltarea de roboți industriali a fost de a prelua și îmbunătăți anumite activități din fabrici, în momentul de față se construiesc roboți care pot fi utilizați în agricultură, ferme și munci forestiere.

O dată cu introducerea roboților în agricultură, productivitatea agricolă a început să crească. Roboții agricoli (agroroboții) înlocuiesc munca fizică a fermierilor, realizând sarcini încete, repetitive și, deseori, greoaie [89], [7]. Printre activitățile realizate cu ajutorul agroroboților se numără [9],[90]:

- Recoltarea ([11], [12]) și culesul fructelor ([45], [143])
- Întreținerea culturilor ([39], [131])
- Cosirea autonomă ([110], [115])
- Tăierea / toaletarea ([47], [18])
- Însămânțarea ([111], [62])
- Plantarea ([116], [6])
- Stropirea ([106], [20], [58])
- Rărirea / copilirea culturilor ([66], [138])
- Fenotiparea ([142], [79])
- Sortarea și ambalarea recoltei ([56], [28])
- Realizarea de platforme utilitare ([14], [139], [44])

Printre cele mai populare aplicații ale roboților în agricultură sunt operațiile de recoltare și cules. Folosirea roboților poate îmbunătăți cantitatea recoltei, prin reducerea deșeurilor rămase în urma culesului (fructe și legume nerecoltate la timp, etc). Aplicațiile de cules fac apel la integrarea unor sisteme de identificare a fructelor și legumelor care trebuie să funcționeze în condiții relativ necunoscute (praf, condiții de iluminat variabile, fluctuații de temperatură, vânt, etc.). Mai mult decât atât, un braț robotic dedicat culesului ar trebui să se deplaseze într-un mediu cu obstacole mai mult sau mai puțin neprevăzute, care implică folosirea unui sistem de ghidare flexibil sau a unui mediu parțial controlabil.

Un astfel de mediu, parțial controlabil, se poate întâlni în sere și solarii.

Serele sunt structuri extrem de sofisticate, care au ca scop asigurarea condițiilor ideale pentru creșterea și producția satisfăcătoare a plantelor pe tot parcursul anului. Factorii de creștere „lumină, temperatură, umiditate și compoziția aerului” trebuie furnizați și menținuți la niveluri optime. O seră bine proiectată trebuie să asigure condițiile climatice necesare pentru creșterea și producția plantelor pe tot parcursul anului și să mențină factorii climatici importanți cât mai aproape de optimul specificat. Astfel, serele sunt necesare pentru a permite o transmisie a luminii ridicată, un consum redus de căldură, o eficiență suficientă a ventilației, o rezistență structurală adecvată și un comportament mecanic general bun, costuri reduse de construcție și funcționare [132].

Chiar dacă ideea de a cultiva plante într-un mediu controlat datează din antichitate, primele sere moderne au apărut în secolul XVI, în Italia, având ca scop principal creșterea plantelor tropicale aduse de exploratori din călătoriile lor. De aici, conceptul s-a răspândit în Olanda și Anglia [80]. Primele sere din Olanda au fost construite în jurul anului 1850 și au fost folosite pentru cultivarea strugurilor. S-a descoperit că dacă plantele cresc în sere încălzite, randamentul culturilor crește proporțional cu cantitatea de sticlă, iar plantele se maturizează mai repede atunci când primesc mai multă lumină și dacă se află într-un mediu constant și cald. Acest lucru le-a permis fermierilor să cultive în Olanda produse care ar crește altfel doar într-o climă mai caldă.

În întreaga lume, serele sunt construite într-o mare varietate de forme și dimensiuni. Una dintre cele mai noi tehnologii utilizate în sere este tehnologia hidroponică (pentru culturile cu sistem radicular profund care utilizează medii fără pământ sau sistemul radicular superficial scufundat în apă; utilizarea apei, apa de ploaie, desalinizarea, reciclarea apei și a nutrienților). Sera inteligentă este o altă tehnologie de ultimă oră. Într-o seră inteligentă poate fi controlată temperatura, umiditatea, vântul, lumina și alți factori care ajută în producție.

La nivelul Uniunii Europene sunt active sere de sticlă sau acoperite pe mai mult de 120.000 hectare, în care sunt cultivate legume proaspete, flori și plante ornamentale, sau culturi permanente [36] și sunt prevăzute cu sisteme de aclimatizare ce folosesc combustibili fosili. În România se cultivă în sere, sere mici și tuneluri din plastic peste 3800 hectare.

Cele mai noi date consolidate de Eurostat [36], la nivelul anului 2016, descriu situația în cele 28 state membre ale Uniunii Europene cu privire la existența serelor de sticlă sau acoperite. Raportat la numărul de hectare, situația este prezentată detaliat în Tabelul 1.1.

Conform acestor date, procentajul de teren agricol ocupat de sere față de totalul terenului agricol disponibil pentru cultivat legume în România este de 0,045%, comparabil cu Ungaria (0,043%), Polonia (0,048%), Franța (0,046%), așa cum reiese și din Figura 1.1. Cel mai mare procentaj de teren agricol ocupat de sere care produc legume este în Malta (1,098%), iar cel mai mic în Cehia și Luxemburg (0%). Comparativ cu Ungaria, Polonia și Franța, România are cel mai mare număr de exploatații agricole de tip seră (21730), dar și cea mai mică suprafață medie a unei exploatații (de 0,16 ha, în comparație cu Franța, unde suprafața medie a unei sere este de 0,79 ha, Polonia – cu 0,53 ha și Ungaria – cu 0,20 ha). Toate aceste date sugerează că exploatațiile agricole

Importanța și necesitatea temei

de tip sere din România sunt mai puțin eficiente decât cele din țările Uniunii Europene cu procentaj similar de teren ocupat de sere.

Tabelul 1.1 Suprafețe cultivate în sere, în Uniunea Europeană, ca număr de hectare ([36])

Țara (UE 2017)	Teren agricol exclusiv pentru fructe și legume [ha]	Suprafața cultivată cu legume proaspete (inclusiv pepeni și căpșuni), în sere de sticlă sau acoperite [ha]	Flori și plante ornamentale (nu răsaduri), în sere de sticlă sau acoperite [ha]	Culturi permanente în sere de sticlă sau acoperite [ha]
Austria	1.344.380	490	200	0
Belgia	855.410	1.500	490	90
Bulgaria	3.243.960	1.030	30	0
Cehia	2.473.220	0	0	0
Cipru	84.250	340	30	0
Croația	881.620	500	120	0
Danemarca	2.361.200	120	240	20
Estonia	686.560	20	10	0
Finlanda	2.164.960	270	120	0
Franța	18.249.970	8.370	1.930	0
Germania	11.819.330	1.620	1.790	130
Grecia	1.762.250	4.980	200	70
Irlanda	458.290	270	0	0
Italia	7.145.040	24.310	3.610	390
Letonia	1.284.650	40	10	0
Lituania	2.130.250	270	20	0
Luxemburg	61.980	0	0	0
Malta	9.110	100	10	0
Marea Britanie	6.027.340	1.770	520	0
Polonia	10.805.610	5.180	1.050	0
Portugalia	1.043.300	1.710	600	0
România	7.813.430	3.540	350	0
Slovacia	1.346.500	80	10	0
Slovenia	175.120	170	40	0

IMPORTANȚA ȘI NECESITATEA TEMEI. OBIECTIVELE ȘI STRUCTURA TEZEI

Țara (UE 2017)	Teren agricol exclusiv pentru fructe și legume [ha]	Suprafața cultivată cu legume proaspete (inclusiv pepeni și căpșuni), în sere de sticlă sau acoperite [ha]	Flori și plante ornamentale (nu răsaduri), în sere de sticlă sau acoperite [ha]	Culturi permanente în sere de sticlă sau acoperite [ha]
Spania	11.462.910	39.730	3.050	760
Suedia	2.565.450	150	150	0
Țările de Jos	1.028.170	4.920	3.820	90

Situația la nivelul Uniunii Europene din 2016 raportată la numărul de exploatații este sintetizată în Tabelul 1.2.

Tabelul 1.2 Suprafața cultivată în sere, în Uniunea Europeană, ca număr de exploatații agricole ([36])

Țara (UE 2017)	Număr exploatații agricole	Număr exploatații cultivate cu legume proaspete (inclusiv pepeni și căpșuni), în sere de sticlă sau acoperite	Număr de exploatații cultivate cu flori și plante ornamentale (nu răsaduri), în sere de sticlă sau acoperite	Număr de exploatații cultivate cu culturi permanente în sere de sticlă sau acoperite
Austria	69.380	860	800	0
Belgia	32.460	1.030	440	50
Bulgaria	115.460	4.300	130	0
Cehia	17.010	0	0	0
Cipru	16.640	420	40	10
Croația	102.730	2.360	830	0
Danemarca	31.110	170	290	70
Estonia	9.500	110	20	0
Finlanda	49.300	720	530	0
Franța	317.340	10.550	3.190	0
Germania	206.490	2.190	3.480	330
Grecia	296.080	7.720	580	160
Irlanda	20.410	60	0	0
Italia	705.740	14.740	3.740	420

Importanța și necesitatea temei

Țara (UE 2017)	Număr exploatații agricole	Număr exploatații cultivate cu legume proaspete (inclusiv pepeni și căpșuni), în sere de sticlă sau acoperite	Număr de exploatații cultivate cu flori și plante ornamentale (nu răsaduri), în sere de sticlă sau acoperite	Număr de exploatații cultivate cu culturi permanente în sere de sticlă sau acoperite
Letonia	48.980	270	90	0
Lituania	131.830	7.240	240	0
Luxemburg	1.440	10	10	0
Malta	8.680	410	20	0
Marea Britanie	89.910	1.380	1.290	0
Polonia	1.220.940	9.820	2.580	0
Portugalia	165.720	2.890	950	0
România	2.375.660	21.730	1.330	0
Slovacia	18.160	120	30	0
Slovenia	55.160	600	200	0
Spania	441.660	19.090	2.810	690
Suedia	60.290	360	560	0
Țările de Jos	42.150	1.330	1.990	100
Ungaria	232.500	8.330	990	0

Gradul foarte mare de fragmentare a proprietății și, implicit, eficiența scăzută a exploatațiilor agricole de tip seră, sunt factori care pot influența disponibilitatea producătorilor locali de a investi în echipamente specifice care să ușureze munca în sere.

În domeniul serelor agricole din România sunt mai multe tipuri de probleme și dificultăți deoarece robotii utilizați în agricultură sunt relativ scumpi în comparație cu câștigurile producătorilor, astfel încât se preferă muncitori (care au un randament mai mic, dar nu presupun o investiție serioasă) în locul roboților (care au un randament mai mare, dar presupun o investiție inițială substanțială).

Vorbind despre rolul cercetărilor economice, de marketing și legate de consumatori, Stegelin [120] a subliniat necesitatea unei structuri organizate a sistemului agroindustrial pentru a oferi câștiguri economice în domeniul horticulturii.

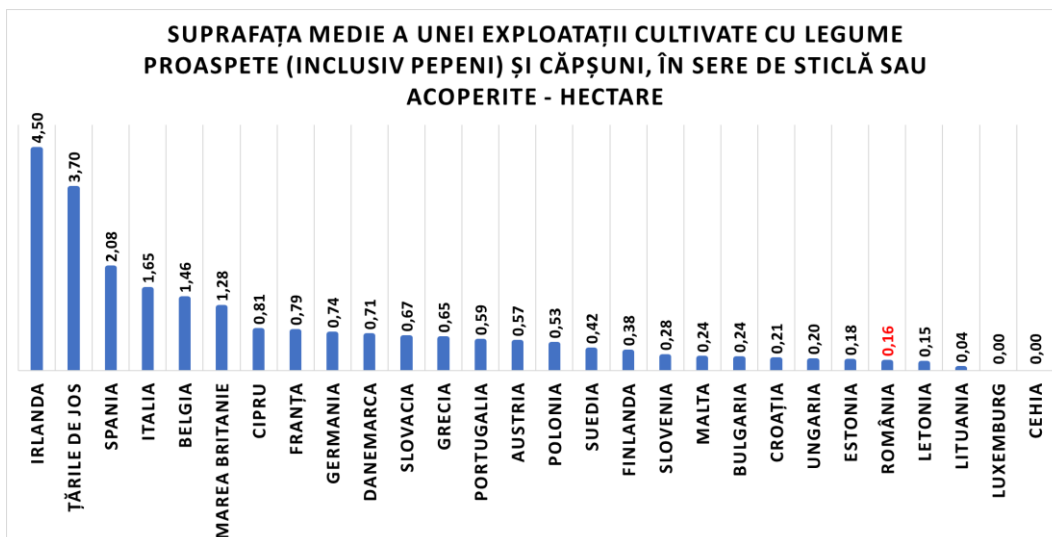


Figura 1.1 Suprafața medie a unei exploatații agricole de tip seră (bazat pe [36])

Actualmente, în condițiile în care piața muncii este în schimbare, lucrătorii dispuși și disponibili pentru a face munci agricole sunt din ce în ce mai puțini, iar suprafața cultivată în sere crește continuu, răspunsul la problemele cultivatorilor este dat de folosirea sistemelor robotizate în agricultură, și în special în sere [134]. Acest lucru are multiple avantaje, printre care [92]:

- Serele devin mai eficiente, datorită scăderii distanței dintre plante și a folosirii mai eficiente a spațiului
- Accidentele de muncă sunt reduse semnificativ
- Există posibilitatea cultivării de amestecuri complexe
- Există posibilitatea recoltării culturilor non-stop (24 de ore din 24)

Utilizarea roboților în sere este așadar un subiect de actualitate, așa cum este subliniată și în lucrările lui Roldán et al.[102] sau [103]. Din cercetările lor reiese că productivitatea serelor depinde în mare măsură de condițiile de mediu ale culturilor, cum ar fi temperatura și umiditatea. Controlul și monitorizarea ar putea avea nevoie de rețele mari de senzori și, în consecință, sistemele senzoriale mobile ar putea fi o soluție mai potrivită.

Utilizarea roboților în agricultură a fost generată de nevoia cultivatorilor de plante de consum și alte plante industriale, de a avea o mână de lucru mai ieftină cu un randament cât mai mare, având în vedere faptul ca roboții pot depune eforturi mari, pot lucra 24 de ore pe zi, în condiții de stres și la temperaturi variabile.

Robotica ar trebui privită ca o soluție pentru o horticultură durabilă. În acest moment nu există niciun robot de recoltare adecvat pentru nicio cultură, din cauza lipsei unei inteligențe suficiente la actualii roboți de recoltare dezvoltați în proiecte de cercetare (internaționale).

În acest sens, proiectul CROPS [136], dezvoltat de un consorțiu condus de Wageningen Plant Research, se concentrează pe dezvoltarea de sisteme inteligente pentru producția și recoltarea culturilor de mare valoare. Prin acest proiect s-a urmărit realizarea unui sistem autonom pentru recoltarea ardeilor și, prin urmare, pe dezvoltarea unui sistem robotic inteligent care să permită desfășurarea sa în medii nestructurate.

Utilizarea roboților în agricultură presupune abordarea unor probleme care țin de [42]:

- navigarea autonomă (cu planificarea geometriei câmpului, planificarea traseului robotului, planificarea mișcării, navigarea asistată din satelit / GPS, navigarea în funcție de poziția plantelor sau a pomilor)
- identificarea fructelor și a gradului lor de maturitate și, respectiv, a mediului lor de creștere
- interacțiunea cu fructele și cu mediul lor de creștere

Pentru a fi eficient, un robot culegător de fructe trebuie în primul rând să identifice corect un fruct copt, iar în al doilea rând să nu deterioreze fructul atunci când îl culege. Dacă identificarea fructului copt se face în principal folosind sisteme optice ([22], [42], [125]), interacțiunea robotului cu fructele presupune optimizarea constructivă a elementelor de prehensiune ([101], [60], [141]).

În acest sens, cercetarea de față se înscrie într-o serie de cercetări mai largi, la nivel mondial, care au ca scop optimizarea muncii în sere folosind roboți. În mod special, este de o deosebită importanță optimizarea sistemelor de prehensiune în relație cu calitatea produselor recoltate. Aceste provocări vor fi studiate în lucrarea de față și vor fi propuse soluții aplicabile în România pentru eficientizarea muncilor agricole în sere.

1.2 Obiectivele tezei

Obiectivul principal al tezei este optimizarea constructivă și funcțională a elementelor componente ale sistemelor robotizate folosite în sere, în scopul creșterii performanței calitative și cantitative a procesului de recoltare a legumelor (tomatelor), și integrarea acestor elemente într-un prototip de sistem robotizat pentru asistarea procesului de recoltare în sere.

Pentru atingerea acestui obiectiv, s-a considerat necesară îndeplinirea următoarelor obiective secundare subsumate:

- OS1: Analiza cerințelor pieței privind posibilitățile de utilizare a sistemelor robotizate în serele din zona de Vest a României (judetele Timiș și Arad)
- OS2: Analiza cerințelor pieței privind particularitățile elementelor structurale și funcționale ale sistemelor de prehensiune utilizate în sere
- OS3: Analiza critică a principalelor sisteme de prehensiune utilizate în agricultură
- OS4: Determinarea unor soluții optime privind sistemele de identificare a fructelor coapte
- OS5: Determinarea unor soluții optime privind interacțiunea dintre sistemul de prehensiune și fructele coapte
- OS6: Integrarea și optimizarea componentelor de prehensiune și optice într-o structură robotică destinată lucrărilor din sere

1.3 Structura tezei

Lucrarea este structurată pe 7 capitole, concluzii și anexe.

Primul capitol prezintă importanța și necesitatea temei alese: aspecte structurale generale și de ordin istoric referitoare la robotică și roboți, dar și tendințe actuale de folosire a roboților la munci agricole și forestiere. În mod special este analizată poziția României raportat la situația suprafețelor cultivate în sere și al numărului de exploatații agricole de tip seră la nivelul Uniunii Europene. De asemenea, este prezentat obiectivul principal al tezei și obiectivele secundare subsumate acestuia, precum și structura tezei.

În al doilea capitol se prezintă o analiză a posibilităților de utilizare a sistemelor robotizate în sere. Preliminar cercetării, a fost analizată suprafața cultivată cu legume în sere și solarii în regiunea de Vest a României și în județul Timiș, în raport cu ultimele date furnizate de INSSE. Pentru regiunea de Vest a României, mai precis în județele Timiș și Arad, a fost realizat în concepție proprie și distribuit un chestionar care să identifice principalele nevoi ale producătorilor proprietari de sere și solarii. În urma colectării, interpretării și validării rezultatelor acestui chestionar, au fost identificate poziția și nevoile respondenților față de folosirea sistemelor robotizate în sere. A fost identificată cea mai importantă funcție de utilitate din punct de vedere al producătorilor (funcția de recoltare și ambalare) și au fost identificate caracteristici tehnice și structurale necesare unui robot care să realizeze recoltarea efectivă a fructelor.

În capitolul 3 este prezentată o analiză critică privind stadiul actual al principalelor sisteme de prehensiune utilizate în agricultură. Este prezentat stadiul actual al cunoașterii în domeniul soluțiilor de prehensiune – diferite tipuri de prehensori și aplicațiilor lor. Sunt prezentați prehensori specifici pentru sistemele de recoltat legume dar și posibilități pentru integrarea soluțiilor de prehensiune în sistemele robotice de recoltat. În final, este prezentată, comparativ cu soluțiile existente actual, **o concepție proprie cu privire la realizarea unui echipament tehnologic robotizat pentru culegerea roșiilor în sere.**

Capitolul 4 conține cercetări teoretice și experimentale privind particularitățile elementelor structurale și funcționale ale sistemelor de prehensiune folosite la lucrările din sere. Este descrisă metodologia cercetărilor: pornind de la rezultatele chestionarului administrat către producători și până la realizarea unui prehensor pentru culesul roșiilor. Este investigat procesul de lucru al unui prehensor, apoi este prezentată conceperea și optimizarea funcțională a unui prehensor folosit la sistemele robotizate din sere și sunt evidențiate etapele culegerii unui fruct copt, care presupun aspecte tehnice și de programare deosebite și care fie investigate în capitolele ce urmează.

În capitolul 5 sunt incluse cercetări experimentale privind optimizarea sistemelor de identificare a fructelor coapte. Este prezentată sera unde s-au făcut experimentele pe teren și soiul de roșii pe care a fost testat sistemul (roșii San Marzano). Este prezentat sistemul de culegere a imaginilor și algoritmi în concepție proprie pentru prelucrarea acestora și identificarea fructelor coapte. De asemenea, este prezentat un sistem propriu pentru optimizarea procesului de culegere a imaginii.

Al șaselea capitol prezintă cercetările experimentale privind interacțiunea între sistemul de prehensiune și roșiile coapte. Este prezentat **standul experimental realizat în concepție proprie**, roșiile pe care au fost făcute testele și caracteristicile acestora. Sunt identificate datele colectate și posibilele relații dintre ele, cu aplicație directă în calibrarea prehensorului și a senzorilor de forță atașați acestuia în scopul de a culege roșia fără a o deteriora. Datele obținute au fost analizate apoi din punct de vedere al fezabilității soluțiilor obținute pentru transpunerea la alte soiuri de roșii – respectiv pentru culegerea altor tipuri de roșii fără a le deteriora.

Capitolul 7 conține cercetări privind integrarea și optimizarea componentelor într-o structură robotică destinată lucrărilor în sere și solarii. Sunt prezentate condițiile impuse de teren, o schemă de principiu a unui echipament tehnologic robotizat (ETR) pentru culesul roșiilor și sistemul de mobilitate specific în sere. Schema este prezentată în detaliu, argumentând folosirea fiecărei componente. Sunt prezentate modalitățile de programare a componentelor pentru integrarea lor într-un tot unitar. Este prezentat algoritmul pentru sistemul de mobilitate specific în sere realizat în concepție proprie și modul în care acesta este programat. Sunt prezentați algoritmi și elementele de programare corespunzătoare, realizate în concepție proprie pentru calculul optimizării deplasării la recoltat și pentru culegerea efectivă a roșiei.

În fine, sunt prezentate concluziile, contribuțiile personale și materialele anexe folosite pentru realizarea prezentei cercetări.

2 ANALIZA POSIBILITĂȚILOR DE UTILIZARE A SISTEMELOR ROBOTIZATE ÎN SERE

2.1 Condiții preliminare

Poziția României în Uniunea Europeană sub aspectul suprafețelor cultivate în sere și al numărului de exploatații agricole de tip seră a fost prezentată în capitolul precedent, bazat pe cele mai noi date consolidate de Eurostat [36].

La nivel de țară și la nivelul vestului României, trebuie menționat că există o diferență între conceptul de seră și cel de solarium, care reiese și din datele INSSE [50].

Astfel, la nivelul anului 2019, în România existau 206 hectare de sere [144]. Conform INSSE [50] în ultimii 10 ani suprafața cultivată cu legume în solarii și sere a diferit semnificativ de suprafața serelor (Figura 2.1).

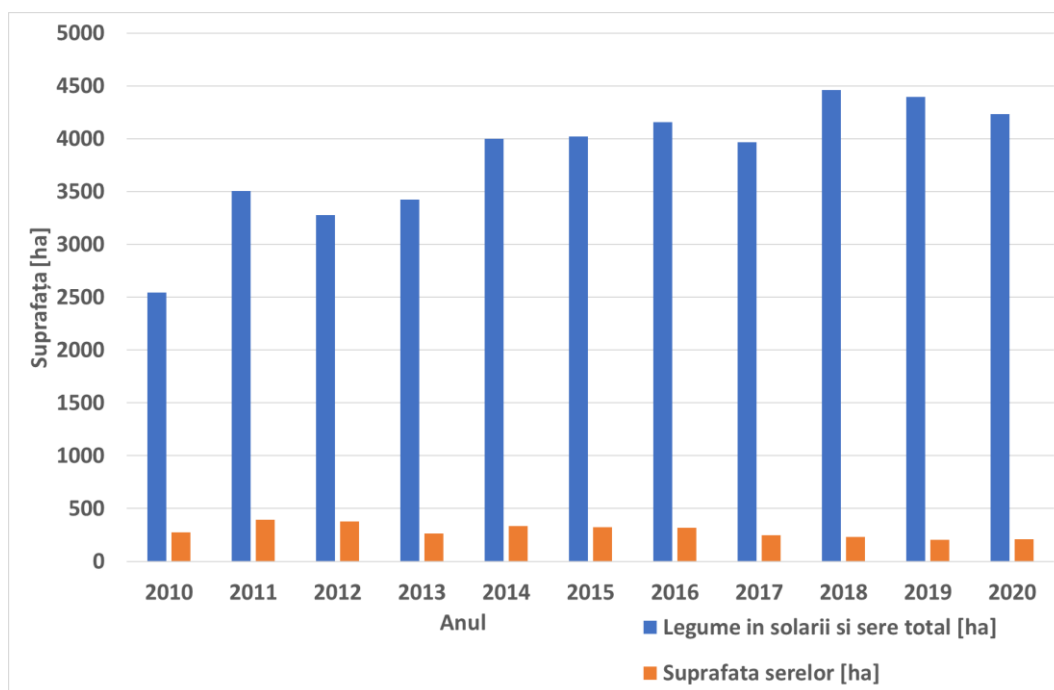


Figura 2.1 Suprafața cultivată cu legume în solarii și sere și suprafața serelor în perioada 2010-2020 (după [50])

Deși în regiunea de Vest a României suprafața cultivată cu legume în solarii și sere a depășit 110 ha (valoarea minimă a fost 116 ha în 2010), în județul Timiș această suprafață nu a depășit 35 ha (valoarea maximă a fost 31 ha în 2011) [50] (Figura 2.2). Conform [144],[50] ponderea, la nivel național, a exploatațiilor agricole individuale este din ce în ce mai mare în ce privește cultivarea legumelor în solarii și sere inclusiv, la

Descrierea metodologiei cercetării

nivelul regiunii Vest (de la 76,72% în 2010 la 98,76% în 2020). La nivelul județului Timiș legumele au fost cultivate în solarii și sere exclusiv în cadrul unor exploatații agricole individuale.

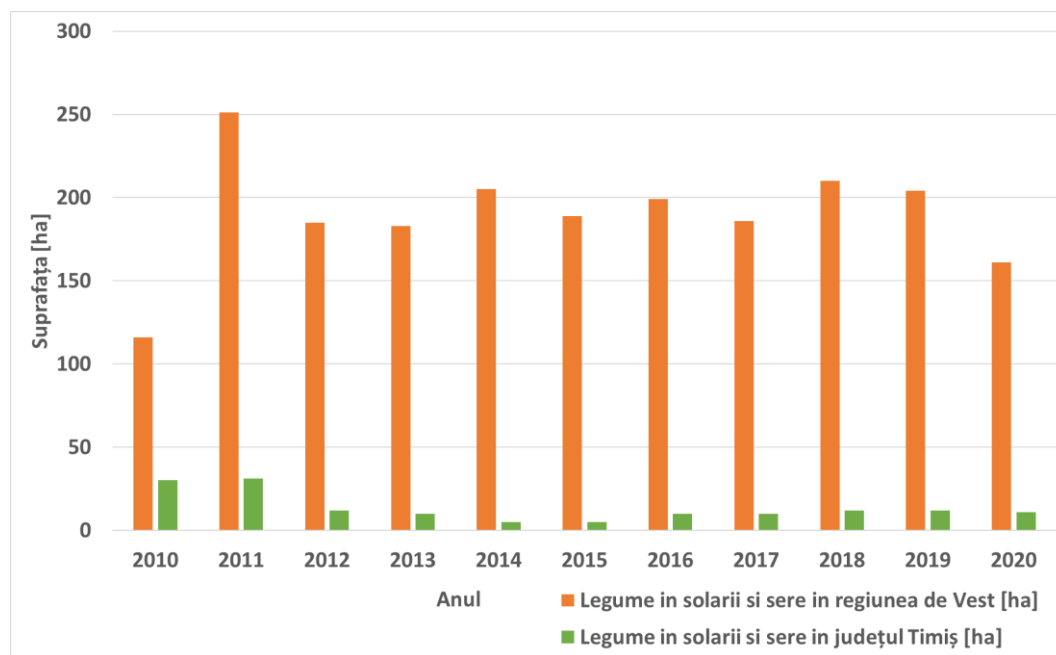


Figura 2.2 Suprafața cultivată cu legume în solarii și sere în regiunea de Vest a României și în județul Timiș

Pornind de la aceste aserțiuni, în cadrul cercetării doctorale s-a urmărit, într-o primă parte, analiza opiniei proprietarilor de sere din zona de Vest a României.

2.2 Descrierea metodologiei cercetării

Metodologia cercetării utilizată pentru analiza posibilităților de utilizare a sistemelor robotizate în sere a presupus un studiu inițial al opiniilor și nevoilor micilor producători proprietari de sere.

Programul activităților incluse în această metodologie este prezentat schematic în Figura 2.3.

Analiza se bazează pe un chestionar care a fost distribuit către 30 persoane, producători horticoli în zona de Vest a României.

Chestionarul cuprinde 16 întrebări și este prezentat în Anexa 1. Publicul țintă a fost 30 persoane, producători proprietari de sere și solarii. Distribuția chestionarului a avut loc în zona rurală a județelor Timiș și Arad (Figura 2.4), în anul 2016.

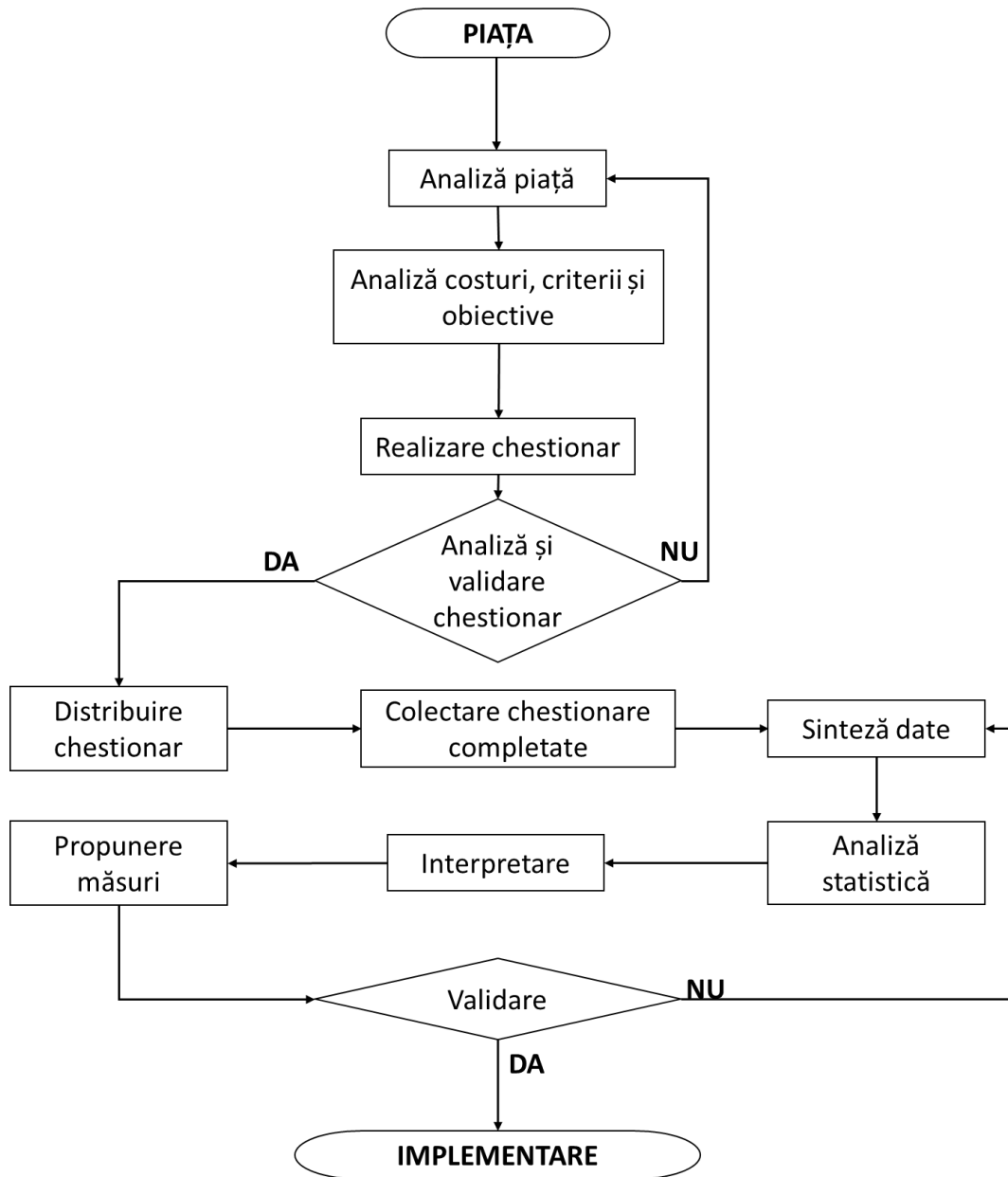


Figura 2.3 Metodica activității de cercetare

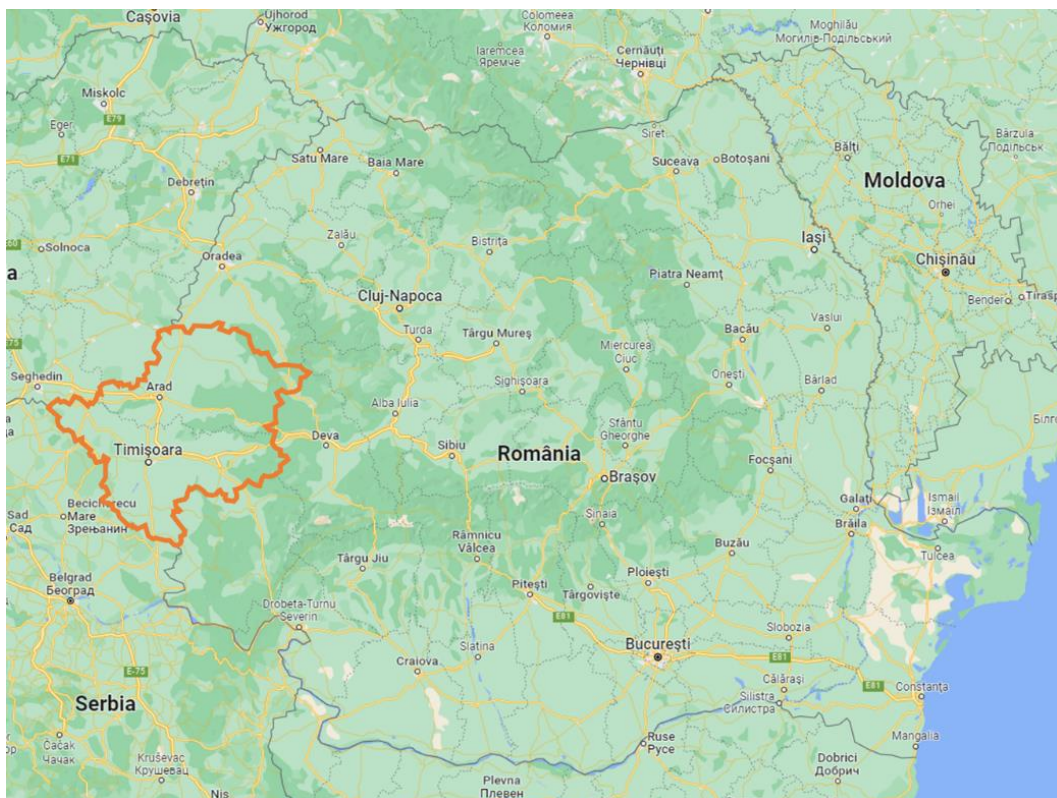


Figura 2.4 Zona de distribuire a chestionarului

Selectarea întrebărilor s-a făcut pornind de la analiza pieței și a nevoilor.

Din cele 16 întrebări, 3 analizează *relația plantă cultivată – agrotehnică – condiții de cultivare*, 5 analizează *managementul și marketingul exploatației*, 4 analizează *posibilitatea / apetența / interesul producătorilor pentru introducerea robotizării* și 4 analizează *nivelul de calificare și alte caracteristici individuale și de mediu social*.

Întrebările 4,5,7 fac referire la relația dintre plantele cultivate, agrotehnica și condițiile existente.

Întrebarea 4 se referă la speciile / soiurile cultivate în cadrul exploatației.

Răspunsurile la întrebare au fost selectate în conformitate cu culturile cultivate în mod tradițional în zona de Vest a României. Datorită caracterului sezonier al culturilor, este posibil ca un producător să cultive mai multe soiuri / specii de plante de-a lungul unui an calendaristic. Răspunsurile la întrebarea 4 sunt: roșii, ardei, castraveți, vinete, salată, ceapă verde. Este posibil ca un producător să cultive și alte tipuri de plante, caz în care s-a ales opțiunea de a le nominaliza.

Întrebarea 5 se referă la tipul de agrotehnică folosit în cadrul exploatației. Este de interes dacă producătorii folosesc cultura pe sol pe un nivel (care are un randament mai mic), cultura pe sol suprapusă (cu un randament crescut și care necesită și o

ANALIZA POSIBILITĂȚILOR DE UTILIZARE A SISTEMELOR ROBOTIZATE ÎN SERE

investiție medie) sau cultura acvaponică (cu un randament mare, dar care necesită și investiție mare).

Întrebarea 7 se referă la tipul de sol pe care este amplasată cultura.

Întrebarea 7a se referă la caracteristicile intrinseci ale solului, care depind de poziția geografică a exploatației. Răspunsurile acoperă principalele tipuri de sol din zonă: sol nămolos, sol nisipos, sol lutos, sol argilos. Solurile argiloase și lutoase sunt în general grele, bogate în nutrienți. Ele stochează bine apa. Umede, sunt lipicioase la atingere, iar uscate sunt netede și foarte tari. Solul nămolos este fertil, stochează apa ușor și se drenează mai greu. Are o textură fină, dar cu particule mai mari decât solul argilos și este potrivit pentru cultivarea legumelor. Solul nisipos este deficitar în nutrienți, necesitând fertilizare regulată. Solul nisipos permite foarte ușor drenajul, ceea ce necesită lucrări de irigație suplimentare.

Întrebarea 7b se referă la compoziția chimică a solului. Compoziția chimică a solului poate fi influențată de lucrările de îngrijire efectuate de producător. Aceasta poate fi ajustată în funcție de cerințele de nutrienți ale plantelor cultivate. În speță, este vorba de pH, NO, K, P care pot fi optime sau neadecvate.

Întrebările referitoare la managementul și marketingul exploatației sunt întrebările 1,2,6,8,13.

Întrebarea 1 stabilește tipul de exploatație – seră sau solarium. Serele sunt construcții permanente, cu pereți de sticlă sau policarbonat, în timp ce solariumele sunt construcții semi-permanente, cu pereți din folie de plastic. Solariumele cuprind și tunelurile acoperite cu folie de plastic.

Întrebarea 2 stabilește dimensiunea exploatației. În acest sens au fost stabilite următoarele limite: exploatații mici – sub 100 m², exploatații medii – cu suprafața între 100 și 500 m², exploatații mari – cu suprafața între 500 și 1000 m² și exploatații foarte mari – cu suprafață peste 1000 m².

Întrebarea 6 stabilește valoarea investiției producătorului în exploatația pe care acesta o deține. Pentru această valoare, au fost stabilite limitele: mai puțin de 10000 EUR, între 10000-25000 EUR, între 25000-50000 EUR, peste 50000 EUR.

Întrebarea 8 se referă la distanța dintre exploatația agricolă și piața de desfacere. Această distanță poate fi mică (între 1-5 km), medie (între 5-10 km), mare (între 20-100 km) și foarte mare (peste 100 km).

Întrebarea 13 solicită opinia producătorilor în privința posibilității unei asocieri în vederea robotizării lucrărilor în sere. Cuantificarea posibilității de asociere se face ținând cont de 5 calificative: imposibilă, posibilă, puțin probabilă, probabilă, sigură.

Întrebările referitoare la interesul producătorilor pentru introducerea robotizării sunt întrebările 3,10,11,12.

Întrebarea 3 stabilește dacă producătorii utilizează roboți la lucrările agricole. Răspunsurile posibile sunt DA și NU, fără să încerce o cuantificare a gradului de utilizare a roboților.

Întrebarea 10 stabilește nivelul de cunoaștere pe care respondenții apreciază că îl au referitor la utilizarea roboților în sere. Nivelul de cunoaștere se apreciază pe o scară de la 1 la 5, în care 1 presupune că subiectul este necunoscut, iar 5 presupune că respondentul apreciază că este expert în domeniu.

Întrebarea 11 cercetează preferințele respondenților cu privire la introducerea robotizării lucrărilor agricole. Concret, ei sunt rugați să acorde calificative de la 1 la 5, în ordinea preferinței (unde 1 înseamnă preferință minimă și 5 preferință maximă) domeniul în care și-ar dori să folosească roboți pentru lucrările agricole, dintre

Rezultate și discuții

următoarele variante: recoltat, monitorizarea culturilor, întreținerea culturilor, semănat, sortarea și ambalarea produselor.

Întrebarea 12 cercetează preferințele producătorilor referitor la decizia de robotizare a lucrărilor. Ei sunt rugați să acorde calificative de la 1 la 5 (în care 1 este cel mai puțin preferat criteriu iar 5 este cel mai preferat criteriu) următoarelor criterii care ar putea influența decizia de robotizare a activităților: investiție mică, costuri de exploatare scăzute pentru echipament și cultură, fiabilitate ridicată, manevrare ușoară, flexibilitate.

În fine, întrebările 9,14,15,16 se referă la nivelul de calificare al forței de muncă și alte caracteristici individuale și de mediu social.

Întrebarea 9 se referă la nivelul mediu de calificare al lucrătorilor din exploatare, care, conform standardelor internaționale în vigoare [35] poate fi ISCED 2 (școală gimnazială), ISCED 3 (învățământ profesional și liceal), ISCED 4 sau mai mare (învățământ universitar și postliceal).

Întrebarea 14 solicită detalii privind vârsta respondenților (în ani împliniți).

Întrebarea 15 colectează sexul respondenților.

Întrebarea 16 colectează mediul de proveniență al respondenților – rural sau urban.

2.3 Rezultate și discuții

Răspunsurile colectate și centralizate sunt prezentate în Anexa 2. Sinteza răspunsurilor pe întrebări și ponderile acestora este prezentată în Tabelul 2.1.

Ponderea unui răspuns a fost calculată după formula

$$\text{pondere} = \frac{\text{număr de răspunsuri afirmative la întrebare}}{\text{număr total de răspunsuri}} \times 100 [\%] \quad (2.1)$$

Tabelul 2.1 Sinteza răspunsurilor colectate în urma aplicării chestionarului

Întrebarea	Total răspunsuri	Pondere răspunsuri [%]
1 Ce tip de exploatații aveți?		
sere	3	10,00%
solarii	27	90,00%
2 Care este mărimea exploatației pe care o dețineți?		
mică (sub 100 m ²)	5	16,67%
medie (100-500 m ²)	23	76,67%
mare (500-1000 m ²)	2	6,67%
foarte mare (peste 1000 m ²)	0	0,00%
3 Utilizați roboți la lucrări?		
DA	0	0,00%
NU	30	100,00%
4 Ce cultură(i) folosiți în exploatarea dvs.?		
roșii	30	100,00%
ardei	30	100,00%

ANALIZA POSIBILITĂȚILOR DE UTILIZARE A SISTEMELOR ROBOTIZATE ÎN SERE

Întrebarea		Total răspunsuri	Pondere răspunsuri [%]
	castraveți	30	100,00%
	vinete	30	100,00%
	salata	30	100,00%
	ceapa verde	30	100,00%
	altele (nominalizați) Fasole verde, mazăre	15	50,00%
5 Care este tipul de agrotehnică folosit în exploatarea dvs.?			
	cultura pe sol - direct pe un nivel	22	73,33%
	cultura pe sol - suprapusă	8	26,67%
	cultura acvaponică	0	0,00%
6 Care este valoarea investiției în exploatarea pe care o dețineți?			
	<10000 EUR	9	30,00%
	10000-25000 EUR	19	63,33%
	25000-50000 EUR	2	6,67%
	>50000 EUR	0	0,00%
7 Ce tip de sol folosiți?			
	sol nămolos	2	6,67%
	sol nisipos	21	70,00%
	sol lutos	5	16,67%
	sol argilos	2	6,67%
	pH, NO, K, P optime	23	76,67%
	pH, NO, K, P neadecvat	7	23,33%
8 Care este distanța față de piața de desfacere?			
	mica (1-5 km)	4	13,33%
	medie (5-20 km)	13	43,33%
	mare (20-100 km)	13	43,33%
	foarte mare (peste 100 km)	0	0,00%
9 Care este nivelul mediu de calificare al lucrătorilor în exploatarea dvs.?			
	școală gimnazială	1	3,33%
	școală profesională	18	60,00%
	universitate	11	36,67%
14 Vârsta			
	16-25=A	2	6,67%
	26-35=B	7	23,33%
	36-45=C	4	13,33%
	46-55=D	7	23,33%
	56-65=E	9	30,00%
	66-75=F	1	3,33%
	75<=G	0	0,00%
15 Sex			
	Masculin	26	86,67%
	Feminin	4	13,33%
16 Mediu			
	Rural	28	93,33%
	Urban	2	6,67%

Sinteza răspunsurilor la întrebările privind ierarhizarea criteriilor (întrebările 10-13) se prezintă în Tabelul 2.2.

Tabelul 2.2 Sinteza răspunsurilor la întrebările privind ierarhizarea criteriilor

10 Apreciați nivelul dvs. de cunoaștere în legătură cu utilizarea roboților în sere pe o scară de la 1 la 5 (1-necunoscut, 5-expert)			
1		4	13,33%
2		14	46,67%
3		10	33,33%
4		2	6,67%
5		0	0,00%
11 Notați de la 1 la 5, preferințele dumneavoastră pentru introducerea robotizării lucrărilor următoare (5 pentru lucrarea de preferință maximă)			
Recoltat			
1		6	20,00%
2		3	10,00%
3		3	10,00%
4		6	20,00%
5		12	40,00%
Monitorizarea culturii			
1		6	20,00%
2		7	23,33%
3		9	30,00%
4		4	13,33%
5		4	13,33%
Întreținerea culturilor			
1		4	13,33%
2		9	30,00%
3		3	10,00%
4		7	23,33%
5		7	23,33%
Semănat			
1		9	30,00%
2		7	23,33%
3		6	20,00%
4		6	20,00%
5		2	6,67%
Sortarea și ambalarea produselor			
1		5	16,67%
2		4	13,33%
3		9	30,00%
4		7	23,33%
5		5	16,67%

ANALIZA POSIBILITĂȚILOR DE UTILIZARE A SISTEMELOR ROBOTIZATE ÎN SERE

12 Așezați în ordinea preferinței următoarele criterii pentru decizia de robotizare a lucrărilor în sere (5 = cel mai preferat criteriu)			
	Investiție mică		
1		6	20,00%
2		3	10,00%
3		3	10,00%
4		6	20,00%
5		12	40,00%
	Costuri de exploatare scăzute (echipament și cultură)		
1		6	20,00%
2		7	23,33%
3		9	30,00%
4		4	13,33%
5		4	13,33%
	Fiabilitate ridicată		
1		4	13,33%
2		9	30,00%
3		3	10,00%
4		7	23,33%
5		7	23,33%
	Manevrare ușoară		
1		9	30,00%
2		7	23,33%
3		6	20,00%
4		6	20,00%
5		2	6,67%
	Flexibilitate		
1		5	16,67%
2		4	13,33%
3		9	30,00%
4		7	23,33%
5		5	16,67%
13 În ce măsură considerați posibilă asocierea producătorilor în vederea robotizării lucrărilor?			
	Imposibilă	3	10,00%
	Posibilă	7	23,33%
	Puțin probabilă	13	43,33%
	Probabilă	7	23,33%
	Sigură	0	0,00%

A. Analiza generală a răspunsurilor

În urma administrării chestionarului la proprietarii de sere și solarii a reieșit că doar 10% dintre respondenți aveau amenajate sere (3 din 30), în timp ce 90% (27 din 30) cultivau legumele în solarii sau tuneluri de plastic.

Din totalul exploatațiilor incluse în studiu, așa cum este ilustrat și în Figura 2.5, 5 exploatații erau mici (sub 100m²), 23 medii, (100-500 m²), 2 mari (500-1000 m²) și nici una nu depășea 1000 m².

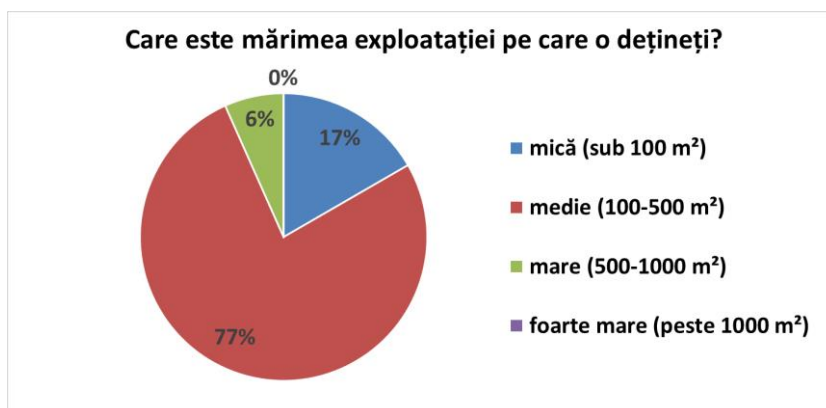


Figura 2.5 Mărimea exploatației (întrebarea 2)

În privința culturilor și a tipului de sol folosit, s-au evidențiat următoarele date, reprezentate în Figura 2.6.

Majoritatea respondenților (73%, 22 din 30) folosesc metode de cultură pe sol, direct pe un nivel, 27% folosesc metode de cultură pe sol suprapuse (27%, 8 din 30), în timp ce în 2016 în zona rurală a județului Timiș nici unul dintre respondenți nu folosea metode de cultură acvaponice.

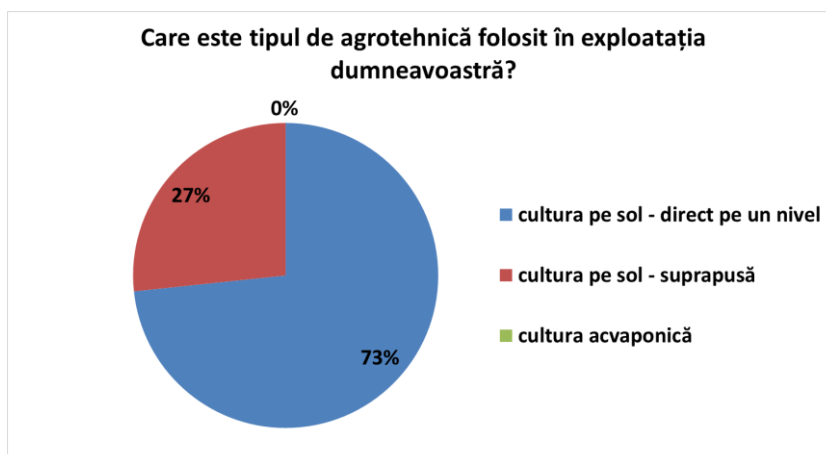


Figura 2.6 Tipul de agrotehnică (întrebarea 5)

Întrebarea 7, referitoare la tipurile de sol are două componente: prima componentă permite încadrarea culturii într-unul dintre cele 4 tipuri de sol existente în zonă, iar a doua componentă se referă la modul în care producătorii își întrețin cultura

ANALIZA POSIBILITĂȚILOR DE UTILIZARE A SISTEMELOR ROBOTIZATE ÎN SERE

(cantitățile de nutrienți din sol sunt optime sau nu). Răspunsurile la această întrebare sunt sintetizate în Figura 2.7.

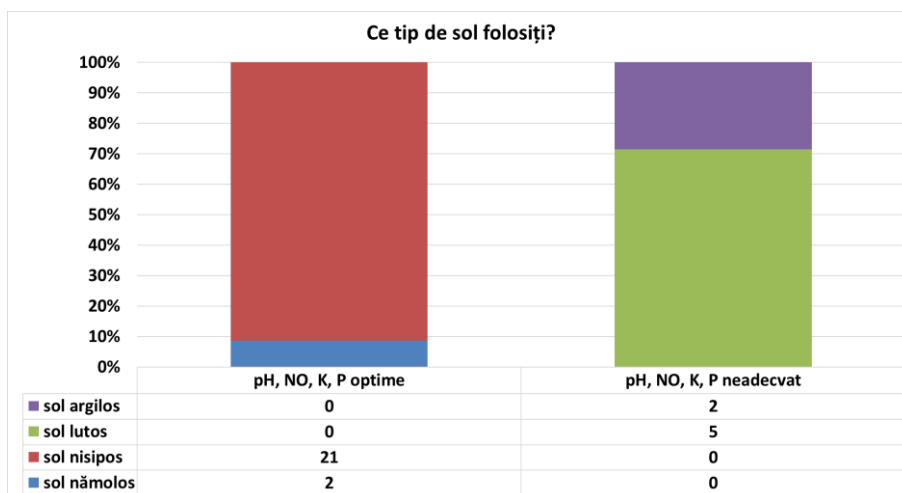


Figura 2.7 Tipul de sol folosit pentru cultură (întrebarea 7)

Din răspunsurile primite, a reieșit că toți producătorii care folosesc un sol nisipos (21 din 30) sau nămolos (2 din 30) îl întrețin la condițiile optime de nutrienți necesare producției, iar toți producătorii care folosesc un sol lutos (5 din 30) sau argilos (2 din 30) nu consideră că acesta este întreținut astfel încât să ofere condiții optime de nutrienți.

Referitor la tipul de cultură (întrebarea 5), toți producătorii chestionați au culturi de roșii, ardei, castraveți, vinete, salată, ceapă verde. Jumătate dintre aceștia produc și alte legume – în speță fasole verde și mazăre.

Valoarea investiției producătorului în sere și solarii este de obicei între 10000 EUR și 25000 EUR (19 din 30 răspunsuri, 63%). 30% din respondenți (9 din 30) au investit sume între 25000 EUR și 50000 EUR în exploatații, iar 7% (2 din 30) au investit sub 10000 EUR (Figura 2.8).

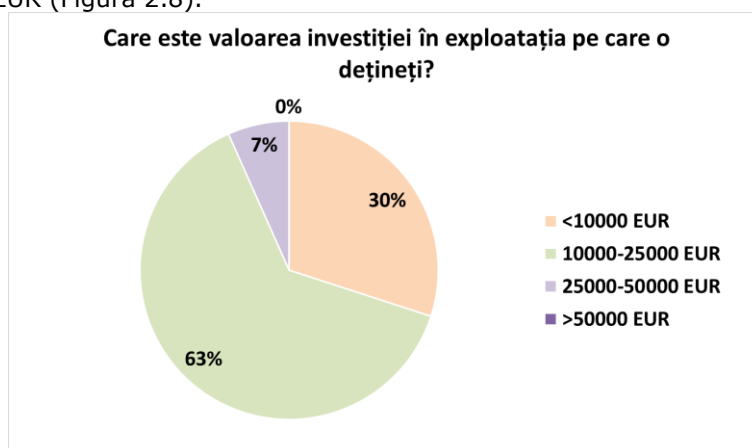


Figura 2.8 Valoarea investiției producătorului în sere și solarii (întrebarea 6)

Distanța față de piața de desfacere influențează atât prețul de vânzare al produselor, cât și strategia de management a producătorilor. O distanță de desfacere mai mare face producția rentabilă în momentul în care costurile de producție sunt mai mici și suprafața cultivată mai mare. O distanță de desfacere mai mică nu influențează semnificativ costurile de producție.

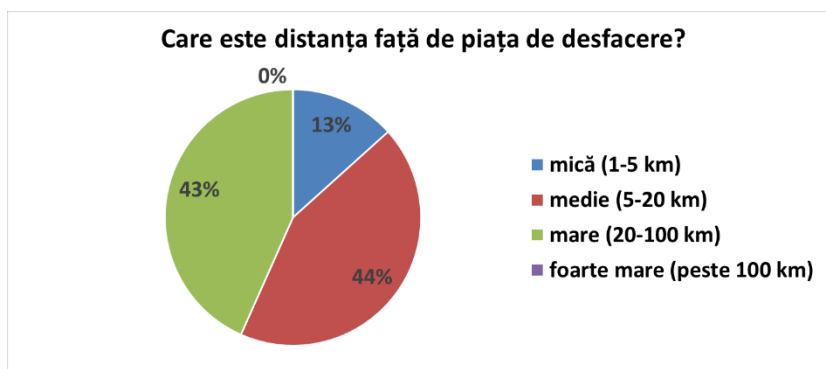


Figura 2.9 Distanța dintre exploatație și piața de desfacere (întrebarea 8)

După cum este ilustrat în Figura 2.9, 13% dintre respondenți (4 din 30) parcurg o distanță mică pentru a-și desface produsele (1-5 km), în timp ce 44% (13 din 30) parcurg o distanță medie (5-20 km), iar restul de 43% (13 din 30) parcurg o distanță mare (20-100 km) pentru a-și desface produsele. Nici un mic producător care a răspuns la chestionar nu parcurge distanțe mai mari de 100 km pentru a-și desface produsele.

Referitor la nivelul de studii al lucrătorilor în sere (întrebarea 9), 3% dintre respondenți (1 din 30) are doar studii gimnaziale (ISCED 2), 60% (18 din 30) au studii liceale sau profesionale (ISCED 3), iar 37% (11 din 30) au studii universitare sau postliceale (ISCED 4 sau mai mare). Nivelul de studii al lucrătorilor din sere influențează nivelul de cunoaștere al lor despre mașini specializate și roboți și disponibilitatea lor de a lucra cu astfel de dispozitive.

Cu privire la folosirea mijloacelor robotizate în sere, au fost colectate următoarele date.

Nici un producător dintre cei care au răspuns la chestionar nu folosește roboți la lucrări (întrebarea 3). Cu toate acestea, nivelul de cunoaștere al producătorilor cu privire la utilizarea roboților în sere variază, așa cum este reprezentat și în Figura 2.10. 13,33% dintre respondenți nu cunosc deloc domeniul, 46,67% au puține cunoștințe în domeniu, 33,33% cunosc ceva mai mult din domeniu și doar 6,67% dintre respondenți cunosc domeniul și au văzut și aplicații. Nici un respondent nu este expert în domeniul utilizării roboților în sere.

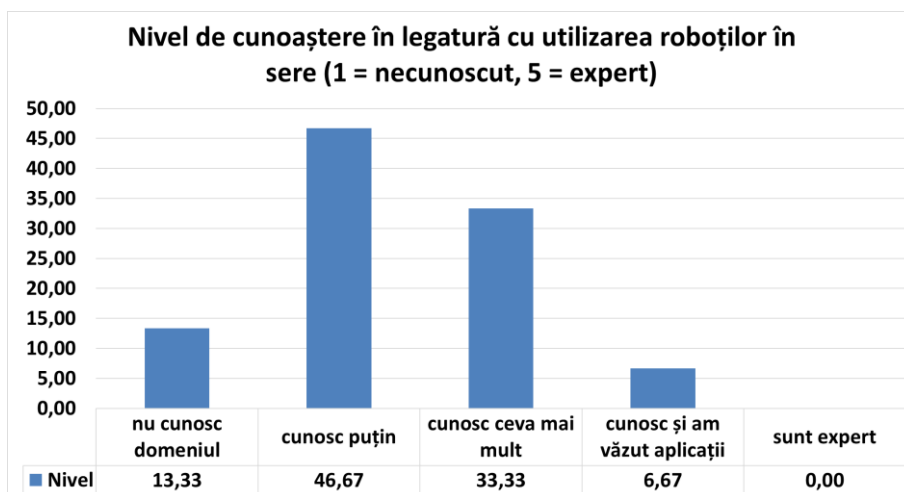


Figura 2.10 Nivelul de cunoaștere al respondenților în legătură cu utilizarea roboților în sere (întrebarea 10)

Posibilitatea de a folosi roboți în serele respondenților a fost investigată în întrebările 11 și 12. Întrebarea 11 se referă la lucrările specifice pentru care respondenții ar folosi roboții.

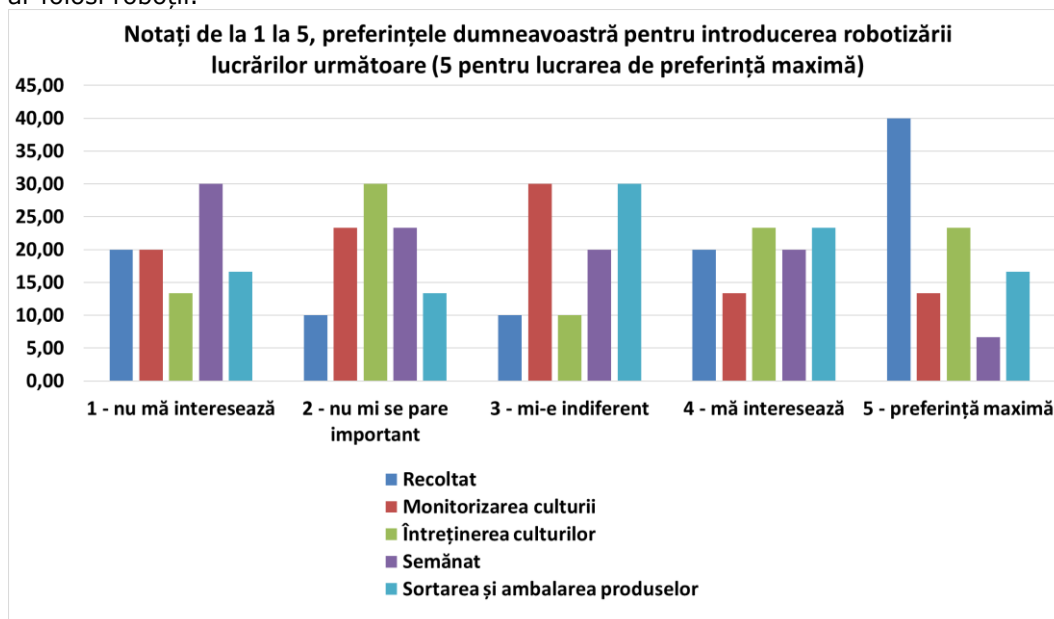


Figura 2.11 Preferințele respondenților referitor la utilizarea roboților în sere – exprimate procentual (întrebarea 11)

Din analiza răspunsurilor oferite (Figura 2.11), este evident că majoritatea respondenților (40%) preferă să utilizeze mijloace robotizate pentru recoltat, urmând

Rezultate și discuții

apoi, în ordinea preferințelor, întreținerea culturilor și sortarea și ambalarea produselor. Ultimele opțiuni în ordinea preferințelor respondenților este cea de utilizare a roboților pentru monitorizarea culturilor și semănat.

Cu privire la recoltat, majoritatea respondenților și-au manifestat preferința pentru utilizarea de mijloace robotizate. Cu privire la monitorizarea culturii, majoritatea respondenților consideră că este indiferent dacă folosesc sau nu mijloace robotizate. Raportat la întreținerea culturilor, majoritatea respondenților consideră că nu este important să folosească mijloace robotizate. Majoritatea respondenților spun că nu îi interesează să folosească mijloace robotizate la semănat. Sortarea și ambalarea produselor este un domeniu în care majoritatea respondenților consideră că este indiferent dacă folosesc sau nu mijloace robotizate.

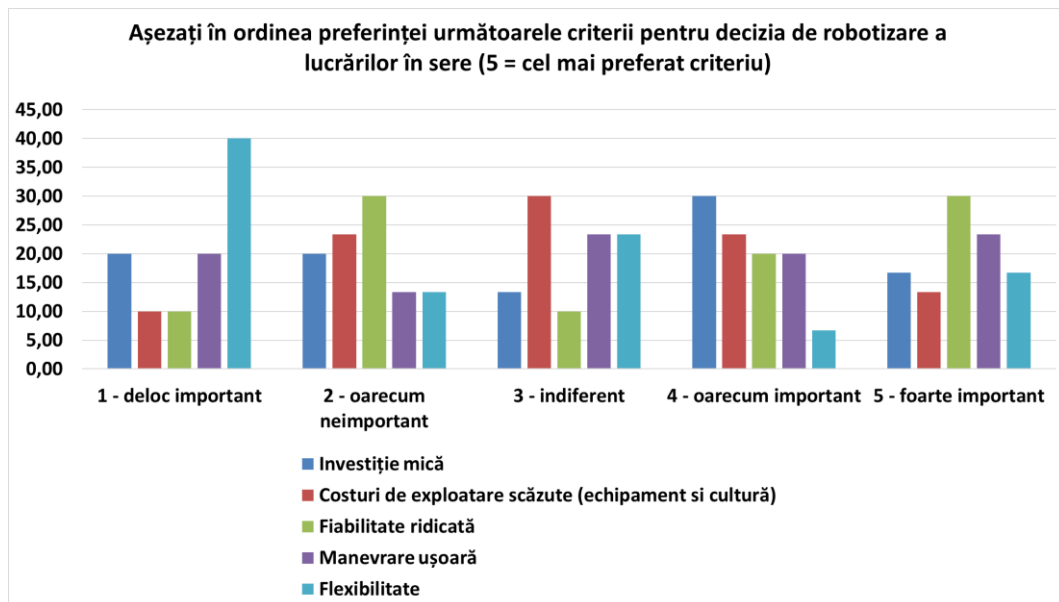


Figura 2.12 Criterii de decizie privind robotizarea lucrărilor în sere (întrebarea 12)

Atunci când este vorba de criteriile de decizie pentru folosirea de soluții robotizate în sere (Figura 2.12), majoritatea respondenților (30%) consideră ca fiabilitatea ridicată a soluției (adică siguranța în exploatare a dispozitivului, capacitatea acestuia de a funcționa fără defecțiuni) este foarte importantă. În ordine descrescătoare a importanței, respondenții consideră că sunt foarte importante ușurința manevrării, flexibilitatea și faptul că soluția reprezintă o investiție mică. La polul opus, 40% dintre respondenți consideră că flexibilitatea unei soluții tehnice pentru sere nu este deloc importantă, dar nici valoarea mică a investiției și nici posibilitatea de manevrare ușoară nu sunt importante.

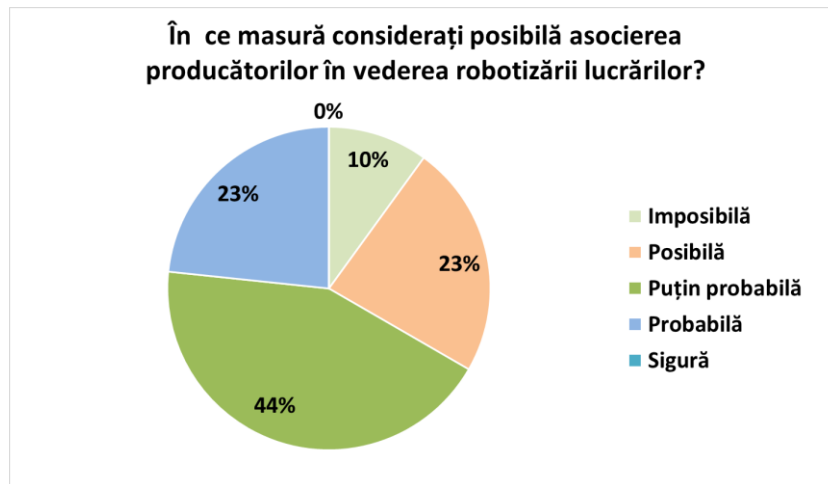


Figura 2.13 Posibilitatea de asociere în vederea robotizării (întrebarea 13)

În ceea ce privește posibilitatea de asociere în vederea utilizării unei soluții robotizate în sere, răspunsurile sunt prezentate în Figura 2.13. Majoritatea respondenților (44%, 13 din 30) consideră că aceasta este puțin probabilă, 23% consideră că aceasta este probabilă, 23% consideră că aceasta este posibilă, iar 10% consideră că este imposibil ca producătorii să se poată asocia în vederea folosirii de mijloace robotizate în sere. Acest răspuns reflectă starea de fapt evidențiată în statisticile INSSE [50].

În afară de datele necesare pentru stabilirea nevoilor producătorilor, au fost colectate și date generale despre participanți: vârstă, sex, mediu de proveniență.

Sub aspectul vârstei (întrebarea 14), 6,67% dintre respondenți au vârsta între 16-25 ani, 23,33% între 26-35 ani, 13,33% între 36-45 ani, 23,33% între 46-55 ani, 30% între 56-65 ani, 3,33% între 66-75 ani și nici un respondent nu are vârsta peste 76 ani (Figura 2.14).

86,67% dintre respondenți sunt bărbați, iar 13,33% sunt femei.

Referitor la mediul de proveniență al respondenților, 93,33% dintre aceștia locuiesc în mediul rural iar 6,67% în mediul urban.

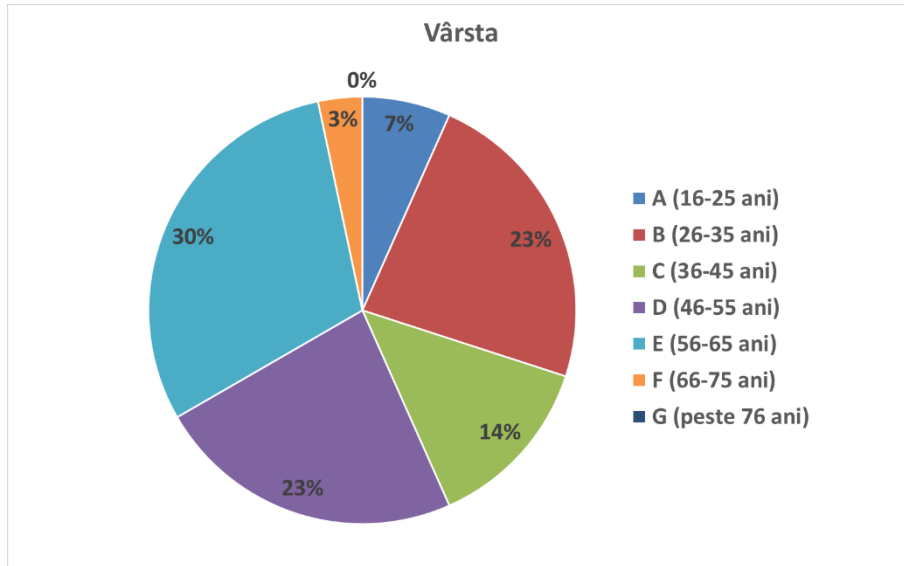


Figura 2.14 Vârsta respondenților (întrebarea 14)

B. Analiza corelațiilor

Întrebările care au presupus o ierarhizare a criteriilor au fost prelucrate folosind software-ul Statgraphics Centurion XVI [118], iar datele sunt sintetizate în Tabelul 2.3.

Tabelul 2.3 Centralizarea datelor care presupun o ierarhizare a criteriilor

	10- Cunoaștere	11-Recoltat	11- Monitorizare	11- Întreținere	11-Semanat	11-Sortare- ambalare	12- Investiție	12- Exploatare	12- Fiabilitate	12- Manevrare	12- Flexibilitate	13-Asociere
	Număr răspunsuri	Număr răspunsuri	Număr răspunsuri	Număr răspunsuri	Număr răspunsuri	Număr răspunsuri	Număr răspunsuri	Număr răspunsuri	Număr răspunsuri	Număr răspunsuri	Număr răspunsuri	Număr răspunsuri
1	4	6	6	4	9	5	6	6	4	9	5	3
2	14	3	7	9	7	4	3	7	9	7	4	7
3	10	3	9	3	6	9	3	9	3	6	9	13
4	2	6	4	7	6	7	6	4	7	6	7	7
5	0	12	4	7	2	5	12	4	7	2	5	0

ANALIZA POSIBILITĂȚILOR DE UTILIZARE A SISTEMELOR ROBOTIZATE ÎN SERE

Statisticile calculate pentru fiecare întrebare în parte sunt prezentate în cele ce urmează. Sumarul analizei statistice pentru întrebarea 10 este prezentat în Tabelul 2.4.

Tabelul 2.4 Sumarul analizei statistice pentru întrebarea 10

	<i>10- Cunoastere</i>
Număr opțiuni	5
Media numărului de răspunsuri	6,0
Deviația standard pentru numărul de răspunsuri	5,83095
Coeficient de variație	97,1825%
Număr minim de răspunsuri	0
Număr maxim de răspunsuri	14,0
Lungimea intervalului de răspunsuri	14,0
Asimetria standard	0,552551
Curtoza standard	-0,729665

Sumarul analizei statistice pentru întrebarea 11 este prezentat în Tabelul 2.5.

Tabelul 2.5 Sumarul analizei statistice pentru întrebarea 11

	<i>11- Intretinere</i>	<i>11-Monitorizare</i>	<i>11- Recoltat</i>	<i>11- Semanat</i>	<i>11-Sortare- ambalare</i>
Număr opțiuni	5	5	5	5	5
Media numărului de răspunsuri	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Deviația standard pentru numărul de răspunsuri	2,44949	2,12132	3,67423	2,54951	2,0
Coeficient de variație	40,8248%	35,3553%	61,2372%	42,4918%	33,3333%
Număr minim de răspunsuri	3,0	4,0	3,0	2,0	4,0
Număr maxim de răspunsuri	9,0	9,0	12,0	9,0	9,0
Lungimea intervalului de răspunsuri	6,0	5,0	9,0	7,0	5,0

Rezultate și discuții

Asimetria standard	-0,155282	0,478146	1,24226	-0,826286	0,855816
Curtoza standard	-0,798762	-0,43953	0,912871	0,912871	-0,0855816

Sumarul analizei statistice pentru întrebarea 12 este prezentat în Tabelul 2.6.

Tabelul 2.6 Sumarul analizei statistice pentru întrebarea 12

	<i>12- Exploatare</i>	<i>12- Fiabilitate</i>	<i>12- Flexibilitate</i>	<i>12- Investitie</i>	<i>12- Manevrare</i>
Număr opțiuni	5	5	5	5	5
Media numărului de răspunsuri	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Deviația standard pentru numărul de răspunsuri	2,12132	2,44949	2,0	3,67423	2,54951
Coeficient de variație	35,3553%	40,8248%	33,3333%	61,2372%	42,4918%
Număr minim de răspunsuri	4,0	3,0	4,0	3,0	2,0
Număr maxim de răspunsuri	9,0	9,0	9,0	12,0	9,0
Lungimea intervalului de răspunsuri	5,0	6,0	5,0	9,0	7,0
Asimetria standard	0,478146	-0,155282	0,855816	1,24226	-0,826286
Curtoza standard	-0,43953	-0,798762	-0,0855816	0,912871	0,912871

Sumarul analizei statistice pentru întrebarea 13 este prezentat în Tabelul 2.7.

Tabelul 2.7 Sumarul analizei statistice pentru întrebarea 13

	<i>13-Asociere</i>
Număr opțiuni	5
Media numărului de răspunsuri	6,0
Deviația standard pentru numărul de răspunsuri	4,89898
Coeficient de variație	81,6497%
Număr minim de răspunsuri	0
Număr maxim de răspunsuri	13,0
Lungimea intervalului de răspunsuri	13,0

Asimetria standard	0,329975
Curtoza standard	0,0927135

Deoarece în fiecare dintre cazurile analizate și curtoza standard au valori în intervalul $[-2,2]$ (ceea ce indică faptul că datele provin dintr-o distribuție normală și că nu există abateri semnificative de la valorile normale), nu este necesară o prelucrare suplimentară a datelor.

Analiza corelațiilor pentru fiecare dintre perechile de variabile considerate s-a făcut prin calculul valorii P. Valorile P de modul mai mic decât 0,5 indică o corelație semnificativă statistic între variabile la un nivel de încredere de 95%.

Perechile de variabile care sunt corelate sunt:

- 11-Intretinere și 12-Fiabilitate, pentru care $P=0$
- 11-Monitorizare și 12-Exploatare $P=0$
- 11-Recoltat și 12-Investitie $P=0$
- 11-Semanat și 12-Manevrare $P=0$
- 11-Sortare-ambalare și 12-Flexibilitate $P=0$

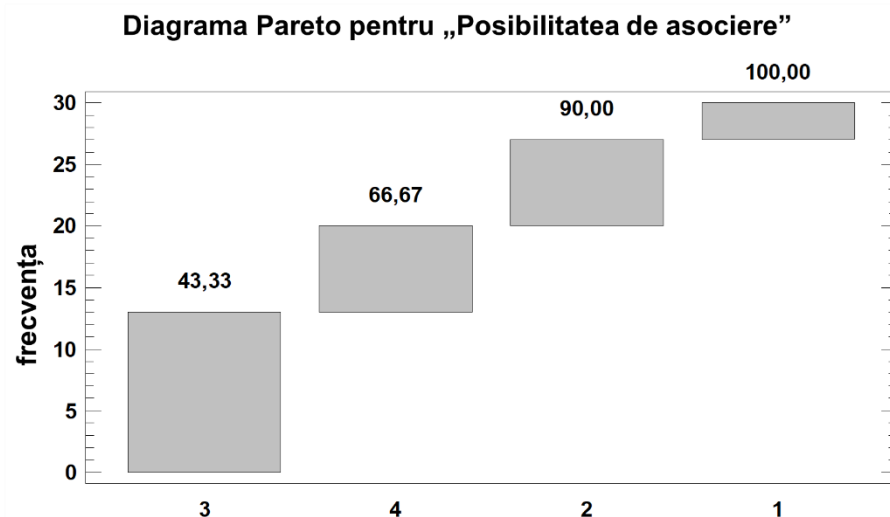


Figura 2.15 Posibilitatea de asociere (1 = Imposibilă, 2 = Posibilă, 3 = Puțin probabilă, 4 = Probabilă)

2.4 Concluzii parțiale

În urma aplicării chestionarului și a discuțiilor libere avute cu producătorii, s-au evidențiat următoarele idei:

- proprietarii de sere nu cunosc avantajele asocierii (Figura 2.15)
- proprietarii de sere nu cunosc avantajele utilizării roboților agricoli

Concluzii parțiale

- un show-room în zonele cu sere ar putea fi util pentru a demonstra avantajele utilizării roboților și asocierii
- este necesară o seră demonstrativă pentru a justifica eficiența roboților și a tehnologiilor moderne în agricultură
- roboții agricoli sunt considerați necesari de către proprietarii de sere.

Pe termen mediu și lung, creșterea numărului de sere inteligente în care să se folosească roboți la lucrările de bază (săpat pământul, semănat, plantat, erbicidat, fertilizat, udat, cules, defrișat resturile vegetale) ar putea relansa industria agricolă [70].

În România oportunitățile pentru aplicarea unor asemenea tehnologii sunt sprijinite de următoarele aspecte:

- circa 45% din populație trăiește în mediul rural și se ocupă cu agricultura;
- suprafața agricolă este mare (15 milioane ha din care 9 milioane ha pământ arabil);
- circa 1,5 milioane ha pământ rămâne necultivat;

Din analiza lapidară realizată anterior, reiese maxima importanță a cercetării vizând identificarea unor soluții aplicative pretabile condițiilor naționale specifice pentru robotizarea lucrărilor în sere.

Totodată, cele mai importante aspecte legate de folosirea roboților în agricultură pot fi grupate în 4 mari categorii [43]:

1. **Îndeplinirea unor funcții agricole adecvate** (funcții principale de utilitate), în ordinea descrescătoare a importanței lor: recoltare și ambalare, protecția plantelor și controlul buruienilor, transplant și însămânțare, monitorizare și gestionare a mediului, udare și fertilizare, posibilitatea de a realiza o mare varietate de sarcini, manipularea diverselor unelte
2. **Îndeplinirea unor sarcini de sprijin** (funcționalități sau funcții de utilitate auxiliară) – care sunt, în ordinea descrescătoare a importanței lor: ghidare și navigare, selectarea și apucarea fructelor, cartografiere și localizare, evitarea obstacolelor, expedierea vehiculelor pentru transport
3. **Costul minim al echipamentelor** – se compune din următoarele grupe, în ordinea descrescătoare a importanței lor: costuri de întreținere, costuri totale de investiții, disponibilitate, flexibilitate, reconfigurabilitate, transfer de cunoștințe).
4. **Caracteristici tehnice și structurale necesare**, care trebuie să rezulte din structura robotului și care sunt, în ordinea descrescătoare a importanței lor: sistem de direcție cu 4 roți, senzori cu ultrasunete, 2 controlere (Arduino și/sau Raspberry Pi), viziune stereo binoculară, sistem de alimentare cu energie, sistem de recoltare – gripper cu 5 grade de libertate, sisteme laser pentru scanarea liniară, 2/4 motoare, drivere, computer industrial / de bord, cameră foto, receptor GNSS, efector final

Alte aspecte care trebuie luate în considerare la proiectarea unui „ajutor” de seră robotizat iau în considerare forma dispozitivului de prindere, algoritmi optimizați pentru software, utilizarea instrumentelor specifice de inteligență artificială pentru o clasificare optimizată în timp real a recoltei.

Toate aceste nevoi pot fi abordate utilizând soluții automatizate în sere, cum ar fi roboții de recoltare. În cele ce urmează, vom prezenta un concept funcțional de robot de recoltare cu efect de seră, folosit pentru recoltarea roșiilor coapte.

3 ANALIZĂ CRITICĂ PRIVIND STADIUL ACTUAL AL PRINCIPALELOR SISTEME DE PREHENSIUNE UTILIZATE ÎN AGRICULTURĂ

Conform celor prezentate în Capitolul 2, cea mai dezirabilă funcție a unui sistem robotic folosit într-o seră este cea de culegere a recoltei. Culegerea este interacțiunea dintre culegător (care poate fi o persoană sau un sistem robotic) și fructul copt.

În acest capitol va fi investigat stadiul actual al sistemelor de prehenșiune și posibilitățile de integrare ale acestora în sisteme robotice de recoltat.

Conform DEXONLINE, sensul cuvântului "prehenșiune" este de a apuca un obiect cu degetele, cu ghearele, cu o pensă, etc.[31]. Dacă în mod convențional, prehenșiunea era realizată de o ființă vie (om, animal), odată cu apariția primilor roboți industriali termenul a început să fie folosit și în domeniul roboticii.

3.1 Stadiul actual al cunoașterii în domeniul soluțiilor de prehenșiune aplicabile la sistemele de recoltat legume

În urma cercetării bibliografice se pot propune mai multe clasificări ale sistemelor de prehenșiune, în raport cu diferite criterii.

1. Astfel, **din punct de vedere al originii**, se disting două tipuri de sisteme de prehenșiune: sisteme naturale de prehenșiune (dintre care, cel mai evoluat este mâna umană) și sisteme artificiale de prehenșiune (prehensori)[117] (Figura 3.1). Prehensorii sunt dispozitive mecatronice care, atașate roboților, servesc la prinderea și manipularea obiectelor.

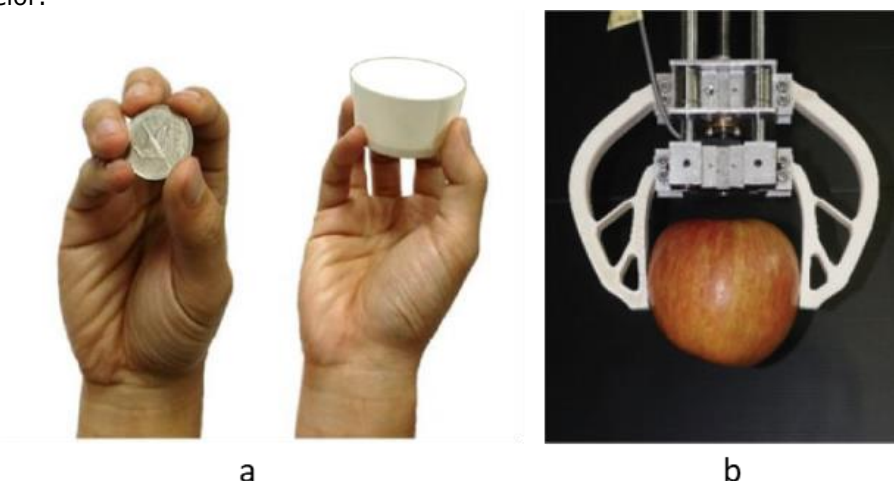


Figura 3.1 a. Prehensur natural (după [140]) și b. prehensur artificial (după [65])

Stadiul actual al cunoașterii în domeniul soluțiilor de prehensiune aplicabile la sistemele de recoltat legume

Prehensorii artificiali se pot clasifica după mai multe metode (Figura 3.2), așa cum au arătat Zhang et al. [141] sau Tai et al. [124].

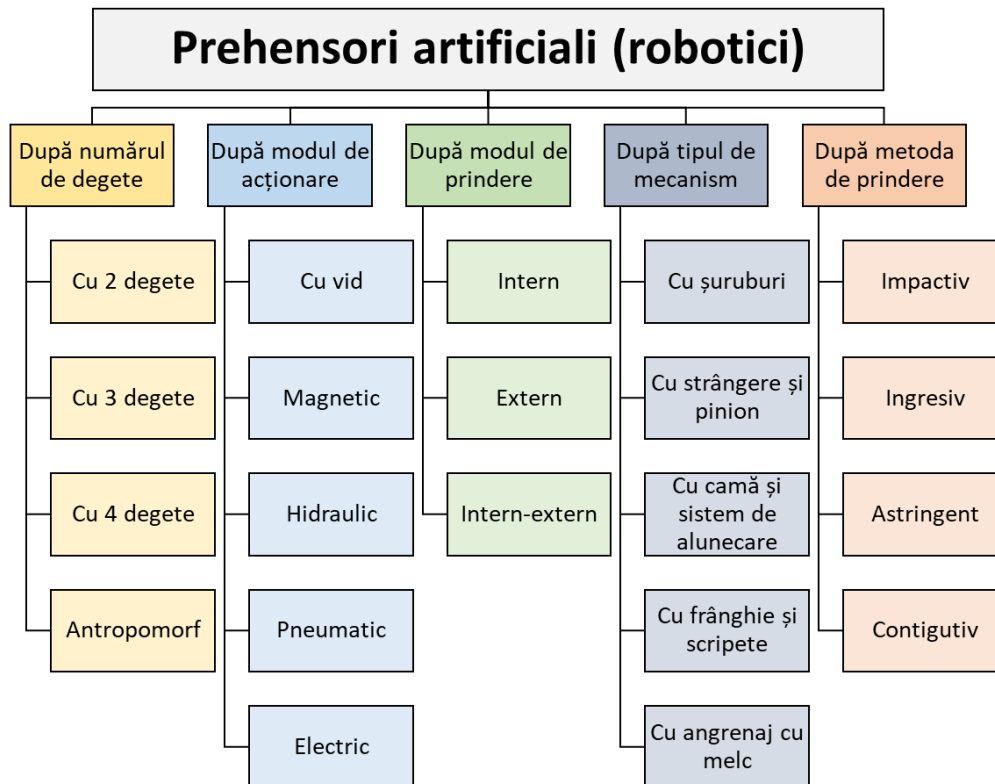


Figura 3.2 Moduri de clasificare a prehensivilor artificiali (după [141], [124])

2. **Din punct de vedere al aplicațiilor specifice**, sistemele de prehensiune se clasifică în (Figura 3.3) [124], [48]:

- 2a) Sisteme de prehensiune industriale
- 2b) Sisteme de prehensiune pentru aplicații medicale
- 2c) Micro și nano sisteme de prehensiune
- 2d) Sisteme de prehensiune pentru materiale ușoare
- 2e) Sisteme de prehensiune pentru obiecte fragile, etc.

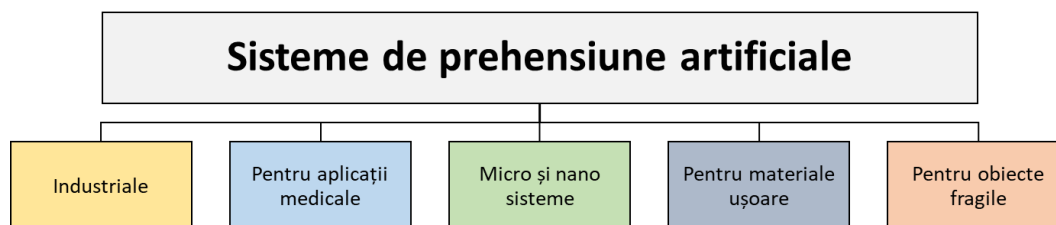


Figura 3.3 Clasificarea sistemelor de prehensiune din punct de vedere al aplicațiilor specifice (după [124], [48])

2a) *Sistemele de prehensiune industriale* au fost primele sisteme artificiale de prehensiune dezvoltate. Acestea sunt de obicei brațe robotice montate pe o platformă fixă și care servesc pentru producția de masă a diverselor obiecte (de la electronice și până la mașini și părți ale acestora).

După mediul în care acestea se utilizează, sistemele de prehensiune industrială sunt de două mari categorii: prehensori pentru medii cunoscute și prehensori pentru medii necunoscute.

- Prehensorii pentru medii cunoscute folosesc senzori pentru a urmări stadiul interacțiunii cu obiectul (accelerometru, ultrasonic, fotoelectric, de proximitate, etc) [56]. Acești senzori pot măsura variabile ca: poziția, forța, torsiunea, viteza, accelerația, etc. [34] Senzorii de proximitate se folosesc în special în cazurile în care prehensorii folosesc un sistem de detectare al obiectelor cu poziție variabilă. Prehensorul se deplasează într-o poziție cunoscută în apropierea obiectului, iar apoi mișcarea sa către obiect este stabilită de inputurile primite de la senzorii de proximitate [49].
- Atunci când condițiile de mediu nu sunt cunoscute (sau nu sunt controlabile), prehensorii necesită un alt sistem de control decât cel utilizat pentru medii cunoscute. De exemplu, prezența unui obiect este detectată cu ajutorul unor sisteme de una sau mai multe camere de luat vederi [54], [121], [137].

2b) Datorită mediului de lucru, *sistemele de prehensiune pentru aplicații medicale* nu pot să folosească senzori de forță pentru a urmări interacțiunea cu țesuturile biologice. În acest caz, este nevoie de proiectarea unor prehensori moi, flexibili, care să folosească forțe viscoelastice sau forța de aspirație [98], [59]. Un exemplu de prehensori pentru aplicații medicale, cu 3 degete, este preluat din [98] și reprezentat în Figura 3.4, în poziție deschisă și închisă. Diametrul acestui prehensori, în poziție închisă, este de 17 mm. În ultimii ani, o dată cu avansul tehnologic, au început să fie produși mini și micro-roboți, cu aplicabilitate în chirurgia minim invazivă [46].

Utilizarea roboților pentru activități complexe, similare celor din sere, a început cu medicina. În ultimele două decenii roboții sunt utilizați din ce în ce mai mult și în medicină la operații, proteze și în special la fabricarea medicamentelor. Primul robot independent utilizat în spitale a fost HelpMate în 1988, acesta fiind utilizat pentru distribuția medicamentelor și a ustensilelor utilizate de către angajații din spital. Capacitatea roboților de a opera cu precizie foarte mare și faptul că ei pot opera sigur nefiind riscul ca ei să tremure sau să strănute – ceea ce este interzis în sala de operație.

Stadiul actual al cunoașterii în domeniul soluțiilor de prehensiune aplicabile la sistemele de recoltat legume

O altă utilizare medicală de ultimă generație ar fi protezele robotice. Protezele de mâini și picioare care sunt programate să copieze mișcările naturale ale membrilor omului și care sunt acoperite de o piele artificială ce imită pielea umană. O altă frontieră științifică este robo-terapia, studii făcute de către NASA și Universitatea Californiei din Los Angeles asupra utilizării roboților pentru a re-antrena sistemul nervos la pacienții cu paralizie. Experimentele pe această axă au început în Germania, robotul înlocuind patru sau mai mulți terapeuți. Noul aparat are dispozitivul de prehensiune care copiază mâna umană, dotat cu senzori tactili poziționați pe niște mănuși, înlocuiește efortul făcut de terapeutul uman prin masaj.

2c) *Micro și nano prehensorii* sunt folosiți pentru a manipula obiecte de dimensiuni reduse. Principalul lor domeniu de aplicabilitate este industria semiconductorilor [74], [21], [26], [41]. Un exemplu de microprehensor cu 2 degete este preluat din [21] și ilustrat în Figura 3.5. Acesta face referire directă la dimensiunile acestor tipuri de prehensori, care este de ordinul a câțiva μm .

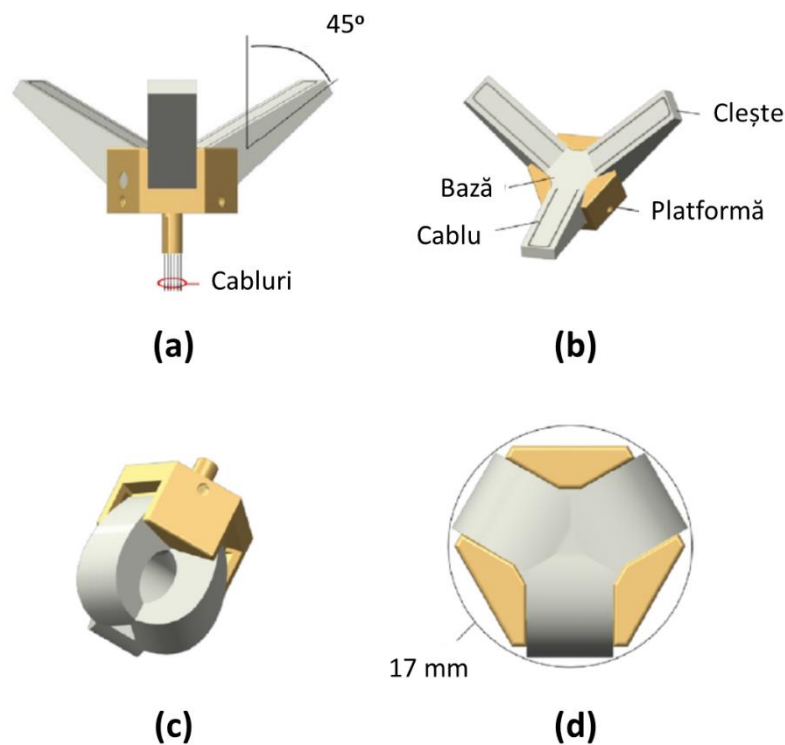


Figura 3.4 Prehensor moale în poziție deschisă (a și b) și în poziție închisă (c și d) (după [98])

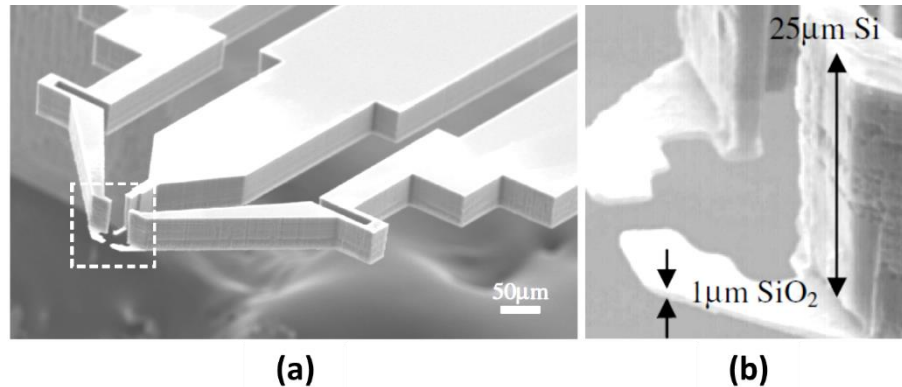


Figura 3.5 Micro prehensur (a – vedere de ansamblu, b – detaliu de prehensiune) (după [21])

2d) *Sistemele de prehensiune pentru materiale uşoare* se folosesc cu predilecție în industria textilă, unde nu se pot folosi ventuze din cauza porozității specifice țesăturilor. Pentru aceasta, se folosesc prehenșori care cuprind și vârfuri ascuțite, pentru a pătrunde cu ușurință și fără să provoace deteriorarea materialului [1], [55], [33].

Un exemplu de prehensur pentru materiale moi, preluat din [33], este prezentat în Figura 3.6. Acesta are vârfurile prehenșorului mobile și este folosit pentru a apuca bucăți de blană.

Alte tipuri de prehenșori pentru materiale uşoare folosesc adezivi chimici în cazul țesăturilor [77], [63] sau adezivi termici în cazul fibrelor de carbon [94].

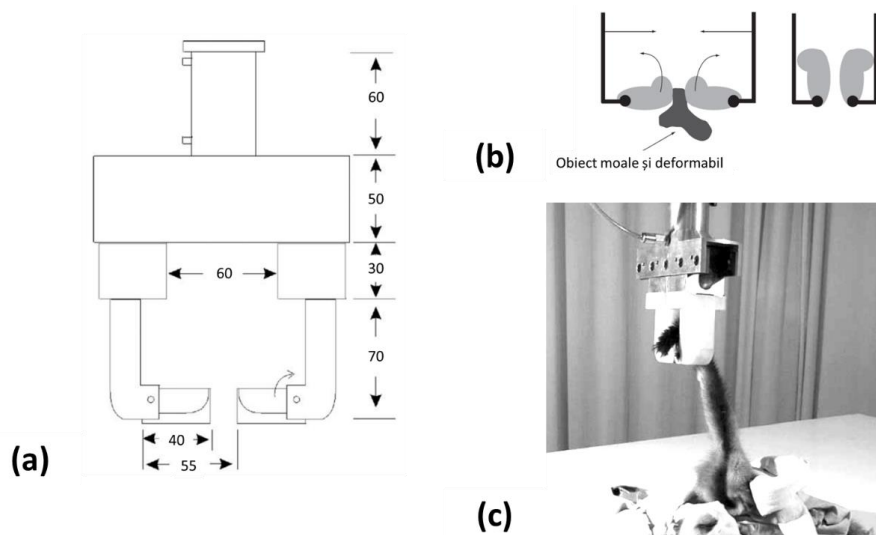


Figura 3.6 Prehensur pentru materiale moi (a – dimensiuni în mm, b – strategia de prindere a obiectelor, c – detaliu de prehensiune) (după [33])

Stadiul actual al cunoașterii în domeniul soluțiilor de prehensiune aplicabile la sistemele de recoltat legume

2e) Pentru manipularea obiectelor fragile (fructe, alimente, sticlă, etc) este nevoie de *prehensori specializați*.

În domeniul agricol, preheensorii sunt folosiți pentru a realiza următoarele tipuri de sarcini ([135]): îndepărtarea buruienilor, culesul fructelor, tunderea / toaletarea plantelor, transplantarea răsadurilor.

Pentru culegerea fructelor, se folosesc de regulă preheensori care să includă prinderea și tăierea [122]. Un preheensor similar s-a folosit pe un robot dotat cu cameră de luat vederi pentru a culege căpșuni [109] sau citrice [72].

Pentru manipularea fructelor tăiate a fost folosit un preheensor bazat pe principiul lui Bernoulli [25], [61], cu ajutorul căruia obiecte ușoare pot fi ridicate folosind un jet de aer pentru crearea de presiune negativă.

Un exemplu, preluat din [25], este prezentat în Figura 3.7. Atunci când prin canalul preheensorului este suflat un flux de aer, se creează o presiune negativă și obiectul este atras către preheensor. În acest mod, fructele pot fi manipulate fără a le deteriora.

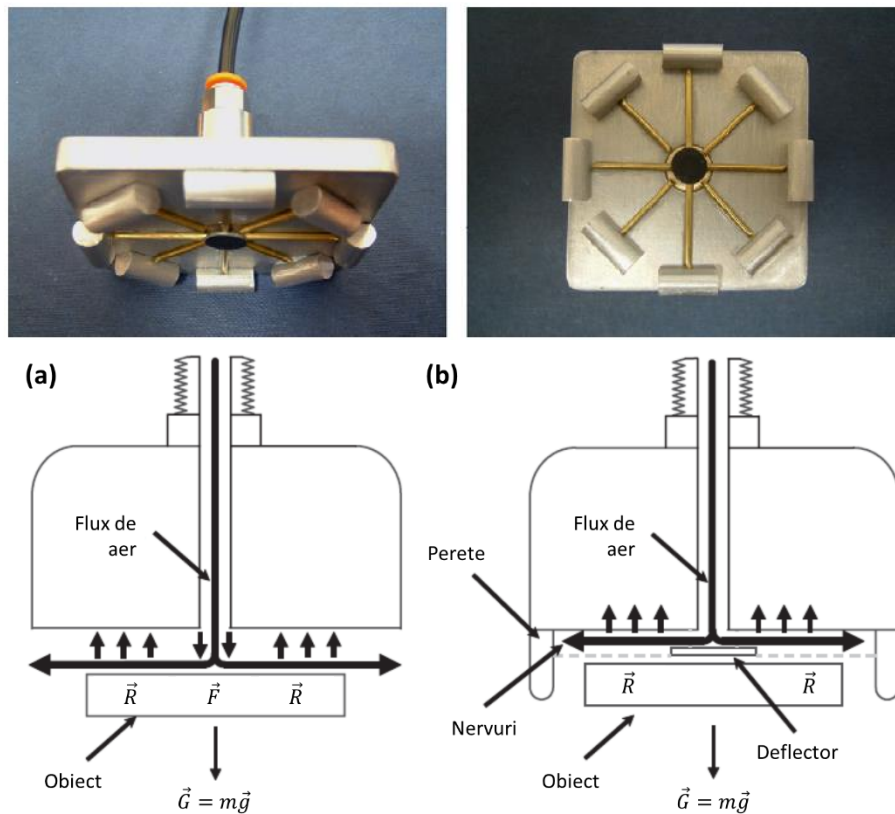


Figura 3.7 Preheensor bazat pe principiul lui Bernoulli – design și principiu de funcționare (după [25])

ANALIZĂ CRITICĂ PRIVIND STADIUL ACTUAL AL PRINCIPALELOR SISTEME DE PREHENSIUNE UTILIZATE ÎN AGRICULTURĂ

Un sistem hibrid de culegere a roșiilor, care să culeagă roșiile împreună cu un scurt peduncul este prezentat în [78]. Totuși, un astfel de sistem nu funcționează corespunzător atunci când între prehensur și fruct se interpun tulpini sau frunze.

Un alt dispozitiv de culegere a ciorchinilor de roșii este prezentat în Figura 3.8. Un astfel de prehensur ([57]), este alcătuit din:

- 1 – deget superior
- 2 – deget inferior
- 3 – motor
- 4 – șurub cu bilă
- 5, 6 – table de alunecare
- 7 – ax de glisare
- 8 – cilindru cu aer
- 9,10,11 – comutatoare de limitare
- 12 – cameră (senzor) video
- 13 – servomotor
- 14 – rulment cu role
- 15 – articulație de cuplare
- 16 – manșon.

Sistemul are o eficiență tehnologică de 50% (10 ciorchini din 20 au fost culeși corect).

Modulul de prindere este prezentat în Figura 3.9.

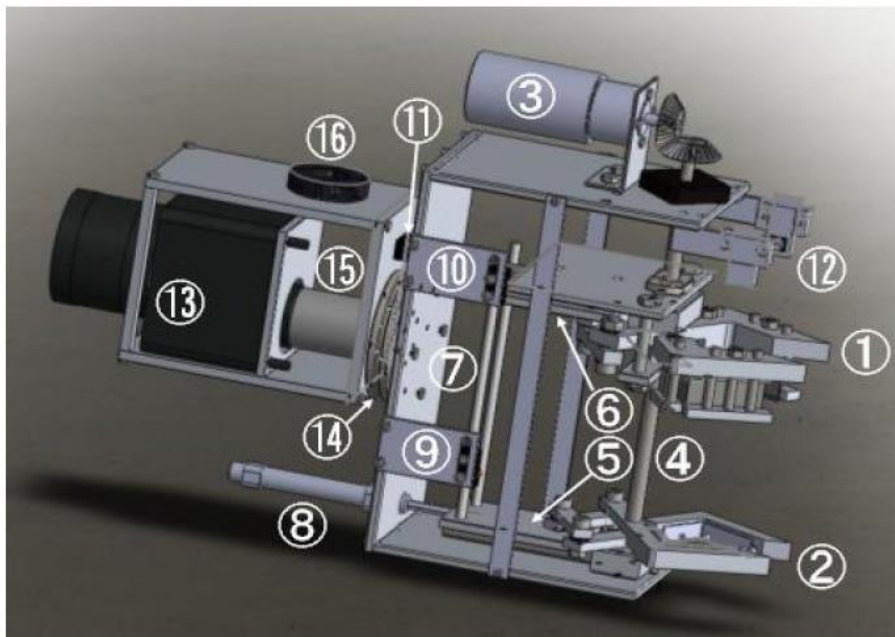


Figura 3.8 Prehensur pentru culegerea ciorchinilor de roșii (după [57])

Stadiul actual al cunoașterii în domeniul soluțiilor de prehensiune aplicabile la sistemele de recoltat legume

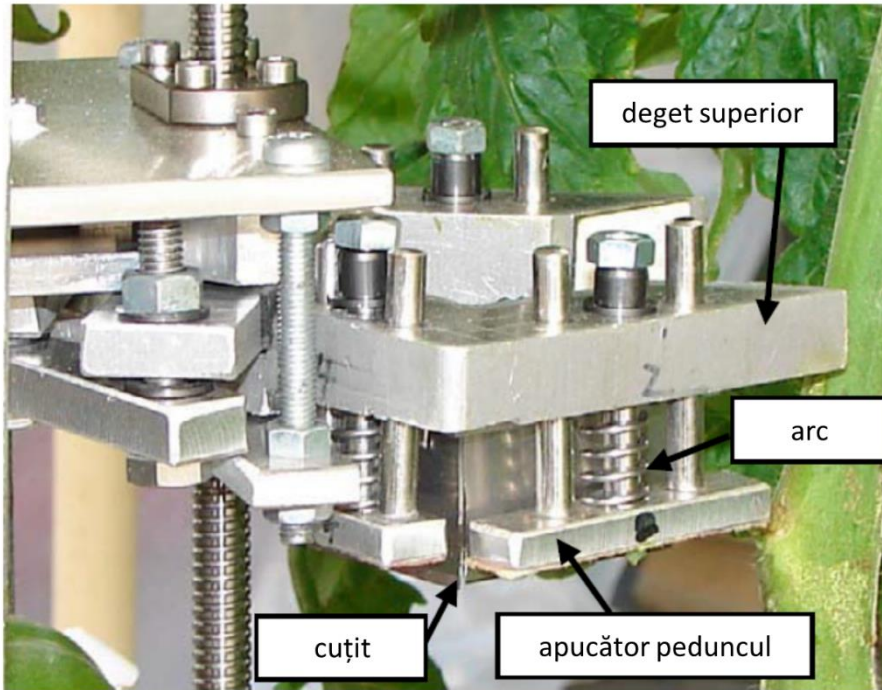


Figura 3.9 Sistem de prindere și tăiere a ciorchinilor de roșii (după [57])

Dispozitivul pentru cules roșii [24] prezentat în Figura 3.10 folosește un prehensur cu patru degete acoperite cu o spumă moale în combinație cu o ventuză pentru a evita distrugerea fructelor.

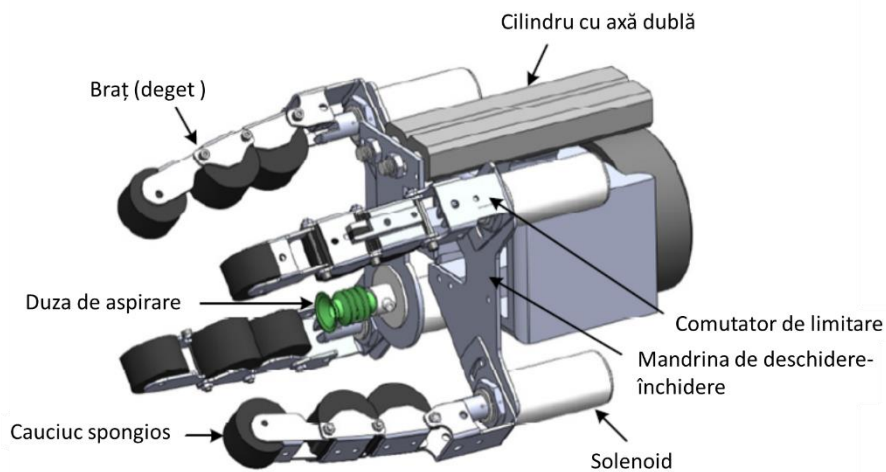


Figura 3.10 Prehensur cu spumă moale pentru cules roșii (după [24])

3. **După principiul de funcționare**, prehensorii se pot clasifica în (Figura 3.11): mecanici, ingresivi, electromagnetici, electrostatici, de tip ventuză, cu jet de aer sau criogenici [37].

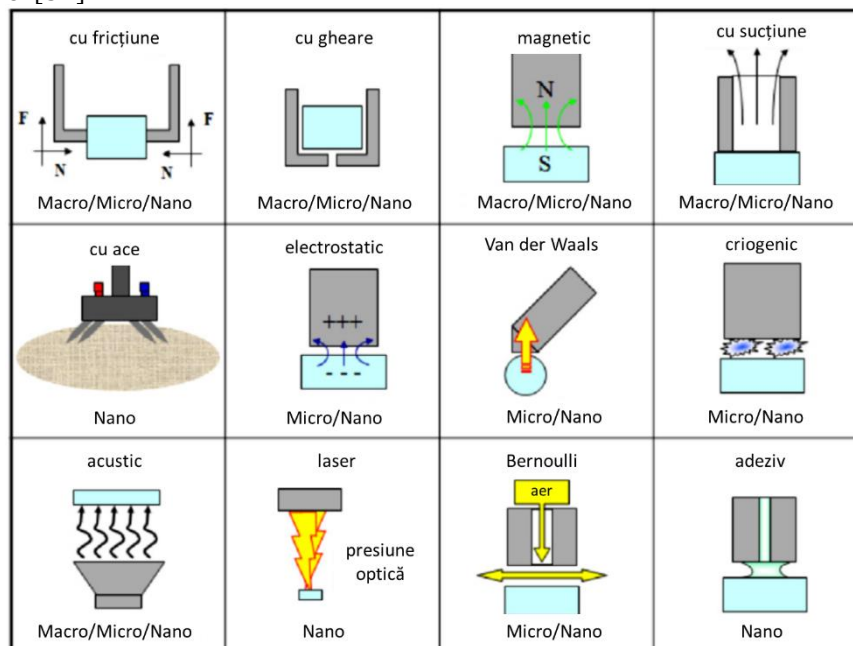


Figura 3.11 Tipuri de prehensorii după principiul de funcționare și scala la care aceștia se aplică (după [37])

4. **După ordinul de mărime al obiectelor manipulate**, prehensorii pot acționa la scară macro (peste $100 \mu m$), micro (de la $100 \mu m$ la $100 nm$) sau nano (sub $100 nm$).

În ce privește adecvanța utilizării:

- *Prehensorii mecanici* sunt cei mai utilizați pentru manipularea formelor tridimensionale (ca de exemplu componente de plastic, alimente, saci) și mai puțin potriviți în cazul componentelor de cauciuc.
- *Prehensorii ingresivi* sunt adecvați pentru manipularea obiectelor bidimensionale (ca de exemplu țesături), dar pot fi folosiți și pentru a manipula alimente sau saci.
- *Prehensorii electromagnetici* se folosesc cu succes pentru plăci metalice.
- *Prehensorii cu ventuză* dau rezultate foarte bune în cazul manipulării plăcilor de metal, componente de plastic sau de cauciuc.
- Rezultate mai puțin bune dau *prehensorii electrostatici* pentru piele sau componente de plastic, prehensorii cu jet de aer pentru obiecte tridimensionale în general și prehensorii criogenici (care se folosesc îndeosebi pentru țesături sau alimente).

3.2 Posibilități pentru integrarea soluțiilor de prehensiune în sistemele robotice de recoltat

În domeniul agricol, sistemele de prehensiune sunt folosite în special la recoltarea fructelor și legumelor. Nevoia de a nu deteriora produsele recoltate și variabilitatea dimensiunilor acestora impune, de regulă, ca prehendorii folosiți pentru recoltat să fie mecanici și să poată acționa la nivel macroscopic. Așadar, conform clasificării realizate în [37], prehendorii care ar putea fi folosiți în agricultură sunt: prehendorii cu fricțiune, prehendorii cu gheare, prehendorii cu sucțiune.

Mediul agricol este un mediu parțial necunoscut. Chiar dacă se cunoaște poziția exactă a unei plante (tulpini) pe care se află fructele de cules, nu este cunoscută poziția exactă a unui fruct copt pe plantă.

Prin urmare, chiar dacă sistemul de mobilitate al unui robot de recoltat poate fi conceput și programat relativ ușor, sistemul de detecție și culegere a fructelor coapte fără a le deteriora este mai dificil de conceput și programat.

Pentru un sistem de detecție și culegere a fructelor coapte, este nevoie de senzori care să identifice o proprietate distinctă a fructului (de cele mai multe ori culoare sau formă), de un sistem care să calculeze distanța până la obiectul de cules și de un sistem care să culegă efectiv fructul fără a-l deteriora.

Caracteristicile diverselor tipuri de prehendorii folosiți în domeniul agricol sunt sumarizate în [19]. Din acest punct de vedere se disting sisteme de prindere de forță sau sisteme de prindere de precizie. Dacă prinderea de forță folosește mai multe tipuri de sisteme prehensoare, pentru prinderea de precizie este nevoie de un sistem cu două degete. Brațele robotice au cel puțin 4 grade de libertate, iar metoda de culegere variază: apucarea fructului, tăierea pedunculului, îndoirea pedunculului sau chiar și folosirea unei pompe care să creeze vid local.

În 2015, Feng et al. [38] au propus un sistem robotic de recoltat tomate din sere.

Un astfel de sistem robotic constă dintr-o platformă care se deplasează pe un sistem de șine într-o seră (Figura 3.12), în care:

- 1 - prehendor
- 2 - braț robotic
- 3 - detector de imagine (cameră video)
- 4 - unitate de comandă
- 5 - șine
- 6 - platformă mobilă
- 7 - sistem de ridicare a platformei
- 8 - coș pentru depozitarea fructelor culese.

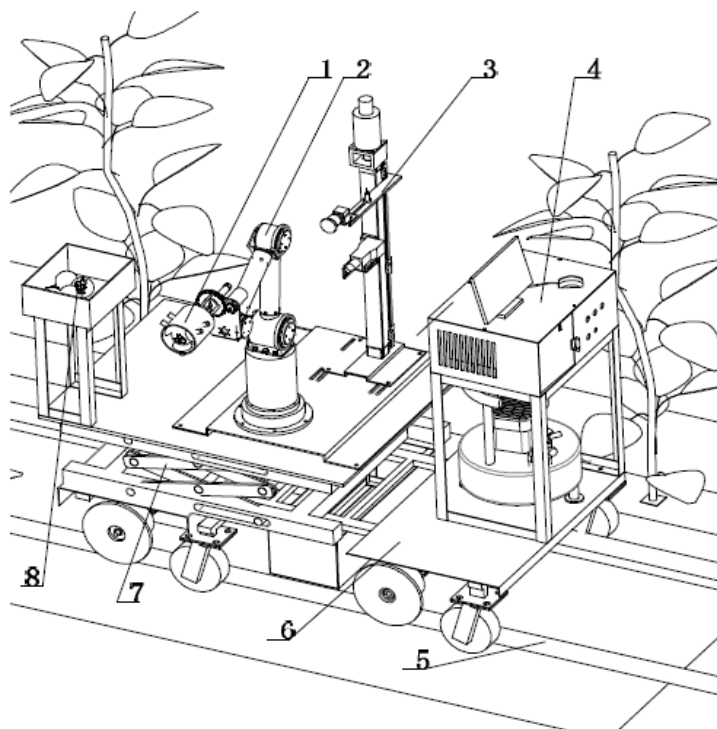


Figura 3.12 Sistem robotic pentru recoltat tomate ([38])

Pentru detectarea fructelor coapte se folosește o combinație dintre o cameră de luat vederi și un sistem laser.

Structura de comandă a unui asemenea robot ocupă spațiu, iar în plus, o seră în care acest dispozitiv ar putea să fie folosit trebuie să fie echipată cu șine pe care să se deplaseze robotul.

În 2016, Biquing et al.[15] au realizat conceptul unui robot care să culegă roșii cherry, pe care l-au testat pe un stand experimental. Testarea a presupus 3 etape:

- 1 – testarea modului de identificare a roșiei
- 2 – testarea răspunsului automatizat
- 3 – testarea eficienței sistemului de control paralel

Performanța sistemului a fost măsurată prin rata de eșec (procentul de roșii deteriorate la culegere). Pentru sistemul propus, rata de eșec este între 1,21% și 1,35%, semnificativ îmbunătățită față de rata de eșec în cazul clasic (care este peste 7%).

În 2017, Lili et al. [64] au prezentat conceptul unui sistem robotizat autonom pentru culesul roșiilor. Acesta constă dintr-o platformă cu 4 roți (1) care se pot mișca independent, care susține un braț robotic cu 5 grade de libertate (2), un sistem de navigație în seră (3) și un sistem video stereo pentru detectarea fructelor coapte (4), așa cum reiese din Figura 3.13.

Realizarea unui echipament tehnologic robotizat în concepție proprie pentru culegerea roșiilor în seră



Figura 3.13 Sistem robotizat pentru culesul roșiilor (după [64])

Sistemul de navigație a identificat corect drumul în seră cu o eroare de 80 mm. Brațul robotic putea ridica până la 1,5 kg. Rata de succes a sistemului video de recunoaștere a roșiilor coapte a fost de 93%. La distanțe mai mici de 600 mm, eroarea de poziționare a fost mai mică de 10 mm, iar timpul de recunoaștere a roșiei a fost de aproximativ 15 s / roșie, cu o rată de succes de aproximativ 86%.

Ideea de a calcula distanțe reale în funcție de distanțele în pixeli dintr-o imagine a mai fost descrisă și în [53]. Această lucrare descrie modul în care, folosind două camere, se pot determina coordonatele fructului de cules și se poate calcula mișcarea brațului robotic până la fruct.

3.3 Realizarea unui echipament tehnologic robotizat în concepție proprie pentru culegerea roșiilor în seră

Având în vedere rezultatele prezentate în [38], [15] sau [64], lucrarea și-a propus să realizeze și să testeze un echipament tehnologic robotizat care să se deplaseze într-o seră și să culegă roșii. Sistemul va consta dintr-o platformă cu 4 roți cu tracțiune autonomă care va susține unitatea centrală de comandă, brațul robotic și sistemul de detectare al fructelor.

ANALIZĂ CRITICĂ PRIVIND STADIUL ACTUAL AL PRINCIPALELOR SISTEME DE PREHENSIUNE UTILIZATE ÎN AGRICULTURĂ

Spre deosebire de cercetările efectuate anterior, sistemul de navigație nu presupune existența unor șine în seră (ca în [15]). Sistemul de navigație care se propune presupune existența unor rânduri de roșii, iar robotul se deplasează în linie dreaptă până când ajunge la capătul unui rând. În acest mod, sistemul de navigație va fi orientat mai degrabă spre detectarea unei noi plante într-un rând decât spre detectarea drumului în seră.

Sistemul de detectare a fructelor coapte propus în prezenta lucrare nu folosește două camere (ca sistemele propuse de [64] sau [53]) pentru a detecta un fruct copt și distanța până la acesta, ci folosește o singură cameră, dar căreia i se asigură condiții de iluminare suplimentare, pentru a realiza imagini cât mai fidele realității. În loc de două camere care să realizeze simultan două imagini, soluția care s-a propus folosește o singură cameră așezată pe prehensor, care, pentru a determina poziția relativă a roșiei față de prehensor, culege două imagini la o distanță în spațiu cunoscută.

4 CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND PARTICULARITĂȚILE ELEMENTELOR STRUCTURALE ȘI FUNCȚIONALE ALE SISTEMELOR DE PREHENSIUNE FOLOSITE LA LUCRĂRILE DIN SERE

Bazat pe rezultatele detaliate în capitolele anterioare, în prezentul capitol au fost investigate particularitățile subsumate ale elementelor structurale și funcționale aplicabile la sistemele de prehensiune folosite la lucrările în sere în vederea optimizării unor componente esențiale dar și a sistemului robotizat în ansamblu.

4.1 Obiectivele cercetării

Obiectivele cercetării din acest capitol au fost:

- Analiza procesului de lucru al unui prehensur
- Conceperea unui prehensur folosit la sistemele robotizate în sere
- Integrarea și optimizarea funcțională a prehensurului propus

4.2 Descrierea metodologiei cercetării

În urma analizei rezultatelor chestionarului propus anterior (capitolul 2.3, pagina 29), s-au înregistrat următoarele preferințe pentru sistemele de robotizare, în ordine descrescătoare:

- utilizarea pentru recoltare
- utilizarea pentru întreținerea culturilor
- utilizarea pentru sortarea și ambalarea produselor.

Dintre aceste preferințe, cercetarea de față se concentrează asupra posibilității de folosire a sistemelor robotizate pentru recoltare.

Această decizie este justificată de necesitatea concentrării pe cea mai frecventă opțiune identificată în rândul producătorilor horticoli din zona agricolă de proximitate, pe de o parte și limitarea inevitabilă a principalelor resurse (materiale, umane, timp), pe de altă parte.

Planificarea activității de cercetare a avut în vedere principalele funcții de utilitate solicitate pentru sistemul robotic propus, cu respectarea restricțiilor de natură tehnică (simplitate constructivă și funcțională, mentenanță simplă și ieftină, costuri de fabricare și exploatare scăzute etc.

Cercetările s-au efectuat după o metodologie a cărei schemă operațională este prezentată în Figura 4.1.

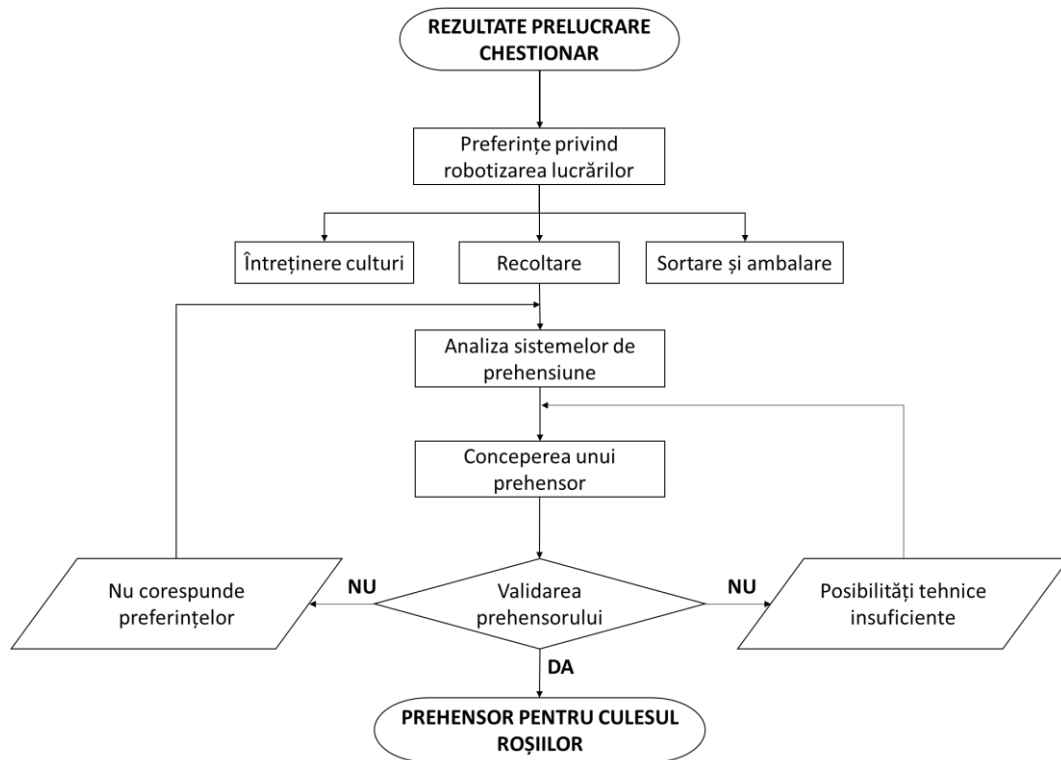


Figura 4.1 Metodologia cercetărilor – schemă

4.3 Investigarea procesului de lucru al unui prehensur

În Capitolul 3 au fost deja prezentate rezultatele analizei stadiului actual al sistemelor de prehensiune, structura și elementele definiției ale acestora.

Pentru investigarea procesului de lucru al unui prehensur s-a pornit de la structura funcțională completă și integrabilă a procesului de prehensiune, care, așa cum este reprezentat și în Figura 4.2, presupune următoarele etape [37]:

- Identificarea obiectului de prins
- Contactul cu obiectul
- Creșterea forței dintre prehensur și obiect, în anumite limite
- Prinderea propriu-zisă a obiectului
- Desprinderea și mutarea obiectului
- Eliberarea obiectului

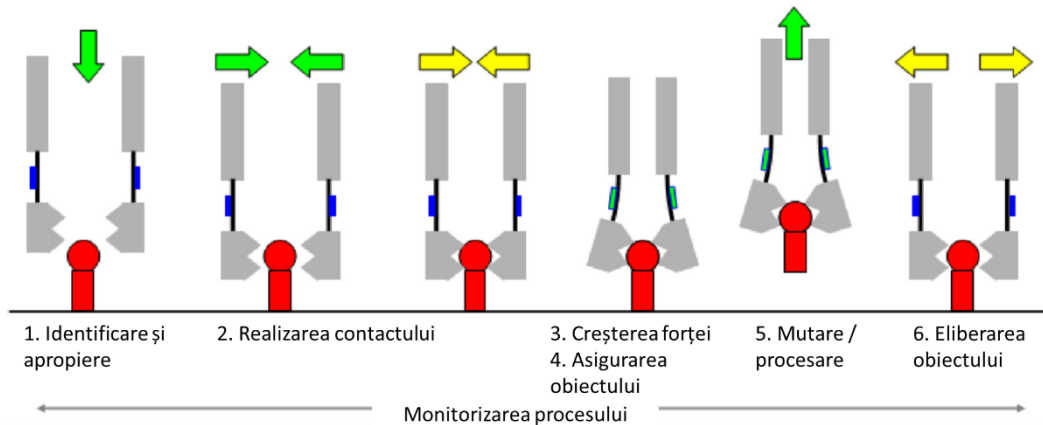


Figura 4.2 Etape ale procesului de prehensiune (după [37])

Identificarea obiectului de prins se face fie folosind coordonatele obiectului (în cazul prehensurilor industriale pentru medii cunoscute), fie prin folosirea unui sistem de senzori care indică poziția și forma obiectului.

O dată identificat obiectul, brațul robotic se deplasează până când prehensorul propriu-zis este poziționat în același plan cu obiectul de manipulat. Identificarea obiectului presupune apropierea de acesta.

Următoarea etapă presupune apropierea brațelor prehensurului, contactul efectiv cu obiectul și creșterea forței dintre prehensur și obiect.

În sens larg, contactul cu obiectul presupune ca acesta să se afle în raza de acțiune a forței care acționează în prehensur (de exemplu, forța de frecare în cazul prehensurilor mecanice, sau forțe de natură electromagnetică, în cazul prehensurilor non-contact).

În cazul obiectelor fragile forța dintre prehensur și obiect trebuie să fie suficient de mare încât să asigure obiectul împotriva desprinderilor accidentale / cădere, dar în același timp suficient de mică pentru a nu genera deteriorarea acestuia.

Forța cu care prehensurul acționează asupra obiectului crește până când obiectul nu se mai mișcă independent de prehensur.

După prinderea obiectului (adică atingerea acelei stări în care obiectul nu se mai mișcă independent de prehensur), brațul robotic efectuează o mișcare pentru a desprinde și poziționa apoi obiectul într-o nouă poziție (care poate fi sau nu relativă la poziția din care obiectul a fost ridicat).

O dată atinse noile coordonate ale obiectului, acesta este eliberat din prehensur, prin depărtarea brațelor sale la un nivel corespunzător.

Eliberarea obiectului se face prin revenirea brațelor prehensurului la poziția inițială (poziția 0), ceea ce este echivalent cu un semnal invers semnalului de prindere, care îl anulează.

Monitorizarea procesului de prehensiune se face folosind senzori, ca de exemplu senzori de forță, senzori de cuplu, senzori de alunecare, senzori de contact.

În 2014, Bolboe, Starețu și Alexandru [16] au realizat un prehensur antropomorf cu două degete, inspirat de mâna umană. Standul experimental consta în 5 subsisteme: actuator / motor, sistem de transmitere a mișcării, sistem senzorial, sistemul de comandă și control, prehensurul propriu-zis (Figura 4.3).

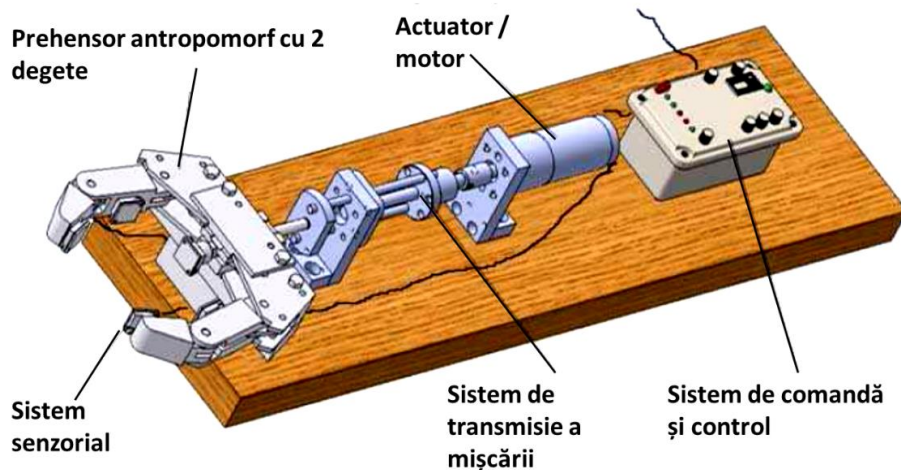


Figura 4.3 Sistem prehensor antropomorf (după [16])

Obiectul prinderii se centrează singur, în funcție de forța aplicată, iar procesul de prindere continuă până când ambii senzori înregistrează o valoare maxim admisă.

4.4 Conceperea, integrarea și optimizarea funcțională a unui prehensor folosit la sistemele robotizate în serie

Un robot care să culeagă roșii ar trebui să conțină următoarele componente:

- I. Platforma mobilă – un șasiu robotic din metal, care ar trebui să conțină cel puțin următoarele
 - A. 4 motoare pentru a permite o deplasare liberă în seră
 - B. placă de dezvoltare pentru controlul motoarelor
 - C. 4 roți
 - D. senzori ultrasonici pentru a permite identificarea plantelor în seră
- II. Unitate de comandă și sistem de alimentare, care ar trebui să conțină cel puțin următoarele
 - A. Arduino Mega pentru controlul motoarelor șasiului
 - B. Raspberry Pi 3 pentru prelucrarea datelor de la senzori și analiza imaginilor
 - C. Baterie 12 V 5 Ah pentru alimentarea motoarelor care pun în mișcare roțile platformei mobile
 - D. Baterie externă pentru alimentarea Raspberry și Arduino
 - E. Modul reglare tensiune pentru a proteja componentele de eventuale supratensiuni
 - F. Buton pornire / reset
- III. Braț robotic, care ar trebui să conțină cel puțin următoarele

Conceperea, integrarea și optimizarea funcțională a unui prehensor folosit la sistemele robotizate în serie

- A. Braț robotic cu 5 grade de libertate
- B. 5 servomotoare, care să pună în mișcare diversele segmente ale brațului robotic
- C. Prehensor (gripper)
- D. Modul cameră de luat vederi care să culeagă imagini din seră
- E. Senzor presiune care să furnizeze date despre procesul de prehensiune
- F. Lămpi ajutătoare care să asigure condiții de iluminat optime

Ansamblul final, denumit în continuare RADAR 00 (Robot Automat De Adunat Roșii, nivelul model experimental), este vizibil în Figura 4.4 și este alcătuit din următoarele componente:

- I – platforma mobilă
- II – unitatea de comandă și sistemul de alimentare
- III – brațul robotic propriu-zis.

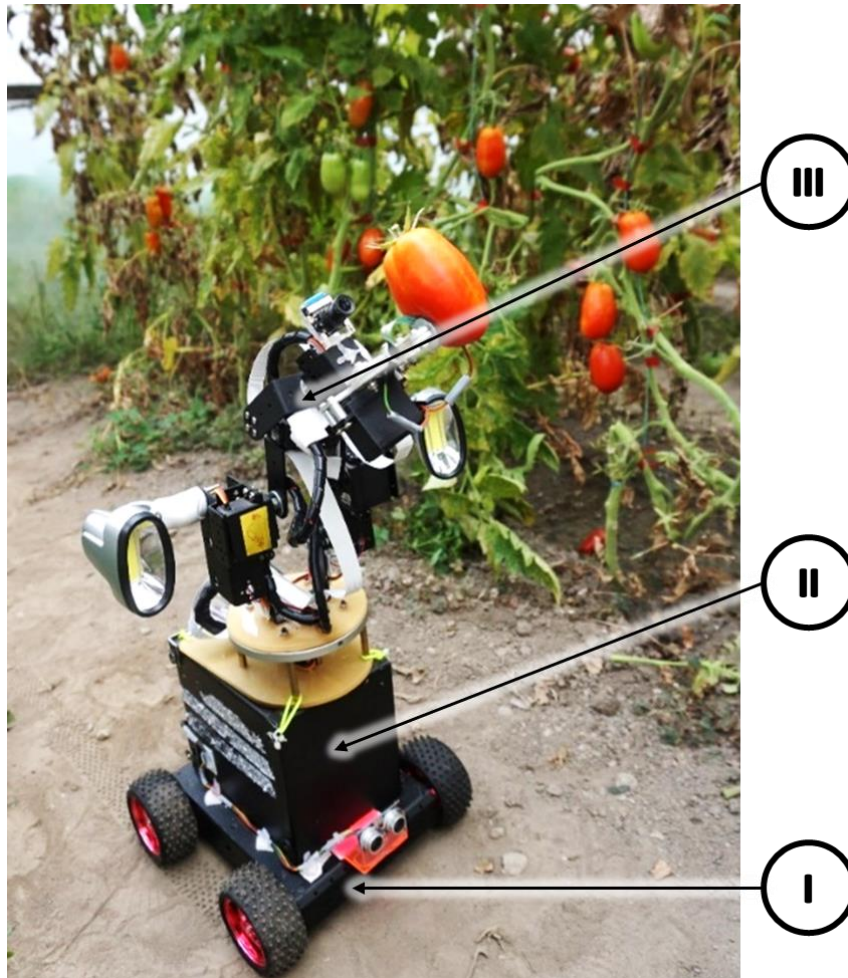


Figura 4.4 Robot în seră

Detalii despre aceste componente vor fi oferite în capitolele următoare. În cele ce urmează, ne vom concentra pe sistemul de prehensiune (gripper).

Conceperea prehensorului a presupus:

- Identificarea unui sistem mecanic adecvat aflat în stare comercială pentru recoltarea roșiilor
- Adaptarea sistemului identificat la condițiile cerute de recoltarea roșiilor în sere

S-a pornit de la ideea de principiu prezentată în [16]. Prehensorii cu două degete existenți pe piață [82] sunt acționați de servomotoare MG995 [87]. Acestea pot fi programate pentru prindere, dar nu garantează faptul că prinderea nu distruge roșia. În consecință, este necesară o cercetare și validare experimentală pentru a determina intensitatea procesului de prindere. Pentru aceasta, vârful degetelor prehensorului au fost dotate cu traductori rezistivi pentru măsurarea forței de apăsare FSR402 [86].

Sistemul de prehensiune este acționat de un servomotor MG995, conectat la placa Arduino ca în Figura 4.5.

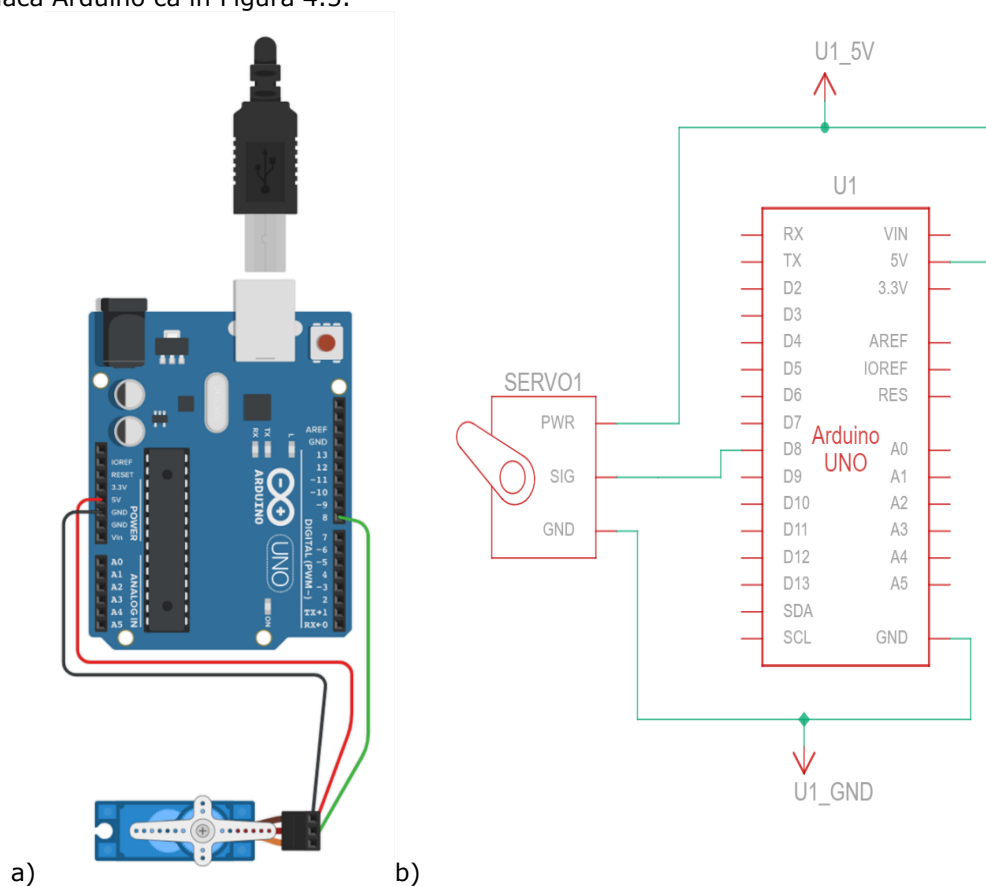


Figura 4.5 Servomotor MG995 conectat la placa Arduino (schițe realizate cu Tinkercad):
a) schema constructivă, b) schema electrică

Conceperea, integrarea și optimizarea funcțională a unui prehensor folosit la sistemele robotizate în serie

Un astfel de servomotor operează cu tensiuni de lucru între 4,8V și 7,2V și primește un semnal U, ale cărui valori pot varia între 0 și 180 și care semnifică unghiul brațului servomotorului. Astfel, 0 semnifică poziția în care brațul servomotorului este cel mai la stânga, iar 180 poziția în care brațul servomotorului este cel mai la dreapta.

Pinii servomotorului sunt PWR (power, polul pozitiv de alimentare) SIG (signal, pinul de semnal) și GND (ground, polul negativ de alimentare). Pinul PWR se conectează la un pin de 5V de pe placa Arduino, iar GND la un pin GND (de nul). Pinul SIG se conectează la un pin de comunicare de pe placa Arduino – în acest caz, D8 și servește pentru transmiterea comenzilor de la Arduino la servomotor.

Sistemul de prehensiune este alcătuit din servomotorul acționat prin comenzi primite de la placa Arduino și prehensorul propriu-zis, care, într-o seră, poate fi un sistem cu două brațe (degete), ca în Figura 4.6.



Figura 4.6 Prehensor pentru servomotoare MG995 (1 – brațul stâng, 2 – brațul drept, 3 – servomotor, 4 – roșie)

Conform fișei tehnice [82], prehensorul este realizat din aluminiu. Când cleștele este închis, distanța dintre baza și vârful prehensorului este de 108 mm, iar când cleștele este deschis această distanță este de 98 mm. Deschiderea maximă între degetele prehensorului (deschiderea de prindere) este de 55 mm. Prehensorul este legat la servomotor astfel încât unui unghi de 65° să îi corespundă deschiderea maximă dintre degetele prehensorului, iar o dată cu creșterea unghiului, deschiderea prehensorului să scadă.

Particularitățile constructive ale prehensorului limitează dimensiunile roșiilor care vor putea fi culese la un diametru maxim cuprins între 50 mm și 55 mm.

Similar cu cele descrise în [37], sistemul de prehensiune pentru roșii coapte trebuie să realizeze următoarele:

- Identificarea unei roșii coapte pe plantă
- Aproximarea prehensorului de cu roșia coaptă
- Realizarea contactului și prinderea roșiei fără a o deteriora
- Desprinderea roșiei de plantă
- Mutarea roșiei desprinse până la un recipient colector
- Eliberarea roșiei

Identificarea unei roșii coapte presupune folosirea unui sistem de culegere și prelucrare a imaginilor.

Apropierea prehensorului de roșia coaptă presupune calculul distanței dintre aceștia și programarea mișcării.

Realizarea contactului cu roșia și prinderea acesteia fără a o deteriora presupun folosirea unor senzori de forță rezistivi și a calibrării acestora.

Desprinderea roșiei de plantă, mutarea acesteia până la un recipient colector, eliberarea roșiei și reluarea procesului de culegere nu presupun aspecte tehnice și de programare deosebite.

4.5 Concluzii parțiale

Pornind de la nevoile identificate la producătorii din zonă, a fost identificată opțiunea cea mai frecventă în preferințele acestora pentru folosirea unui eventual sistem robotic care să asiste procesele din sere. Această opțiune este cea de a folosi roboți pentru recoltare.

Recoltarea presupune existența unui braț robotic dotat cu un prehensur, iar de particularitățile prehensurului și de modul în care acesta acționează depinde procentul de fructe / legume culese fără a fi deteriorate.

Având în vedere specificul recoltei care este analizată în prezenta cercetare (culegerea de roșii coapte în sere), am optat pentru folosirea unui prehensur cu două degete, montat pe un braț robotic acționat de 5 servomotoare și deplasat printre rândurile de roșii dintr-o seră cu ajutorul unei platforme mobile.

În cele ce urmează, se vor descrie elemente esențiale ale sistemului robotic propus: procedeul de identificare al fructelor coapte, calibrarea prehensurului pentru a culege roșii fără a le deteriora și integrarea acestor subansambluri pe un sistem autonom care se deplasează în seră.

5 CERCETĂRI PRIVIND OPTIMIZAREA SISTEMELOR DE IDENTIFICARE A FRUCTELOR COAPTE

În acest capitol se vor prezenta elemente esențiale din procesul de optimizare a sistemelor robotice integrate actuale folosite pentru identificarea fructelor coapte, care s-a desfășurat în cadrul prezentei activități de cercetare experimentală.

5.1 Obiectivele cercetării

Obiectivele cercetării au fost:

- Identificarea caracteristicilor fructelor coapte pentru soiul San Marzano
- Scrierea unui algoritm pentru recunoașterea culorii unui fruct copt
- Scrierea unui algoritm pentru recunoașterea conturului unui fruct
- Optimizarea algoritmilor propuși și testarea lor în condiții reale
- Propunerea de soluții constructive pentru optimizarea sistemului de identificare a fructelor coapte

5.2 Materiale și metode utilizate pentru optimizarea sistemelor de identificare a fructelor coapte

Testarea algoritmilor de identificare a fructelor coapte s-a făcut folosind tomate din soiul San Marzano, cultivate în sera proprie, la Lugoj, ale cărei coordonate GPS, conform Google Maps sunt 45,686333; 21,908737 (latitudine 45°41'10"N, longitudine 21°54'31"E - Figura 5.1).

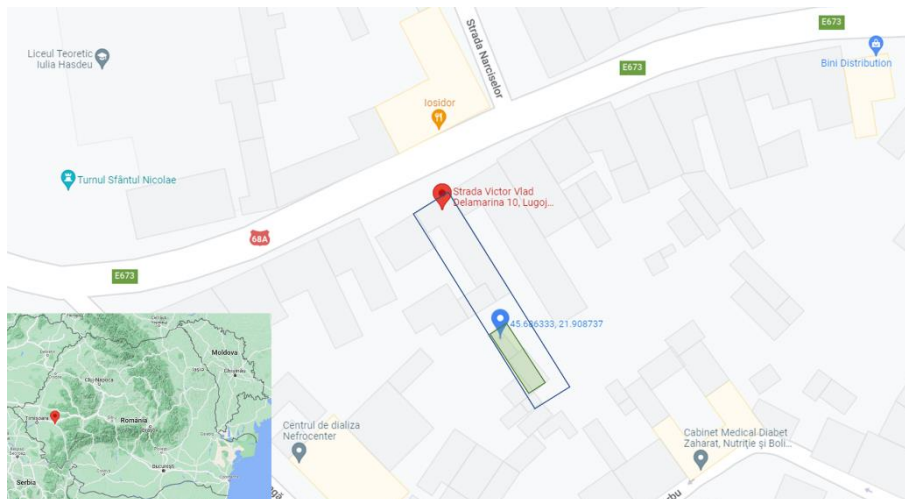


Figura 5.1 Poziția serei în care s-au efectuat experimentele (prelucrare Google Maps)

În Figura 5.2 este prezentat un aspect din sera proprie în care s-a desfășurat experimentul.



Figura 5.2 Roșii San Marzano în sera proprie de la Lugoj (arhiva personală)

Pentru testarea algoritmilor de identificare și culegere a fructelor coapte, s-a studiat modul în care pot fi culese roșiile din soiul San Marzano [32]. Acestea sunt un soi de roșii care în mod tradițional se cultivă în regiunea Campania, în Italia.

Particularitățile soiului San Marzano sunt [17], [27]:

- soiul este unul anual
- temperatura optimă a solului pentru plantarea răsadurilor este de 18-23 °C (nu germinează în pământul rece)
- distanța optimă la plantare între plante este de 35-45 cm
- distanța optimă la plantare între rânduri este de 60-80 cm
- înălțimea medie a plantei la maturitate este 150 cm înălțime
- plantele au nevoie de spații luminoase care să asigure minim 6-8 ore de lumină solară pe zi, de un sol fertil și bine drenat,
- excesul de apă poate duce la putrezirea rădăcinilor [27]
- producția este semi-timpurie
- plantele ajung la maturitate după 85-90 zile de la plantare și continuă să rodească până la primele semne de îngheț [17]
- fructele cresc în ciorchini de 6-8 tomate, care la maturitate au o culoare roșu-închis, greutatea este între 130-140 g și conținutul dens, cu puține semințe (această particularitate face ca tomatele San Marzano să se preteze la conservare, la producția de pastă de tomate, sosuri sau bulion).
- forma fructului matur este ovală, ușor cilindrică, cu o înălțime medie de 9 cm și un diametru mediu de 4 cm.

Aceste date au fost folosite pentru calibrarea programului prezentat în continuare.

Pentru prezenta cercetare s-au utilizat etapele de maturitate ale tomatelor conform clasificării din [130] (prezentate în Figura 5.3) care, de la stânga la dreapta,

Materiale și metode utilizate pentru optimizarea sistemelor de identificare a fructelor coapte

presupun: verde crud, verde copt, gogonea, în pârgă, început de copt, aproape copt, copt. De obicei roșiile sunt recoltate atunci când încep să se coacă.



- | | | |
|--------------|-------------------|----------------|
| ① verde crud | ② verde copt | ③ gogonea |
| ④ în pârgă | ⑤ început de copt | ⑥ aproape copt |
| ⑦ copt | | |

Figura 5.3 Etape de maturitate ale tomatelor (după [130])

Sub aspect al culorii se disting:

- Roșiile de culoare **verde crud** (1)
- Roșiile de culoare **verde copt** (2), mai intens colorată decât cea de culoare **verde crud**.
- **Gogonelele** (3), prezintă o schimbare vizibilă a culorii spre galben pe mai puțin de 10% din suprafața lor.
- **Roșiile în pârgă** (4), cu o culoare schimbată spre galben sau roz pe o suprafață între 10-30%.
- **Roșiile care încep să se coacă** (5), cu o culoare roz-roșu pe 30-60% din suprafața lor.
- **Roșiile aproape coapte** (6), cu culoare specifică (roșu) pe 60-90% din suprafață.
- **Roșiile coapte** (7), cu o culoare specifică pe mai mult de 90% din suprafață.

Pentru a prelucra o imagine digitală și a extrage informații din aceasta, imaginea trebuie culeasă inițial.

Culegerea unei imagini digitale se realizează cu un senzor foto (cameră foto). În realizarea robotului, s-a folosit un modul cameră cu unghi de vizibilitate larg, posibilitatea de focalizare reglabilă, adaptat pentru Raspberry Pi [81], [96].

Modulul este prezentat în Figura 5.4, în care 1 – modul cameră, 2 – cablu panglică de conectare la portul CSI al Raspberry Pi, 3 – unitatea Raspberry Pi.

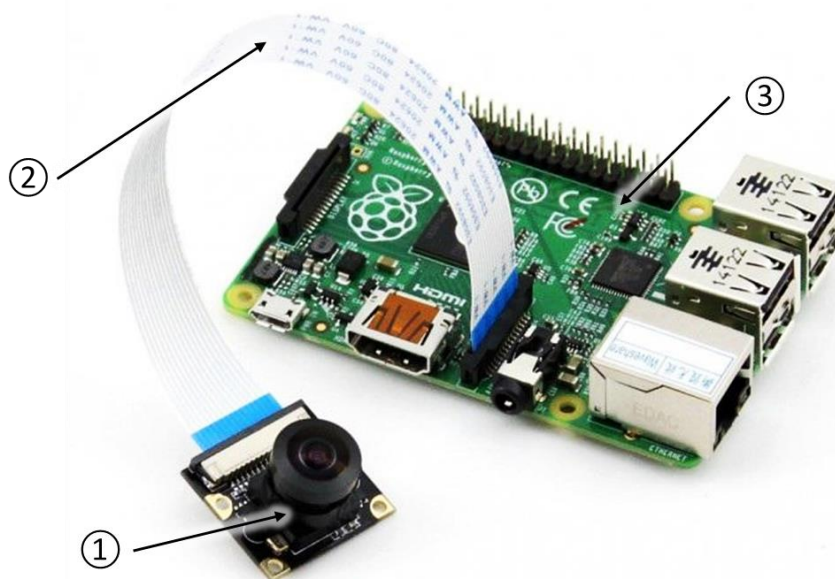


Figura 5.4 Modulul cameră conectat la Raspberry Pi (după [81])

Camera are o capacitate de 5 MP, iar în modul video poate avea o rezoluție de până la 1080 p. Unghiul de vizualizare larg, de până la 160° în modul video, tensiunea de alimentare 3,3 V și dimensiunile mici (25 x 24 mm și 3 g) fac din această cameră o alegere foarte bună pentru a capta imagini într-o seră. Dimensiunile unui pixel sunt de $1,4 \mu\text{m} \times 1,4 \mu\text{m}$. Deși unghiul de vizualizare în modul video este larg, în modul foto acesta este de $53,50^\circ$ pe orizontală și $41,41^\circ$ pe verticală.

Imaginile sunt captate de către senzorul camerei pixel cu pixel. Pixelii sunt apoi stocați în memoria internă a dispozitivului pe care este atașată camera ca un vector multi-dimensional. La stocarea imaginii, se înregistrează dimensiunile acesteia (numărul de pixeli pe orizontală, numărul de pixeli pe verticală) și date despre formatul de culoare în care vor fi înregistrați pixelii.

Fiecare pixel al imaginii este o structură care conține coordonatele sale și informații despre culoarea și luminozitatea sa.

Formatul de culoare în care se poate stoca o imagine poate fi:

- RGB (red, green, blue) atunci când culoarea este codificată în funcție de cantitatea de lumină roșie, verde și albastră care, combinate, dau culoarea pixelului
- HSV (hue, saturation, value) și HSL (hue, saturation, lightness) – atunci când culoarea este codificată după nuanța, saturația și valoarea, respectiv luminozitatea pixelului

Structura cromatică a unui pixel a cărui culoare a fost definită aditiv este un triplet de forma (R, G, B), unde R este cantitatea de lumină roșie (red) din care este

compusă culoarea, G este cantitatea de lumină verde (green), iar B este cantitatea de lumină albastră (blue).

Parametrii R, G, B iau valori între 0 și 255, cu următoarele caracteristici: negru este codat (0, 0, 0), alb (255, 255, 255), griul este (122, 122, 122), roșu pur este codat (255, 0, 0), galbenul pur (255, 255, 0), verde pur este (0, 255, 0), albastru pur are codul (0, 0, 255), violet pur (122, 0, 255), portocaliu va avea codul (255, 122, 0), etc.

În schema aditivă, un pixel are o anumită culoare dacă predomină componenta de culoare respectivă.

Pentru a putea culege o imagine cu un modul cameră, este nevoie de următoarele informații:

- Valoarea ISO pentru sensibilitatea senzorului, invers proporțională cu cantitatea de lumină primită de senzor
- Luminozitatea imaginii (brightness)
- Contrastul imaginii (contrast)
- Rezoluția imaginii, dată de dimensiunile imaginii, în pixeli

Tabelul 5.1 Parametri folosiți pentru culegerea unei imagini

Caracteristică	Valoare
Timp de încălzire [s]	2 s
ISO [-]	200
Luminozitatea imaginii, pe o scală de la 0 la 100, în care valoarea implicită este 50 [cd/m ²]	60
Contrastul imaginii, pe o scală de la -100 la 100, în care valoarea implicită este 0 [-]	30
Rezoluția (width x height sau lungime x lățime) [pixeli x pixeli]	320 x 240
Rotăția imaginii [°]	180°

În condițiile de iluminat asigurate de RADAR 00 - structura robotică propusă în prezenta cercetare (2 lămpi laterale), setările pentru modulul de cameră trebuie să mai țină cont de timpul de încălzire al senzorului și de corectarea unei eventuale rotații a camerei datorată modului de construcție. Toate aceste detalii sunt prezentate detaliat în Tabelul 5.1.

Detectarea unui fruct, urmată de analiza stadiului de vegetație al acestuia se face printr-un algoritm de lucru asistat de un controler practic, realizat în concepție proprie prin utilizarea unei plăci cu microcontroler de tip Raspberry Pi.

Programul de prelucrare a imaginilor pentru detectarea fructelor coapte a fost realizat folosind limbajul de programare Python [93], [108], [71], un limbaj de programare de nivel înalt de uz general. Acest limbaj construiește și abordează orientat pe obiect cu scopul de a ajuta programatorii să scrie clar coduri logice pentru proiecte la scală mică și mare. Programul conceput pentru detectarea fructelor coapte funcționează atât integrat în sistemul RADAR 00, cât și de sine stătător, pe orice sistem pe care este

instalat, permițând, la fel ca și programul dezvoltat în [51], utilizarea sa facilă și independentă de sistemul de operare ales.

Printre pachetele folosite în Python [71] se află modulul picamera, care gestionează interacțiunea cu camera foto-video.

Algoritmul urmărește obținerea unei construcții simple, sigure, realizată într-un limbaj accesibil fermierului. În plus, atunci când în numele funcțiilor folosite apare cuvântul „poza”, aceasta semnifică faptul că în funcție se folosește modulul cameră de luat vederi. Dacă în numele funcției apare cuvântul „imag”, aceasta semnifică faptul că funcția folosește o imagine deja stocată în memorie, fără a folosi modulul cameră de luat vederi.

Algoritmul menționat anterior este prezentat în sinteză în Figura 5.5.

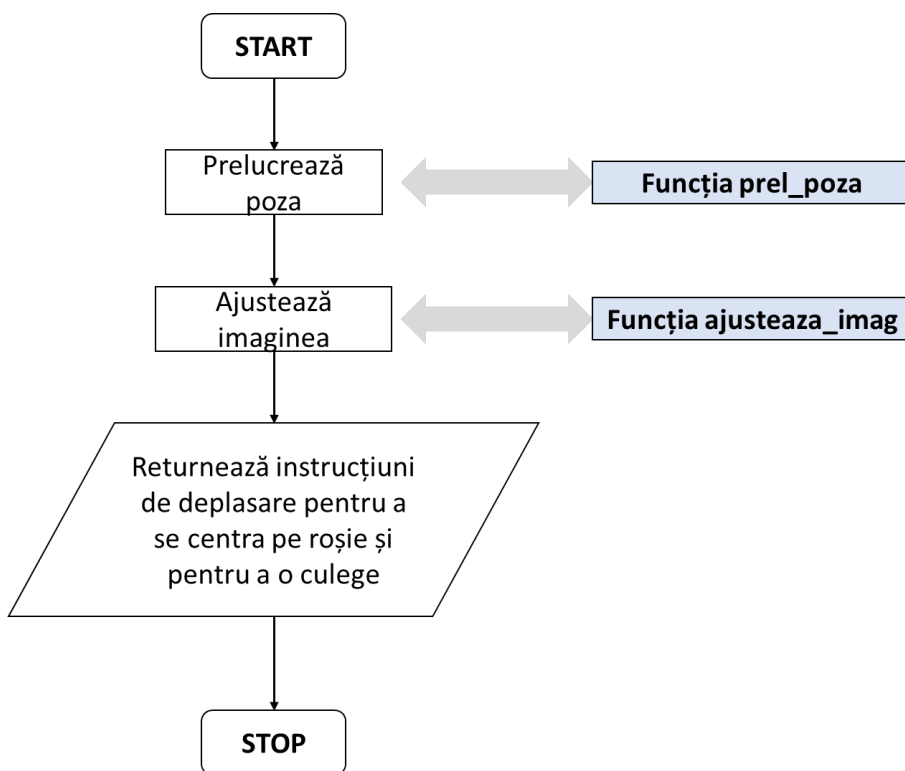


Figura 5.5 Rutina de detectare a unei roșii efectuată de Raspberry Pi

Această rutină se înscrie în tendințele actuale în domeniul recunoașterii figurilor sau a culorilor, detaliate, printre altele, în [23]. În [23] se prezintă un program Matlab pentru recunoașterea figurilor geometrice elementare. Algoritmul de recunoaștere convertește imaginea din format RGB în tonuri de gri și apoi într-o imagine alb-negru. Pentru identificarea formei, se determină aria dreptunghiului care mărginește forma și

Materiale și metode utilizate pentru optimizarea sistemelor de identificare a fructelor coapte

procentul pixelilor negri din interiorul acestuia, apoi acest procent este comparat cu valori predefinite. Pentru determinarea culorii, se determină culoarea pixelilor dominanți.

Rutina de prelucrare a imaginii presupune culegerea unei imagini, apoi prelucrarea atributelor acesteia în scopul extragerii de informații. Culegerea imaginii se realizează cu ajutorul funcției `fa_poza`. Am optat pentru o funcție de sine stătătoare care să culegă imaginea, deoarece ea va fi folosită de mai multe ori în cursul programului de detectare a poziției unui fruct.

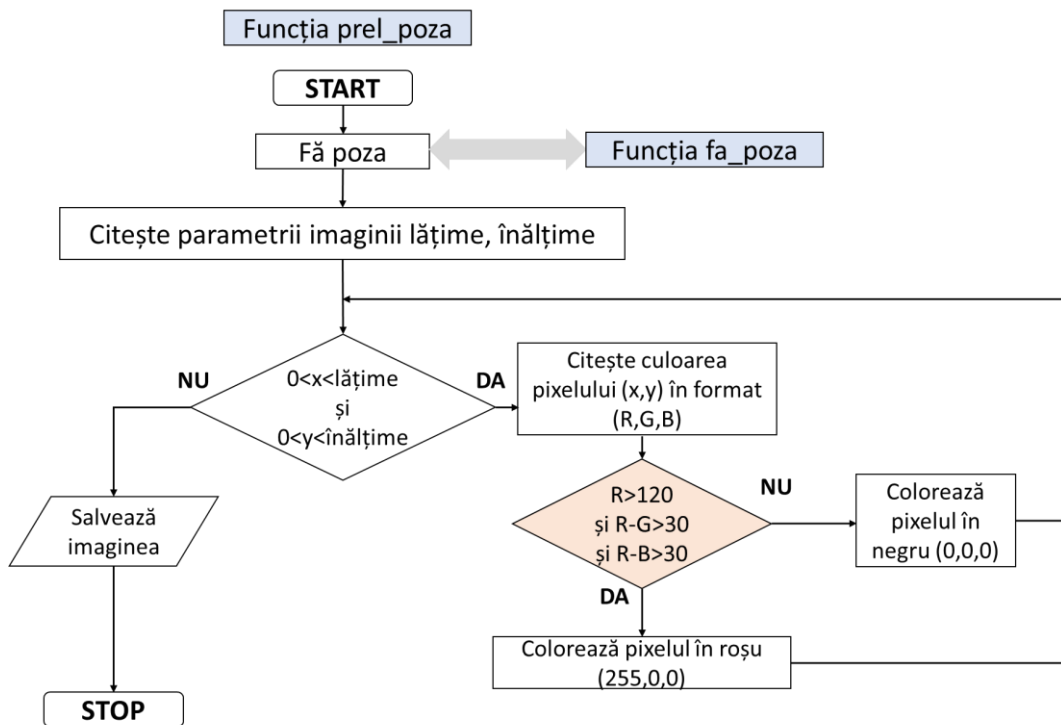


Figura 5.6 Rutina de prelucrare a imaginii

La fel ca în [23], și soluția noastră identifică un dreptunghi în care este înscrisă imaginea roșiei. Deoarece roșiile sunt simetrice, nu se mai calculează procentul de pixeli colorați, ci se determină direct axa verticală și centrul roșiei. Spre deosebire de [23], nu este nevoie să fie determinate toate culorile, ci doar pixelii colorați în roșu. Pentru aceasta, am realizat o schemă a culorilor admisibile pentru o roșie coaptă și am determinat proprietățile acestor culori în raport cu valorile R, G și B.

Funcția `fa_poza` ia ca argument un număr întreg, `ii`, și returnează o imagine. În cursul execuției acestei funcții, este apelată clasa o clasă a modulului `picamera`, denumită, pentru simplitate, `PiCamera`. În cadrul acestei funcții este pornită camera, se așteaptă 2 secunde, se fac setări corespunzătoare mediului dintr-o seră, se face o

fotografie care se salvează în format bmp cu argumentul funcției în nume și apoi se închide comunicarea cu modulul foto/video conectat la Raspberry Pi.

Funcția `prel_poza` ia același argument ca și funcția `fa_poza`, un număr întreg `ii`. Prin această funcție se prelucrează imaginea realizată în cadrul funcției `fa_poza`. În acest scop, se parcurge imaginea pe orizontală și verticală și se decide dacă culoarea pixelului respectiv, de coordonate (y,x) este suficient de roșie pentru a fi asociat unei roșii. În caz afirmativ, pixelul se colorează în roșu pur, iar în caz negativ, pixelul se colorează în negru.

Cea mai importantă funcție din program este funcția `ajusteaza_imag` (care este prezentată în Figura 5.7).

Această funcție ia ca argument un număr întreg, `ii` și returnează lățimea și lungimea (în pixeli) a obiectului roșu precum și deplasarea pe care ar trebui să o facă modulul cameră de luat vederi (și implicit brațul robotic) pentru a se centra pe roșia cea mai mare din imaginea luată inițial.

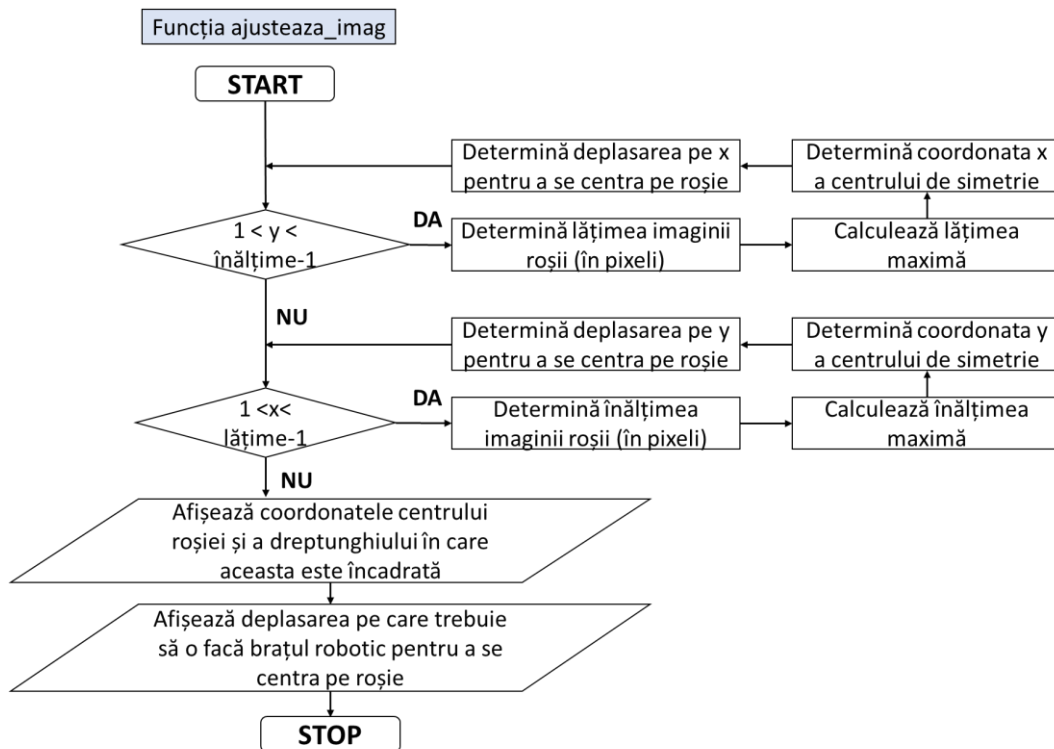


Figura 5.7 Rutina de determinare a coordonatelor unui fruct copt

Inițial, funcția citește imaginea în format bitmap deja prelucrată prin funcția `prel_imag`. Se inițializează valoarea minimă și maximă pentru înălțimea în pixeli a roșiei

și de asemenea se inițializează valoarea pentru centrul roșiei și pentru lățimea și înălțimea calculate.

În continuare, se parcurge imaginea linie cu linie și se decide care dintre pixeli reprezintă marginea din stânga și care reprezintă marginea din dreapta a roșiei pe linia respectivă. Lățimea roșiei pe linia respectivă este dată de diferența dintre x_{max} și x_{min} . Dacă lățimea este mai mare decât lățimea maximă (care a fost inițializată cu 1), atunci lățimea maximă ia valoarea de pe linia respectivă și se calculează poziția centrului. La ieșirea din bucla for, sunt păstrate valoarea pentru x_{centru} și pentru lățimea maximă, așadar mai rămâne de calculat x_{min} și x_{max} , valorile extreme pentru coordonata x a roșiei.

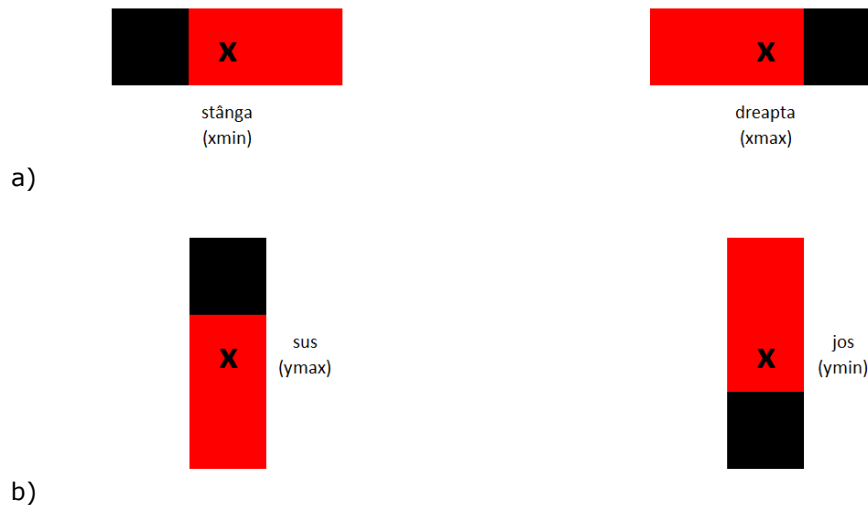


Figura 5.8 Determinarea pozițiilor extreme ale unui segment de culoare roșie (a – pe orizontală, b – pe verticală)

Pentru a determina lungimea roșiei pe imagine, se procedează în mod similar. Imaginea se va parcurge coloană cu coloană și se va decide care dintre pixeli reprezintă marginea de sus și marginea de jos a roșiei pe rândul respectiv. Lungimea roșiei pe coloana respectivă este dată de diferența dintre y_{max} și y_{min} . Dacă lungimea este mai mare decât lungimea maximă (care a fost inițializată cu 1), atunci lungimea maximă ia valoarea de pe linia respectivă și se calculează poziția centrului. La ieșirea din bucla for sunt păstrate valoarea pentru y_{centru} și pentru înălțimea maximă, urmând a fi calculate y_{min} , y_{max} , valorile extreme pentru coordonata y a roșiei.

5.3 Rezultate și discuții referitoare la sistemul de identificare al fructelor coapte

Într-o primă fază, programul pentru detectarea culorii a fost testat pe spectrul culorilor, așa cum apare el în aplicațiile Microsoft Windows [73].

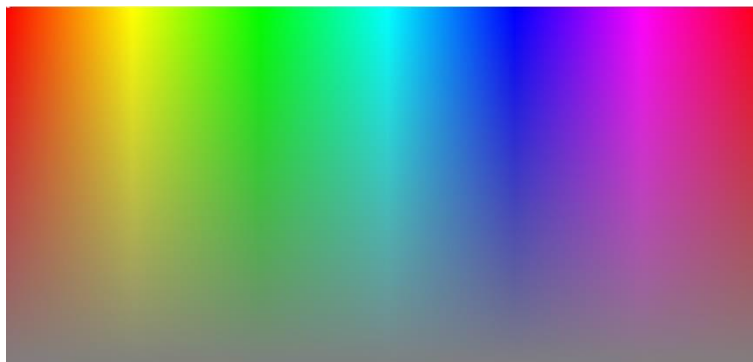


Figura 5.9 Spectrul culorilor (după [73])

Într-o fotografie pot apărea în principiu toate culorile existente în spectrul culorilor. Problema care se pune este de a decide care dintre acestea sunt sau nu aproape de culoarea roșie. În plus, atunci când se face această decizie, trebuie ținut cont și de faptul că poza făcută într-o seră poate sau nu să fie afectată de erori din cauza condițiilor improprie de iluminat (orice lumini sau umbre pot să afecteze calitatea imaginii).

Această primă observație se materializează în definirea culorii roșii ca acea culoare în care pixelii au culoarea predominant roșie, deci cantitatea de roșu depășește 120. Aplicând această condiție pe spectrul culorilor, rezultă că sunt identificate ca „roșii” inclusiv porțiuni galbene, verzi și violet. Dacă porțiunile violet nu pun probleme în practică, pentru că nu există culoarea violet într-o seră de roșii, nu același lucru se întâmplă cu culoarea verde – care într-o seră este asociată fie cu foliajul plantelor, fie cu fructele necoapte.

Pentru a evita prezența reziduală a culorilor din spectrul verde, am considerat că diferența dintre cantitatea de roșu și cea de verde prezentă în compoziția culorii pixelului trebuie să fie mai mare decât 30 de unități. Această abordare elimină reziduurile verzi din imagine, dar păstrează încă reziduuri albastre și violet.

Pentru a elimina și reziduurile albastre și violet, am procedat similar, considerând că diferența dintre cantitatea de roșu și de albastru din compoziția culorii pixelului trebuie să fie mai mare decât 30 unități. Astfel, s-au eliminat reziduurile albastre și violet, dar au apărut, suplimentar, reziduuri verzi în spectrul filtrului.

Pentru rezolvarea acestei probleme, am considerat aplicarea concomitentă a celor 3 filtre de identificare a porțiunilor roșii din spectrul culorilor. Așadar, în urma încercărilor repetate, culoarea roșie a fost definită ca acea culoare pentru care cantitatea de roșu este cel puțin 120, iar cantitățile de verde și albastru sunt cu cel puțin 30 unități mai mici decât cantitatea de roșu aferentă pixelului.

Componentele filtrului roșu creat pentru a rezolva problema identificării roșiilor coapte, împreună cu rezultatul final, sunt ilustrate în Figura 5.10.

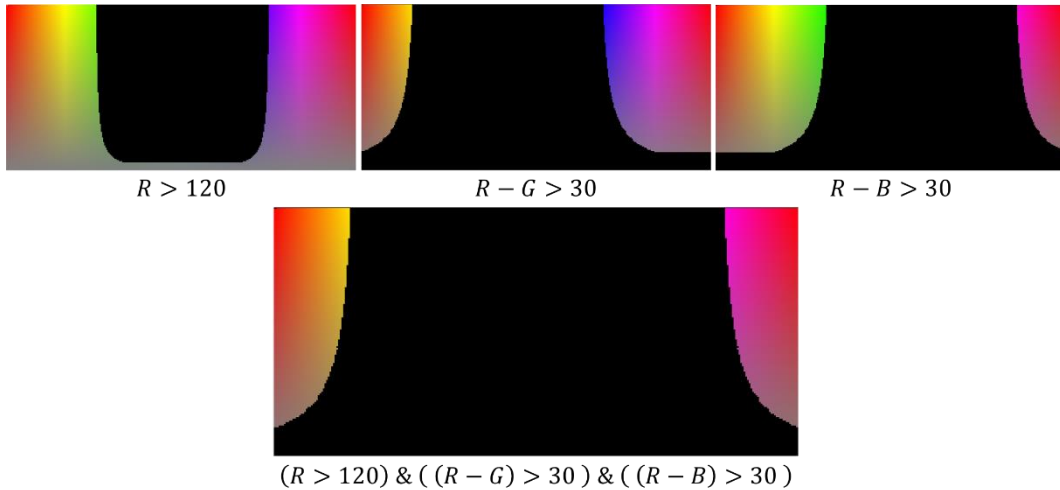


Figura 5.10 Culori admisibile pentru o roșie coaptă, raportat la spectrul culorilor și cele 3 componente ale filtrului pentru culoarea roșie

Pentru roșiile prezentate în Figura 5.3, programul de identificare a culorii roșii furnizează datele din Figura 5.11. Având în vedere că programul nu detectează culoarea roșie decât pentru fructele care au atins deja pragul de coacere necesar culegerii, așa cum a fost definit în [130]. Aceasta este încă o validare a soluției software de recunoaștere a fructului copt.



Figura 5.11 Cantitatea de roșu aferentă fiecărei etape de coacere a roșiilor

CERCETĂRI PRIVIND OPTIMIZAREA SISTEMELOR DE IDENTIFICARE A FRUCTELOR COAPTE

Pentru roșiile din sera proprie, programul a identificat cantitatea de roșu conform celor prezentate în Figura 5.12.

Față de imaginile standard (Figura 5.11), în care roșiile au culoarea și forma bine evidențiate, imaginea din Figura 5.12, cu roșiile din sera proprie, este afectată de condițiile naturale: lumini și umbre inegale, praf, imagini incomplete din cauză că există frunze în fața fructului, etc.



Figura 5.12 Validarea programului de recunoaștere a roșiilor coapte în condiții de seră

Aceste neajunsuri sunt rezolvate pe de-o parte prin introducerea unor surse de lumină suplimentare, care să asigure un iluminat optim chiar și în condiții de praf, iar pe de altă parte, însăși configurația robotului asigură o eliminare a unor posibile erori.

Configurația brațului robotic presupune ca distanța dintre robot și planta de recoltat să nu depășească 30 cm. Sursele de lumină suplimentare (Figura 5.14) asigură o iluminare optimă a unui fruct aflat între 20 cm și 50 cm de cameră. Coroborând aceste informații cu valoarea unghiului de vizualizare pe orizontală / verticală rezultă că imaginile culese de camera atașată robotului nu acoperă decât cel mult un dreptunghi cu lungimea de 40 cm și înălțimea de 30 cm. Astfel, în imagine pot să apară cel mult 3 roșii coapte, dintre care va trebui selectată în mod corect una singură.

Se presupune că roșia cea mai apropiată este cea care are dimensiunile cele mai mari (lungime și înălțime în pixeli) pe imaginea colectată de modulul cameră.

Un pixel a cărui culoare inițială se încadrează în culoarea admisibilă pentru a reprezenta o roșie va fi colorat în roșu ($R=255, G=0, B=0$). Un pixel de orice altă culoare va fi colorat în negru ($R=0, G=0, B=0$). Acest rezultat este ilustrat în Figura 5.12, în care este prezentată comparativ imaginea realizată într-o seră și cea prelucrată de funcția `prel_poza`.

Desigur, se poate folosi și opțiunea de a lăsa pixelii de culoare inițială admisă ca roșu neschimbați, dar am optat pentru eliminarea integrală a componentelor verde și albastru din imagine pentru a ușura atât abordarea în funcția `ajusteaza_imag`, cât și controlul vizual al unui utilizator care dorește să testeze filtrul de culoare.

Chiar dacă în mod real într-o poză dintr-o seră pot să apară mai multe fructe coapte, în imaginea captată nu apar decât maxim 3 obiecte roșii. Dintre acestea, algoritmul din funcția `ajusteaza_imag` îl va reține pe cel mai mare (care poate fi cel mai apropiat de cameră).

În funcție de înălțimea reală aleasă pentru roșie, se calculează deplasarea reală pe axa y pe care ar trebui să o facă brațul robotic pentru a se centra pe roșie. Deplasarea pe axa y se obține în mod similar cu deplasarea pe axa x , folosind regula de 3 simplă. Detalii despre aceste calcule se regăsesc în Capitolul 7.

La final, sunt afișate rezultatele obținute în urma rulării funcției `ajusteaza_imag`. Deși aceste rezultate sunt în mod real transmise către centrul de comandă al brațului robotic, am ales ca ele să fie afișate și în terminal.

Funcția `ajusteaza_imag` returnează lățimea în pixeli a roșiei, lungimea sa în pixeli precum și deplasarea pe axa x și pe axa y a brațului robotic. Dacă din punct de vedere demonstrativ a fost mai simplu ca mișcarea relativă a brațului robotic față de roșie să se realizeze prin deplasarea roșiei, în cazul real al robotului se va deplasa brațul robotic, în sens invers față de ceea ce apare actualmente afișat în program. De exemplu, dacă programul returnează mesajul "Deplasați roșia orizontal cu 3 cm", în realitate se va deplasa brațul robotic cu -3 cm.

Calitatea imaginii culese de senzorul cameră depinde și de condițiile de iluminat. În decursul proiectării sistemului de recoltat au fost încercate mai multe variante de arhitecturi:

- Culegerea de imagini fără surse de lumină ajutătoare
- Culegerea de imagini folosind o sursă de lumină ajutătoare
- Culegerea de imagini folosind două surse de lumină ajutătoare

Cele mai bune rezultate în identificarea corectă a unui fruct copt s-au obținut atunci când s-au folosit două surse de lumină ajutătoare (Figura 5.14, în care am notat cu 1, 2 – cele două lămpi, 3 – senzorul foto, 4 - roșia). Acestea provin din două lămpi cu led (1, 2) așezate simetric, de-o parte și de cealaltă a senzorului foto, cu o distanță între cele două lămpi de 21 cm.



Figura 5.13 Lampă COB LED folosită ca lampă ajutătoare (după [2])

Caracteristicile fizice ale celor două lămpi sunt prezentate în Figura 5.13. Lampa propriu-zisă are 7 grade de libertate și poate fi rotită la 135° pentru optimizarea suprafeței iluminate.

Elementul de iluminare este un COB LED (chip on board light emitting diode) cu o putere de 3 W, ceea ce permite o densitate a surselor de iluminare de până la 342 leduri/cm² [114]. Pentru funcționare, lampa trebuie alimentată cu 3 baterii AA, care asigură o durată de operare de 6 ore. Lumina emisă este alb-cald (2700 K), iar eficiența luminoasă a ledului este de 50 lm/W. Tehnologia COB permite ca sursele de lumină să fie mai strălucitoare, să consume mai puțină energie și să emită un fascicul de lumină de calitate superioară.

Axele optice ale celor două lămpi ajutătoare formează un unghi de 30°, ceea ce permite iluminarea obiectelor aflate între 12 cm și 300 cm de robot, cu condiții optime de iluminare (eliminarea umbrelor și realizarea unor culori uniforme) pentru obiectele aflate la aproximativ 43 cm de robot.

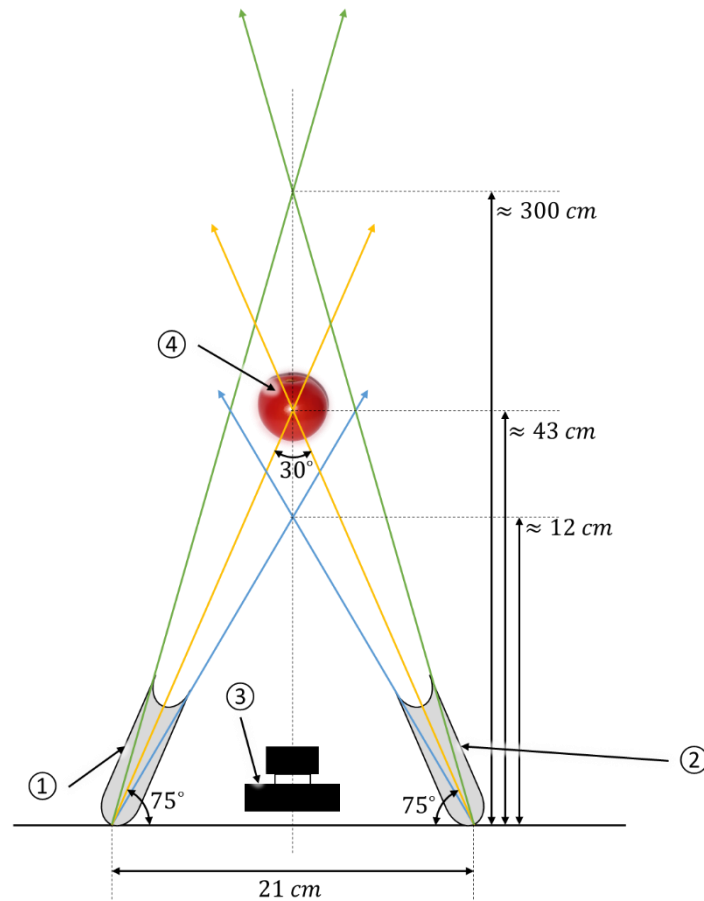


Figura 5.14 Poziționarea lămpilor ajutătoare

5.4 Concluzii parțiale

În acest capitol au fost identificate principalele caracteristici tehnologice pentru roșiile din soiul San Marzano. Aceste caracteristici au influențat arhitectura conceptului de echipament tehnologic robotizat pentru recoltarea de roșii: a fost folosit un prehensor de dimensiuni compatibile cu dimensiunile roșiei, au fost folosite motoare de putere suficientă pentru a culege roșia, au fost calibrați algoritmi de recunoaștere a fructului copt în funcție de dimensiunile standard ale unei roșii coapte.

Tot în acest capitol au fost construiți algoritmi de detectat culoarea roșie, respectiv poziția unei roșii. Optimizarea procesului de identificare a fructelor coapte presupune atât optimizarea algoritmilor de recunoaștere, cât și optimizarea constructivă a sistemului robotic.

Conceptul optimizat de sistem robotic și algoritmi de detecție a roșiilor coapte și a poziției acestora față de prehensor au fost testate în condiții reale, în sera proprie de la Lugoj.

În capitolele următoare se va studia sistemul de prehensiune a fructelor coapte și, în final, se va prezenta în ansamblu conceptul de echipament tehnologic robotizat pentru recoltarea roșiilor în seră.

6 CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INTERACȚIUNEA ÎNTRE SISTEMUL DE PREHENSIUNE ȘI ROȘIILE COAPTE

Procesul de optimizare în cazul ETR folosite pentru recoltare se poate aplica în mai multe situații, ca de exemplu: identificarea corectă a plantei, identificarea corectă a fructului copt, culegerea fructului copt fără a-l deteriora, deplasarea ETR în seră, etc. Pentru studiul de față, a fost aleasă rutina de culegere a fructului copt și s-au făcut determinări experimentale pentru a optimiza funcțional parametrii de prehensiune.

6.1 Obiectivele cercetării

Obiectivele cercetării sunt:

- Testarea sistemului de prehensiune al sistemului robotizat propus pentru recoltarea roșiilor din sere
- Stabilirea structurii și a parametrilor tehnico-funcționali optimali ai sistemului robotizat pentru recoltarea roșiilor din sere
- Optimizarea funcțională a unui prehensur dedicat culegerii de roșii

6.2 Materiale și metode utilizate în studiul interacțiunii dintre sistemul de prehensiune și roșiile coapte

Modelarea interacțiunii dintre sistemul de prehensiune și roșiile coapte se face folosind tehnici similare cu cele folosite în [13], [67], [69], în scopul de a extrage informații esențiale despre modul de culegere al fructelor coapte și de a stabili limite pentru parametrii controlabili ai prehensurului.

Pentru realizarea obiectivelor enunțate anterior, a fost realizat, în concepție și execuție proprie, un stand experimental, cu ajutorul căruia au fost analizate date referitoare la prehensur obținute pentru 10 probe de roșii.

Standul experimental integrează prototipul concepție proprie ETR (RADAR 00) pentru cules roșii cu un suport cu baza dintr-un material elastic (suprafață flexibilă) pe care este așezată roșia și două comparatoare care măsoară deformarea roșiei. Pe prehensurul RADAR 00 au fost montați senzori de forță, luminile fiind utilizate și în acest caz. Detaliile sunt prezentate în Figura 6.1 și Figura 6.2.

În Figura 6.1, Figura 6.2 și Figura 6.7 s-au folosit următoarele notații pentru detalii:

- 1 – suportul pentru roșie
- 2 – roșia (proba)
- 3 – comparator mecanic
- 4 – comparator electronic
- 5 – modulul cameră de luat vederi

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INTERACȚIUNEA ÎNTRE SISTEMUL DE
PREHENSIUNE ȘI ROȘIILE COAPTE

- 6 – sursele de lumină
- 7 – brațul robotic
- 8 – platforma mobilă
- 9 – sistemul de comunicare cu robotul
- 10 – detaliu al standului experimental, prezentat din alt unghi în Figura 6.2
- 11 – deget prehensiv
- 12 – deget prehensiv
- 13 – servomotor MG995
- 14 – senzor de forță
- 15 – senzor de forță

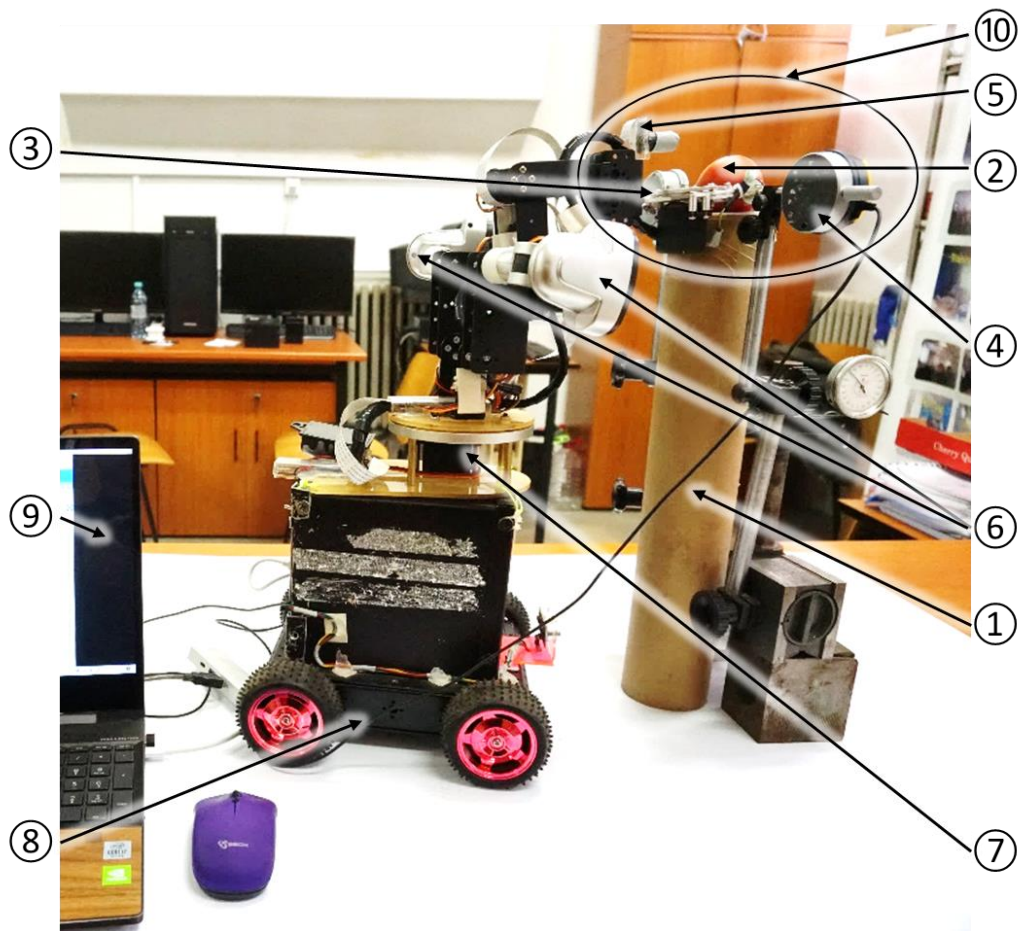


Figura 6.1 Stand experimental în laborator pentru cercetarea interacțiunii dintre prehensiv și roșie în vedere principală (arhiva personală)

Figura 6.1 prezintă standul experimental realizat, din vedere laterală stângă.

Servomotorul care acționează prehsorul RADAR 00 este programat astfel încât să se rotească din grad în grad, într-un interval programat de către utilizator. Prin încercări, intervalul de rotație al acestui servomotor a fost stabilit între 65° (corespunzător unei deschideri maxime a prehsorului) și 116° (corespunzător unei deschideri a prehsorului comparabilă cu dimensiunea roșiei), ceea ce semnifică faptul că unghiul dintre brațul servomotorului și axul acestuia poate varia între 65° și 116°. Se menționează că deschiderea brațelor de prindere este maximă (55 mm), atunci când unghiul servomotorului este minim (65°).

Schema cinematică a prehsorului a fost prezentată în Figura 4.6, iar o vedere de sus a montajului acestuia este prezentată în Figura 6.2.

Pe brațele prehsorului au fost montați senzori de forță de tip rezistiv FSR402.

Aceștia au o zonă senzitivă circulară cu un diametru de 12,7mm și conțin o membrană groasă de polimer a cărei rezistență scade atunci când pe suprafața activă a acestora este aplicată o forță.

Presiunea suportată pe suprafața de măsurare se calculează din relația:

$$p = \frac{4F}{\pi d_{med}^2} \quad (6.1)$$

unde F este modulul forței aplicate, iar d_{med} este diametrul suprafeței sensorului.

Senzorul de forță măsoară „forța specifică” F_{spec} , adică forța de apăsare non-gravitațională raportată la masa m a corpului apăsător și care este invers proporțională cu rezistența R înregistrată pe senzor.

În acest caz este valabilă relația

$$F_{spec} = \frac{F}{m} \sim \frac{1}{R} \quad (6.2)$$

care, înlocuită în formula pentru calculul presiunii (relația (6.1)), permite calcularea forței care acționează asupra unui corp de masă m :

$$p = \frac{4F_{spec} \cdot m}{\pi d_{med}^2} = const_1 \cdot m \cdot F_{spec} = const_2 \cdot m \cdot \frac{1}{R} \quad (6.3)$$

Așadar, presiunea aplicată pe roșie și valoarea citită de senzor diferă printr-un factor de multiplicare constant.

Cei doi senzori de forță de pe brațele prehsorului înregistrează valorile $F_{spec,1}$ și $F_{spec,2}$, iar forța medie care acționează asupra roșiei apucate de cleștele prehsor este

$$F_{spec} = \frac{F_{spec,1} + F_{spec,2}}{2} \quad (6.4)$$

În Figura 6.2 este prezentat un detaliu al standului experimental, văzut de sus, în care notațiile de pe figură sunt identice cu cele din Figura 6.1.

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INTERACȚIUNEA ÎNTRE SISTEMUL DE PREHENSIUNE ȘI ROȘIILE COAPTE

Deoarece roșiile pot fi deteriorate la prinderea cu prehensur, ceea ce poate duce la blocarea prehensurului și, drept consecință, la arderea servomotorului, a fost introdusă o condiție suplimentară de oprire a testelor: aceea ca forța specifică medie să nu depășească o anumită valoare maximă (în acest caz, valoarea indicată de senzor să nu depășească 950 U.M.).



Figura 6.2 Stand experimental (detaliu vedere de sus)

Roșiile pentru care au fost efectuate experimentele sunt roșii clasice rotunde care provin de la Serele Super din Biled [76] și au calibrul 50 mm. Cele 10 probe de roșii au fost prelevate aleator dintr-un eșantion de 100 bucăți.

După prelevare, fiecare roșie a fost marcată permanent cu un număr de la 1 la 10 (codul probei), apoi i s-au măsurat dimensiunile și masa (Figura 6.3).

Pentru fiecare roșie au fost măsurate două diametre longitudinale după direcții perpendiculare pe axul roșiei și două diametre transversale după direcții perpendiculare pe planele determinate de axul roșiei și diametrele longitudinale. Diametrul longitudinal al roșiei este media aritmetică a diametrelor longitudinale măsurate, iar înălțimea roșiei este media aritmetică a diametrelor transversale măsurate (Figura 6.4).

Materiale și metode utilizate în studiul interacțiunii dintre sistemul de prehensiune și roșiile coapte



Figura 6.3 Probe de roșii analizate

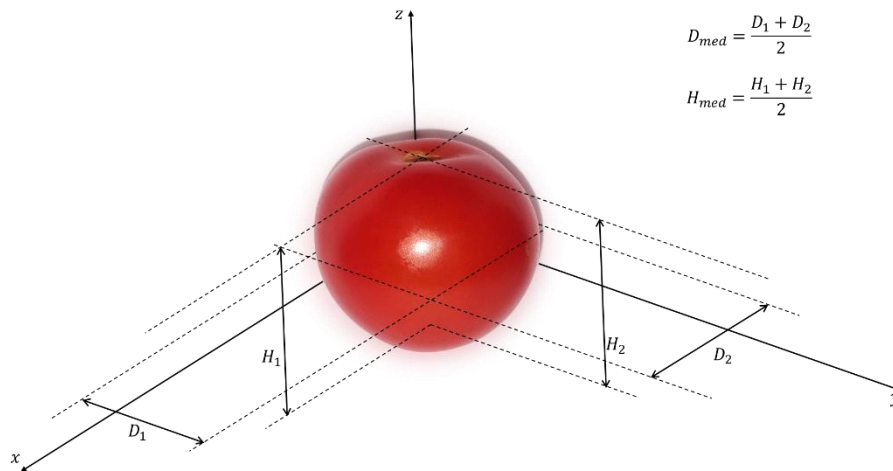


Figura 6.4 Definirea dimensiunilor unei roșii

Notând cu D_1 , respectiv D_2 cele două diametre longitudinale măsurate pentru roșie, diametrul mediu al acesteia va fi

$$D_{med} = \frac{D_1 + D_2}{2} \quad (6.5)$$

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INTERACȚIUNEA ÎNTRE SISTEMUL DE PREHENSIUNE ȘI ROȘIILE COAPTE

Notând cu H_1 , respectiv H_2 cele două înălțimi transversale măsurate, se obține înălțimea medie a unei roșii

$$H_{med} = \frac{H_1 + H_2}{2} \quad (6.6)$$

Dimensiunile roșiilor au fost măsurate cu un șubler digital de precizie 0,01 mm (Figura 6.5).

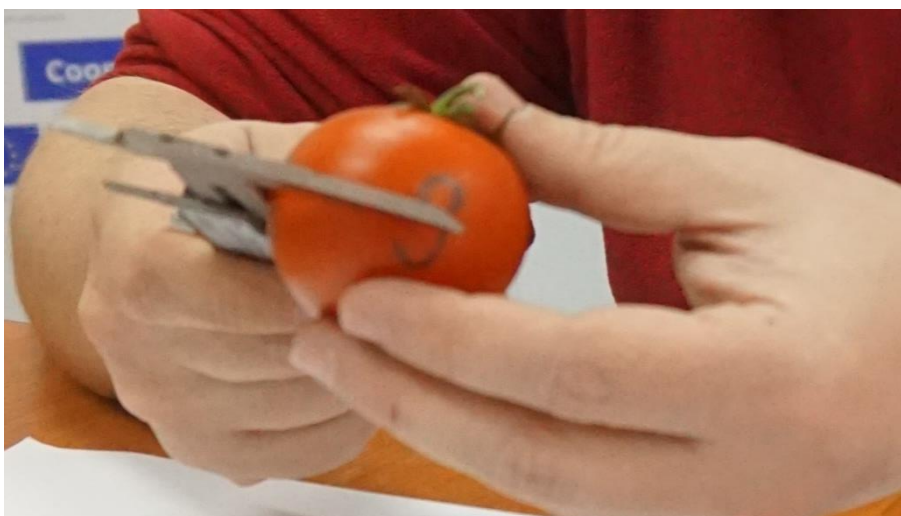


Figura 6.5 Detaliu de măsurare a dimensiunilor roșiei cu șublerul

Masa fiecărei roșii a fost determinată în grame, folosind o balanță analitică OHAUS Discovery cu o precizie de 10^{-5} grame (Figura 6.6).

În Figura 6.6, au fost notate următoarele detalii: 1 – proba cântărită (în acest caz este vorba de proba 3), 2 – platanul balanței Ohaus, 3 – incinta de cântărire, 4 – rezultatul cântăririi, în grame, cu 5 zecimale.

Se va descrie, în continuare, procedura folosită pentru a măsura masa unei probe.

Cu incinta în care se află platforma de cântărire închisă, se pornește balanța. Atunci când afișajul se stabilizează la 0, se deschide incinta și se așază proba de cântărit. Se închide incinta și se așteaptă până când valorile afișate se stabilizează. Balanța analitică fiind foarte sensibilă, este important ca în timpul procesului de cântărire să se evite, pe cât posibil, producerea de vibrații în jurul balanței (Figura 6.6). Rezultatul final al cântăririi se citește atunci când în partea din stânga-jos a afișajului apare simbolul "*".

Materiale și metode utilizate în studiul interacțiunii dintre sistemul de prehensiune și roșiile coapte

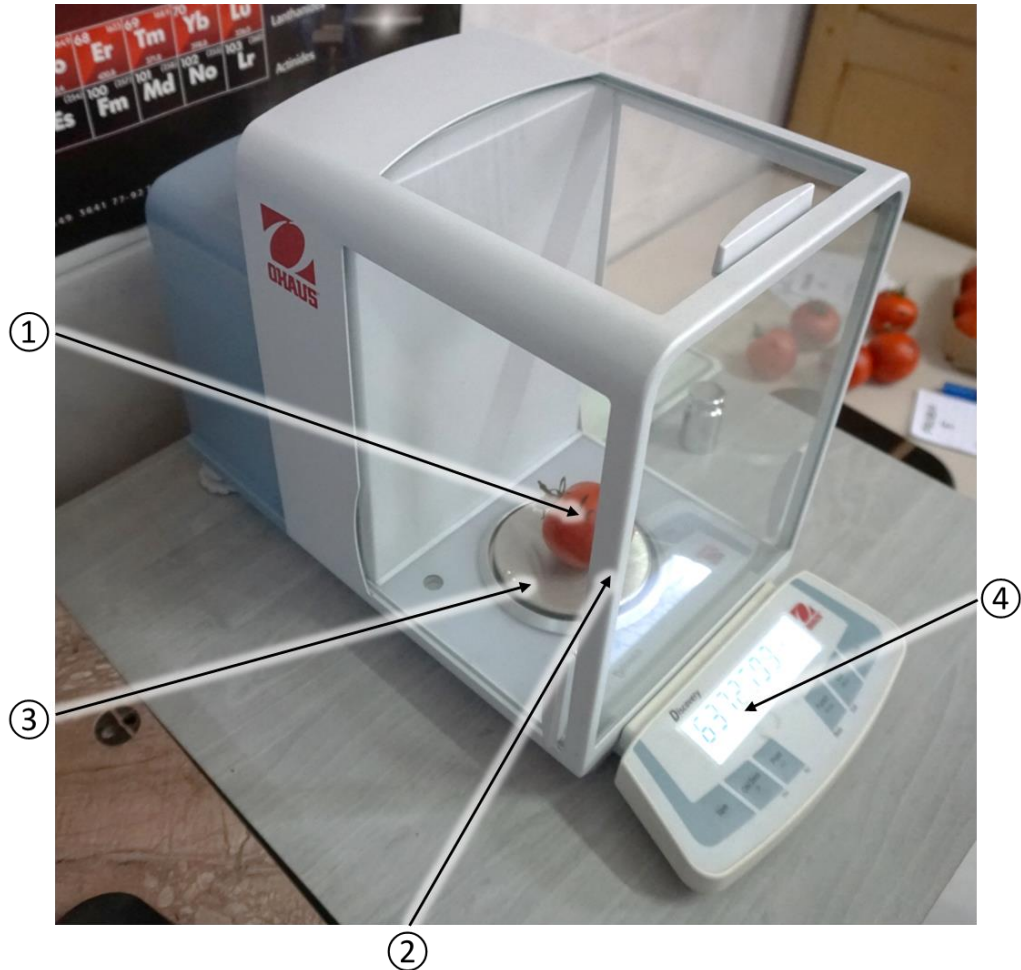


Figura 6.6 Detaliu de măsurare a masei cu balanța Ohaus

Dimensiunile și masa roșiilor care au fost măsurate și apoi folosite în cadrul experimentului sunt prezentate în Tabelul 6.1.

Tabelul 6.1 Caracteristicile probelor de roșii analizate

Proba	m	D_{med}	H_{med}
	[g]	[mm]	[mm]
1	58,97028	49,11	47,97
2	63,06325	49,75	49,22
3	62,75364	48,67	48,82
4	61,65776	48,34	50,17

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INTERACȚIUNEA ÎNTRE SISTEMUL DE
PREHENSIUNE ȘI ROȘIILE COAPTE

Proba	m	D_{med}	H_{med}
	[g]	[mm]	[mm]
5	63,72712	49,16	49,26
6	56,79865	47,36	48,00
7	59,08022	48,32	48,74
8	59,64173	49,04	48,76
9	65,75253	49,74	49,54
10	61,24410	49,23	48,93

Prin aplicarea unei forțe de strângere asupra roșiei, aceasta se deformează. Deformația roșiei a fost măsurată folosind un comparator electronic (notată ΔD_e) și un comparator mecanic (notată ΔD_m), ambele măsurători având o precizie de 0,01 mm (Figura 6.7). Comparatoarele se poziționează astfel încât să fie în contact cu suprafața exterioară a prehensorului și se reglează la 0.

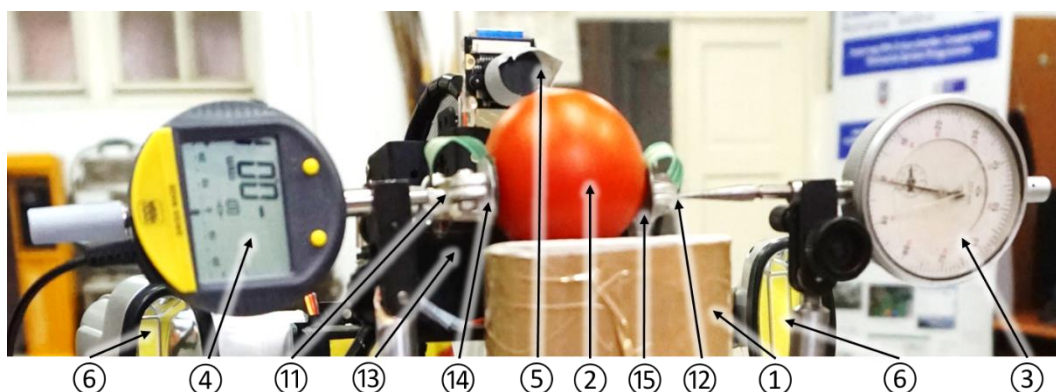


Figura 6.7 Detaliu de funcționare al comparatoarelor

În momentul în care brațul servomotorului se deplasează la un anumit unghi, cleștele prehensor se strâng, iar cele două comparatoare vor înregistra două valori, ΔD_e , respectiv ΔD_m , ale căror valori absolute însumate indică deformația totală a roșiei după direcția orizontală normală la suprafața exterioară a roșiei (Figura 6.8 și Figura 6.9).

Pentru a nu fi afectată precizia măsurătorii, ambele comparatoare au fost alese cu aceeași clasă de precizie de măsurare.

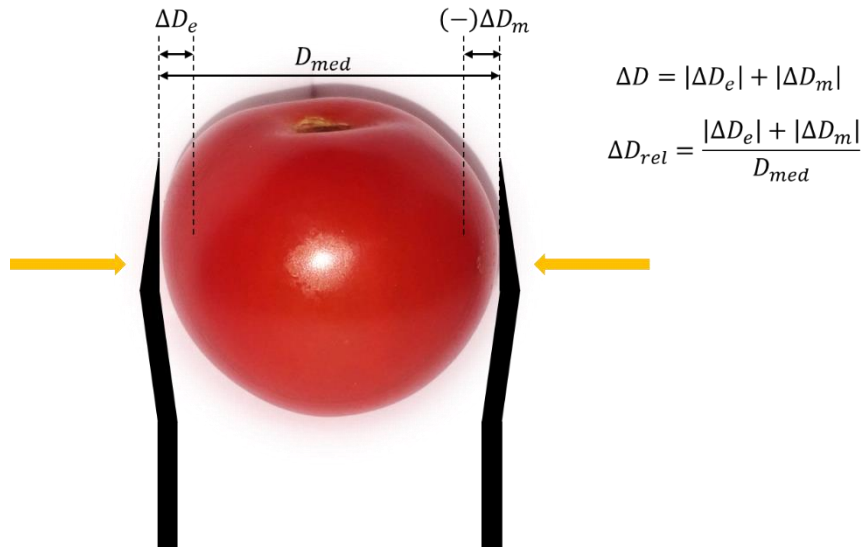


Figura 6.8 Deformația totală și deformația relativă a roșiei

Cunoscând deformația citită de comparatorul electronic, ΔD_e , respectiv deformația citită de comparatorul mecanic, ΔD_m , se obține deformația relativă a roșiei în urma aplicării forței de prehensiune, $F_{spec,i}$:

$$\Delta D_{rel} = \frac{|\Delta D_e| + |\Delta D_m|}{D_{med}} \quad (6.7)$$

Pentru realizarea experimentului, s-au înregistrat următoarele date:

- Masa m_i a fiecăreia din cele 10 roșii analizate ($i = \overline{1,10}$)
- Diametrul transversal mediu $D_{med,i}$ pentru fiecare din cele 10 roșii analizate ($i = \overline{1,10}$)
- Înălțimea $H_{med,i}$ a fiecăreia din cele 10 roșii analizate ($i = \overline{1,10}$)
- Unghiul U corespunzător brațului servomotorului
- Deformația ΔD_m citită de comparatorul mecanic
- Deformația ΔD_e citită de comparatorul electronic
- Valoarea forței specifice citită pe senzorul de forță din dreapta, $F_{spec,1}$, corespunzătoare fiecărui unghi U și fiecărei roșii i ($i = \overline{1,10}$)
- Valoarea forței specifice citită de senzorul de forță din stânga, $F_{spec,2}$, corespunzătoare fiecărui unghi U și fiecărei roșii i ($i = \overline{1,10}$)

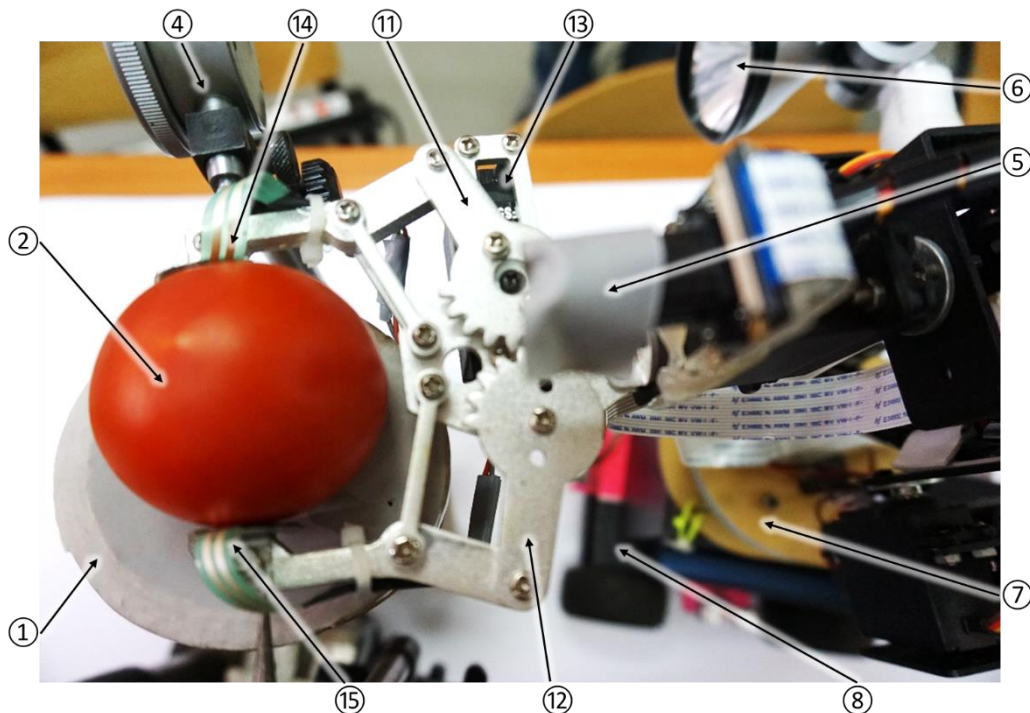


Figura 6.9 Detaliu de prindere a roșiei

Din punct de vedere al abordării și utilizării în procesul real, datele colectate se împart în:

- date controlabile (care țin de înregistrările senzorilor)
- date parțial controlabile (care țin de interacțiunea dintre sistemul de prehensiune și roșie)
- date necontrolabile (care țin de roșie și nu pot fi măsurate precis decât după ce roșia a fost culeasă)

Datele controlabile sunt: unghiul U , forța specifică $F_{spec,1}$, $F_{spec,2}$ (și, corespunzător, variația forței medii de apăsare) și deformațiile ΔD_m și ΔD_e .

Parțial controlabilă este deformația relativă, care se obține raportând deformația totală la diametrul transversal mediu al roșiei. Aceasta prezintă interes din punct de vedere al obținerii de roșii cât mai puțin deteriorate, care să reziste mai mult timp de la culegere și până la consumul lor.

Celelalte date colectate în timpul experimentului (masa roșiilor, diametrul lor transversal și înălțimea acestora) sunt date necontrolabile, ele neputând fi determinate exact decât după momentul culesului (momentul interacțiunii dintre prehensur și roșie).

Datele obținute experimental au fost analizate din punct de vedere al deformației relative, al unghiului făcut de brațul servomotorului cu axul acestuia și al forței aplicate pe roșii, rezultând următoarele analize:

- Variația deformației relative, ΔD_{rel} în funcție de unghiul servomotorului, U

$$\Delta D_{rel} = f(U) \quad (6.8)$$

- Variația forței medii de apăsare, F_{spec} , în funcție de unghiul servomotorului, U

$$F_{spec} = f(U) \quad (6.9)$$

- Variația deformației relative, ΔD_{rel} în funcție de variația forței medii de apăsare, F_{spec}

$$\Delta D_{rel} = f(F_{spec,i}) \quad (6.10)$$

6.3 Rezultate și discuții

Pentru cele 407 seturi de date complete considerate, a fost efectuată o analiză a corelațiilor, a cărui rezultat este centralizat în Tabelul 6.2.

Din considerentele enunțate mai sus, au fost alese pentru studiu deformația medie, variația forței de apăsare și unghiul servomotorului.

Pentru cele 3 variabile considerate, a fost realizată matricea de împrăștiere (Figura 6.10) – un mod de a caracteriza dependențele și de a vizualiza relația dintre variabile.

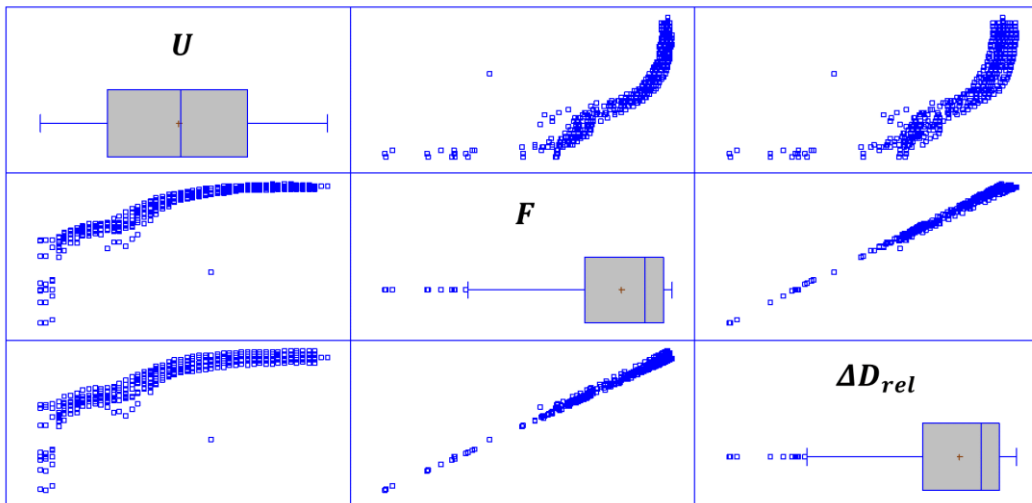


Figura 6.10 Matricea de împrăștiere pentru cele 3 variabile analizate: deformația relativă (ΔD_{rel}), variația forței de apăsare (F) și unghiul servomotorului (U)

Tabelul 6.2 Coeficienții de corelație pentru datele înregistrate în experiment (forța medie aplicată F , unghiul de strângere U , deformația relativă ΔD_{rel})

	ΔD_{rel}	F	U
ΔD_{rel}		0,6219	0,9087
F	0,6219		0,7840
U	0,9087	0,7840	

Pentru toate aceste perechi de date, valoarea P asociată este 0. În consecință, există o corelație între perechile de date analizate (ΔD_{rel} și U , F și U , F și ΔD_{rel}).

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INTERACȚIUNEA ÎNTRE SISTEMUL DE
PREHENSIUNE ȘI ROȘIILE COAPTE

Pentru a analiza dependența dintre deformația relativă a roșiei coapte și unghiul servomotorului, datele obținute au fost prelucrate cu ajutorul Statgraphics Centurion, rezultând dependența calitativă prezentată în Figura 6.11.

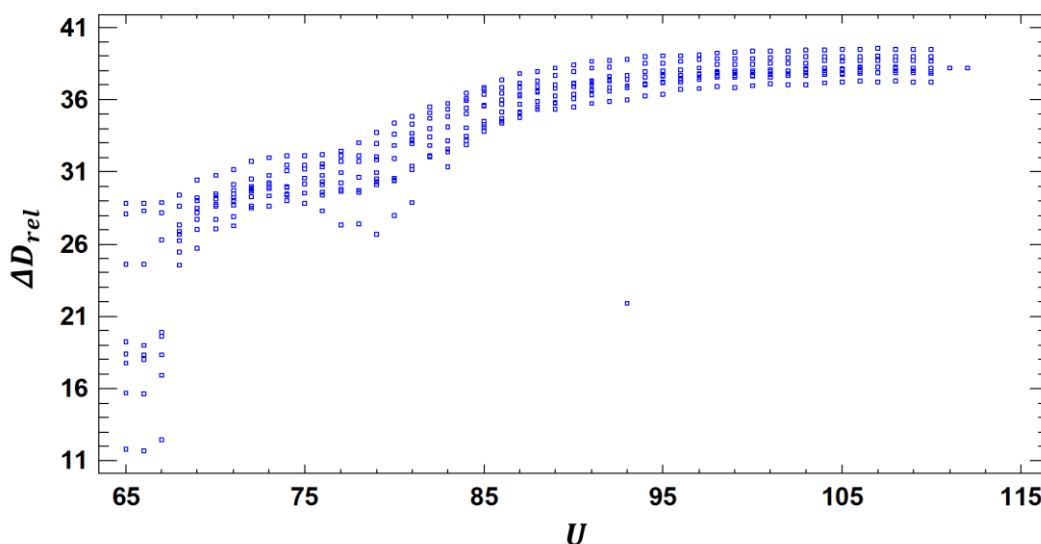


Figura 6.11 Dependența dintre deformația relativă și unghiul servomotorului

Tot cu ajutorul Statgraphics a fost determinată o legătură cantitativă între deformația relativă și unghiul brațului servomotorului.

Modelarea s-a realizat folosind un model de regresie liniară simplă între variabila dependentă $y = \Delta D_{rel}$ sau o transformare a acesteia și variabila independentă $x = U$ sau o transformare a acesteia [119].

Tabelul 6.3 prezintă acele modele de dependență care explică mai mult de 90% din variația datelor.

Tabelul 6.3 Tipuri de modele pentru dependența dintre ΔD_{rel} și U care explică mai mult de 90% din variația datelor

Denumirea convențională a modelului	Model matematic general	Funcția asociată modelului de dependență	Coefficientul de determinare R^2
Multiplicativ	$\ln y = f(\ln x)$ $y = \beta_0 x^{\beta_1}$	$\Delta D_{rel} = e^{0,787229 \cdot \ln U}$ $= U^{0,787229}$	99,89%
Rădăcină pătrată dublă	$\sqrt{y} = f(\sqrt{x})$ $y = (\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x})^2$	$\Delta D_{rel} = (0,622083 \cdot \sqrt{U})^2$ $= 0,386987 \cdot U$	99,78%
Logaritm din Y, radical din X	$\ln y = f(\sqrt{x})$ $y = e^{\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x}}$	$\Delta D_{rel} = e^{0,375164 \cdot \sqrt{U}}$	99,78%

Rezultate și discuții

Denumirea convențională a modelului	Model matematic general	Funcția asociată modelului de dependență	Coefficientul de determinare R ²
Radical din Y, logaritm din X	$\sqrt{y} = f(\ln x)$ $y = (\beta_0 + \beta_1 \ln x)^2$	$\Delta D_{rel} = (1,30391 \cdot \ln U)^2$	99,68%
Linear	$y = f(x)$ $y = \beta_0 + \beta_1 x$	$\Delta D_{rel} = 0,386584 \cdot U$	99,32%
Radical din X	$y = f(\sqrt{x})$ $y = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{x}$	$\Delta D_{rel} = 3,65643 \cdot \sqrt{U}$	99,12%
Radical din Y	$\sqrt{y} = f(x)$ $y = (\beta_0 + \beta_1 x)^2$	$\Delta D_{rel} = (0,0654859 \cdot U)^2$	99,11%
Exponențial	$\ln y = f(x)$ $y = e^{\beta_0 + \beta_1 x}$	$\Delta D_{rel} = e^{0,0394166 \cdot U}$	98,72%
Logaritm din X	$y = f(\ln x)$ $y = \beta_0 + \beta_1 \ln x$	$\Delta D_{rel} = 7,64498 \cdot \ln U$	98,53%
Dublu pătrat	$y^2 = f(x^2)$ $y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 x^2}$	$\Delta D_{rel} = \sqrt{0,14778 \cdot U^2}$ $= 0,38442 \cdot U$	98,01%
Y pătrat	$y^2 = f(x)$ $y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 x}$	$\Delta D_{rel} = \sqrt{13,6524 \cdot U}$	98,00%
Dublu reciproc	$y^{-1} = f(x^{-1})$ $y = \left(\beta_0 + \frac{\beta_1}{x}\right)^{-1}$	$\Delta D_{rel} = \frac{1}{\frac{2,61516}{U}}$ $= \frac{U}{2,61516}$	97,24%
X pătrat	$y = f(x^2)$ $y = \beta_0 + \beta_1 x^2$	$\Delta D_{rel} = 0,00412831 \cdot U^2$	96,67%
Y pătrat, radical din X	$y^2 = f(\sqrt{x})$ $y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x}}$	$\Delta D_{rel} = \sqrt{128,167 \cdot \sqrt{U}}$	96,36%
Sigmoid	$\ln y = f\left(\frac{1}{x}\right)$ $y = e^{\beta_0 + \frac{\beta_1}{x}}$	$\Delta D_{rel} = e^{\frac{291,88}{U}}$	96,13%
Y pătrat, logaritm din X	$y^2 = f(\ln x)$ $y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \ln x}$	$\Delta D_{rel} = \sqrt{266,825 \cdot \ln U}$	94,96%
Radical din Y, X pătrat	$\sqrt{y} = f(x^2)$ $y = (\beta_0 + \beta_1 x^2)^2$	$\Delta D_{rel} = (0,000693812 \cdot U^2)^2$	94,95%
Radical din Y, X reciproc	$\sqrt{y} = f\left(\frac{1}{x}\right)$ $y = \left(\beta_0 + \frac{\beta_1}{x}\right)^2$	$\Delta D_{rel} = \left(\frac{480,909}{U}\right)^2$	94,91%
Logaritm din Y, X pătrat	$\ln y = f(x^2)$ $y = e^{\beta_0 + \beta_1 x^2}$	$\Delta D_{rel} = e^{0,000416132 \cdot U^2}$	93,92%
Y reciproc, logaritm din X	$\frac{1}{y} = f(\ln x)$ $y = \frac{1}{\beta_0 + \beta_1 \ln x}$	$\Delta D_{rel} = \frac{1}{0,00677666 \cdot \ln U}$	93,27%

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INTERACȚIUNEA ÎNTRE SISTEMUL DE
PREHENSIUNE ȘI ROȘIILE COAPTE

Denumirea convențională a modelului	Model matematic general	Funcția asociată modelului de dependență	Coefficientul de determinare R ²
Y reciproc, radical din X	$\frac{1}{y} = f(x^2)$ $y = \frac{1}{\beta_0 + \beta_1 x^2}$	$\Delta D_{rel} = \frac{1}{0,00320248 \cdot \sqrt{U}}$	91,61%
X reciproc	$y = f\left(\frac{1}{x}\right)$ $y = \beta_0 + \frac{\beta_1}{x}$	$\Delta D_{rel} = \frac{2786,09}{U}$	91,61%

Relația care descrie cel mai bine dependența dintre deformația relativă a roșiilor, ΔD_{rel} și unghiul servomotorului, U , este, așadar, una de tip multiplicativ, pentru care coeficientul de corelație este 0,9995, iar coeficientul de determinare este 99,89% (deci modelul explică 99,89% din variația lui ΔD_{rel}):

$$\Delta D_{rel} = e^{0,787229 \cdot \ln U} = U^{0,787229} \quad (6.11)$$

În plus, abaterea medie pătratică pentru acest model este de 0,0598143, iar eroarea standard a estimării de 0,11428, la un nivel de încredere de 95%.

Calitativ, în condiții ideale, cu cât unghiul servomotorului crește, deformația roșiei va crește. Orice abatere de la această regulă semnifică fie o eroare de citire a datelor măsurate, fie o modificare a condițiilor de măsurare produsă de factori externi.

Pentru fiecare roșie în parte, variația deformației relative este prezentată în Figura 6.12 a-j.

Pentru proba 1, au existat o serie de valori anormale, atunci când deformația relativă a roșiei a scăzut o dată cu creșterea unghiului servomotorului (Figura 6.12 a). Acest fapt poate fi explicat de o rotire a roșiei pe standul experimental, într-o poziție în care noul diametru de-a lungul axei de prindere (axa care trece prin vârful degetelor prehensorului) este mai mic. Acest fenomen este cu atât mai pronunțat cu cât abaterea roșiei de la forma sferică este mai mare. Abaterea roșiei de la forma sferică generează un dezaxaj între punctele de aplicare ale forțelor de prindere și centrul de greutate al roșiei, ceea ce implică faptul că momentul rezultantei forței de prindere este nenul. Acest moment cauzează o răsucire a roșiei. Cu cât abaterea de la forma sferică este mai mare, cu atât intervalul de re poziționare a roșiei este mai mare.

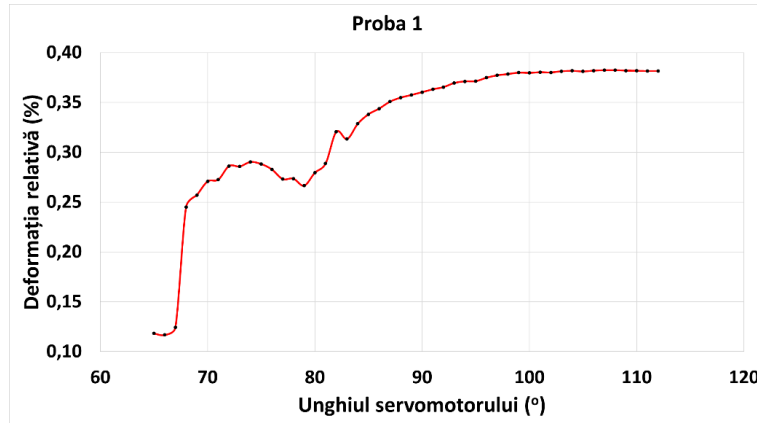


Figura 6.12 a) Deformația relativă ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 1

Pentru proba 2, dependența deformației relative a roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.12 b). La culegerea datelor pentru această probă nu s-au înregistrat valori anormale.

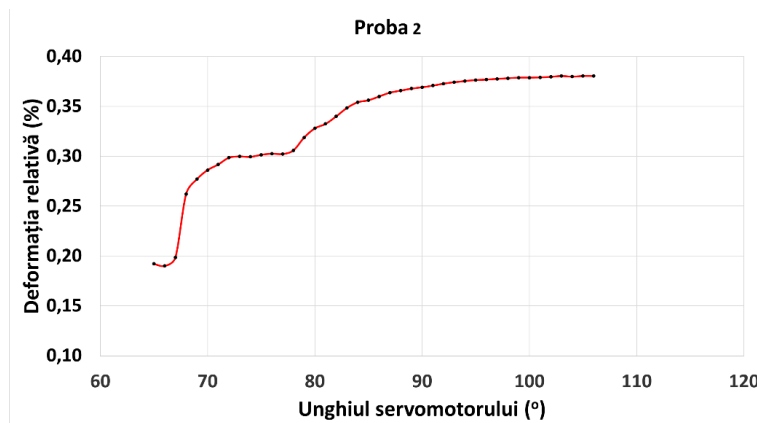


Figura 6.12 b) Deformația relativă ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 2

O situație similară celei întâlnite pe proba 1 s-a înregistrat pentru proba 3 (Figura 6.12 c)), unde se pot observa o serie de valori anormale datorate abaterii de la forma sferică a roșiei.

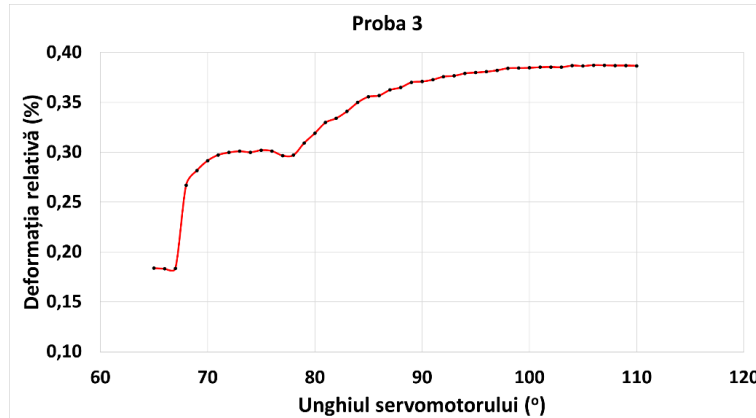


Figura 6.12 c) Deformația relativă ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 3

Pentru proba 4, dependența deformației relative a roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.12 d. La culegerea datelor pentru această probă nu s-au înregistrat valori anormale.

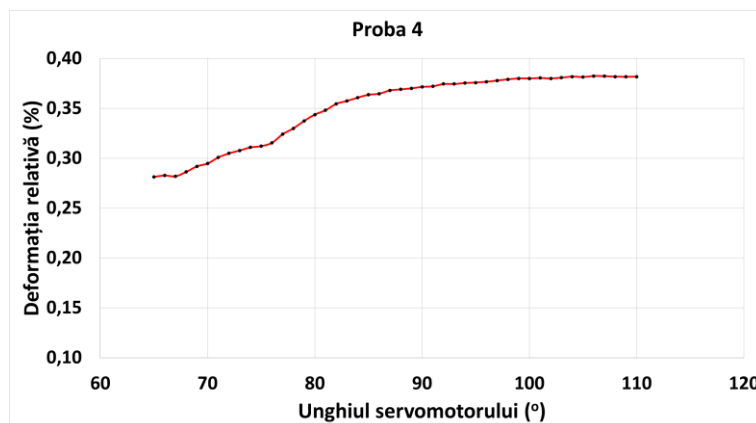


Figura 6.12 d) Deformația relativă ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 4

Pentru proba 5, dependența deformației relative a roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.12 e. La culegerea datelor pentru această probă nu s-au înregistrat valori anormale.

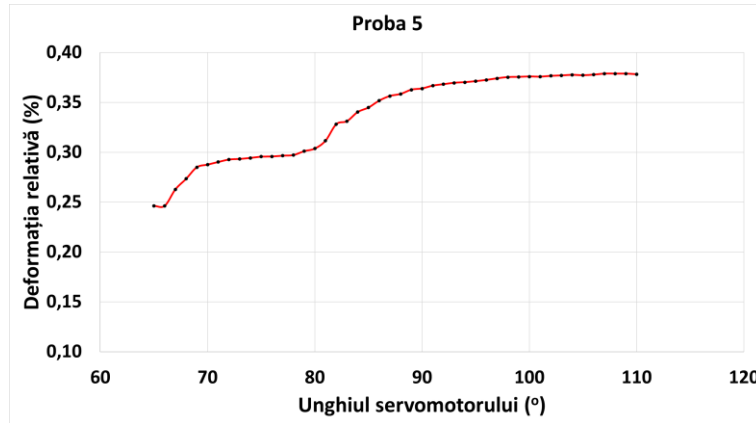


Figura 6.12 e) Deformația relativă ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 5

Pentru proba 6, dependența deformației relative a roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.12 f. La culegerea datelor pentru această probă nu s-au înregistrat valori anormale.

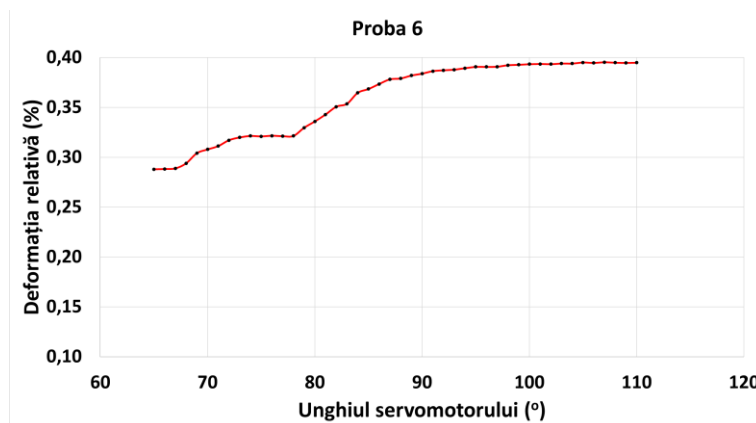


Figura 6.12 f) Deformația relativă ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 6

O valoare anormală în dependența deformației relative a roșiei față de unghiul brațului servomotorului a fost înregistrată pentru proba 7 (Figura 6.12 g).

Scăderea bruscă a deformației relative s-a datorat, probabil, unei re poziționări a roșiei datorită răsucirii determinate de apariția cuplului rezultat din dezaxarea punctului de aplicație al forțelor (Figura 6.13).

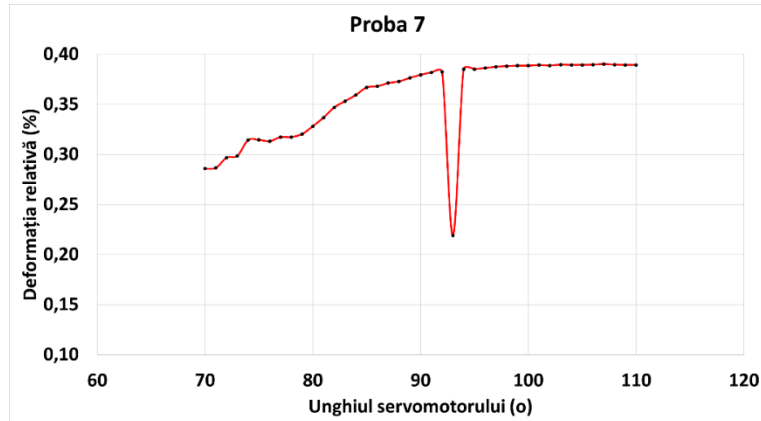


Figura 6.12 g) Deformația relativă ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 7

Pentru proba 8, dependența deformației relative a roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.12 h. La culegerea datelor pentru această probă nu s-au înregistrat valori anormale.

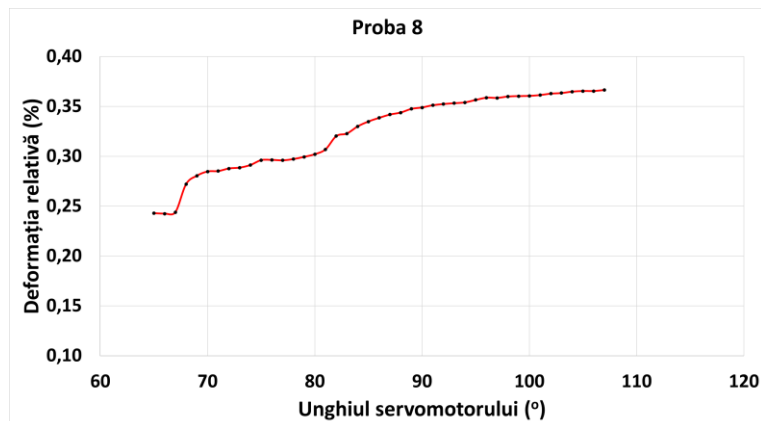


Figura 6.12 h) Deformația relativă ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 8

Și măsurătorile pentru proba 9 au fost afectate de abaterea de la forma sferică a roșiei care a provocat citirea de valori anormale (Figura 6.12 i).

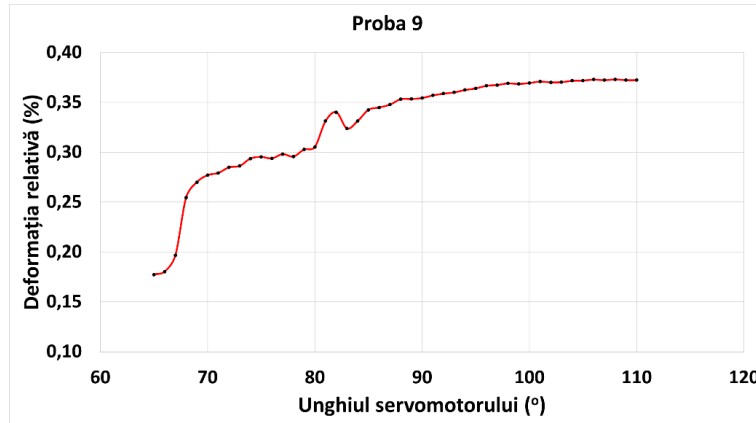


Figura 6.12 i) Deformația relativă ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 9

O valoare anormală s-a înregistrat și în cazul citirilor pentru proba 10 (Figura 6.12 j), dar abaterea negativă a fost mai mică.

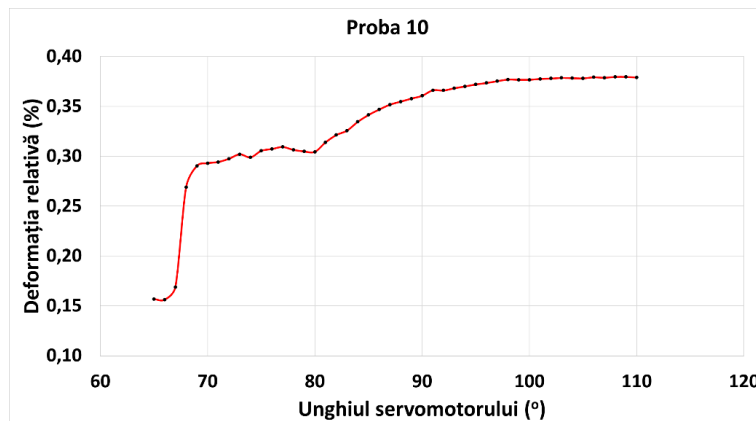
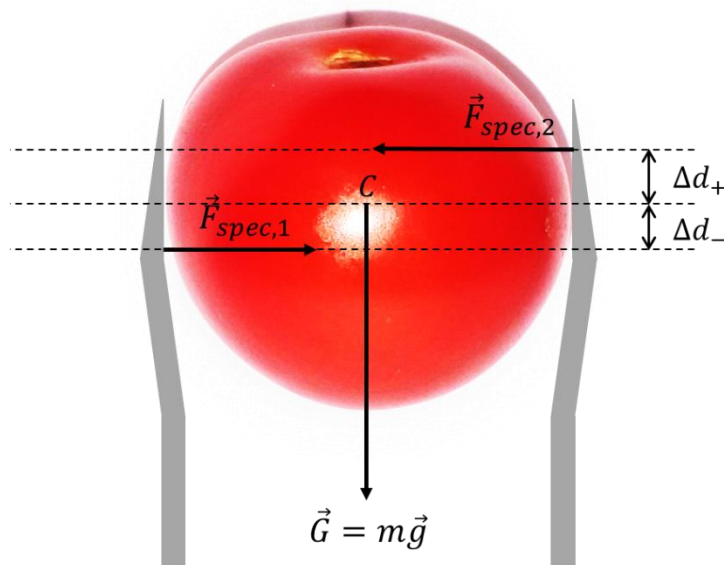


Figura 6.12 j) Deformația relativă ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 10

Se poate observa că deformația relativă a roșiei crește rapid pentru valori ale unghiului sub 80, iar apoi creșterea este mai lentă, dar nedepășind 0,4%.

Informațiile obținute din interpretarea datelor, oferă un suport important pentru stabilirea toleranțelor utilizate în proiectarea, controlul și comanda sistemelor de prehensiune.



$$dezaxaj = |\Delta d_+| + |\Delta d_-|$$

Figura 6.13 Dezaxaj între punctele de aplicare a forțelor specifice și centrul de greutate C al roșiei

Din punct de vedere calitativ, forța medie de apăsare care acționează asupra roșiei are o creștere rapidă pentru valori ale unghiului sub 80° , după care crește mai lent, fără să depășească valoarea 950 U.M. (Figura 6.14). Cele două dependențe sunt similare ca formă, ceea ce indică o posibilă relație liniară între ele.

Din punct de vedere calitativ, această variație poate fi considerată liniară (dacă se face abstracție de valorile unghiului servomotorului cuprinse între 65° și 70°).

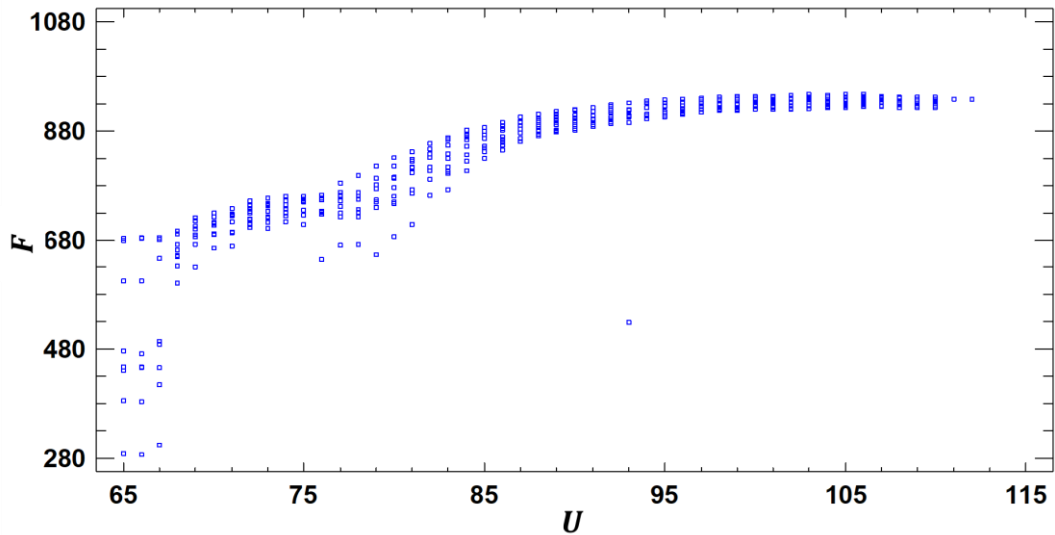


Figura 6.14 Dependența dintre variația forței de apăsare și unghiul servomotorului

Cu ajutorul Statgraphics, a fost determinată cea mai bună relație cantitativă între variația forței de apăsare, F și unghiul servomotorului, U . Tipurile de modele care caracterizează mai mult de 90% din această dependență sunt prezentate în Tabelul 6.4.

Modelarea s-a realizat folosind un model de regresie liniară simplă între variabila dependentă $y = F$ sau o transformată a acesteia și variabila independentă $x = U$ sau o transformare a acesteia [119].

Tabelul 6.4 Tipuri de modele pentru dependența dintre F și U care explică mai mult de 90% din variația datelor

Denumirea convențională a modelului	Model matematic general	Funcția asociată modelului de dependență	Coefficientul de determinare R^2
Multiplicativ	$\ln y = f(\ln x)$ $y = \beta_0 x^{\beta_1}$	$F = e^{1,50249 \cdot \ln U} = 1,50249 \cdot U$	99,96%
Rădăcină pătrată dublă	$\sqrt{y} = f(\sqrt{x})$ $y = (\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x})^2$	$F = (3,07364 \cdot \sqrt{U})^2$	99,79%
Radical din Y, logaritm din X	$\sqrt{y} = f(\ln x)$ $y = (\beta_0 + \beta_1 \ln x)^2$	$F = (6,44248 \cdot \ln U)^2$	99,69%
Logaritm din Y, radical din X	$\ln y = f(\sqrt{x})$ $y = e^{\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x}}$	$F = e^{0,71546 \cdot \sqrt{U}}$	99,68%
Linear	$y = f(x)$ $y = \beta_0 + \beta_1 x$	$F = 9,43628 \cdot U$	99,36%
Radical din X	$y = f(\sqrt{x})$ $y = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{x}$	$F = 89,2511 \cdot \sqrt{U}$	99,17%
Radical din Y	$\sqrt{y} = f(x)$	$F = (0,323557 \cdot U)^2$	99,12%

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INTERACȚIUNEA ÎNTRE SISTEMUL DE
PREHENSIUNE ȘI ROȘIILE COAPTE

Denumirea convențională a modelului	Model matematic general	Funcția asociată modelului de dependență	Coefficientul de determinare R ²
	$y = (\beta_0 + \beta_1 x)^2$		
Logaritm din X	$y = f(\ln x)$ $y = \beta_0 + \beta_1 \ln x$	$F = 186,609 \cdot \ln U$	98,57%
Exponențial	$\ln y = f(x)$ $y = e^{\beta_0 + \beta_1 x}$	$F = e^{0,0750648 \cdot U}$	98,35%
Dublu pătrat	$y^2 = f(x^2)$ $y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 x^2}$	$F = \sqrt{88,0194 \cdot U^2}$	98,14%
Y pătrat	$y^2 = f(x)$ $y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 x}$	$F = \sqrt{8131,3 \cdot U}$	98,13%
Dublu reciproc	$y^{-1} = f(x^{-1})$ $y = \left(\beta_0 + \frac{\beta_1}{x}\right)^{-1}$	$F = \frac{1}{\frac{0,10705}{U}} = 0,10705$	97,34%
Sigmoid	$\ln y = f\left(\frac{1}{x}\right)$ $y = e^{\beta_0 + \frac{\beta_1}{x}}$	$F = e^{\frac{559,222}{U}}$	96,93%
X pătrat	$y = f(x^2)$ $y = \beta_0 + \beta_1 x^2$	$F = 0,100769 \cdot U^2$	96,71%
Y pătrat, radical din X	$y^2 = f(\sqrt{x})$ $y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x}}$	$F = \sqrt{76333,8 \cdot \sqrt{U}}$	96,48%
Y pătrat, logaritm din X	$y^2 = f(\ln x)$ $y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \ln x}$	$F = \sqrt{158914 \cdot \ln U}$	95,08%
Radical din Y, X pătrat	$\sqrt{y} = f(x^2)$ $y = (\beta_0 + \beta_1 x^2)^2$	$F = (0,003428 \cdot U^2)^2$	94,96%
Radical din Y, X reciproc	$\sqrt{y} = f\left(\frac{1}{x}\right)$ $y = \left(\beta_0 + \frac{\beta_1}{x}\right)^2$	$F = \left(\frac{2376,14}{U}\right)^2$	94,93%
Y reciproc, logaritm din X	$\frac{1}{y} = f(\ln x)$ $y = \frac{1}{\beta_0 + \beta_1 \ln x}$	$F = \frac{1}{0,000277437 \cdot \ln U}$	93,40%
Logaritm din Y, X pătrat	$\ln y = f(x^2)$ $y = e^{\beta_0 + \beta_1 x^2}$	$F = e^{0,00079047 \cdot U^2}$	93,09%
Y reciproc, radical din X	$\frac{1}{y} = f(x^2)$ $y = \frac{1}{\beta_0 + \beta_1 x^2}$	$F = \frac{1}{0,000131114 \cdot \sqrt{U}}$	91,74%
X reciproc	$y = f\left(\frac{1}{x}\right)$ $y = \beta_0 + \frac{\beta_1}{x}$	$F = \frac{68006,3}{U}$	91,64%

Rezultate și discuții

Și în acest caz, datele sunt explicate cel mai bine de un model multiplicativ, pentru care coeficientul de corelație este 0,9998, iar coeficientul de determinare este de 99,96%. Ecuația care descrie acest model este:

$$F = e^{1,50249 \cdot \ln U} = U^{1,50249} \quad (6.12)$$

Abaterile medii pătratică pentru acest model este de 0,110589, iar eroarea standard a estimării de 0,136569, la un nivel de încredere de 95%.

Și în cazul dependenței variației forței medii în raport cu unghiul servomotorului se pot observa aceleași valori anormale ca și în cazul dependenței deformației medii în funcție de unghiul servomotorului.

Valorile anormale identificate în cadrul măsurărilor pentru probele 1, 3, 7, 9 și 10, datorate abaterilor de la forma sferică a probelor respective de roșii, se regăsesc și în graficele asociate variației forței medii de apăsare ca funcție de unghiul brațului servomotorului (Figura 6.15 a, c, g, i, j).

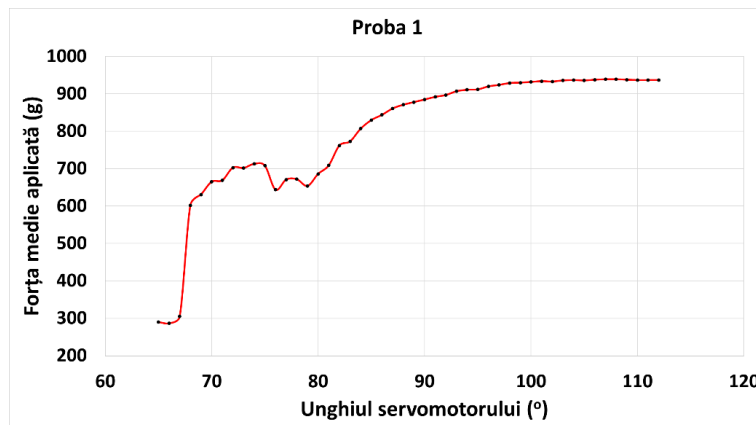


Figura 6.15 a) Variația forței medii ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 1

Pentru proba 2, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.15 b. La culegerea datelor pentru această probă nu s-au înregistrat valori anormale.

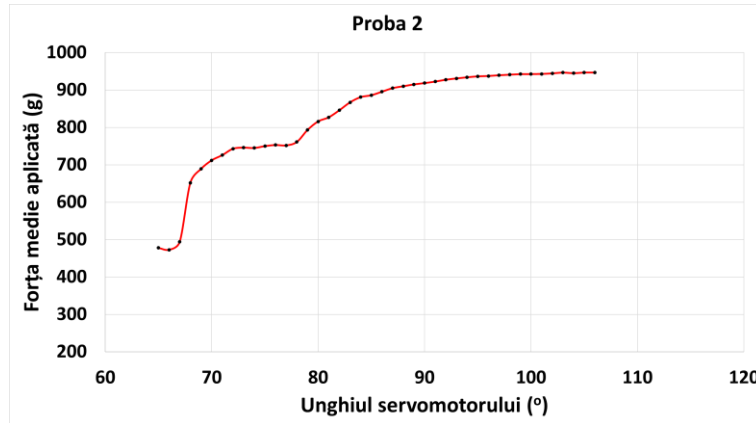


Figura 6.15 b) Variația forței medii ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 2

Pentru proba 3, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.15 c. Se observă o valoare anormală, datorată abaterii de la forma sferică a roșiei.

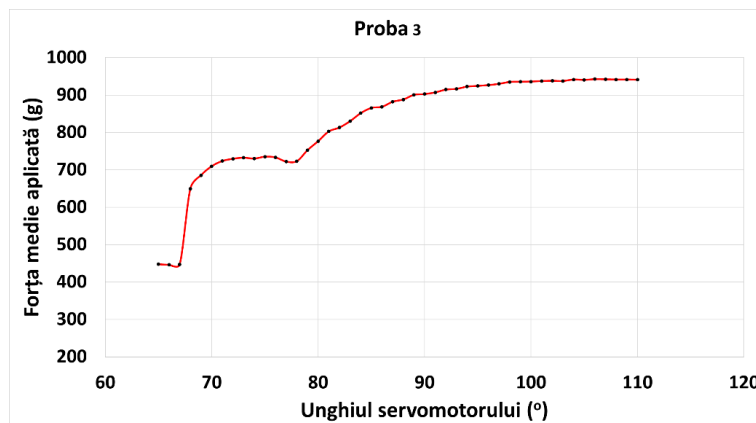


Figura 6.15 c) Variația forței medii ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 3

Pentru proba 4, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.15 d. La culegerea datelor pentru această probă nu s-au înregistrat valori anormale.

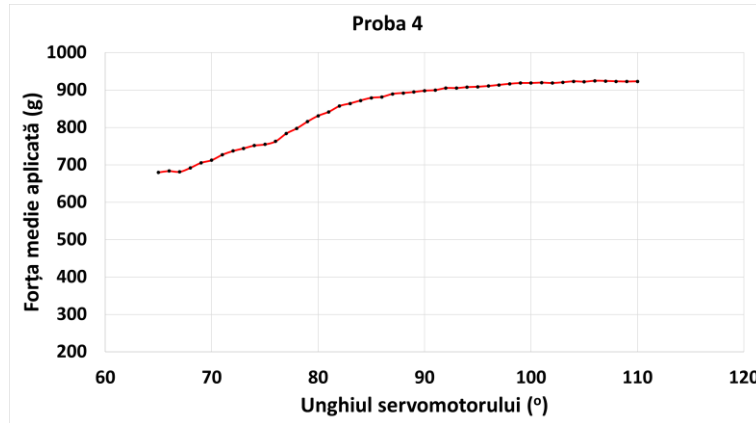


Figura 6.15 d) Variația forței medii ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 4

Pentru proba 5, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.15 e. La culegerea datelor pentru această probă nu s-au înregistrat valori anormale.

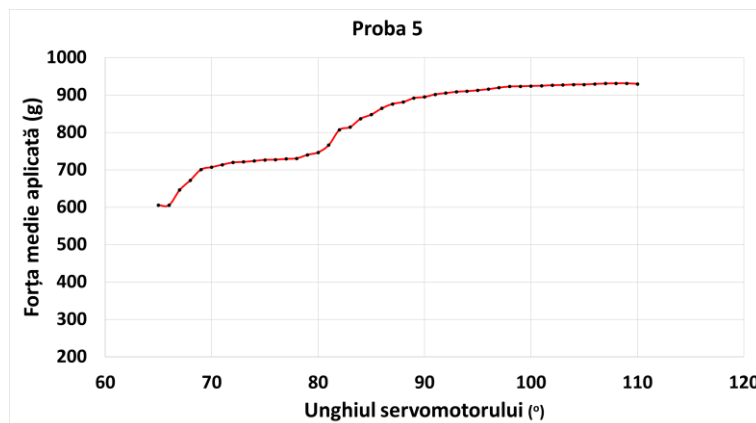


Figura 6.15 e) Variația forței medii ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 5

Pentru proba 6, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.15 f. La culegerea datelor pentru această probă nu s-au înregistrat valori anormale.

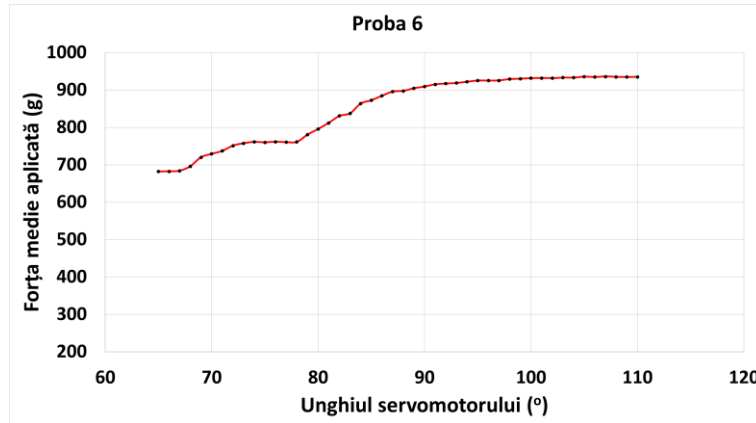


Figura 6.15 f) Variația forței medii ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 6

Pentru proba 7, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.15 g. La culegerea datelor pentru această probă s-a înregistrat o valoare anormală, datorată abaterii de la forma sferică a roșiei.

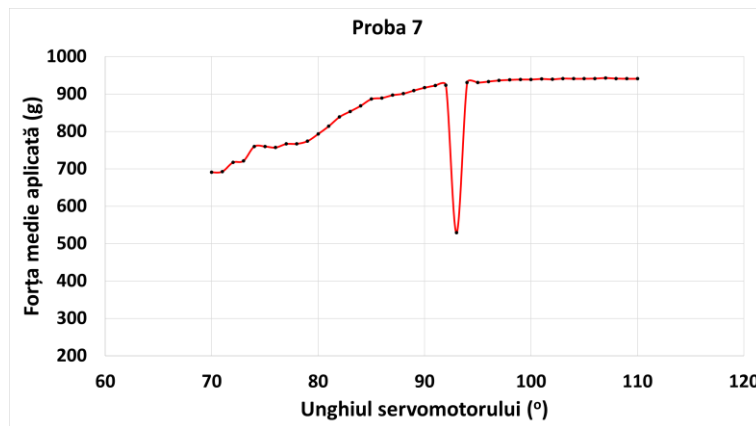


Figura 6.15 g) Variația forței medii ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 7

Pentru proba 8, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.15 h. La culegerea datelor pentru această probă nu s-au înregistrat valori anormale.

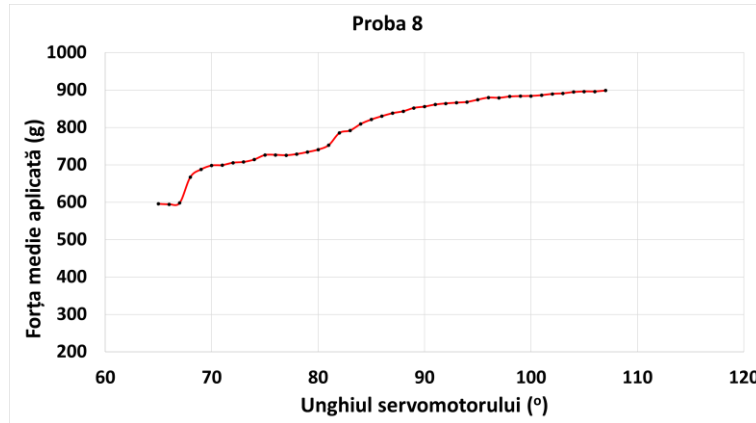


Figura 6.15 h) Variația forței medii ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 8

Pentru proba 9, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.15 i. Și în cazul acestei probe s-au înregistrat valori anormale, datorate abaterii de la forma sferică a roșiei.

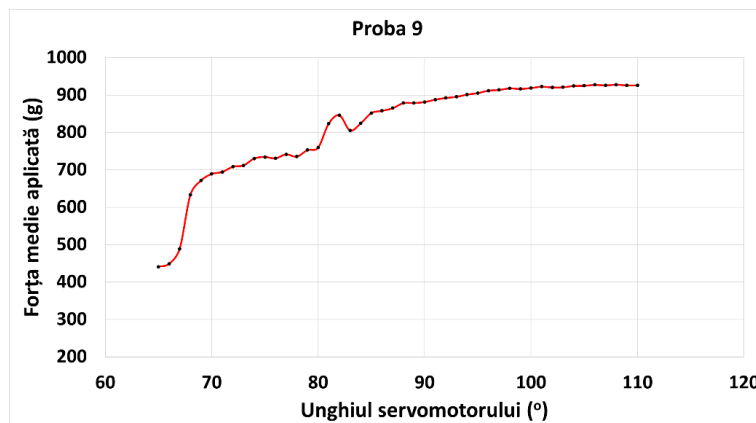


Figura 6.15 i) Variația forței medii ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 9

Pentru proba 10, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.15 j. Și în cazul datelor culese pentru această probă se poate observa existența unor valori anormale, datorate abaterii de la forma sferică a roșiei.

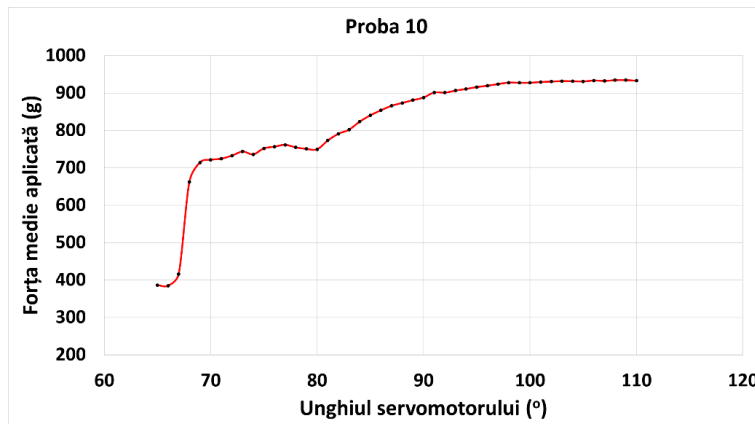


Figura 6.15 j) Variația forței medii ca funcție de unghiul brațului servomotorului pentru proba 10

Pentru a determina o relație între deformația relativă și forța medie de apăsare asupra roșiei, datele experimentale au fost analizate folosind Statgraphics. Datele culese din analiza tuturor celor 10 roșii au fost prelucrate, rezultând un set de 407 date complete, pentru care dependența este prezentată în Figura 6.16.

Modelarea s-a realizat folosind un model de regresie liniară simplă între variabila dependentă $y = \Delta D_{rel}$ sau o transformare a acesteia și variabila independentă $x = F$ sau o transformare a acesteia [119].

Tipurile de modele care explică mai mult de 90% din variația lui ΔD_{rel} în funcție de F sunt prezentate în Tabelul 6.5.

Tabelul 6.5 Tipuri de modele care explică mai mult de 90% din variația lui D_{rel} în funcție de F

Denumirea convențională a modelului	Model matematic general	Funcția asociată modelului de dependență	Coefficientul de determinare R^2
Rădăcină pătrată dublă	$\sqrt{y} = f(\sqrt{x})$ $y = (\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x})^2$	$\Delta D_{rel} = (0,2024 \cdot \sqrt{F})^2$	99,99%
Dublu reciproc	$y^{-1} = f(x^{-1})$ $y = \left(\beta_0 + \frac{\beta_1}{x}\right)^{-1}$	$\Delta D_{rel} = \frac{1}{\frac{24,4395}{F}}$ $= \frac{F}{24,4395}$	99,98%
Linear	$y = f(x)$ $y = \beta_0 + \beta_1 x$	$\Delta D_{rel} = 0,0409716 \cdot F$	99,98%
Multiplicativ	$\ln y = f(\ln x)$ $y = \beta_0 x^{\beta_1}$	$\Delta D_{rel} = e^{0,523949 \cdot \ln F}$ $= F^{0,523949}$	99,94%
Logaritm din Y, radical	$\ln y = f(\sqrt{x})$	$\Delta D_{rel} = e^{0,122011 \cdot \sqrt{F}}$	99,91%

Rezultate și discuții

Denumirea convențională a modelului	Model matematic general	Funcția asociată modelului de dependență	Coefficientul de determinare R^2
din X	$y = e^{\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x}}$		
Dublu pătrat	$y^2 = f(x^2)$ $y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 x^2}$	$\Delta D_{rel} = \sqrt{0,00167932 \cdot F^2}$	99,91%
Radical din Y, logaritm din X	$\sqrt{y} = f(\ln x)$ $y = (\beta_0 + \beta_1 \ln x)^2$	$\Delta D_{rel} = (0,867723 \cdot \ln F)^2$	99,69%
Radical din Y	$\sqrt{y} = f(x)$ $y = (\beta_0 + \beta_1 x)^2$	$\Delta D_{rel} = (0,00693276 \cdot F)^2$	99,54%
Radical din X	$y = f(\sqrt{x})$ $y = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{x}$	$\Delta D_{rel} = 1,19069 \cdot \sqrt{F}$	99,51%
Exponențial	$\ln y = f(x)$ $y = e^{\beta_0 + \beta_1 x}$	$\Delta D_{rel} = e^{0,00417058 \cdot F}$	99,05%
X pătrat	$y = f(x^2)$ $y = \beta_0 + \beta_1 x^2$	$\Delta D_{rel} = 0,0000469727 \cdot F^2$	98,80%
Y pătrat	$y^2 = f(x)$ $y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 x}$	$\Delta D_{rel} = \sqrt{1,44739 \cdot F}$	98,71%
Logaritm din X	$y = f(\ln x)$ $y = \beta_0 + \beta_1 \ln x$	$\Delta D_{rel} = 5,08594 \cdot \ln F$	98,48%
Radical din Y, X pătrat	$\sqrt{y} = f(x^2)$ $y = (\beta_0 + \beta_1 x^2)^2$	$\Delta D_{rel} = (0,00000789052 \cdot F^2)^2$	96,95%
Y pătrat, radical din X	$y^2 = f(\sqrt{x})$ $y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x}}$	$\Delta D_{rel} = \sqrt{41,7585 \cdot \sqrt{F}}$	96,84%
Logaritm din Y, X pătrat	$\ln y = f(x^2)$ $y = e^{\beta_0 + \beta_1 x^2}$	$\Delta D_{rel} = e^{0,00000473112 \cdot F^2}$	95,83%
Y pătrat, logaritm din X	$y^2 = f(\ln x)$ $y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \ln x}$	$\Delta D_{rel} = \sqrt{177,347 \cdot \ln F}$	94,74%
Y reciproc, logaritm din X	$\frac{1}{y} = f(\ln x)$ $y = \frac{1}{\beta_0 + \beta_1 \ln x}$	$\Delta D_{rel} = \frac{1}{0,00450705 \cdot \ln F}$	93,18%
Sigmoid	$\ln y = f\left(\frac{1}{x}\right)$ $y = e^{\beta_0 + \frac{\beta_1}{x}}$	$\Delta D_{rel} = e^{\frac{2632,01}{F}}$	92,03%
Radical din Y, X reciproc	$\sqrt{y} = f\left(\frac{1}{x}\right)$ $y = \left(\beta_0 + \frac{\beta_1}{x}\right)^2$	$\Delta D_{rel} = \left(\frac{4326,29}{F}\right)^2$	90,43%
Y reciproc, radical din X	$\frac{1}{y} = f(x^2)$ $y = \frac{1}{\beta_0 + \beta_1 x^2}$	$\Delta D_{rel} = \frac{1}{0,00103345 \cdot \sqrt{F}}$	90,32%

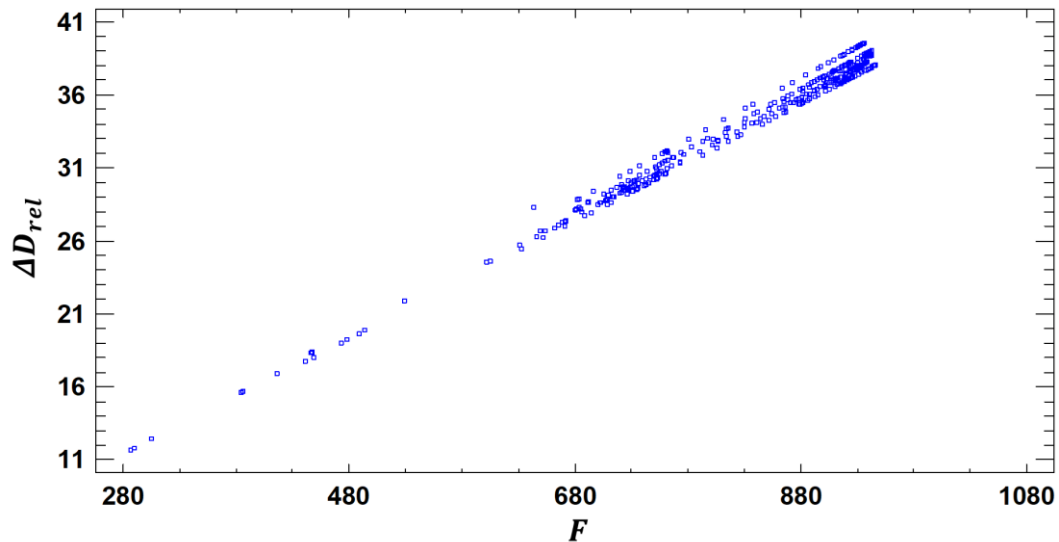


Figura 6.16 Dependența dintre ΔD_{rel} și F

Ecuția de regresie care descrie acest model este

$$\Delta D_{rel} = (0,2024 \cdot \sqrt{F})^2 = 0,04096 \cdot F \quad (6.13)$$

Cu un coeficient de corelație între variabile de 1, această ecuație explică 99,99% din variația lui ΔD_{rel} în funcție de F . Abaterea medie pătratică pentru acest model este de 0,0366949, iar eroarea standard a estimării de 0,0447245, la un nivel de încredere de 95%.

Analizând din punct de vedere calitativ dependența dintre deformația relativă și variația forței de apăsare în cazul fiecărei probe, s-au obținut următoarele date.

Pentru proba 1, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.17 a. La culegerea datelor pentru această probă s-au înregistrat o serie de valori anormale, datorate abaterii de la forma sferică a roșiei.

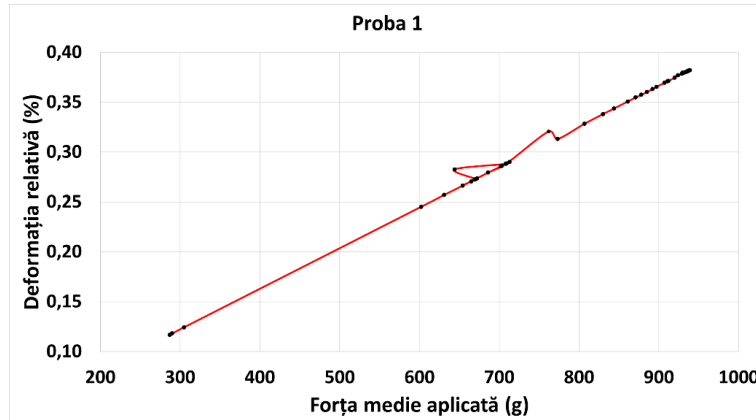


Figura 6.17 a) Deformația relativă ca funcție de variația forței medii pentru proba 1

Pentru proba 2, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.17 b. La culegerea datelor pentru această probă nu s-au înregistrat valori anormale.

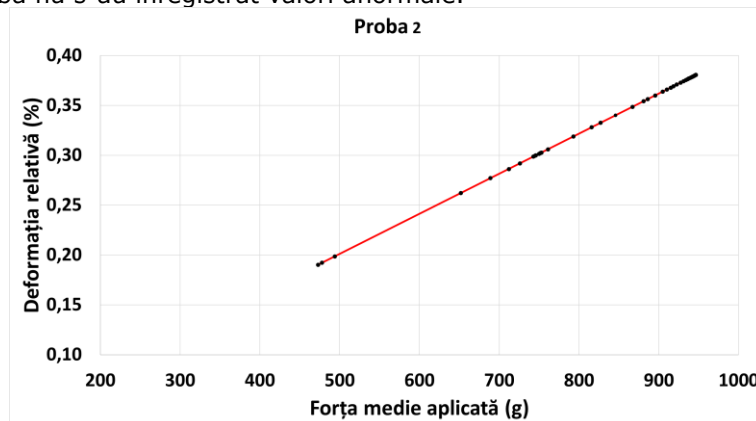


Figura 6.17 b) Deformație relativă ca funcție de variația forței medii pentru proba 2

Pentru proba 3, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.17 c. Chiar dacă la culegerea datelor pentru această probă s-au înregistrat valori anormale, acestea nu au influențat dependența dintre deformația relativă și forța medie de apăsare.

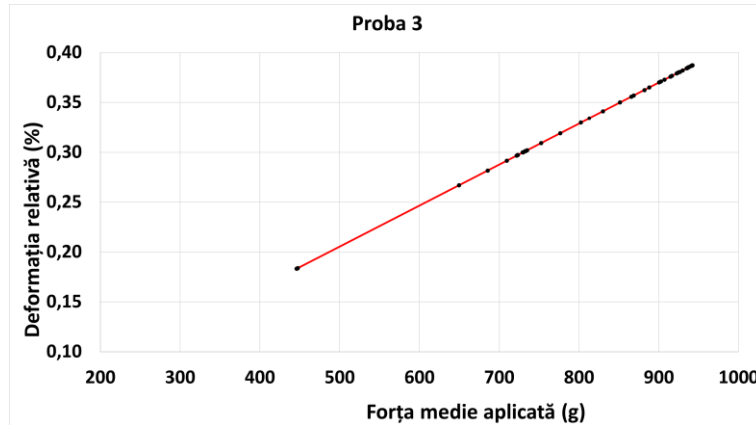


Figura 6.17 c) Deformație relativă ca funcție de variația forței medii pentru proba 3

Pentru proba 4, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.17 d. La culegerea datelor pentru această probă nu s-au înregistrat valori anormale.

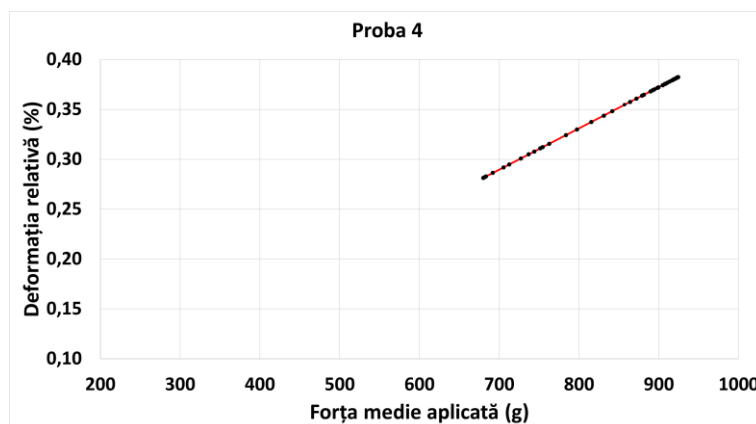


Figura 6.17 d) Deformație relativă ca funcție de variația forței medii pentru proba 4

Pentru proba 5, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.17 e. La culegerea datelor pentru această probă nu s-au înregistrat valori anormale.

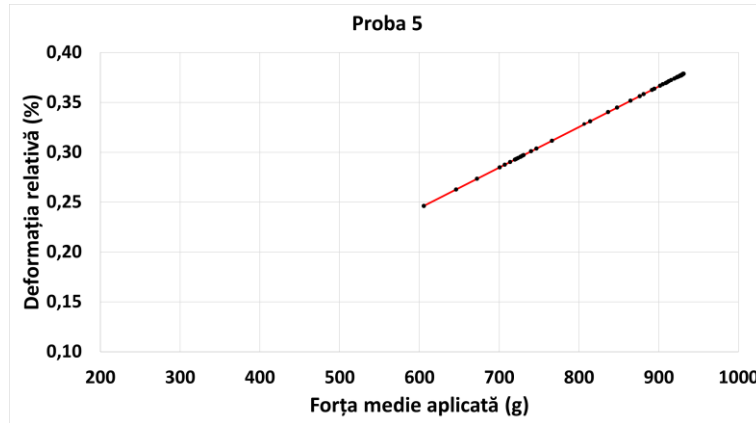


Figura 6.17 e) Deformație relativă ca funcție de variația forței medii pentru proba 5

Pentru proba 6, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.17 f. La culegerea datelor pentru această probă nu s-au înregistrat valori anormale.

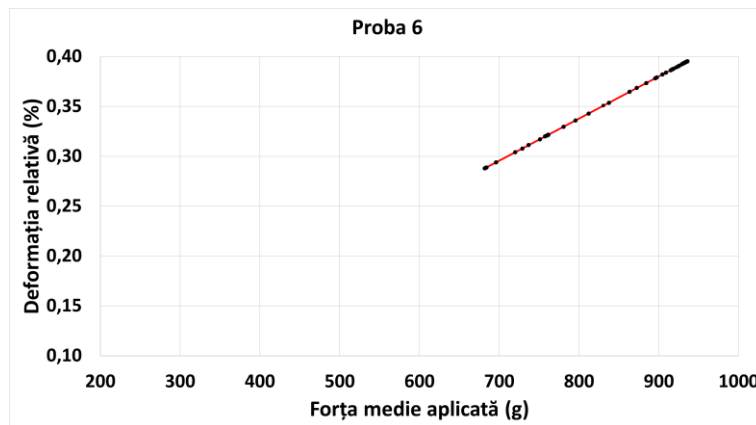


Figura 6.17 f) Deformație relativă ca funcție de variația forței medii pentru proba 6

Pentru proba 7, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.17 g. Chiar dacă la culegerea datelor pentru această probă s-au înregistrat valori anormale, acestea nu influențează dependența dintre deformația relativă și forța medie de apăsare.

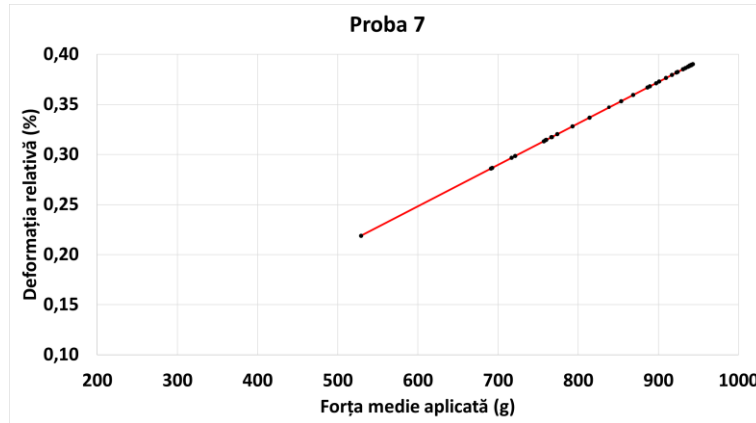


Figura 6.17 g) Deformație relativă ca funcție de variația forței medii pentru proba 7

Pentru proba 8, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.17 h. La culegerea datelor pentru această probă nu s-au înregistrat valori anormale.

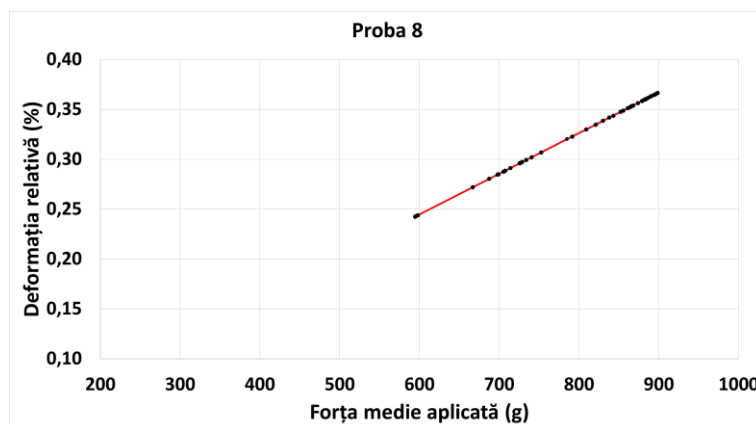


Figura 6.17 h) Deformație relativă ca funcție de variația forței medii pentru proba 8

Pentru proba 9, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.17 i. Chiar dacă la culegerea datelor pentru această probă s-au înregistrat valori anormale, acestea nu influențează dependența dintre deformația relativă și forța medie de apăsare.

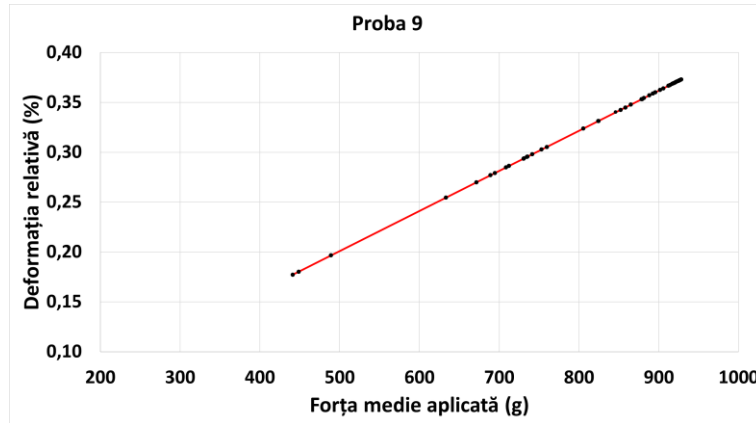


Figura 6.17 i) Deformație relativă ca funcție de variația forței medii pentru proba 9

Pentru proba 10, dependența forței medii de apăsare asupra roșiei de unghiul brațului servomotorului este prezentată în Figura 6.17 j. Chiar dacă la culegerea datelor pentru această probă s-au înregistrat valori anormale, acestea nu influențează dependența dintre deformația relativă și forța medie de apăsare.

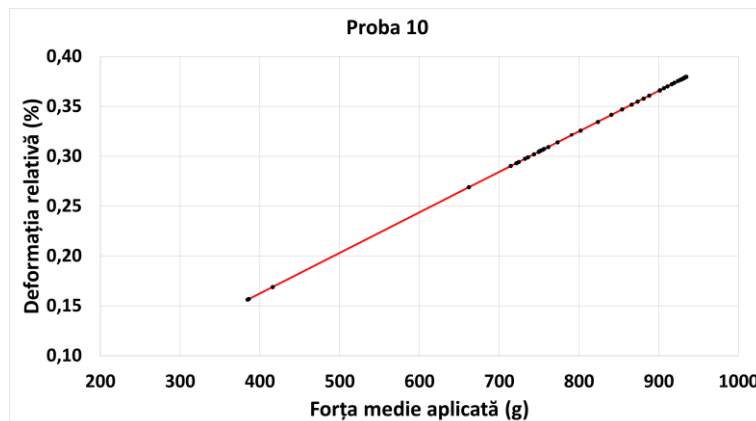


Figura 6.17 j) Deformație relativă ca funcție de variația forței medii pentru proba 10

Analizând așadar datele culese cu ajutorul Statgraphics, au fost determinate relațiile între deformarea relativă a roșiei în urma culesului, ΔD_{rel} , variația forței de apăsare, F și unghiul servomotorului, U .

Aceste date permit stabilirea unei limite superioare pentru variația forței de apăsare, F , citită de senzorii de pe prehensor, astfel încât deformarea roșiei la cules să se încadreze în anumite limite și sunt sintetizate în Tabelul 6.6.

Tabelul 6.6 Valori admisibile pentru F astfel încât deformația relativă a roșiei la cules să nu depășească limitele impuse

$\Delta D_{rel} \cdot 100$	F
[%]	[g]
5	122
10	244
15	366
20	488
25	610
30	732
35	854
40	977

6.4 Analiza fezabilității soluțiilor obținute pentru transpunerea la alte soiuri de roșii

La prinderea unei roșii, asupra ei acționează forțele prezentate în Figura 6.18: greutatea, forțele specifice de apăsare non-gravitațională $\vec{F}_{spec,1}$ și $\vec{F}_{spec,2}$, normalele acestora, \vec{N}_1 și \vec{N}_2 și forțele de frecare, \vec{F}_{f1} și \vec{F}_{f2} , ale căror module sunt $F_{f1} = \mu \cdot N_1$ și $F_{f2} = \mu \cdot N_2$, unde μ este coeficientul de frecare dintre roșie și prehensur. Cele două normale, fiind forțe de deformare elastică, au modulele $N_1 = \varepsilon \cdot \Delta D_1$ și $N_2 = \varepsilon \cdot \Delta D_2$, unde ε este constanta elastică. Între aceste forțe, la echilibru există următoarele relații

$$G = mg = F_{f1} + F_{f2} = \mu(N_1 + N_2) = \mu\varepsilon(|\Delta D_1| + |\Delta D_2|) = \mu\varepsilon \cdot \Delta D_{rel} \cdot D_{med} \quad (6.14)$$

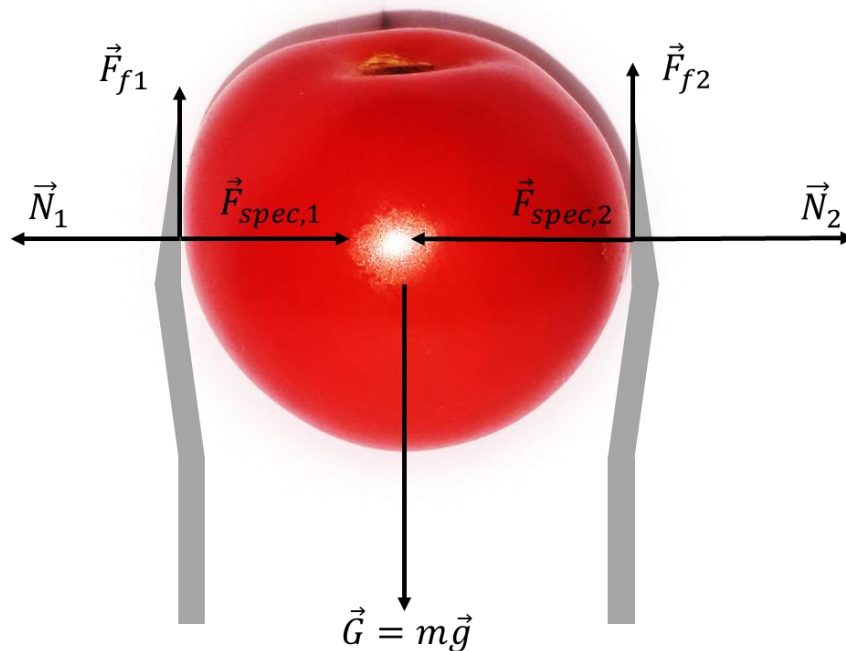


Figura 6.18 Forțele care acționează la prinderea unei roșii

Din aceste considerente reiese faptul că deformarea relativă a roșiei la prindere este legată atât de masa acesteia, cât și de diametrul său mediu (caracteristici care nu sunt cunoscute apriori, dar se pot măsura exact după recoltare). Masa și diametrul mediu pentru roșiile mature de un anumit soi pot fi determinate statistic, acestea fiind caracteristici utilizate pentru descrierea soiurilor respective [107].

În continuare, am realizat o analiză a corelațiilor dintre toate datele înregistrate în experiment, cu scopul de a identifica o relație între aceste variabile, care să permită calculul forței medii aplicate unui fruct copt pentru ca deformația sa relativă să se încadreze în anumite limite.

Pentru cele 407 seturi complete de date, s-au obținut rezultatele din Tabelul 6.7 și Tabelul 6.8.

Tabelul 6.7 Coeficienții de corelație pentru datele înregistrate în experiment (diametru mediu D_{med} , înălțimea medie H_{med} , masa m , forța medie aplicată F , unghiul de strângere U , deformarea relativă ΔD_{rel})

	D_{med}	H_{med}	m	F	U	ΔD_{rel}
D_{med}		0,3478	0,7653	-0,0984	-0,0305	-0,1967
H_{med}	0,3478		0,7165	0,0303	-0,0256	-0,0078
m	0,7653	0,7165		-0,0467	-0,0355	-0,1245

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INTERACȚIUNEA ÎNTRE SISTEMUL DE
PREHENSIUNE ȘI ROȘIILE COAPTE

<i>F</i>	-0,0984	0,0303	-0,0467		0,8531	0,9947
<i>U</i>	-0,0305	-0,0256	-0,0355	0,8531		0,8451
ΔD_{rel}	-0,1967	-0,0078	-0,1245	0,9947	0,8451	

Tabelul 6.8 Valoarea P asociată a coeficienților de corelație pentru datele înregistrate în experiment (diametru mediu D_{med} , înălțimea medie H_{med} , masa m , forța medie aplicată F , unghiul de strângere U , deformarea relativă D_{rel})

	D_{med}	H_{med}	m	F	U	ΔD_{rel}
D_{med}		0,0000	0,0000	0,0473	0,5397	0,0001
H_{med}	0,0000		0,0000	0,5421	0,6062	0,8747
m	0,0000	0,0000		0,3476	0,4755	0,0119
F	0,0473	0,5421	0,3476		0,0000	0,0000
U	0,5397	0,6062	0,4755	0,0000		0,0000
ΔD_{rel}	0,0001	0,8747	0,0119	0,0000	0,0000	

În urma acestei analize, perechile de variabile între care există o corelație (adică valoarea P asociată este mai mică decât 0,05, la un nivel de încredere de 95%) sunt:

- D_{med} și H_{med}
- D_{med} și m
- D_{med} și F
- D_{med} și ΔD_{rel}
- H_{med} și m
- m și ΔD_{rel}
- F și U
- F și ΔD_{rel}
- U și ΔD_{rel}

Așadar, urmând un raționament similar cu cel din [123], vom căuta o ecuație de regresie între aceste variabile.

O primă relație între aceste variabile este

$$F = 4,2272 \cdot m + 0,0158618 \cdot U + 24,3837 \cdot 100 \cdot \Delta D_{rel} - 10,826 \cdot H_{med} + 5,52186 \cdot D_{med} \quad (6.15)$$

Ecuția explică 99,9942% din variabilitatea forței medii aplicate, F . Deoarece în acest caz valoarea P asociată variabilei U este de 0,7387, acest termen nu este semnificativ la un nivel de încredere de 95% sau mai mare, așadar modelul se poate simplifica prin eliminarea acestuia. În acest caz, modelul pentru forța medie va fi

$$F = 4,23208 \cdot m + 24,4192 \cdot 100 \cdot \Delta D_{rel} - 10,8636 \cdot H_{med} + 5,55715 \cdot D_{med} \quad (6.16)$$

Și această ecuație explică 99,9942% din variabilitatea forței medii, F , dar în acest caz valorile P asociate fiecărei variabile de intrare sunt nule. În consecință, nu este necesar ca modelul să fie simplificat.

Analiza fezabilității soluțiilor obținute pentru transpunerea la alte soiuri de roșii

Această ecuație poate fi folosită pentru calculul forței medii de apăsare a prehsorului în cazul în care se dorește culegerea unei roșii pentru care masa, înălțimea medie, diametrul mediu sunt cunoscute, pentru o deformare relativă maximă stabilită inițial.

În practică, dacă diametrul mediu și înălțimea medie a unei roșii mature dintr-un anumit soi pot fi considerate cunoscute, masa roșiilor nu poate fi determinată eficient înainte de a le culege. În concluzie, o ecuație mai realistă pentru determinarea forței medii de apăsare ar trebui să nu țină cont de masa roșiei.

O astfel de ecuație, care să determine forța medie de apucare a roșiei în funcție de date cunoscute, măsurabile apriori, este:

$$F = 24,1464 \cdot 100 \cdot \Delta D_{rel} - 8,77955 \cdot H_{med} + 8,9836 \cdot D_{med} \quad (6.17)$$

Această ecuație explică 99,9844% din variabilitatea lui F , iar valorile P asociate fiecărui factor al ecuației sunt nule – așadar toți factorii sunt semnificativi la un nivel de încredere de 95%.

Am aplicat formula pentru forța de apucare medie la 15 soiuri și hibrizi de roșii produși la SCDL Buzău între 1957 și 2015, pentru care se cunosc înălțimea medie și diametrul mediu ale fructelor (Tabelul 6.9).

Tabelul 6.9 Soiuri de tomate hibrid produse de SCDL Buzău și caracteristicile lor din punct de vedere al culegerii cu soluția propusă în teză (după [107])

soi	m	H_{med}	D_{med}
	[g]	[mm]	[mm]
Siriana F1	140	50	65
Buzău 1600	180-200	66	77
Buzău 50	260	86,6	74,6
Cireasă Carisma	25	32	29
Cireasă Coralina	19,7	29	32
Cireasă Sonia de Buzău	38,7	38	37
Cireasă Ema de Buzău	8	25	26
Buzău 22	180	23,7	24,3
Buzău 47	100	53	55
Buzău 4	125	53	54
Darsirius	80	55	47
Kristinica	100	50	55
Maratonus	195	63	71
Chihlimbar	185	62	70
Florina 44	160	60	70

Am presupus că deformația relativă ia valori de maxim 0,10%, 0,20%, 0,30%. Rezultatele sunt centralizate în Tabelul 6.10, Tabelul 6.11 și Tabelul 6.12.

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INTERACȚIUNEA ÎNTRE SISTEMUL DE
PREHENSIUNE ȘI ROȘIILE COAPTE

Tabelul 6.10 Forța medie de apăsare pentru o deformare relativă 10 (0,1%) pentru soiuri și hibrizi produși la SCDL Buzău

soi	$\Delta D_{rel} \cdot 100$	H_{med}	D_{med}	F
	[%]	[mm]	[mm]	[g]
Siriana F1	10	66	77	353,7509
Buzău 1600	10	86,6	74,6	151,3315
Buzău 50	10	32	29	221,0428
Cireasă Carisma	10	29	32	274,3323
Cireasă Coralina	10	38	37	240,2343
Cireasă Sonia de Buzău	10	25	26	255,5489
Cireasă Ema de Buzău	10	23,7	24,3	251,6901
Buzău 22	10	53	55	270,2459
Buzău 47	10	53	54	261,2623
Buzău 4	10	55	47	180,818
Darsirius	10	50	55	296,5845
Kristinica	20	50	55	538,0485
Maratonus	10	63	71	326,188
Chihlimbar	10	62	70	325,9839
Florina 44	10	60	70	343,543

Tabelul 6.11 Forța medie de apăsare pentru o deformare relativă 20 (0,2%) pentru soiuri și hibrizi produși la SCDL Buzău

soi	$\Delta D_{rel} \cdot 100$	H_{med}	D_{med}	F
	[%]	[mm]	[mm]	[g]
Siriana F1	20	50	65	627,8845
Buzău 1600	20	66	77	595,2149
Buzău 50	20	86,6	74,6	392,7955
Cireasă Carisma	20	32	29	462,5068
Cireasă Coralina	20	29	32	515,7963
Cireasă Sonia de Buzău	20	38	37	481,6983
Cireasă Ema de Buzău	20	25	26	497,0129
Buzău 22	20	23,7	24,3	493,1541
Buzău 47	20	53	55	511,7099
Buzău 4	20	53	54	502,7263
Darsirius	20	55	47	422,282
Kristinica	20	50	55	538,0485
Maratonus	20	63	71	567,652
Chihlimbar	20	62	70	567,4479
Florina 44	20	60	70	585,007

Tabelul 6.12 Forța medie de apăsare pentru o deformare relativă 30 (0,3%) pentru soiuri și hibrizi produși la SCDL Buzău

soi	$\Delta D_{rel} \cdot 100$ [%]	H_{med} [mm]	D_{med} [mm]	F [g]
Siriana F1	30	50	65	869,3485
Buzău 1600	30	66	77	836,6789
Buzău 50	30	86,6	74,6	634,2595
Cireașă Carisma	30	32	29	703,9708
Cireașă Coralina	30	29	32	757,2603
Cireașă Sonia de Buzău	30	38	37	723,1623
Cireașă Ema de Buzău	30	25	26	738,4769
Buzău 22	30	23,7	24,3	734,6181
Buzău 47	30	53	55	753,1739
Buzău 4	30	53	54	744,1903
Darsirius	30	55	47	663,746
Kristinica	30	50	55	779,5125
Maratonus	30	63	71	809,116
Chihlimbar	30	62	70	808,9119
Florina 44	30	60	70	826,471

Aceste tabele indică limite superioare pentru forța de apăsare asupra roșiei care pot fi implementate în software-ul care controlează recoltarea. Astfel, se poate controla calitatea roșiei culese.

În cazul roșiilor din soiul San Marzano, ale căror caracteristici au fost prezentate pe larg în Capitolul 5, subcapitolul 5.1 ($H_{med} = 90 \text{ mm}$, $D_{med} = 40 \text{ mm}$), aplicarea formulei (6.17) conduce la obținerea datelor din Tabelul 6.13.

Tabelul 6.13 Deformări relative și valori ale forței medii de apăsare calculate pentru roșii mature din soiul San Marzano

ΔD_{rel} $\cdot 100$ [%]	F [g]
20	52,1125
25	172,8445
30	293,5765
35	414,3085
40	535,0405
45	655,7725
50	776,5045
55	897,2365
60	1017,9690

Unei forțe de apăsare maxime de 950 U.M. (limita impusă pentru citirile senzorilor de presiune în condiții de laborator) îi corespunde o deformare relativă pentru roșiile de 0,57%.

În condiții de teren, s-a folosit valoarea maximă pentru valoarea forței de apăsare de 700 U.M., ceea ce, înlocuit în ecuația (6.17), arată că deformarea maximă pe care o poate suferi o roșie San Marzano atunci când este culeasă folosind sistemul robotic propus este de 0,47%.

6.5 Concluzii parțiale

O etapă logică în validarea unui ETR folosit pentru recoltare presupune testarea sistemului de prehensiune și stabilirea parametrilor tehnico-funcționali optimați ai acestuia atunci când sunt recoltate fructele.

Sistemul a fost testat în condiții de laborator și au fost identificate relații de dependență între unghiul servomotorului, U , variația forței de apăsare asupra roșiilor, F și deformația relativă a acestora, ΔD_{rel} .

Dependențele $\Delta D_{rel} = f(U)$ și $F = f(U)$ folosesc ca variabilă independentă unghiul servomotorului, dar depind în mare măsură de dimensiunile roșiei, dimensiuni care, cu o anumită marjă de eroare, sunt specifice soiului de roșii cules. O dependență mai realist formulată este $\Delta D_{rel} = f(F)$, care se poate aplica în orice împrejurare, pentru orice roșie dintr-un anumit soi.

Pe baza datelor experimentale, au fost determinate formule pentru deformația relativă ΔD_{rel} în funcție de forța de apăsare F , diametrul mediu al roșiei D_{med} și înălțimea medie a roșiei H_{med} . Aceste formule au permis stabilirea de limite superioare pentru forța de apăsare înregistrată de senzori astfel încât deformarea relativă a roșiei să nu depășească o anumită valoare.

Tot pe baza acestor formule, a fost validată și limita superioară impusă pentru valoarea citită de către senzorul de forță atunci când ETR a fost folosit în condiții reale, în seră.

În cele ce urmează, rutina de identificare a fructelor coapte și cea de culegere a fructelor fără a le deteriora se vor integra într-un prototip de ETR pentru culegerea de roșii într-o seră.

Concluzii parțiale

7 CERCETĂRI PRIVIND PROIECTAREA, INTEGRAREA ȘI OPTIMIZAREA COMPONENTELOR ÎNTR-UN ECHIPAMENT TEHNOLOGIC ROBOTIZAT DESTINAT LUCRĂRILOR ÎN SERE ȘI SOLARII

7.1 Obiectivele cercetării

Obiectivele cercetării au fost:

- Realizarea unui prototip de echipament tehnologic robotizat (ETR) pentru culesul roșiilor
- Integrarea elementelor de identificare a fructelor coapte și a procedurii de prindere a unei roșii fără a o deteriora în ETR construit
- Implementarea unui sistem de mobilitate specific condițiilor de seră
- Optimizarea deplasării la recoltat
- Testarea sistemului pentru culegerea efectivă a roșiilor

7.2 Condiții impuse de teren

Experimentele pe teren au fost efectuate în sera proprie, aflată în Lugoj, și a cărei poziție pe hartă a fost prezentată în Figura 5.1.

În această seră au fost cultivate roșii San Marzano, în 4 rânduri a câte 15 plante. Distanța dintre plante a fost de 35 cm, iar distanța dintre rânduri de 60 cm (Figura 7.1).

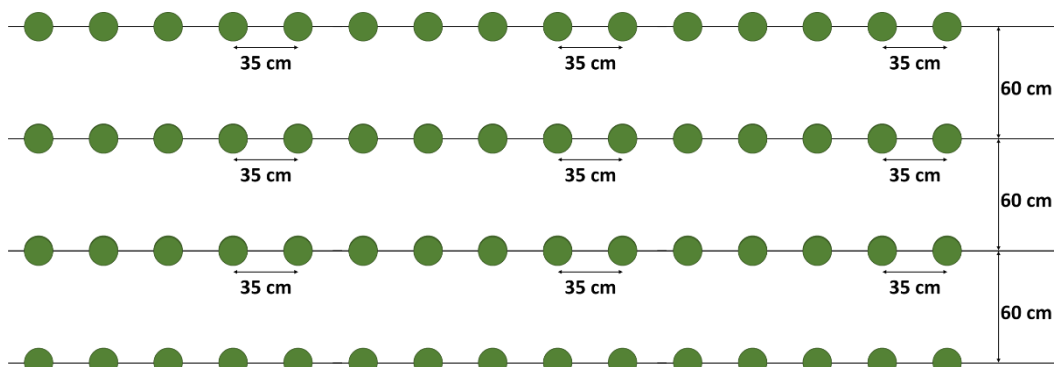


Figura 7.1 Schema de cultură a roșiilor în seră în care s-au efectuat experimentele

7.3 Schema de principiu a unui ETR pentru culesul roșiilor

Schema de principiu a unui ETR pentru culesul roșiilor

Pentru a satisface nevoile proprietarilor de sere, s-a căutat o soluție proprie de robotizare pentru recoltarea roșiilor coapte. Această soluție și-a propus să implementeze majoritatea cerințelor tehnice declarate de specialiștii în robotică, prezentată în analiza chestionarelor din Capitolul 2.

RADAR 00 s-a conceput ca o structură alcătuită dintr-un braț robotizat montat pe o platformă cu 4 roți cu tracțiune independentă, care să realizeze mișcarea autonomă prin seră, între rândurile de roșii. La detectarea unei plante, platforma autonomă se oprește și caută roșiile coapte folosind algoritmi de procesare a imaginilor. Atunci când este identificată o roșie coaptă, un alt algoritm calculează coordonatele țintei cu privire la prindere și planifică mișcarea robotică a brațului până când roșia coaptă este prinsă și detașată de plantă.

Brațul descarcă apoi roșiile într-un coș și se întoarce pentru a căuta roșiile coapte pe aceeași plantă. Atunci când nu se mai găsesc roșii care pot fi clasificate drept coapte pe plantă, robotul se deplasează de-a lungul rândului până când detectează o altă plantă și reia căutarea roșiilor coapte.

Algoritmii de mișcare al robotului RADAR 00 poate fi descris ca o succesiune de pași procesuali care să includă următoarele cerințe funcționale independente succesive:

- Găsește o plantă
- Găsește o roșie coaptă pe plantă
- Prinde roșia
- Rotește roșia pentru a o desprinde de pe plantă
- Pune roșia într-un coș alăturat
- Revine la plantă și începe de la capăt
- Dacă nu mai sunt găsite roșii coapte, găsește următoarea plantă pe rând și începe un nou ciclu

Un aspect important este prinderea roșiei fără a produce daune. Aceasta se realizează utilizând un algoritm special conceput și senzori de detectare a forței de prindere. Studiul prinderii roșiei fără a o deteriora a fost făcut în Capitolul 6.

O altă condiție impusă a fost legată de impactul robotului asupra mediului sub aspectul efectului de seră generat. Acesta a trebui să fie cât se poate de mic, fapt realizat prin utilizarea algoritmilor îmbunătățiți folosiți pentru a detecta roșiile și pentru a se deplasa pe rând, printre plante în seră [68]. Procesul de identificare a roșiei a fost descris pe larg în Capitolul 5.

Pentru simplitate și reducerea costurilor, comanda robotului s-a făcut folosind platforma electronică Arduino – o platformă open-source bazată pe software și hardware ușor de utilizat și un sistem tip Raspberry Pi 3B+ - un sistem pe un cip (SoC) tip Broadcom integrat cu o unitate de procesare centrală (CPU) compatibilă ARM și o unitate de procesare grafică (GPU).

Deplasarea robotului printre plante este comandată folosind sistemul tip Arduino, care, simultan, este responsabil cu citirea datelor de la senzori, detecția unei plante noi și mișcarea brațului robotic.

Pentru identificarea unei roșii coapte pe plantă s-a generat un program original de prelucrare a imaginilor, utilizând limbajul de programare Python.

Programul original creat astfel este rulat pe Raspberry Pi 3B+ și folosește date culese de o cameră atașată deasupra brațului robotic, completată cu două surse proprii de lumină plasate stereoscopic, astfel încât eroarea de analiză a imaginii să fie minimă.

În conformitate cu cerințele formulate anterior, s-a configurat schema conceptuală a sistemului robotic propus, prezentată în Figura 7.2.

Astfel, pe o platformă P dotată cu 4 motoare (MP1, MP2, MP3, MP4) este montat un braț robotic constând din: baza B, segmentele S1, S2, S3 și prehensorul (cleștele) C. Articulațiile sistemului constau din următoarele motoare:

- MB1, care leagă baza brațului robotic de platformă și care efectuează rotație în plan orizontal
- MB2 și MB3, care leagă segmentele S1 și S2 și care efectuează rotație în plan vertical. Cele două motoare sunt legate în paralele pentru a crește momentul forței.
- MB4, care leagă segmentele S2 și S3 și care efectuează o rotație în plan vertical.
- MB5, care leagă segmentul S3 de prehensorul C și care efectuează o mișcare de rotație într-un plan perpendicular pe axa segmentului S3.
- MC, care acționează cleștele prehensor și care efectuează o rotație în planul celor două degete ale cleștelui C.

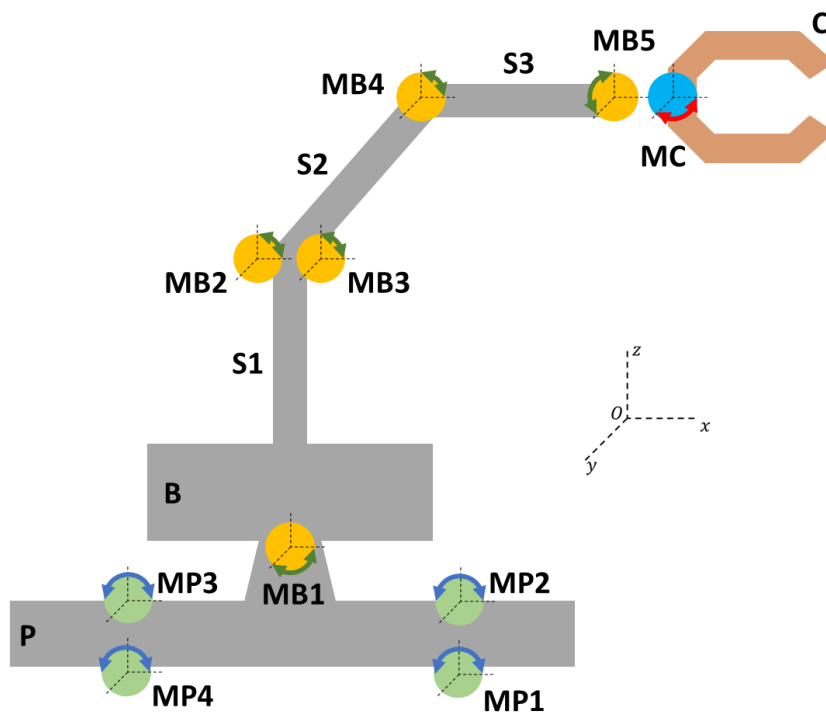


Figura 7.2 Schema cinematică de principiu a unui sistem robotic automat pentru culesul roșiilor

Schema de principiu a unui ETR pentru culesul roșiilor

Pe aceeași bază conceptuală, în Figura 7.3 se prezintă schema funcțională bloc a sistemului robotic. Sistemul de comandă folosește o placă tip Arduino care comunică cu un microcomputer Raspberry Pi. Datele de intrare sunt citite de următoarele tipuri de senzori:

- Sensor de proximitate lateral, ale cărui citiri sunt folosite de placa Arduino și care permite detectarea unei plante
- Sensor de proximitate față, ale cărui citiri sunt folosite de placa Arduino și care permite detectarea unui fruct
- Sensor de presiune, ale cărui citiri sunt folosite de placa Arduino și care permite aplicarea unei forțe pentru culegerea fructului
- Camera de luat vederi, ale cărui citiri sunt folosite de microcomputerul Raspberry Pi și care permite detectarea unui fruct copt

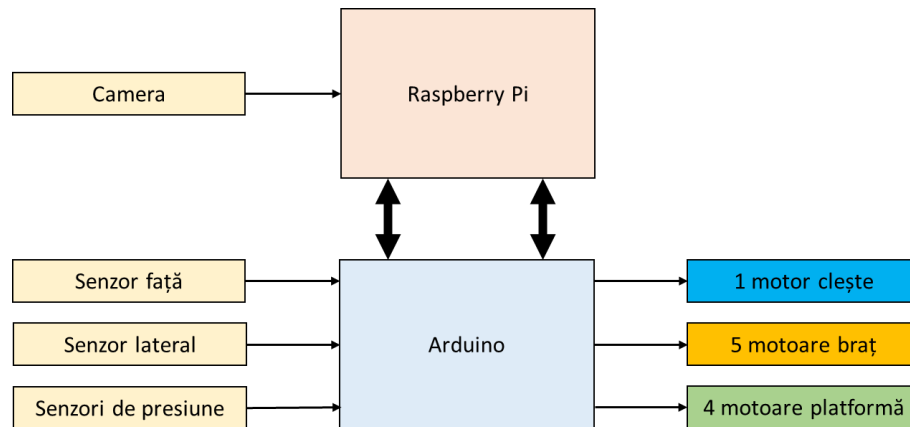


Figura 7.3 Schema funcțională bloc a sistem robotic automat pentru culesul roșiilor propus

În concordanță cu rezultatele obținute în Capitolul 4, robotul RADAR 00 este alcătuit din următoarele subansamble: platforma mobilă, unitatea de comandă, brațul robotic propriu-zis. În continuare aceste componente se vor detalia din punct de vedere constructiv și funcțional.

7.3.1 Platforma mobilă

Platforma mobilă folosită pentru realizarea prototipului este alcătuită dintr-un șasiu metalic, pe care sunt instalate 4 motoare, o placă de dezvoltare, 4 roți și 2 senzori ultrasonici, structura fiind achiziționată parțial din comerț și modificată ulterior în acord cu cerințele rezultate din cercetările efectuate.

Platforma [100], [3] are dimensiunile de 215 x 205 x 65 mm (lungime x lățime x înălțime). Șasiul este echipat cu roți de un diametru de 65 mm și o lățime de 26 mm, iar distanța până la sol este de 13 mm (Figura 7.4).

Chiar dacă distanța dintre șasiu și sol poate părea mică, ea este suficientă pentru deplasarea într-un mediu parțial controlabil, în care nu există denivelări semnificative de-a lungul drumului urmat de către robot.

Platforma suportă o încărcătură de 15 kg atunci când este acționată de motoare de 77 rpm, 20 kg la 35 rpm, respectiv 7 kg la 281 rpm.

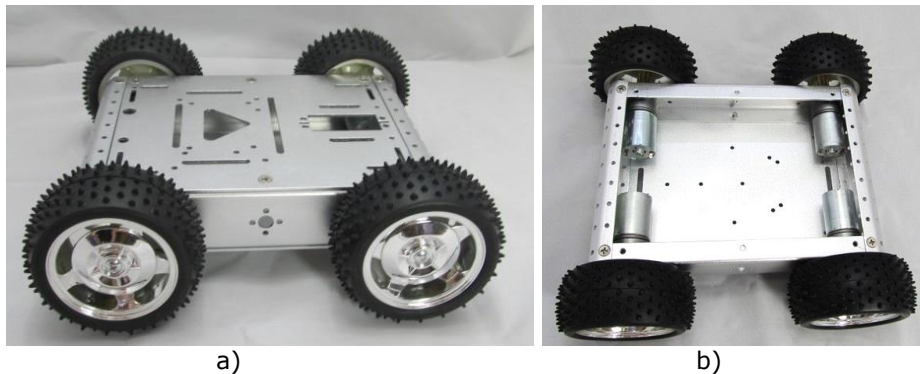


Figura 7.4 Platforma mobilă: a) vedere din lateral, b) vedere de sus (după [3])

Scala de reducere a mecanismului motoreductor este de 1:48, iar viteza de rotație a motoarelor fără sarcină este între 6 și 200 rpm, direct proporțional cu tensiunea aplicată la bornele acestora, care poate varia între 3 și 6 V. Motoarele suportă un curent de 100 mA (la maxim, 160 mA).

Platforma este echipată cu motoare de curent continuu de 1 W, care necesită o tensiune de alimentare între 3 și 24 V (cu regimul optim între 6 și 9 V) și suportă un curent maxim de 250 mA.

Greutatea fiecărui motor este de 100 g, iar diametrul de 25 mm.

Motoarele sunt controlate printr-o placă de dezvoltare pe care sunt montate două drivere pentru controlul motoarelor L293D [126], [88]: unul pentru cele două motoare din față, unul pentru cele două motoare din spate.

Disponerea motoarelor pe sistemul RADAR 00 este prezentată în Figura 7.2.

Pentru comanda motoarelor de pe șasiu, s-a optat pentru folosirea unui driver L293D ([88]). Acesta este un driver integrat, compatibil cu Arduino, care poate conduce fie 4 motoare de curent continuu, fie 2 motoare pas cu pas și 2 servomotoare. Acesta se poate utiliza cu motoare de curent continuu de până la 36 V.

Tensiunea de alimentare a motoarelor suportată este între 4,5 și 36 V, iar tensiunea de alimentare a circuitelor logice este de 5 V. Curentul transmis motoarelor în mod continuu este de 0,6 A. Driverul are integrată o protecție pentru supracurent și supratemperatură.

Dimensiunea driverului este de 70 x 55 mm (Figura 7.5).

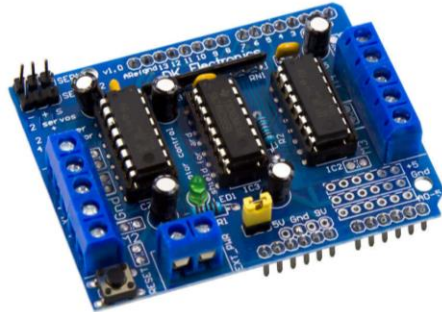


Figura 7.5 Driver L293D (după [88])

Cele două drivere, împreună cu accesoriile necesare bunei lor funcționări (diode, rezistențe, etc.) au fost montate pe un breadboard cu 400 puncte, de dimensiuni 84 x 54,3 x 8,5 mm.

Tot pe șasiul metalic au fost montați 2 senzori ultrasonici HC-SR04 [127], pentru orientarea în seră.

Senzorul HC-SR04 (Figura 7.6) este un senzor ultrasonic compatibil cu Arduino, folosit pentru determinarea distanței. Conectarea acestuia nu necesită decât pini digitali (cu o durată a semnalului de input de 10 microsecunde) și este precis, având o eroare la determinarea poziției de 3 mm, la o distanță de funcționare cuprinsă între 2 și 400 cm și un unghi de măsurare de 15 grade. Senzorul este alimentat la 5V și consumă 15 mA. Dimensiunile unui astfel de senzor sunt 45 x 20 x 15 mm.

Cei doi senzori sunt poziționați în partea frontală și laterală a platformei mobile. În timpul mișcării, senzorul lateral este folosit pentru detectarea unei tulpini. La detectarea unei tulpini, robotul se rotește cu 90° și înaintează, până când senzorul frontal înregistrează tulpina la o distanță care permite culegerea eventualelor fructe.



Figura 7.6 Senzor ultrasonic HC-SR04 (după [127])

Schema de legare a motoarelor care acționează roțile la placa Arduino este prezentată în Figura 7.7.

ARDUINO MEGA 2560

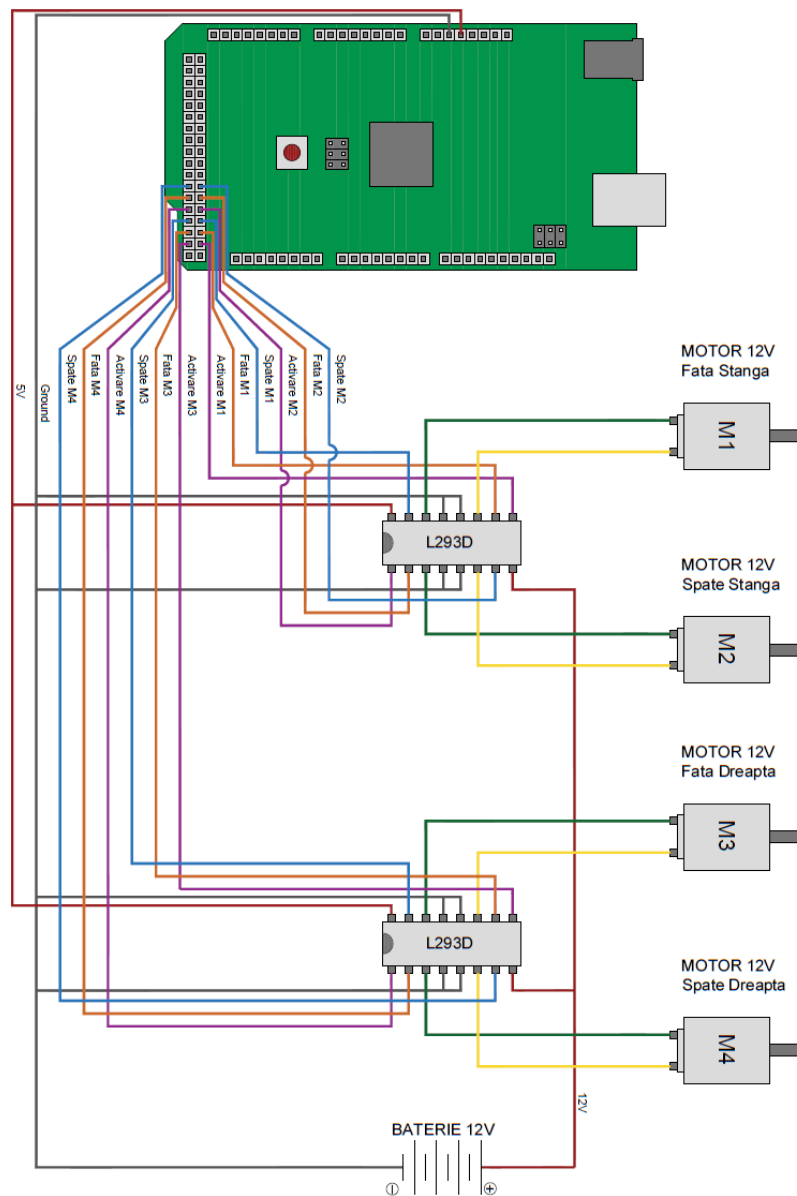


Figura 7.7 Schema de legare a motoarelor platformei mobile la Arduino

7.3.2 Unitatea de comandă și sistemul de alimentare

Unitatea de comandă este alcătuită dintr-un microcontroler compatibil Arduino Mega, un microcontroler Raspberry Pi 3B+, sistemul de alimentare (o baterie de 12V și o baterie externă de 20000 mA, un modul de reglare a tensiunii și butonul de pornire / reset). De asemenea, este inclus un breadboard pentru montarea componentelor.

S-a optat pentru folosirea unui microcontroler compatibil Arduino ATmega 2560 [84], [99] (Figura 7.8) pentru controlul motoarelor. Această alegere a fost făcută atât din rațiuni care țin de alimentarea sa (tensiune de intrare recomandată între 7 și 12 V, tensiune de lucru de 5 V, curent de ieșire de 40 mA pe pinii de 5 V, respectiv de 50 mA pe pinii de 3,3 V) cât și de numărul de pini disponibili pentru comunicare (54 pini, dintre care 14 digitali și 16 analogici). Prin intermediul pinilor (Figura 7.9), se poate primi semnale de la senzori sau transmite semnale către motoare.

Dispozitivul vine cu o memorie flash de 256 KB (din care 8 KB pentru bootloader), o memorie SRAM de 8 KB și EEPROM de 4KB. De asemenea, are un port USB tip B prin care se poate conecta la un calculator și prin intermediul căruia se încarcă programul după care microcontrolerul acționează. Memoria este suficientă pentru a încărca programul de control al motoarelor.

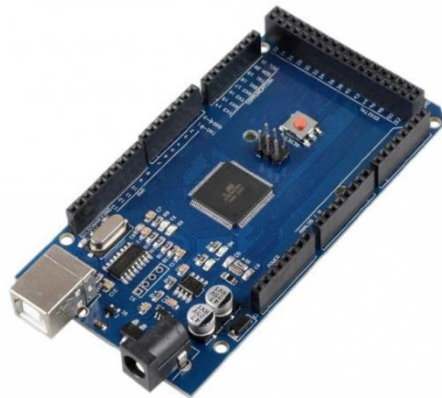


Figura 7.8 Microcontroler compatibil Arduino Mega 2560 (după [84])

Programarea microcontrolerului Arduino se face folosind Arduino IDE [8], [40]. O dată scris și compilat codul, acesta este încărcat prin portul USB pe placa Arduino, unde rulează, în buclă infinită, atâta timp cât aceasta este conectată la curent.

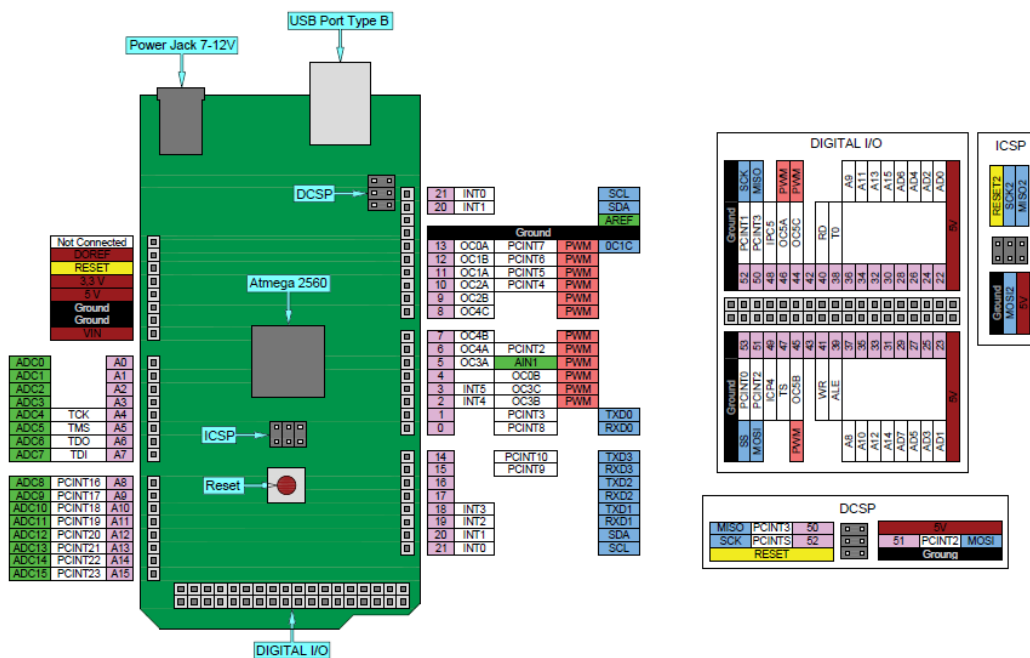


Figura 7.9 Microcontroler compatibil Arduino Mega 2560 – schema de conectare a pinilor (după [84])

Conectarea pinilor prin Arduino IDE se face folosind pachetul de instrucțiuni Servo.h. Această conectare este redată în continuare, structurat pe funcții.

a) Legarea pinilor de ieșire pentru motoarele platformei mobile

```
// Motor Fata Stanga
#define motorFS_en 26
#define motorFS_fata 24
#define motorFS_spate 23
// Motor Fata Dreapta
#define motorFD_en 27
#define motorFD_fata 25
#define motorFD_spate 22
// Motor Spate Stanga
#define motorSS_en 32
#define motorSS_fata 30
#define motorSS_spate 28
// Motor Spate Dreapta
#define motorSD_en 33
#define motorSD_fata 31
#define motorSD_spate 29
//Senzori proximitate
//Senzor Fata
#define TRIG_PINF 5
#define ECHO_PINF 4
```

Schema de principiu a unui ETR pentru culesul roșiilor

- b) Legarea senzorilor pentru primirea datelor de intrare

```
//Senzor Stanga
#define TRIG_PINS 7
#define ECHO_PINS 6
//Distanța maxima senzori 400cm
#define MAX_DIST 400
```
- c) Legarea motoarelor brațului robotic

```
//Motoare Brat
#define MOTOR_BAZA 11
#define MOTOR_BRAT_S 9
#define MOTOR_BRAT_D 13
#define MOTOR_BRAT_3 10
#define MOTOR_RUPE 12
#define MOTOR_CLESTE 8
```
- d) Legarea senzorilor de presiune de pe prehensor

```
//Senzori presiune
#define fsrpin1 A0
#define fsrpin2 A1
```

Având inițializate aceste date, mișcarea motoarelor este realizată cu ajutorul următoarelor funcții:

- a) Oprirea completă a mișcării roților

```
void Stop_Roti () {
    digitalWrite(motorFS_en,HIGH);
    digitalWrite(motorFS_fata,LOW);
    digitalWrite(motorFS_spate,LOW);
    digitalWrite(motorFD_en,HIGH);
    digitalWrite(motorFD_fata,LOW);
    digitalWrite(motorFD_spate,LOW);
    digitalWrite(motorSS_en,HIGH);
    digitalWrite(motorSS_fata,LOW);
    digitalWrite(motorSS_spate,LOW);
    digitalWrite(motorSD_en,HIGH);
    digitalWrite(motorSD_fata,LOW);
    digitalWrite(motorSD_spate,LOW);
    delay(1);
}
```
- b) Mișcarea robotului în față

```
void Fata (int timp) {
    digitalWrite(motorFS_en,HIGH);
    digitalWrite(motorFS_fata,HIGH);
    digitalWrite(motorFS_spate,LOW);
    digitalWrite(motorFD_en,HIGH);
    digitalWrite(motorFD_fata,HIGH);
    digitalWrite(motorFD_spate,LOW);
    digitalWrite(motorSS_en,HIGH);
    digitalWrite(motorSS_fata,HIGH);
    digitalWrite(motorSS_spate,LOW);
    digitalWrite(motorSD_en,HIGH);
    digitalWrite(motorSD_fata,HIGH);
    digitalWrite(motorSD_spate,LOW);
}
```

```
        delay(timp);
        Stop_Roti ();
    }
c) Mișcarea robotului în spate
void Spate (int timp) {
    digitalWrite(motorFS_en,HIGH);
    digitalWrite(motorFS_fata,LOW);
    digitalWrite(motorFS_spate,HIGH);
    digitalWrite(motorFD_en,HIGH);
    digitalWrite(motorFD_fata,LOW);
    digitalWrite(motorFD_spate,HIGH);
    digitalWrite(motorSS_en,HIGH);
    digitalWrite(motorSS_fata,LOW);
    digitalWrite(motorSS_spate,HIGH);
    digitalWrite(motorSD_en,HIGH);
    digitalWrite(motorSD_fata,LOW);
    digitalWrite(motorSD_spate,HIGH);
    delay(timp);
    Stop_Roti ();
}
d) Rotirea robotului spre stânga
void Stanga (int timp) {
    digitalWrite(motorFS_en,HIGH);
    digitalWrite(motorFS_fata,LOW);
    digitalWrite(motorFS_spate,HIGH);
    digitalWrite(motorFD_en,HIGH);
    digitalWrite(motorFD_fata,HIGH);
    digitalWrite(motorFD_spate,LOW);
    digitalWrite(motorSS_en,HIGH);
    digitalWrite(motorSS_fata,LOW);
    digitalWrite(motorSS_spate,HIGH);
    digitalWrite(motorSD_en,HIGH);
    digitalWrite(motorSD_fata,HIGH);
    digitalWrite(motorSD_spate,LOW);
    delay(timp);
    Stop_Roti ();
}
e) Rotirea robotului spre dreapta
void Dreapta (int timp) {
    digitalWrite(motorFS_en,HIGH);
    digitalWrite(motorFS_fata,HIGH);
    digitalWrite(motorFS_spate,LOW);
    digitalWrite(motorFD_en,HIGH);
    digitalWrite(motorFD_fata,LOW);
    digitalWrite(motorFD_spate,HIGH);
    digitalWrite(motorSS_en,HIGH);
    digitalWrite(motorSS_fata,HIGH);
    digitalWrite(motorSS_spate,LOW);
    digitalWrite(motorSD_en,HIGH);
    digitalWrite(motorSD_fata,LOW);
}
```

Schema de principiu a unui ETR pentru culesul roșiilor

```
digitalWrite(motorSD_spate,HIGH);  
delay(timp);  
Stop_Roti ();  
}
```

Raspberry Pi, modelul 3B+ [95], [85] (Figura 7.10) este un microcontroler produs de Raspberry. Are un procesor Broadcom BCM2837B0 cu 4 nuclee și o frecvență de 1,4 GHz, cu o arhitectură Cortex pe 64 biți.

Opțiunea pentru folosirea acestui microcontroler a fost determinată de faptul că dispune de o memorie RAM de 4 GB, iar în slot-ul dedicat se poate atașa un card microSD care să conțină sistemul de operare și pe care se pot stoca date. Cardul microSD folosit pentru robotul RADAR 00 are 16 GB, iar pe el a fost încărcat sistemul de operare Raspberry Pi OS [97].

Deoarece sub aspectul conectivității, microcontrolerul dispune atât de un modul WiFi dual-band (1,4 GHz și 5GHz), cât și un port ethernet care suportă maxim 300 Mbps și un modul bluetooth 4.2 BLE, a fost posibil ca diverse accesorii să poată fi conectate fie prin aceste module, fie prin cele 4 porturi USB, conectorul HDMI, MIPI DSI (display serial interface), MIPI CSI (camera serial interface) sau cei 40 pini GPIO.

Un alt aspect care a influențat pozitiv alegerea unui microcontroler Raspberry Pi a fost faptul că alimentarea sistemului se face la 5 V și 2,5 A sau cu opțiunea PoE (power over ethernet), iar temperatura sa de operare este între 0 °C și 50 °C.

S-a optat pentru folosirea sistemului Raspberry împreună cu un modul cameră de luat vederi pentru a realiza recunoașterea fructelor coapte și pentru a determina poziția acestora față de prehensur. Realizarea acestor acțiuni s-a prezentat în detaliu în Capitolul 5.

Raspberry Pi controlează modulul cameră de luat vederi în scopul de a identifica fructul copt pe o plantă și de a determina ecuațiile de mișcare ale prehensurului pentru a se poziționa pe fruct și a-l culege.

În acest scop, a fost realizat un program în Python [93], care rulează pe Raspberry Pi OS.



Figura 7.10 Raspberry Pi 3B+ (după [95])

Conexiunile posibile pe Raspberry Pi sunt detaliate în Figura 7.11.

Deși Raspberry Pi permite conectarea motoarelor brațului robotic și controlul acestora, totuși modalitatea de programare este mai greoaie. Din acest motiv, controlul motoarelor a fost făcut prin placa Arduino. Comunicarea dintre Raspberry (care calculează mișcarea motoarelor brațului robotic) și Arduino (care efectuează mișcarea) se face prin trimiterea (de la Raspberry la Arduino) a unui mesaj de forma

M N A B C

unde M este unul dintre servomotoarele brațului (MB1, MB2, MB3, MB4, MB5), N este numărul servomotorului (MB1=1,MB2=2,MB3=3,MB4=4,MB5=5), iar ABC este un număr de 3 cifre care semnifică unghiul la care se va roti servomotorul. De exemplu, mesajul M2030 semnifică faptul că servomotorul 2 (MB2) va efectua o mișcare astfel încât brațul său să ajungă la 30°.

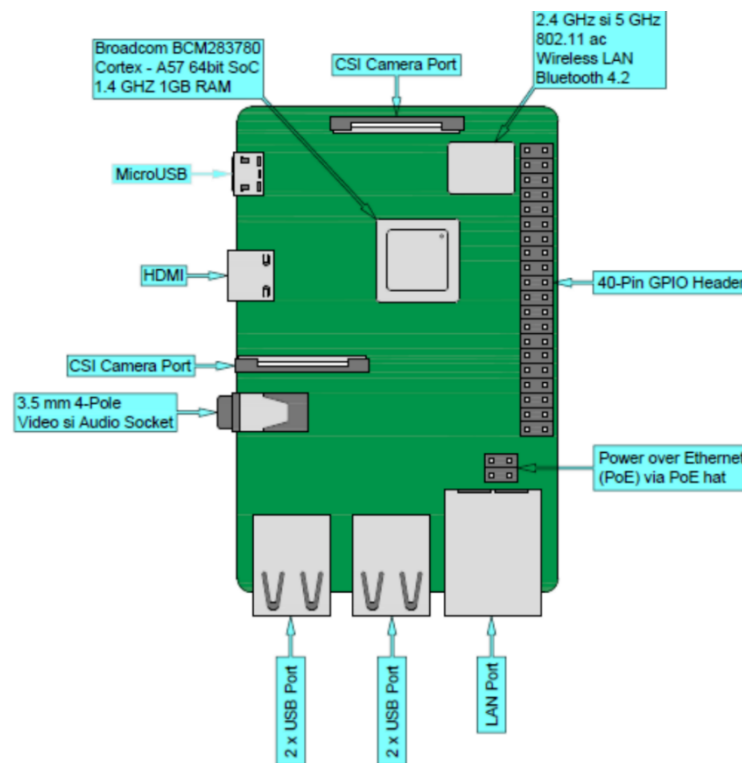


Figura 7.11 Raspberry Pi 3B+ - schema conectorilor

Sistemul este alimentat de la un acumulator staționar TED GBS12505 produs de GBS (Figura 7.12). Acesta are o tensiune de 12 V și o putere de 5,05 Ah [133], cu tehnologie plumb acid. La alegerea acestui acumulator s-au avut în vedere tensiunea necesară pentru asigurarea bunei funcționări a sistemului, dimensiunile acestuia de 90 x 70 x 101 mm (lungime x lățime x înălțime) și greutatea sa de 1,45 kg.



Figura 7.12 Acumulator TED GBS12505 (după [133])

Acumulatorul-sursă alimentează toate motoarele sistemului, completat de un modul regulator de tensiune de la 12 V la 5 V. Regulatorul de tensiune [113] suportă o tensiune de intrare între 4,5 V și 30 V, tensiunea la ieșire fiind ajustabilă, între 0,8 V și 30 V, iar curentul la ieșire poate lua valori între 0,1 A și 5 A, la o frecvență de 300 kHz. Temperatura de lucru a acestui regulator este între -40 °C și +85 °C, așadar nu există riscul deteriorării acestuia în timpul funcționării efective a robotului în seră.

De asemenea, sistemul de alimentare este prevăzut cu un întrerupător MTS 102 [112] cu 2 poziții și 3 pini.

Sistemele Raspberry Pi și Arduino sunt alimentate de o baterie externă de 20000 mAh. Aceasta are 3 ieșiri USB prin care trece un curent de maxim 2,1 A și o greutate de 400 g.

În fine, cele două lămpi ajutătoare sunt alimentate de un set de 3 baterii AA.

7.3.3 Brațul robotic propriu-zis

Brațul robotic propriu-zis [4], [104] este construit pe o platformă rotativă Sain Smart [105] (Figura 7.13) cu diametrul de 120 mm.

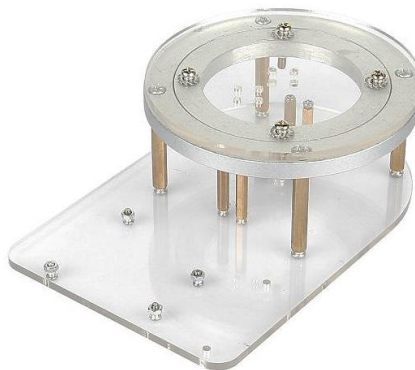


Figura 7.13 Platformă rotativă Sain Smart (după [105])

În concepția originală (Figura 7.14), brațul are o construcție metalică, cu lungimea de maxim 47 cm, iar cele 5 servomotoare care îl operează pot fi servomotoare

CERCETĂRI PRIVIND PROIECTAREA, INTEGRAREA ȘI OPTIMIZAREA COMPONENTELOR
ÎNTR-UN ECHIPAMENT TEHNOLOGIC ROBOTIZAT DESTINAT LUCRĂRILOR ÎN SERE ȘI
SOLARII

MG995, sau de construcție similară. Cele 5 grade de libertate asigură o deplasare flexibilă a brațului robotic, astfel încât acesta să poată apuca obiecte din orice direcție.



Figura 7.14 Brațul robotic original, cu 5 grade de libertate (după [4])

Pentru a putea ajunge la fruct și a-l desprinde de plantă, brațul robotic a fost modificat ca în Figura 7.15, iar motoarele care îl acționează au fost înlocuite cu motoare de putere mai mare.

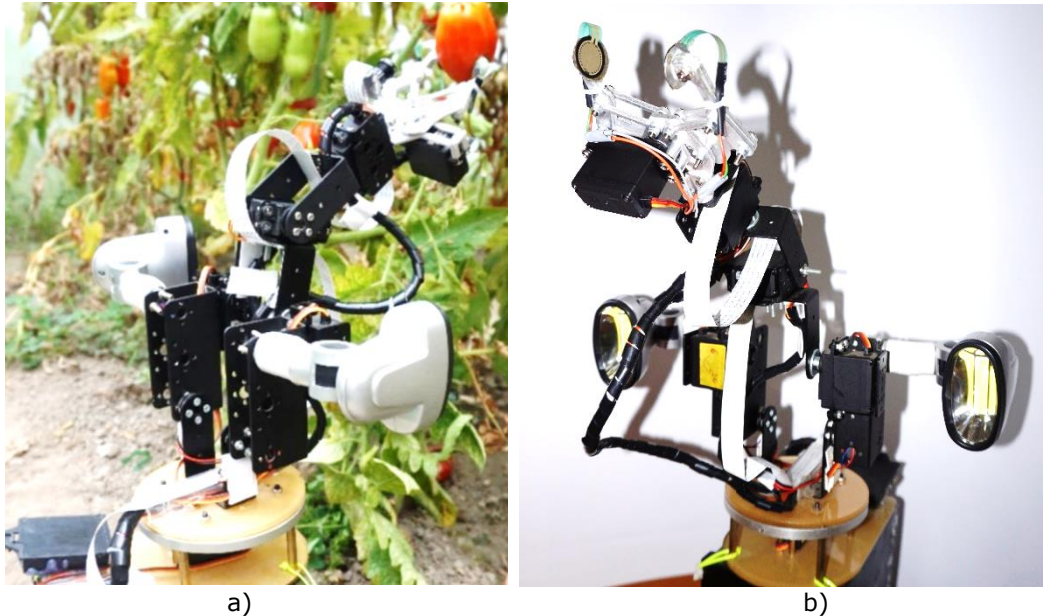


Figura 7.15 Brațul robotic modificat: a) vedere din spate, în seră, b) vedere din față, în condiții de laborator (concepție proprie)

Vârful brațului robotic este dotat cu un prehensor acționat de un servomotor MG995. De asemenea, pe prehensor au fost montați senzori de forță pentru a măsura variația forței de strângere asupra roșiei. Construcția acestor componente și modul lor de funcționare a fost descris în Capitolul 4, subcapitolul 4.4.

Celelalte 5 servomotoare (a căror dispunere pe sistemul RADAR 00 a fost prezentată în Figura 7.2) care asigură mișcarea brațului robotic sunt servomotoare FS5115M [83], [91]. Aceste servomotoare au o dimensiune de 40,8 x 20,1 x 38 mm și o greutate de 55 g (Figura 7.16). Unghiul de rotație este de 180° în sens invers acelor de ceasornic. Comanda se face analogic, cu semnal PWM (care poate lua valori între 500 și 2500 microsecunde). Tensiunea de alimentare poate varia de la 4,8 V la 6 V. Viteza în gol este de 0,16 s pentru parcurgerea a 60°, la tensiunea de 6 V.



Figura 7.16 Servomotor FS5115M (după [91])

Aceste servomotoare au fost alese pentru puterea lor, având cuplul în blocare între $0,14 \text{ kg} \cdot \text{m}$ la $4,8 \text{ V}$ și $0,155 \text{ kg} \cdot \text{m}$ la 6 V , ceea ce asigură stabilitatea mișcării brațului robotic atunci când apucă roșia și o deplasează.

Tot pe brațul robotic, deasupra prehensorului, se află modulul cameră de luat vederi. Acesta este conectat la Raspberry Pi și are rol în identificarea fructelor coapte pe plantă. Descrierea acestui modul și modul lui de funcționare au fost realizate în amănunțime în Capitolul 5.

Sistemul de detectare a fructelor coapte se bazează pe ipoteza că fructele pot fi identificate ușor în seră. Corectitudinea identificării depinde de claritatea imaginii, care, la rândul ei, depinde de condițiile de iluminat din seră. Pentru a îmbunătăți claritatea imaginilor preluate de modulul cameră de luat vederi, s-a ales o soluție constructivă ieftină, de a monta două lămpi cu LED ajutătoare, care să ilumineze spațiul de lucru. Aceste două lămpi au fost montate în stânga și în dreapta brațului robotic și sunt alimentate separat cu 4 baterii AA.

7.4 Sistemul de mobilitate specific în seră

Sistemul de mobilitate specific în seră are ca obiectiv deplasarea robotului în seră. Acesta se face după schema logică prezentată în Figura 7.17.

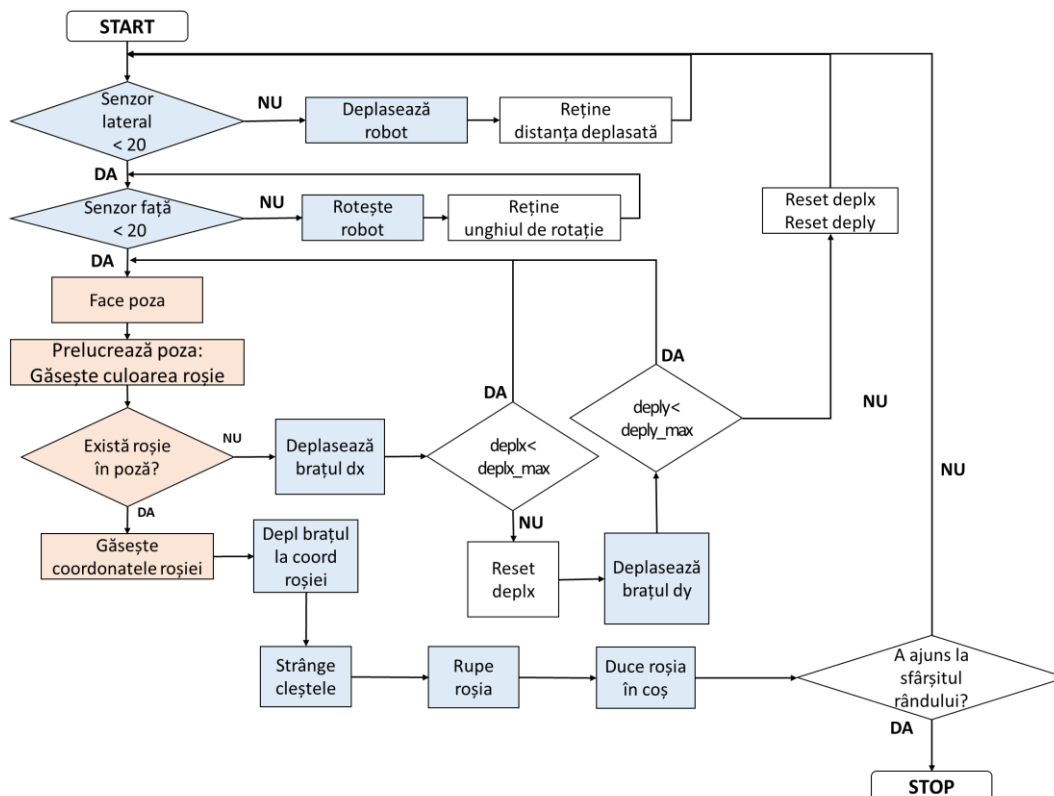


Figura 7.17 Schema logică pentru deplasarea robotului în seră

Robotul este poziționat la începutul unui rând. Acesta înaintează până când senzorul lateral detectează o tulpină. În momentul în care este detectată o tulpină, motorul MB1 rotește brațul robotic până când senzorul față indică o distanță a brațului robotic față de plantă mai mică decât o distanță presetată (aceasta a fost determinată experimental la 20 cm).

Atunci când brațul robotic este poziționat, se realizează o comunicare între Arduino și Raspberry Pi. Raspberry Pi pornește camera de luat vederi și o folosește pentru a culege o imagine. Această imagine este apoi prelucrată pentru a detecta petele de culoare roșie (practic, pentru a detecta roșia). Rutina efectuată sub comanda Raspberry Pi este prezentată în Figura 5.5 și presupune 3 faze: rutina de prelucrare a unei imagini, rutina de determinare a coordonatelor unui fruct copt și rutina de calcul a mișcării brațului robotic până la fruct.

În continuare, brațul robotic efectuează mișcarea până la fructul copt, îl apucă apoi îl desprinde de pe tulpină. Roșia este depozitată într-un coș ale cărui coordonate față de platformă sunt cunoscute și, în caz că robotul nu a ajuns la sfârșitul rândului, se reia procesul de căutare a unei plante și a unui fruct copt.

Secvența de programare a mișcării în Arduino IDE este:

```
void loop(){
  unsigned long distF;
  unsigned long distS;
  int Stare;
  int ff;
  Stare=0;
  for (f=0;f<=4;f++){
    indata[f]=' ';
  }
  if (Serial.available(>0){
    Serial.readBytes(indata,6);

    int vUnghi=0;
    if (indata[0]==68){ // 68=D deplasare
      if (indata[1]==70){ // 70=F front
        vUnghi=((indata[2]-48)*10)+(indata[3]-48);
        for (ff=1;ff<=vUnghi;ff++){
          Fata (29);
          delay(30);
        }
        Serial.print("OK");
      }
      if (indata[1]==66){ // 66=B back
        vUnghi=((indata[2]-48)*10)+(indata[3]-48);
        for (ff=1;ff<=vUnghi;ff++){
          Spate (29);
          delay(30);
        }
      }
    }
  }
}
```

```
Serial.print("OK");
}
if (indata[1]==76){ // 76=L left
vUnghi=((indata[2]-48)*10)+(indata[3]-48);
for (ff=1;ff<=vUnghi;ff++){
Stanga (100);
delay(30);
}
Serial.print("OK");
}
if (indata[1]==82){ // 82=R right
vUnghi=((indata[2]-48)*10)+(indata[3]-48);
for (ff=1;ff<=vUnghi;ff++){
Dreapta (100);
delay(30);
}
Serial.print("OK");
}
}

if (indata[0]==83){ // 83=S senzori
if (indata[1]==70){ // 70=F fata
distF=0;
distF=Senzor_Fata();
Serial.print(distF);
}
if (indata[1]==83){ // 83=S stanga
distF=0;
distF=Senzor_Stanga();
Serial.print(distF);
}
}

if (indata[0]==81) { // 80=P 81=R
Stare=Prinde_Rosie();
if (Stare = 1){
Serial.print("OK");
}else{
Serial.print("NO");
}
}

if (indata[0]==80) { // 80=P
vUnghi=0;
vUnghi=((indata[1]-48)*100)+((indata[2]-48)*10)+(indata[3]-
48);
Serial.println(vUnghi);
Stare=Prinde_Rosie_test(vUnghi);
if (Stare = 1){
Serial.print("OK");
}else{
```

```
        Serial.print("NO");
    }
}

if (indata[0]==77){ // 77=M
    if (indata[1]==49){ // 49=1 motor baza la
        vUnghi=((indata[2]-48)*100)+((indata[3]-48)*10)+(indata[4]-48);
        Miscare_Motor_Baza(vUnghi);
        Serial.print("OK");
    }
    if (indata[1]==50){ // 50=2 motor brat 1 si 2 la
        vUnghi=((indata[2]-48)*100)+((indata[3]-48)*10)+(indata[4]-48);
        Miscare_Motor_Brat1(vUnghi);
        Serial.print("OK");
    }
    if (indata[1]==51){ // 51=3 motor brat 3 la
        vUnghi=((indata[2]-48)*100)+((indata[3]-48)*10)+(indata[4]-48);
        Miscare_Motor_Brat2(vUnghi);
        Serial.print("OK");
    }
    if (indata[1]==52){ // 52=4 motor rupere la
        vUnghi=((indata[2]-48)*100)+((indata[3]-48)*10)+(indata[4]-48);
        Miscare_Motor_Rupe(vUnghi);
        Serial.print("OK");
    }
    if (indata[1]==53){ // 53=5 motor cleste la
        vUnghi=((indata[2]-48)*100)+((indata[3]-48)*10)+(indata[4]-48);
        Miscare_Motor_Cleste(vUnghi);
        Serial.print("OK");
    }
}
}
```

În această secvență de program, s-au folosit datele culese de la cei doi senzori ultrasonici. Funcțiile care culeg datele de la cei doi senzori ultrasonici sunt

a) Pentru citirea senzorului-față

```
unsigned long Senzor_Fata (){
    unsigned long t1;
    unsigned long t2;
    unsigned long pulse_width_F;
    unsigned long cmF;
    digitalWrite(TRIG_PINF, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TRIG_PINF, LOW);
    while ( digitalRead(ECHO_PINF) == 0 );
    t1 = micros();
```

```

        while ( digitalRead(ECHO_PINF) == 1);
        t2 = micros();
        pulse_width_F = t2 - t1;
        cmF = pulse_width_F / 58.0;
        return cmF;
    }
b) Pentru citirea senzorului lateral
unsigned long Senzor_Stanga(){
    unsigned long t1;
    unsigned long t2;
    unsigned long pulse_width_S;
    unsigned long cmS;
    digitalWrite(TRIG_PINS, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TRIG_PINS, LOW);
    while ( digitalRead(ECHO_PINS) == 0 );
    t1 = micros();
    while ( digitalRead(ECHO_PINS) == 1);
    t2 = micros();
    pulse_width_S = t2 - t1;
    cmS = pulse_width_S / 58.0;
    return cmS;
}

```

7.5 Calculul optimizării deplasării la recoltat

Comanda deplasării brațului robotic la recoltat este realizată printr-un program scris în Python care rulează pe Raspberry Pi.

Pentru a determina deplasarea brațului robotic, este nevoie de prelucrarea a două imagini. Se realizează prima imagine, se prelucrează și se ajustează, apoi robotul se deplasează o distanță δ (în cazul nostru, $\delta = 0,05\text{ m}$), se realizează a doua imagine care se prelucrează și se ajustează. Pe baza acestor calcule se determină distanța până la roșie, adică coordonatele spațiale (x,y,z) la care trebuie să ajungă prehensorul. De asemenea, se transmit coordonatele mișcării prehensorului.

Între cele două momente în care se face poza, programul este oprit pentru un număr de secunde suficient pentru a modifica poziția relativă a brațului robotic față de roșie și a-l centra pe roșie.

În funcție de lățimea reală aleasă pentru o roșie, se calculează deplasarea pe axa X pe care ar trebui să o facă brațul robotic (sau senzorul camerei) pentru a se centra pe roșie (Figura 7.18). Aceasta se calculează folosind din relația următoare, presupunând cunoscute valorile AB (lățimea imaginii) și DE (lățimea roșiei):

$$\frac{\text{deplasare } X}{\text{latimea reala}} = \frac{\text{latime rosie}}{\text{latime imagine} - xcentru} \quad (7.1)$$

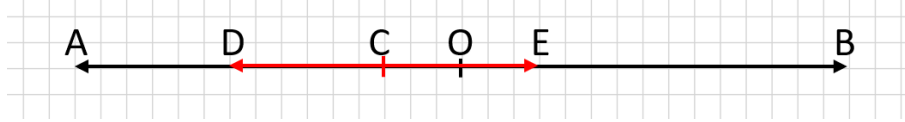


Figura 7.18 Determinarea deplasării brațului robotic pentru a se centra pe axa roșiei

În Figura 7.18 am notat cu O centrul unei linii din imaginea culeasă de către modulul cameră și cu C centrul roșiei pe linia respectivă. Deplasarea pe X a brațului robotic, $depl_x$, este CO . Între segmentele orizontale din imagine au loc relațiile:

$$OA = OB = \frac{\text{latime imagine}}{2} \quad (7.2)$$

$$CD = CE = \frac{\text{latime rosie}}{2} \quad (7.3)$$

Deplasarea pe Y (Figura 7.19) se obține în mod similar cu deplasarea pe X .

Pentru a determina poziția roșiei în spațiu, se folosesc datele culese prin prelucrarea celor 2 imagini realizate, obținându-se:

$$\frac{\text{distanța}}{\delta} = \frac{\text{inaltimea reala} - \text{inaltimea în poza 2}}{\text{inaltimea în poza 2} - \text{inaltimea în poza 1} + 1} \quad (7.4)$$

Din rațiuni computaționale, pentru a evita situațiile neplăcute generatoare de erori legate de împărțirea cu 0, am considerat oportun să adăugăm 1 la numitorul fracției (care nu afectează semnificativ valoarea calculelor).

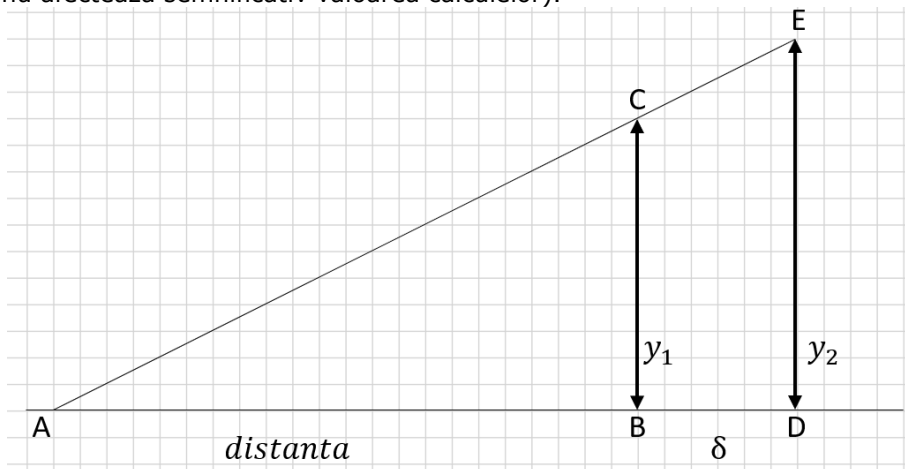


Figura 7.19 Calculul distanței până la roșia coaptă

Din asemănarea $\triangle ABC$ și $\triangle ADE$ și cu notațiile din Figura 7.19, rezultă

$$\frac{AB}{BD} = \frac{y_1}{y_2 - y_1} \quad (7.5)$$

de unde, ținând cont că $BD = \delta = 0,05 \text{ m}$ este cunoscut, rezultă distanța până la roșia coaptă:

$$\text{distanța} = \delta \frac{y_1}{y_2 - y_1} \quad (7.6)$$

Secvențele de cod aferente procesului de identificare a roșiei și a distanței până la aceasta sunt scrise în Python și rulate pe Raspberry Pi. Acestea sunt:

- a) Pentru a culege o imagine cu ajutorul modulului cameră de luat vederi:

```
def fa_poza(ii):
    cam=PiCamera()
    time.sleep(2)
    cam.iso=200
    cam.brightness=60
    cam.contrast=30
    cam.resolution = (320,240)
    cam.rotation=180
    cam.capture("img"+str(ii)+".bmp")
    cam.close()
```

- b) Pentru a extrage pixelii de culoare roșie din imaginea culeasă (conform algoritmului detaliat în Capitolul 5):

```
def prel_poza(ii):
    fa_poza(ii)
    imag=cv2.imread("img"+str(ii)+".bmp",1)
    cv2.imshow("Poza "+str(ii)+".a",imag)
    cv2.waitKey(2)
    height, width, c = imag.shape
    for x in range(0, width):
        for y in range(0, height):
            blue, green, red = imag[y, x]
            if red>120 and red-green > 30 and red-blue > 30:
                imag[y, x] = 0, 0, 255
            else:
                imag[y, x] = 0, 0, 0
    cv2.imshow("Poza "+str(ii)+".b",imag)
    cv2.waitKey(2)
```

- c) Pentru a ajusta imaginea culeasă și a se centra pe roșie

```
def ajusteaza_imag(ii):
    imag=cv2.imread("img"+str(ii)+".bmp",1)
    height, width, c = imag.shape
    xmin1 = width
    xmax1 = 0
    ymin1 = height
    ymax1 = 0
    xcentru1 = 0
    ycentru1 = 0
    latime1 = 1
    inaltime1 = 1

    for y in range(1,height-1):
        for x in range(1,width-1):
            blue1, green1, red1 = imag[y,x-1]
            blue2, green2, red2 = imag[y,x]
            blue3, green3, red3 = imag[y,x+1]
            if red1==0 and red2==255 and red3==255:
                xmin1=x
```

```

else:
    if red1==255 and red2==255 and red3==0:
        xmax1=x
    if (xmax1-xmin1)>latime1:
        latime1=xmax1-xmin1
        xcentru1=xmin1+(latime1/2)
xmin1=xcentru1-(latime1/2)
xmax1=xcentru1+(latime1/2)

deplx = latimereal*(width/2-xcentru1)/latime1

for y in range(1,height-1):
    blue4, green4, red4 = imag[ycentru1,x-1]
    blue5, green5, red5 = imag[ycentru1,x]
    blue6, green6, red6 = imag[ycentru1,x+1]
    if red4==0 and red5==255 and red6==255:
        ymin1=y
    else:
        if red4==255 and red5==255 and red6==0:
            ymax1=y
    if (ymax1-ymin1)>inaltime1:
        inaltime1=ymax1-ymin1
        ycentru1=ymin1+(inaltime1/2)

deply = (height/2-ymin1-(xmax1-
xmin1)*inaltimereal/latimereal/2)*latimereal/latime1
return (latime1, inaltime1, deplx, deply)

```

- d) Pentru a calcula distanța la care se află roșia față de modulul cameră, respectiv prehensor

```

# se culege o imagine și se calculează coordonatele roșiei
prel_poza(1)
lat1, inalt1, dx1, dy1 = ajusteaza_imag(1)

# se deplasează brațul robotic cu -deplx pe orizontală, respectiv
# cu -deply pe verticală
#se deplasează platforma cu delta = 5 cm înainte

#se culege a doua imagine și se calculează noile coordonate ale
#roșiei
prel_poza(2)
lat2, inalt2, dx2, dy2 = ajusteaza_imag(2)

dist = delta*(inaltimereal-inalt2)/(inalt2-inalt1+1)

```

Brațul robotic se deplasează o dată cu deplasarea platformei P. Deplasarea cu o distanță *dist* presupune ca motoarele platformei, MP1, MP2, MP3, MP4 să se deplaseze simultan înainte un interval de timp suficient pentru a acoperi distanța.

Cunoscând diametrul roților (6,5 cm), se determină distanța parcursă atunci când roata parcurge o rotație întreagă: 20,41 cm. Așadar, pentru a deplasa platforma cu 5 cm, este nevoie ca motoarele platformei să efectueze 0,2449 rotații complete, ceea

ce presupune un timp de mișcare care variază în funcție de viteza roților platformei în condiții reale, exprimată în rotații / minut.

În mod similar, timpul de mișcare pentru ca prehensorul să ajungă la roșie depinde de distanța calculată până la plantă și de viteza (în rotații / minut) a roților platformei.

7.6 Culegerea efectivă a roșiei

Pentru culegerea efectivă a roșiei, este necesar ca distanțele calculate în programul de identificare a roșiei să fie transformate în unghiuri după care se mișcă motoarele.

Pentru realizarea mișcării pe orizontală, respectiv verticală, este necesar să se convertească distanțele $deplx$, respectiv $deply$ în unghiuri de mișcare pentru servomotoare, așa cum reiese din Figura 7.20 și Figura 7.21. În funcție de deplasarea pe verticală, $deply$, se calculează unghiurile de mișcare θ_{23} al servomotorului MB4 și θ_{12} al servomotoarelor MB2 și MB3. Cunoscând aceste unghiuri și valoarea deplasării pe orizontală, $deplx$, se poate calcula unghiul de deplasare φ al servomotorului MB1.

Se cunosc lungimile segmentelor S1, S2, S3 ale brațului robotic.

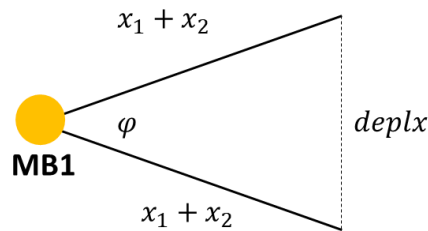


Figura 7.20 Relații între deplasarea pe orizontală și unghiurile servomotoarelor

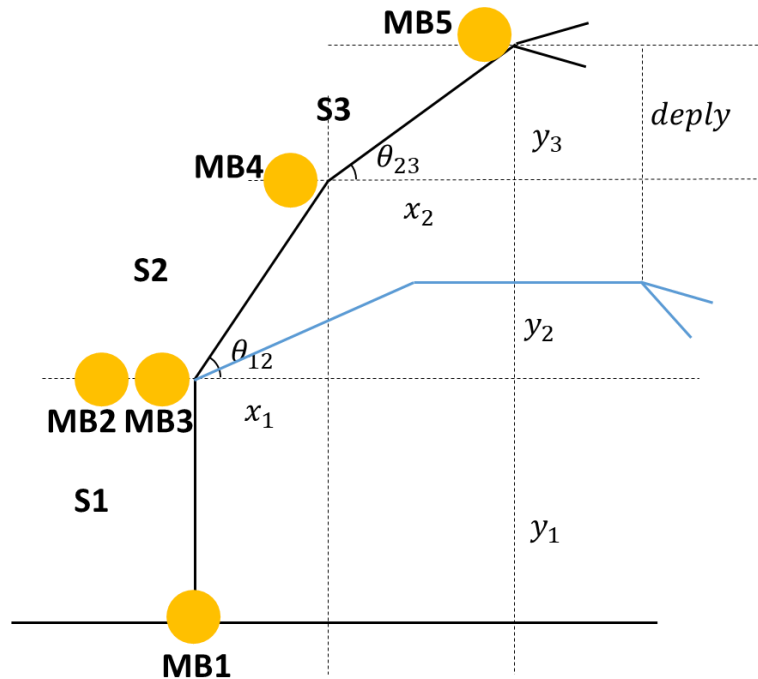


Figura 7.21 Relații între deplasarea pe verticală și unghiurile servomotoarelor

Algoritmul de calcul al unghiurilor este următorul:

Intrări:

- unghiurile curente, θ_{12} și θ_{23} pe care segmentul S2, respectiv S3 îl fac cu orizontala,
- valoarea deplasării pe verticală $deply$ și valoarea deplasării pe orizontală $deplx$
- proiecțiile pe verticală ale celor 3 segmente ale brațului robotic vor fi:

$$y_1 = S_1 \tag{7.7}$$

$$y_2 = S_2 \sin \theta_{12} \tag{7.8}$$

$$y_3 = S_3 \sin \theta_{23} \tag{7.9}$$

Ieșiri:

- unghiurile $\theta_{12\text{ nou}}$, $\theta_{23\text{ nou}}$, φ_{nou}

Algoritm:

- Dacă $deply < S_3$:
 - calculează valoarea noului unghi la care va trebui deplasat brațul servomotorului:

$$\theta_{12\text{ nou}} = \theta_{12} \tag{7.10}$$

$$\theta_{23 \text{ nou}} = S_3 \arcsin \frac{y_3 - \text{deply}}{S_3} \quad (7.11)$$

- o calculează proiecțiile pe orizontală a segmentelor S_2 respectiv S_3 vor fi:

$$x_1 = S_2 \cos \theta_{12} \quad (7.12)$$

$$x_2 = S_3 \cos \theta_{23 \text{ nou}} \quad (7.13)$$

- Dacă $S_3 < \text{deply} < S_2 + S_3$:
 - o calculează valoarea noului unghi la care va trebui deplasat brațul servomotorului

$$\theta_{12 \text{ nou}} = S_2 \arcsin \frac{y_2 + y_3 - \text{deply}}{S_2} \quad (7.14)$$

$$\theta_{23 \text{ nou}} = 0 \quad (7.15)$$

- o calculează proiecțiile pe orizontală ale segmentelor S_2 respectiv S_3 vor fi:

$$x_1 = S_2 \cos \theta_{12 \text{ nou}} \quad (7.16)$$

$$x_2 = S_2 \quad (7.17)$$

- Calculează unghiul φ cu care servomotorul MB1 se va roti în jurul axei verticale:

$$\varphi_{\text{nou}} = 2 \arcsin \frac{\text{deplx}}{(x_1 + x_2)} \quad (7.18)$$

Dimensiunile fizice ale segmentelor brațului robotic ($S_1 = 0,15$ m, $S_2 = S_3 = 0,065$ m, înălțimea servomotorului MB5 = 0,038 m, înălțimea modului cameră = 0,005 m), împreună cu dimensiunile imaginii capturate de către modulul cameră (0,4 m lățime x 0,3 m înălțime, cu camera poziționată în centrul imaginii), asigură faptul că deplasarea celor două segmente ale brațului robotic nu poate depăși semiînălțimea imaginii culese.

Atunci când roșia a fost identificată, degetele prehensorului se deschid, iar brațul robotic efectuează o mișcare care poziționează axa centrală a prehensorului pe axa roșiei.

Apoi, degetele prehensorului se strâng, până când forța de apăsare citită de senzori atinge o valoare maximă (determinată conform experimentului prezentat în Capitolul 6).

Atunci când s-a realizat strângerea (Figura 7.23), servomotorul MG995 se rotește pentru a desprinde fructul de tulpină. O dată desprinsă roșia de pe tulpină, RADAR 00 efectuează manevre pentru a duce roșia la coșul în care se strânge recolta, depune roșia în coș și se întoarce, pe rândul curent, la coordonate plantei de unde a cules ultima roșie.

Funcțiile care realizează efectiv mișcarea brațului robotic sunt:

- Funcția care permite mișcarea motorului MB1 la un unghi
- ```
void Miscare_Motor_Baza(int Unghi){
```

- ```
int pos;
int deplasare;
pos = mBaza.read();
if (Unghi>pos){
    deplasare=Unghi-pos;
}else{
    deplasare=pos-Unghi;
}
deplasare=deplasare*15;
mBaza.write(Unghi);
delay(deplasare);
}
```
- b) Funcția care permite mișcarea motoarelor MB2 și MB3 la un anumit unghi
- ```
void Miscare_Motor_Brat1(int Unghi){
 int pos;
 int deplasare;
 int Unghi2;
 pos = mBratS.read();
 if (Unghi>pos){
 deplasare=Unghi-pos;
 }else{
 deplasare=pos-Unghi;
 }
 deplasare=deplasare*15;
 Unghi2=180-Unghi;
 mBratS.write(Unghi);
 mBratD.write(Unghi2);
 delay(deplasare);
}
```
- c) Funcția care permite deplasarea motorului MB4 la un anumit unghi
- ```
void Miscare_Motor_Brat2(int Unghi){
    int pos;
    int deplasare;
    pos = mBrat3.read();
    if (Unghi>pos){
        deplasare=Unghi-pos;
    }else{
        deplasare=pos-Unghi;
    }
    deplasare=deplasare*15;
    mBrat3.write(Unghi);
    delay(deplasare);
}
```
- d) Funcția care permite deplasarea motorului MB5 (motorul de rupere) la un anumit unghi
- ```
void Miscare_Motor_Rupe(int Unghi){
 int pos;
 int deplasare;
 pos = mRupe.read();
 if (Unghi>pos){
 deplasare=Unghi-pos;
 }else{
 deplasare=pos-Unghi;
 }
}
```

```
 }
 deplasare=deplasare*15;
 mRupe.write(Unghi);
 delay(deplasare);
}
e) Funcția care deplasează motorul MC (motorul cleștelui) la un anumit
unghi
void Miscare_Motor_Cleste(int Unghi){
 int pos;
 int deplasare;
 if (Unghi<80) Unghi=80;
 if (Unghi>140) Unghi=140;
 pos = mCleste.read();
 if (Unghi>pos){
 deplasare=Unghi-pos;
 }else{
 deplasare=pos-Unghi;
 }
 deplasare=deplasare*15;
 mCleste.write(Unghi);
 delay(deplasare);
}
```

Secvența de cod pentru prinderea roșiei fără a o deteriora (Figura 7.22 și Figura 7.23) este cuprinsă în funcția Prinde\_Rosie(), care nu ia nici un argument, dar returnează un număr întreg:

```
int Prinde_Rosie (){
 int poss;
 int presiune;
 int prins;
 poss = 80;
 prins=0;
 while (poss<140){
 Miscare_Motor_Cleste(poss);
 presiune=Presiune_medie();
 if (presiune<950){
 poss=poss+1;
 prins=0;
 }else{
 poss=140;
 prins=1;
 }
 }
 return prins;
}
```

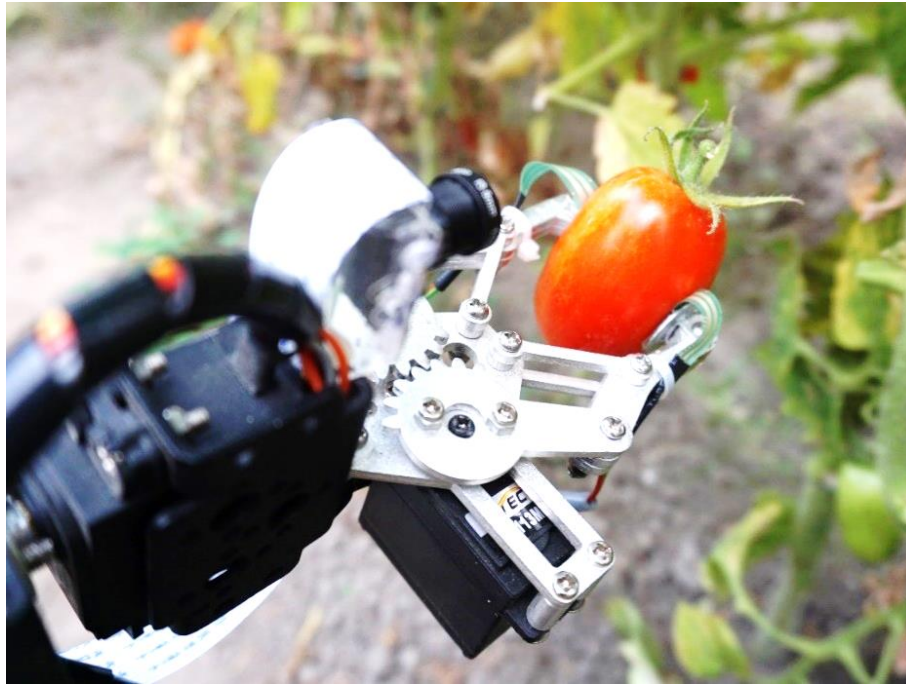




**Figura 7.22** Procesul de prindere a roșiei

În funcția `Prinde_Rosie()` s-a apelat funcția `Presiune_medie()`, care nu ia nici un argument dar returnează un număr întreg (presiunea medie pe roșie):

```
int Presiune_medie(){
 PresC11=analogRead(fsrapin1);
 PresC12=analogRead(fsrapin2);
 return ((PresC11+PresC12)/2);
}
```



**Figura 7.23 Prinderea roșiei fără a o deteriora**

Ulterior prinderii roșiei, aceasta este desprinsă de pețiol prin rotirea servomotorului MB5 cu  $10^\circ$  la stânga și apoi  $10^\circ$  la dreapta (deoarece roșiile coapte se desprind ușor de pețiol).

Motoarele platformei sunt acționate apoi în sens invers sensului în care au fost acționate pentru deplasarea până la plantă și poziționarea pentru a culege roșia, până când robotul ajunge la coșul în care sunt depozitate roșiile. În acel moment, degetele prehensurului se deschid, roșia ajunge în coș, iar ETR reia rutina de căutare și culegere a fructelor coapte din punctul de unde a determinat ultima dată un fruct copt.

## **7.7 Concluzii parțiale**

Elementele de identificare a fructelor coapte și procedeul de culegere a lor fără a le deteriora au fost integrate într-un ETR specializat pentru culesul roșiilor în condiții de seră.

În capitolul de față au fost prezentate componentele folosite pentru realizarea unui astfel de ETR și justificarea alegerii acestora din punct de vedere funcțional.

În plus, a fost prezentat sistemul de mobilitate specific condițiilor în seră, rutina de optimizare a distanței la recoltat și de culegere efectivă a roșiilor în seră. Pentru toate acestea am prezentat algoritmi și elemente de cod, realizate în concepție proprie, pentru a integra toate aceste aspecte în prototipul RADAR 00.

## Concluzii parțiale

---

Fiind vorba de un prototip, au fost dezvoltate acele funcții considerate importante pentru a recolta roșii: identificarea fructelor, calculul distanței până la fructul copt și prinderea fructelor fără a le deteriora.

ETR funcționează într-o seră, în care se cunoaște dispunerea geometrică a plantelor (numărul de rânduri, numărul de plante de pe un rând, distanța aproximativă între rânduri și între plante) și, de asemenea, se presupune că în deplasarea sa ETR nu întâmpină obstacole (ca de exemplu pietre, bulgări de pământ sau gropi). Din această cauză, este suficient ca distanța dintre șasiu și sol să fie de 13 mm.

În această variantă, ETR culege roșia și o transportă într-un recipient (coș). Se are în vedere folosirea de motoare mai puternice pentru platformă, astfel încât să fie posibilă tractarea unui coș în care să se depoziteze fructele culese.

O variantă îmbunătățită a prototipului propus va ține cont și de posibilitatea existenței obstacolelor în seră, prin creșterea distanței dintre șasiu și sol.

De asemenea, se va avea în vedere o variantă în care ETR poate culege fructe aflate la distanță mai mare – prin prelungirea segmentelor brațului robotic și adaptarea servomotoarelor în consecință.

## **8 CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE. PERSPECTIVE VIITOARE**

### **8.1 Concluzii generale**

Nevoile locale de hrană ale populației au o rezolvare strâns legată de dinamica pieței muncii în domeniul agricol. Nevoia de muncitori care să presteze activități în domeniul agricol poate fi soluționată folosind ETR care să îndeplinească o parte din aceste munci agricole.

Pornind de la această nevoie, obiectivul prezentei cercetări a fost de a optimiza, din punct de vedere constructiv și funcțional, un ETR care să recolteze tomate în sere.

Cercetările s-au axat pe identificarea nevoilor producătorilor și pe optimizarea unui ETR folosit la recoltat din punct de vedere al identificării fructelor coapte și al culegerii acestora.

În cadrul cercetărilor, am descoperit că proprietarii de sere nu cunosc avantajele asocierii și a utilizării de roboți agricoli, chiar dacă aplicarea acestor tehnologii este oportună. Aceasta a sugerat ideea realizării unor show-room-uri în care aceste echipamente să fie prezentate.

De asemenea, au fost identificate preferințele producătorilor privind utilizarea roboților la muncile agricole – ceea ce a fundamentat cercetarea prezentă, de a realiza un ETR pentru culegerea fructelor coapte.

Un aspect important este identificarea corectă a fructelor – care a fost studiat și pentru care au fost propuse soluții originale. De asemenea, este importantă culegerea fructelor fără a le deteriora. Interacțiunea dintre prehensor și fructe și fezabilitatea acestora pentru diverse soiuri de roșii au fost studiate.

În final, s-au prezentat aspecte constructive ale ETR, integrarea și optimizarea elementelor de prehensiune și optice într-o structură funcțională.

Din punct de vedere al maturității tehnologice, principiile de bază (TRL 1) au fost observate în [70] și [68]. Pe baza acestora a fost formulat conceptul tehnologic de RADAR 00 (TRL 2). Lucrarea de față prezintă demonstrarea conceptului la nivel experimental (TRL 3) și validarea componentelor în condiții de laborator (TRL 4). De asemenea, ansamblul RADAR 00 a fost validat în condiții relevante de funcționare în sera proprie, atingând astfel nivelul de maturitate tehnologică TRL 5.

### **8.2 Contribuții personale**

Activitatea de cercetare teoretică și experimentală desfășurată în cadrul prezentei pregătiri doctorale a condus la realizarea mai multor contribuții personale dintre care se menționează, în continuare, câteva structurate în contribuții teoretice, contribuții experimentale și contribuții aplicabile industrial.

### 8.2.1 Contribuții teoretice

- Conceperea, aplicarea și interpretarea unui chestionar pentru analiza cerințelor pieței privind posibilitățile de utilizare a sistemelor robotizate în sere. Prin aceasta s-au atins obiectivele secundare OS1 și OS2.
- Analiza critică a principalelor sisteme de prehensiune utilizate în agricultură. Prin aceasta s-a atins obiectivul secundar OS3.
- Elaborarea unui model conceptual integrat de ETR. Prin aceasta s-a atins obiectivele secundare OS4, OS5, OS6.

### 8.2.2 Contribuții experimentale

- Analiza cerințelor pieței privind posibilitățile de utilizare a sistemelor robotizate în serele din zona de Vest a României
- Analiza cerințelor pieței privind particularitățile elementelor de prehensiune utilizate în sere
- Conceperea și optimizarea funcțională a unui ETR care să culeagă roșii
- Determinarea unei soluții originale de identificare corectă a roșiilor coapte. Aceasta contribuie la realizarea obiectivului OS4.
- Determinarea unei soluții optime privind interacțiunea dintre prehensur și fructele coapte. Aceasta contribuie la realizarea obiectivului OS5.
- Realizarea în concepție originală a brațului robotic, care contribuie la realizarea obiectivului OS6.
- Studiul dependențelor între forța medie aplicată,  $F$  și unghiul de strângere,  $U$ , deformarea relativă  $\Delta D_{rel}$ , înălțimea medie  $H_{med}$  și diametrul mediu  $D_{med}$  al roșiilor (formulele (6.15), (6.16), (6.17)).
- Determinarea de limite superioare pentru forța medie de apăsare în cazul a 15 soiuri și hibrizi de roșii produse de SCDL Buzău, în cazul în care deformarea relativă a fructelor în urma interacțiunii cu prehensurul nu depășește o anumită valoare prag (0,1%, 0,2% sau 0,3%).
- Determinarea de limite superioare pentru forța medie de apăsare în cazul roșiilor San Marzano atunci când deformarea relativă a fructelor coapte la cules se încadrează între 0,2% și 0,6%.

### 8.2.3 Contribuții aplicabile industrial

- Soluția practică de identificare a fructelor coapte, aplicabilă în ETR
- Soluția de deplasare a brațului robotic pentru a culege un fruct copt
- Soluții privind integrarea și optimizarea sistemelor de identificare a fructelor coapte și de interacțiune dintre prehensur și fruct într-o structură funcțională
- Stabilirea toleranțelor utilizate în proiectarea, controlul și comanda sistemelor de prehensiune
- Echipamentul tehnologic robotizat pentru culegerea de roșii

## 8.3 Perspective de dezvoltare ulterioară a cercetării

Prototipul de ETR realizat pentru recoltarea roșiilor – RADAR 00 – este un prototip relativ ieftin și ușor de întreținut din punct de vedere al programării. Acesta

funcționează în sere în care mediul este parțial controlat, fiind potrivit pentru demonstrații la scară mică.

Din punct de vedere al maturității tehnologice, conceptul RADAR 00 se află la nivelul TRL 5. Urmează în mod procedural desfășurarea unor activități pentru demonstrarea modelului în condiții relevante de funcționare în mediul agricol (TRL 6), demonstrarea prototipului în condiții relevante de funcționare (TRL 7), apoi finalizarea acestuia (TRL 8 și TRL 9).

Un aspect care poate fi dezvoltat ulterior este extinderea prehensurului pentru a culege și alte tipuri de fructe și legume (de exemplu roșii galbene, ardei galbeni, castraveți care să fie identificați corect, etc).

Un alt aspect care va fi îmbunătățit pe viitor este șasiul și distanța dintre acesta și sol (creșterea „gărzii la sol”). Astfel, prototipul va putea fi folosit în condiții mai largi în sere. Prin folosirea de motoare mai puternice pe șasiu, devine posibilă atașarea unei mini-remorci (coș) în care fructele culese să fie depozitate imediat. Astfel, timpul de culegere al fructelor se diminuează semnificativ.

## LISTA PUBLICAȚIILOR REZULTATE ÎN URMA CERCETĂRII DOCTORALE, PUBLICATE SAU ACCEPTATE SPRE PUBLICARE, SUB AFILIERE UPT

### Lucrări științifice publicate în reviste indexate Web of Science-WoS (ISI)

1. Maris, S., **Maris, S. A.**, Dungan, L., & Slavici, T. "Re-shaping Education: Role of Internet Resources in Increasing the Efficiency of the Educational Process". *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 9(1), 132-137, 2018
2. Ionica, D. A., **Maris, S. A.**, Dicu, R., & Maris, S. "Linear Programming Tool for the Optimization of Mixed Biomass Fuel Recipes". *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 10(3), 139-149, 2019
3. Patrut, B., **Maris, S. A.**, & Maris, S. "Coding with Patience (Programare cu Rabdare)–a Non-Formal Educational Initiative to Increase the ICT Skills". *Postmodern Openings*, 11(3), 290-302, 2020

### Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice (Proceedings) indexate Web of Science-WoS (ISI) Proceedings

1. Maris, S., Nenu, P. F., **Maris, S. A.**, & Slavici, T. "Estimating the calorific value of pellets from different blends of biomass". In *Proceedings of the 45th International Symposium on Agricultural Engineering, Actual Tasks on Agricultural Engineering, 21-24 February 2017, Opatija, Croatia* (pp. 459-464). University of Zagreb, Faculty of Agriculture, 2017
2. Nenu, P. F., **Maris, S. A.**, Forgacs, L., & Maris, S. "Use of biomass in coal steam boilers". In *Proceedings of the 45th International Symposium on Agricultural Engineering, Actual Tasks on Agricultural Engineering, 21-24 February 2017, Opatija, Croatia* (pp. 473-479). University of Zagreb, Faculty of Agriculture, 2017
3. **Maris, S. A.**, Tucu, D., Banabatsas, T., Nagy, V., Maris, S., & Nenu, P. F. "Possibilities of using the robots in greenhouses". In *Proceedings of the 45th International Symposium on Agricultural Engineering, Actual Tasks on Agricultural Engineering, 21-24 February 2017, Opatija, Croatia* (pp. 531-537). University of Zagreb, Faculty of Agriculture, 2017
4. Maris, S., Cernescu, L. M., **Maris, S. A.**, Darvasi, D., & Slavici, T. "Determining efficient mixtures of biomass for pellet production". In *Proceedings 46th*

LISTA PUBLICAȚIILOR REZULTATE ÎN URMA CERCETĂRII DOCTORALE, PUBLICATE SAU  
ACCEPTATE SPRE PUBLICARE, SUB AFILIERE UPT

---

- International Symposium: Actual tasks on agricultural engineering, Opatija, Croatia, 27th February-1st March, 2018* (pp. 359-368). University of Zagreb, Faculty of Agriculture, 2018
- Merce, R. B., Babanatsas, T., **Maris, S.**, Tucu, D., & Ghergan, O. C. (2018). "Study of an automatic olives sorting system". In *Proceedings 46th International Symposium: Actual tasks on agricultural engineering, Opatija, Croatia, 27th February-1st March, 2018* (pp. 485-490). University of Zagreb, Faculty of Agriculture, 2018
  - Maris, S., **Maris, Ș. A.**, Cojocariu, N., & Humița, M. "Using ICT support for STEM education in disadvantaged youth learning". In *2018 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC)* (pp. 1-4). IEEE, 2018
  - Suta, A., Tomoiaga, I., Dimcea, I., **Maris, S.**, Balint, R., Pop, E., & Slavici, T. "Innovative results concerning optimized recipes for heat pellets". *Proceedings of the 48th International Symposium on Actual Tasks on Agricultural Engineering (ATAE)* (pg. 513-519). Opatija, Croatia: University of Zagreb, Faculty of Agriculture, 2021

**Lucrări științifice publicate în reviste de specialitate indexate BDI**

- Maris, S., Nenu, P., **Maris, St.**, Cernescu, L. "Financing Methods For Innovative Start-Ups In The Domain Of Nonconventional Energies". *Nonconventional Technologies Review* XX(3), 65-70, 2016
- Humița, M., Cojocariu, N., **Maris, S. A.**, & Jădăneanț, M. "Solutions for the modernisation of Colterm Timișoara". *Nonconventional Technologies Review/Revista de Tehnologii Neconventionale*, 23(1), 2019.

**Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice (Proceedings) indexate BDI**

- Babanatsas, T., Glavan, D. O., Merce, R. B., Borzan, M., Radu, I., & **Maris, S. A.**. "Harvesting olive tree using accurate vibrations generated by a robotic system". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 393(1), p. 012083. IOP Publishing, 2018.
- Babanatsas, T., Glăvan, D. O., Merce, R. B., & **Maris, S. A.** "Modelling in 3D the olive trees cultures in order to establish the forces (interval) needed for automatic harvesting". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 294, p. 012067. IOP Publishing, 2018.



**Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice internaționale (Proceedings) din străinătate**

1. **Maris S.A.**, Maris S., Tucu D. "Investigation on influence of additives on properties of pellets made from blends of two biomass types". In *Researched Risk Factors of Food Chain*, Szent Istvan University, pp.155-160, Godollo, 2018
2. **Maris, S.A.**, Ghergan, O., Maris, S., Draghicescu, D., & Popescu, E. "The use of robots for environment protection in greenhouses". *Scientific Conference "Integrated Solutions regarding Environment Protection by Preventing and Reducing agro-industrial pollution"*. Zrenjanin, Online, 31.05-01.06.2021

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Abe, T., Kawasaki, Y., & Yamazaki, K. (2020). A robotic end-effector with rolling up mechanism for pick-and-release of a cotton sheet. *ROBOMECH Journal*, 7(1), 1-9.
- [2] AliExpress. (2020). *Factory Hot Sale Mini Dry Battery AA 3W COB Adjustable Reading Desk Lamp Table Lamps Led Table Lights Desk Touch Switch Modern*. Preluat pe 10 16, 2021, de pe [https://www.alibaba.com/product-detail/Factory-Hot-Sale-Mini-Dry-Battery\\_60802312406.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Factory-Hot-Sale-Mini-Dry-Battery_60802312406.html)
- [3] Aliexpress. (2018). *UniHobby 4 Wheel Drive Platform Maximum Load 20KG Full aluminum alloy robot chassis 4wd robot smart car*. Preluat pe 02 16, 2020, de pe <https://www.aliexpress.com/item/1359053633.html>
- [4] Amazon. (2018). *SainSmart S5 5-Axis Desktop DIY Robotic Arm with Servos*. Preluat pe 10 19, 2021, de pe <https://www.amazon.com/gp/product/B0179BTLZ2>
- [5] AMD Inc. (2020). *Assembly Automation Solutions*. Preluat pe 04 12, 2022, de pe <https://www.amdmachines.com/automated-solutions/>
- [6] Amrita, S. A., Abirami, E., Ankita, A., et al. (2015). Agricultural robot for automatic ploughing and seeding. În IEEE (Ed.), *2015 IEEE Technological Innovation in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR)*, (pg. 17-23).
- [7] Aravind, K. R., Raja, P., & Pérez-Ruiz, M. (2017). Task-based agricultural mobile robots in arable farming: A review. *Spanish journal of agricultural research*, 15(1), e02R01-e02R01.
- [8] Arduino. (2020). *Software Arduino*. Preluat pe 11 19, 2020, de pe <https://www.arduino.cc/en/software>
- [9] Association for Advancing Automation. (2022). *Different types of agricultural robots*. Preluat pe 05 12, 2022, de pe <https://www.automate.org/blogs/robotics-in-agriculture-types-and-applications>
- [10] Avantine. (2021). *13 Milestones in the History of Robotics*. Preluat pe 04 11, 2022, de pe <https://www.avantine.org/robotics/history-of-robotics>
- [11] Babanatis Merce, R. M., Babanatsas, T., Maris, S., Tucu, D., & Ghergan, O. C. (2018). Study of an automatic olives sorting system. *Actual Tasks on Agricultural Engineering*, 46, 485-490.
- [12] Babanatsas, T., Glavan, D. O., Merce, R. B., Borzan, M., Radu, I., & Maris, S. A. (2018). Harvesting olive tree using accurate vibrations generated by a robotic system. În I. Publishing (Ed.), *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 393(1), p. 012083.
- [13] Babanatsas, T., Glăvan, D. O., Merce, R. B., & Maris, S. A. (2018). Modelling in 3D the olive trees cultures in order to establish the forces (interval) needed for automatic harvesting. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 294, p. 012067. IOP Publishing.
- [14] Bechar, A., & Vigneault, C. (2016). Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*, 149, 94-111.
- [15] Biqing, L., Yongfa, L., Hongyan, Z., & Shiyong, Z. (2016). The design and realization of cherry tomato harvesting robot based on IOT. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 12(12), 23-26.

- [16] Bolboe, M., Staretu, I., & Alexandru, P. (2014). Experimental Results Regarding an Anthropomorphic Original Gripper with Two-Finger Tests during Grasping Objects with Varied Shapes. *Journal of Mechanics Engineering and Automation*, 33(4), 234-241.
- [17] Bonnie Plants. (2019). *San Marzano Tomato*. Preluat pe 03 05, 2019, de pe <https://bonnieplants.com/product/san-marzano-tomato/>
- [18] Botterill, T., Paulin, S., Green, R., et al. (2017). A robot system for pruning grape vines. *Journal of Field Robotics*, 34(6), 1100-1122.
- [19] Bu, L. X., Chen, C. K., Hu, G. R., Sugirbay, A., & Chen, J. (2020). Technological development of robotic apple harvesters: A review. *INMATEH-Agricultural Engineering*, 61(2), 151-164.
- [20] Cantelli, L., Bonaccorso, F., Longo, D., Melita, C. D., Schillaci, G., & Muscato, G. (2019). A small versatile electrical robot for autonomous spraying in agriculture. *AgriEngineering*, 1(3), 391-402.
- [21] Chen, B. K., Zhang, Y., Perovic, D. D., & Sun, Y. (2011). MEMS microgrippers with thin gripping tips. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 21(10), 105004.
- [22] Chen, J., Wu, J., Wang, Z., Qiang, H., Cai, G., Tan, C., & Zhao, C. (2021). Detecting ripe fruits under natural occlusion and illumination conditions. *Computers and Electronics in Agriculture*, 190, 106450.
- [23] Chhaya, S. V., Khera, S., & Kumar, P. (2015). Basic geometric shape and primary color detection using image processing on Matlab. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(5), 505-509.
- [24] Chiu, Y. C., Yang, P. Y., & Chen, S. (2013). Development of the end-effector of a picking robot for greenhouse-grown tomatoes. *Applied engineering in agriculture*, 29(6), 1001-1009.
- [25] Davis, S., Gray, J. O., & Caldwell, D. G. (2008). An end effector based on the Bernoulli principle for handling sliced fruit and vegetables. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24(2), 249-257.
- [26] Demaghsi, H., Mirzajani, H., & Ghavifekr, H. B. (2014). A novel electrostatic based microgripper (cellgripper) integrated with contact sensor and equipped with vibrating system to release particles actively. *Microsystem technologies*, 20(12), 2191-2202.
- [27] Dengarden. (2020). *How to grow and care for San Marzano tomatoes*. Preluat pe 03 19, 2022, de pe <https://dengarden.com/gardening/Growing-San-Marzano-Tomato-Plants>
- [28] Dewi, T., Risma, P., & Oktarina, Y. (2020). Fruit sorting robot based on color and size for an agricultural product packaging system. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 9(4), 1438-1445.
- [29] DEXONLINE. (2009). *Robot - definiție și paradigmă*. Preluat pe 11 14, 2021, de pe <https://dexonline.ro/intrare/robot/49047/definitii>
- [30] DEXONLINE. (2009). *Robotica - definiție și paradigmă*. Preluat pe 11 14, 2021, de pe <https://dexonline.ro/definitie/robotica/definitii>
- [31] DEXONLINE. (2009). *Prehensiune - definiție și paradigmă*. Preluat pe 10 8, 2021, de pe <https://dexonline.ro/definitie/prehensiune>
- [32] Doradda. (2019). *TOMATE: Tomate SAN MARZANO*. Preluat pe 02 16, 2019, de pe <https://www.doradda.com/ro/shop-ro/seminte-legume/soiuri-deosebite/tomate-5/tomate-san-marzano-detail>
- [33] Doulgeri, Z., & Fahantidis, N. (2002). Picking up flexible pieces out of a bundle. *IEEE robotics & automation magazine*, 9(2), 9-19.

- [34] Ellwood, R. J., Raatz, A., & Hesselbach, J. (2010). Vision and force sensing to decrease assembly uncertainty. *In International Precision Assembly Seminar* (pg. 123-130). Berlin, Heidelberg.: Springer.
- [35] Eurostat - Statistics Explained. (2019). *International Standard Classification of Education (ISCED)*. Preluat pe 05 14, 2022, de pe [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=International\\_Standard\\_Classification\\_of\\_Education\\_\(ISCED\)#Background](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=International_Standard_Classification_of_Education_(ISCED)#Background)
- [36] EUROSTAT. (fără an). *Under glass by NUTS 2 regions*. (20) Preluat de pe [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/EF\\_LUS\\_UNGLASS\\_\\_custom\\_3\\_019036/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/EF_LUS_UNGLASS__custom_3_019036/default/table?lang=en)
- [37] Fantoni, G., Santochi, M., Dini, G., et al. (2014). Grasping devices and methods in automated production processes. *CIRP Annals*, 63(2), 679-701.
- [38] Feng, Q., Wang, X., Wang, G., & Li, Z. (2015). Design and test of tomatoes harvesting robot. *2015 IEEE International Conference on Information and Automation* (pg. 949-952). IEEE.
- [39] Fennimore, S. A., & Cutulle, M. (2019). Robotic weeders can improve weed control options for specialty crops. *Pest management science*, 75(7), 1767-1774.
- [40] Fezari, M., & Al Dahoud, A. (2018). Integrated development environment "IDE" for Arduino. *WSN applications*, 1-12.
- [41] Fontana, G., Ruggeri, S., Fassi, I., & Legnani, G. (2014). A mini work-cell for handling and assembling microcomponents. *Assembly Automation*, 34(1), 27-33.
- [42] Gan, H., Lee, W. S., Alchanatis, V., Ehsani, R., & Schueller, J. K. (2018). Immature green citrus fruit detection using color and thermal images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 152, 117-125.
- [43] Ghergan, O., Țucu, D., Iusco, A., Drăghicescu, D., & Merce, R. (2019). Small greenhouse robotized solutions: state of the art and future perspectives. În F. o. University of Zagreb (Ed.), *Proceedings of the 47th International Symposium, Actual Tasks on Agricultural Engineering*, (pg. 267-276). Opatija, Croatia.
- [44] Grimstad, L., & From, P. J. (2017). Thorvald II-a modular and re-configurable agricultural robot. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 4588-4593.
- [45] Gu, B., Ji, C., Wang, H., Tian, G., Zhang, G., & Wang, L. (2012). Design and experiment of intelligent mobile fruit picking robot. *Nongye Jixie Xuebao= Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 43(6), 153-160.
- [46] Gultepe, E., Randhawa, J., Kadam, S., et al. (2013). Biopsy with thermally-responsive untethered microtools. *Advanced materials*, 25(4), 514-519.
- [47] Huang, B., Shao, M., & Chen, W. (2016). Design and research on end effector of a pruning robot. *Int. J. Simul. Model*, 17, 1-5.
- [48] Hugo, P. O. (2013). Industrial grippers: State-of-the-art and main design characteristics. În *Grasping in Robotics* (pg. 107-131). London: Springer.
- [49] Hujic, D., Croft, E., Zak, G., Fenton, R., Mills, J., & Benhabib, B. (1998). The Robotic Interception of Moving Objects in Industrial Settings: Strategy Development and Experiment. *IEEE/ASME Trans. Mechatron.*, 3, 225-239.
- [50] INSSE. (2021, 06 10). *AGR108A - Suprafata cultivata cu principalele culturi, pe forme de proprietate, macroregiuni, regiuni de dezvoltare si judete*. Preluat pe 03 25, 2022, de pe <http://statistici.insse.ro:8077/tempo-online/#/pages/tables/insse-table>
- [51] Ionica, D. A., Maris, S. A., Dicu, R., & Maris, S. (2019). Linear Programming Tool for the Optimization of Mixed Biomass Fuel Recipes. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 10(3), 139-149.

- [52] Irisrobotics. (2022). *Temi, robot de teleprezență*. Preluat pe 04 16, 2022, de pe <https://irisrobotics.ro/p/robot-personal-temi/>
- [53] Jin, Y. (2020). Recognition technology of agricultural picking robot based on image detection technology. *INMATEH-Agricultural Engineering*, 62(3).
- [54] Kelley, R. B., Birk, J. R., Martins, H. A., & Tella, R. (1982). A robot system which acquires cylindrical workpieces from bins. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 12(2), 204-213.
- [55] Kolluru, R., Valavanis, K. P., & Hebert, T. M. (1998). Modeling, analysis, and performance evaluation of a robotic gripper system for limp material handling. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 28(3), 480-486.
- [56] Kondo, N. (2010). Automation on fruit and vegetable grading system and food traceability. *Trends in Food Science & Technology*, 21(3), 145-152.
- [57] Kondo, N., Yata, K., Iida, M., Shiigi, T., Monta, M., Kurita, M., & Omori, H. (2010). Development of an end-effector for a tomato cluster harvesting robot. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 3(1), 20-24.
- [58] Kulothungan, S., Kamalakannan, K., & Thirugnanam, P. (2018). Agriculture robot for irrigation and automation. *Bulletin of Pure and Applied Sciences Section F-Geology*, 110-115.
- [59] Lambercy, O., Metzger, J. C., Santello, M., & Gassert, R. (2014). A method to study precision grip control in viscoelastic force fields using a robotic gripper. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 62(1), 39-48.
- [60] Levin, M., & Degani, A. (2016). Design of a Task-Based Modular Re-Configurable Agricultural Robot. *IFAC-PapersOnLine*, 49(16), 184-189.
- [61] Li, X., & Kagawa, T. (2014). Theoretical and experimental study of factors affecting the suction force of a Bernoulli gripper. *Journal of Engineering Mechanics*, 140(9), 04014066.
- [62] Li, X., Du, X., Chen, B., Gong, L., Liu, C., Zhou, Q., & He, L. (2021). Design of Multifunctional Seedbed Planting Robot Based on MobileNetV2-SSD. În IEEE (Ed.), *021 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications (ICAICA)*, (pg. 272-278).
- [63] Li, X., Tao, D., Lu, H., et al. (2019). Recent developments in gecko-inspired dry adhesive surfaces from fabrication to application. *Surface Topography: Metrology and Properties*, 7(2), 023001.
- [64] Lili, W., Bo, Z., Jinwei, F., et al. (2017). Development of a tomato harvesting robot used in greenhouse. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(4), 140-149.
- [65] Liu, C., Chen, T., Chiu, C., et al. (2018). Optimal design of a soft robotic gripper for grasping unknown objects. *Soft robotics*, 5(4), 452-465.
- [66] Lyons, D. J., Heinemann, P. H., Schupp, J. R., Baugher, T. A., & Liu, J. (2015). Development of a selective automated blossom thinning system for peaches. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1447-1457.
- [67] Maris, S., Cernescu, L. M., Maris, S. A., Darvasi, D., & Slavici, T. (2018). Determining efficient mixtures of biomass for pellet production. *Proceedings 46th International Symposium: Actual tasks on agricultural engineering*. Opatija, Croatia: University of Zagreb, Faculty of Agriculture.
- [68] Maris, S.A., Ghergan, O., Maris, S., Draghicescu, D., & Popescu, E. (2021). The use of robots for environment protection in greenhouses. *Scientific Conference "Integrated Solutions regarding Environment Protection by Preventing and Reducing agro-industrial pollution"*. Zrenjanin, Online, 31.05-01.06.2021.

- [69] Maris, S., Nenu, P. F., Maris, S. A., & Slavici, T. (2017). Estimating the calorific value of pellets from different blends of biomass. În F. o. University of Zagreb (Ed.), *Proceedings of the 45th International Symposium on Agricultural Engineering, Actual Tasks on Agricultural Engineering*, (pg. 459-464). Opatija, Croatia.
- [70] Maris, S., Tucu, D., Banabatsas, T., Nagy, V., Maris, S., & Nenu, P. (2017). Possibilities of using the robots in greenhouses. *Proceedings of the 45th International Symposium on Agricultural Engineering, Actual Tasks on Agricultural Engineering* (pg. 531-537). Opatija, Croatia: University of Zagreb, Faculty of Agriculture.
- [71] Marvin, R., & Omondi, A. (2018). *Python Fundamentals: A practical guide for learning Python, complete with real-world projects for you to explore*. Packt Publishing Ltd.
- [72] Mehta, S. S., & Burks, T. F. (2014). Vision-based control of robotic manipulator for citrus harvesting. *Computers and Electronics in Agriculture*, 102, 146-158.
- [73] Microsoft Docs. (2020, 11 19). *Color Dialog Box - Win 32 apps*. Preluat pe 06 09, 2021, de pe <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/win32/dlgbox/color-dialog-box>
- [74] Millet, O., Bernardoni, P., Régnier, S., Bidaud, P., Tsitsiris, E., Collard, D., & Buchaillot, L. (2004). Electrostatic actuated micro gripper using an amplification mechanism. *Sensors and Actuators A: Physical*, 114(2-3), 371-378.
- [75] Minecraft Stories. (2022). *Scurtă istorie a roboților*. (BRD) Preluat pe 04 11, 2022, de pe <https://mindcraftstories.ro/roboti/scurta-istorie-a-robotilor-i/>
- [76] Modern Buyer. (2021). *Silvia Răileanu, Serele Super: Producem opt luni din an și acesta este un atuu în colaborarea cu marii retailerii*. Preluat pe 11 15, 2021, de pe <https://modernbuyer.ro/silvia-raileanu-serele-super-producem-opt-luni-din-an-si-acesta-este-un-atuu-in-colaborarea-cu-marii-retailerii/>
- [77] Monkman, G. J., & Shimmin, C. (1991). Permatack adhesives for robot grippers. *Assembly Automation*.
- [78] Monta, M., Kondo, N., & Ting, K. C. (1998). End-effectors for tomato harvesting robot. *Artificial Intelligence for Biology and Agriculture*, 11-25.
- [79] Mueller-Sim, T., Jenkins, M., Abel, J., & Kantor, G. (2017). The Robotanist: A ground-based agricultural robot for high-throughput crop phenotyping. În IEEE (Ed.), *2017 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA)*, (pg. 3634-3639).
- [80] New World Encyclopedia. (2017). *Greenhouse*. (New World Encyclopedia) Preluat pe 05 12, 2022, de pe <https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Greenhouse>
- [81] Optimus Digital. (2020). *Cameră pentru Raspberry Pi cu Unghi de Vizibilitate Larg și Focalizare Reglabilă*. Preluat pe 06 18, 2021, de pe <https://www.optimusdigital.ro/ro/camere/2429-camera-pentru-raspberry-pi-cu-unghi-de-vizibilitate-larg-i-focalizare-reglabila.html>
- [82] Optimus Digital. (2020). *Dispozitiv Metalic de Prindere pentru Servomotoarele MG995 (Gripper)*. Preluat de pe <https://www.optimusdigital.ro/ro/altele/1164-dispozitiv-metalic-de-prindere-pentru-servomotoarele-mg995.html>
- [83] Optimus Digital. (2020). *Feetech FS5115M 2BB 15 kg \* cm Servomotor with Metalic Reducer*. Preluat pe 10 18, 2021, de pe <https://www.optimusdigital.ro/en/servomotors/3184-feetech-fs5115m-2bb-15-kg-cm-servomotor-with-metalic-reducer.html>
- [84] Optimus Digital. (2019). *MEGA 2560 Development Board ATmega2560 + CH340 (Arduino-Compatible)*. Preluat pe 02 18, 2020, de pe

- <https://www.optimusdigital.ro/en/compatibile-with-arduino-mega/471-mega-2560-development-board-compatible-with-arduino.html>
- [85] Optimus Digital. (2019). *Raspberry Pi 3 Model B+*. Preluat pe 02 19, 2020, de pe <https://www.optimusdigital.ro/ro/placi-raspberry-pi/5091-raspberry-pi-3-model-b-plus.html>
- [86] Optimus Digital. (2019). *Rezistor pentru Măsurarea Forței de Apăsare FSR402*. Preluat de pe <https://www.optimusdigital.ro/ro/componente-electronice-rezistoare/3904-rezistor-pentru-masurarea-forei-de-apasare-fsr402.html>
- [87] Optimus Digital. (2019). *Servomotor MG995*. Preluat de pe <https://www.optimusdigital.ro/ro/motoare-servomotoare/598-servomotor-mg995.html>
- [88] Optimus Digital. (2019). *Shield cu Driver de Motoare L293D*. Preluat pe 02 16, 2020, de pe <https://www.optimusdigital.ro/ro/electronica-de-putere-controllere-pwm-si-servo/987-shield-cu-driver-de-motoare-l293d.html>
- [89] Pinduoduo. (2020). *Agricultural Robots: Robots in Agriculture and Farming*. (Pinduoduo) Preluat pe 05 12, 2022, de pe <https://stories.pinduoduo-global.com/agritech-hub/robots-in-agriculture-and-farming>
- [90] Pitla, S. K. (2018). *Agricultural robotics*. În *Advances in Agricultural Machinery and Technologies* (pg. 157-177). CRC Press.
- [91] Pololu. (2020). *FEETECH High-Torque Servo FS5115M*. Preluat pe 10 18, 2021, de pe <https://www.pololu.com/product/3426/specs>
- [92] Postscapes. (2022). *Smart Greenhouse Robotics Material Handling and Harvesting*. (Postscapes) Preluat pe 05 12, 2022, de pe <https://www.postscapes.com/smart-greenhouse-robotics-material-handling-and-harvesting/>
- [93] Python. (2020). *Python documentation*. Preluat pe 11 14, 2021, de pe <https://www.python.org/doc/>
- [94] Raatz, A., Rathmann, S., & Hesselbach, J. (2012). Process development for the assembly of microsystems with hot melt adhesives. *CIRP annals*, 61(1), 5-8.
- [95] Raspberry Pi. (2019). *Raspberry Pi 3 Model B+*. Preluat pe 02 19, 2020, de pe <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
- [96] Raspberry Pi. (2019). *Raspberry Pi documentation - Camera*. Preluat pe 04 16, 2022, de pe <https://www.raspberrypi.com/documentation/accessories/camera.html>
- [97] Raspberry Pi. (2020). *Raspberry Pi OS (64-bit)*. Preluat pe 02 20, 2022, de pe <https://www.raspberrypi.com/news/raspberry-pi-os-64-bit/>
- [98] Rateni, G., Cianchetti, M., Ciuti, G., Mencassi, A., & Laschi, C. (2015). Design and development of a soft robotic gripper for manipulation in minimally invasive surgery: a proof of concept. *Meccanica*, 50(11), 2855-2863.
- [99] Robofun. (2019). *Arduino Mega2560 v3*. (2020) Preluat pe 02 18, 2020, de pe <https://www.robofun.ro/platforme-de-dezvoltare/arduino-mega2560-v3.html>
- [100] Robofun. (2019). *Kit sasiu robotic metalic pentru Arduino*. Preluat pe 02 16, 2020, de pe <https://www.robofun.ro/kit-roboti/kit-sasiu-robotic-metalic-pentru-arduino.html>
- [101] Rodríguez, F., Moreno, J. C., Sánchez, J. A., & Berenguel, M. (2013). Grasping in agriculture: State-of-the-art and main characteristics. În *Grasping in robotics* (pg. 358-409). London: Springer.
- [102] Roldán, J. J., del Cerro, J., Garzón-Ramos, D., Garcia-Aunon, P., Garzón, M., De León, J., & Barrientos, A. (2018). Robots in agriculture: State of art and practical experiences. *Service robots*, 67-90.

- [103] Roldán, J. J., Garcia-Aunon, P., Garzón, M., De León, J., Del Cerro, J., & Barrientos, A. (2016). Heterogeneous multi-robot system for mapping environmental variables of greenhouses. *Sensors*, 16(7), 1018.
- [104] Sain Smart. (2020). *S5 5-Axis Desktop Robotic Arm with Servos*. Preluat pe 09 18, 2020, de pe <https://www.sainsmart.com/products/s5-5-axis-desktop-robotic-arm-with-servos>
- [105] Sain Smart. (2020). *SainSmart Rotatable Platform for Robotic Arm*. Preluat pe 10 16, 2021, de pe <https://www.sainsmart.com/products/sainsmart-rotatable-platform-for-robotic-arm>
- [106] Sammons, P. J., Furukawa, T., & Bulgin, A. (2005). Autonomous pesticide spraying robot for use in a greenhouse. În C. S. Organisation (Ed.), *Australian Conference on Robotics and Automation*, 1. Canberra, Australia.
- [107] SCDL Buzău. (2015). *CATALOG GENERAL SOIURI ȘI HIBRIZI DE LEGUME SCDL BUZĂU*. Preluat pe 10 25, 2021, de pe [https://www.madr.ro/docs/cercetare/Rezultate\\_activitate\\_de\\_cercetare/SCDL\\_Buzau.pdf](https://www.madr.ro/docs/cercetare/Rezultate_activitate_de_cercetare/SCDL_Buzau.pdf)
- [108] Shaw, Z. A. (2017). *Learn python 3 the hard way: A very simple introduction to the terrifyingly beautiful world of computers and code*. Addison-Wesley Professional.
- [109] Shigematsu, K., Kobayashi, K., Kohno, Y., Kamata, J., Kurita, M., Hayashi, S., & Yamamoto, S. (2009). Performance of movable-type harvesting robot for strawberries. *International Symposium on High Technology for Greenhouse Systems: GreenSys2009* 893, (pg. 317-324).
- [110] Shiu, B. M., & Lin, C. L. (2008). Design of an autonomous lawn mower with optimal route planning. În IEEE (Ed.), *2008 IEEE International Conference on Industrial Technology*, (pg. 1-6).
- [111] Shivaprasad, B. S., Ravishankara, M. N., & Shoba, B. N. (2014). Design and implementation of seeding and fertilizing agriculture robot. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)*, 3(6), 251-255.
- [112] Sigmanortec. (2020). *Întreprător 3A 250V switch MTS-102*. Preluat pe 10 18, 2020, de pe <https://www.sigmanortec.ro/Intreprator-3A-250V-Switch-MTS-102-p140901357>
- [113] Sigmanortec. (2019). *Modul coborător tensiune XL4005, 4-36VDC, 5A, 75W*. Preluat pe 10 19, 2020, de pe <https://www.sigmanortec.ro/Modul-coborator-tensiune-XL4005-4-36VDC-5A-75W-p193701686>
- [114] Silicon Lightworks. (2017). *What Are "COB" LEDs and Why Do They Matter?* Preluat pe 06 18, 2022, de pe <https://siliconlightworks.com/resoures/what-are-cob-leds>
- [115] Sportelli, M., Frasconi, C., Fontanelli, M., et al. (2021). Autonomous mowing and complete floor cover for weed control in Vineyards. *Agronomy*, 11(3), 538.
- [116] Srinivasan, N., Prabhu, P., Smruthi, S. S., Sivaraman, N. V., Gladwin, S. J., Rajavel, R., & Natarajan, A. R. (2016). Design of an autonomous seed planting robot. *2016 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*, (pg. 1-4).
- [117] Starețu, I. (2010). *Sisteme de prehensiune, Ediția a II-a revăzută și adăugită*. Brașov: Editura Lux Libris.
- [118] Statgraphics. (2019). *Statgraphics Centurion Overview*. Preluat pe 10 15, 2019, de pe [http://www.statlets.com/statgraphics\\_centurion.htm](http://www.statlets.com/statgraphics_centurion.htm)
- [119] StatPoint Technologies, Inc. (2009). Simple Regression. *STATGRAPHICS – Rev. 7/7/2009* .



- [120] Stegelin, F. E. (2013). Adopting Strategic Alliances to Enhance Horticulture Supply Chain Sustainability and Profitabilit. *I International Symposium on Horticulture Economics, Marketing and Consumer Research 1090*, (pg. 61-66).
- [121] Sujan, V. A., Dubowsky, S., & Ohkami, Y. (2002). Robotic manipulation of highly irregular shaped objects: Application to a robot crucible packing system for semiconductor manufacture. *Journal of Manufacturing Processes*, 4(1), 1-15.
- [122] Sun, Q., Zou, X., Zou, H., Chen, Y., & Cai, W. (2010). Intelligent Design and Kinematics Analysis of Picking Robot Manipulator. *2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, Vol. 2* (pg. 493-496). IEEE.
- [123] Suta, A., Tomoiaga, I., Dimcea, I., Maris, S., Balint, R., Pop, E., & Slavici, T. (2021). Innovative results concerning optimized recipes for heat pellets. *Proceedings of the 48th International Symposium on Actual Tasks on Agricultural Engineering (ATAE)* (pg. 513-519). Opatija, Croatia: University of Zagreb, Faculty of Agriculture.
- [124] Tai, K., El-Sayed, A. R., Shahriari, M., Biglarbegian, M., & Mahmud, S. (2016). State of the art robotic grippers and applications. *Robotics*, 5(2), 11.
- [125] Tao, Y., & Zhou, J. (2017). Automatic apple recognition based on the fusion of color and 3D feature for robotic fruit picking. *Computers and electronics in agriculture*, 142, 388-396.
- [126] Thecon - cleste.ro. (2019). *Placă de control motoare L293D*. Preluat pe 12 18, 2020, de pe <https://cleste.ro/placa-de-control-motoare-l293d.html>
- [127] Thecon - cleste.ro. (2019). *Senzor ultrasonic HC-SR04*. Preluat pe 02 17, 2020, de pe <https://cleste.ro/senzor-ultrasonic-hc-sr04.html>
- [128] Thomas Publishing Company. (2020). *All About Industrial Robots*. (Thomas Publishing Company) Preluat pe 04 11, 2022, de pe <https://www.thomasnet.com/articles/automation-electronics/all-about-industrial-robots/>
- [129] Thomas Publishing Company. (2020). *History of Robots and Robotics*. (Thomas Publishing Company) Preluat pe 05 11, 2022, de pe <https://www.thomasnet.com/articles/automation-electronics/history-of-robotics/>
- [130] Umbel Organics. (2020). *When to harvest heirloom tomatoes*. (Umbel Organics) Preluat pe 12 8, 2021, de pe <https://umbelorganics.com/harvest-heirloom-tomatoes/>
- [131] Utstumo, T., Urdal, F., Brevik, A., et al. (2018). Robotic in-row weed control in vegetables. *Computers and electronics in agriculture*, 154, 36-45.
- [132] Von Elsner, B., Briassoulis, D., Waaijenberg, D., et al. (2000, January). Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part I, Design Requirements. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 75(1), 1-16.
- [133] Vonmag. (2020). *Acumulator stationar TED 12V 5Ah F1 AGM VRLA GBS GBS12505*. Preluat pe 05 19, 2021, de pe <https://www.vonmag.ro/produse/info/gbs12505-pret-acumulator-stationar-12v-5-05ah-f1-agm-vrla-gbs-ted-electric>
- [134] Vougioukas, S. G. (2019). Agricultural robotics. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, 2(1), 365-392.
- [135] Vu, Q., Kuzov, M., & Ronzhin, A. (2018). Hierarchical classification of robotic grippers applied for agricultural object manipulations. *MATEC Web of Conferences*. 161, p. 03015. EDP Sciences.

- [136] Wageningen Plant Research; Technical University München; Ben-Gurion University in the Negev; Jentjens Machinetechniek B.V. (01.01.2011 - 31.12.2012). *CROPS - Clever robots for crops*, Project code: KB-17-001.02-004. Preluat pe 11 7, 2020, de pe <https://www.wur.nl/en/project/CROPS-Clever-robots-for-crops.htm>
- [137] Wang, Y., Zhang, G. L., Lang, H., Zuo, B., & De Silva, C. W. (2014). A modified image-based visual servo controller with hybrid camera configuration for robust robotic grasping. *Robotics and Autonomous Systems*, 62(10), 1398-1407.
- [138] Wouters, N., De Ketelaere, B., Deckers, T., De Baerdemaeker, J., & Saeys, W. (2015). Multispectral detection of floral buds for automated thinning of pear. *Computers and Electronics in Agriculture*, 113, 93-103.
- [139] Yan, X., Bianco, A., Niu, C., et al. (2020). The agrirover: a reinvented mechatronic platform from space robotics for precision farming. *Reinventing Mechatronics*, 55-73.
- [140] You, W. S., Lee, Y. H., Kang, G., Oh, H. S., Seo, J. K., & Choi, H. R. (2019). Kinematic design optimization for anthropomorphic robot hand based on interactivity of fingers. *Intelligent Service Robotics*, 12(1), 197-208.
- [141] Zhang, B., Xie, Y., Zhou, J., Wang, K., & Zhang, Z. (2020). State-of-the-art robotic grippers, grasping and control strategies, as well as their applications in agricultural robots: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 177(105694).
- [142] Zhang, J., Gong, L., Liu, C., Huang, Y., Zhang, D., & Yuan, Z. (2016). Field phenotyping robot design and validation for the crop breeding. *IFAC-PapersOnLine*, 49(16), 281-286.
- [143] Zhuang, J. J., Luo, S. M., Hou, C. J., Tang, Y., He, Y., & Xue, X. Y. (2018). Detection of orchard citrus fruits using a monocular machine vision-based method for automatic fruit picking applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 152, 64-73.
- [144] Ziarul Financiar. (2020, 11 21). *România are o suprafață acoperită cu sere de numai 200 de hectare, de zece ori mai mică decât suprafața necesară. În ultimii cinci ani, suprafața serelor din România a scăzut cu 36%*. Preluat pe 2022, de pe <https://www.zf.ro/companii/retail-agrobusiness/romania-are-o-suprafata-acoperita-cu-sere-de-numai-200-de-hectare-de-19746017>

## **ANEXE**

### **ANEXA 1 Chestionar exploatații agricole închise**

- 1 Ce tip de exploatații aveți?
  - sere
  - solarii
- 2 Care este mărimea exploatației pe care o dețineți?
  - mică (sub 100 m<sup>2</sup>)
  - medie (100-500 m<sup>2</sup>)
  - mare (500-1000 m<sup>2</sup>)
  - foarte mare (peste 1000 m<sup>2</sup>)
- 3 Utilizați roboți la lucrări?
  - DA
  - NU
- 4 Ce cultură(i) folosiți în exploatația dvs.?
  - roșii
  - ardei
  - castraveți
  - vinete
  - salata
  - ceapa verde
  - altele (nominalizați) Fasole verde, mazăre
- 5 Care este tipul de agrotehnică folosit în exploatația dvs.?
  - cultura pe sol - direct pe un nivel
  - cultura pe sol - suprapusă
  - cultura acvaponică
- 6 Care este valoarea investiției în exploatația pe care o dețineți?
  - <10000 EUR
  - 10000-25000 EUR
  - 25000-50000 EUR
  - >50000 EUR
- 7 a Ce tip de sol folosiți?
  - sol nămolos
  - sol nisipos
  - sol lutos
  - sol argilos
- 7 b Cum estimați compoziția chimică a solului?
  - pH, NO, K, P optime
  - pH, NO, K, P neadecvat
- 8 Care este distanța față de piața de desfacere?
  - mica (1-5 km)
  - medie (5-20 km)
  - mare (20-100 km)
  - foarte mare (peste 100 km)
- 9 Care este nivelul mediu de calificare al lucrătorilor în exploatația dvs.?
  - scoală gimnazială

scoală profesională  
universitate

10 Apreciați nivelul dvs. de cunoaștere în legătură cu utilizarea roboților în sere pe o scară de la 1 la 5 (1-necunoscut, 5-expert)

11 Notați de la 1 la 5, preferințele dumneavoastră pentru introducerea robotizării lucrărilor următoare (5 pentru lucrarea de preferință maximă)

Recoltat  
Monitorizarea culturii  
Întreținerea culturilor  
Semănat  
Sortarea și ambalarea produselor

12 Așezați în ordinea preferinței următoarele criterii pentru decizia de robotizare a lucrărilor în sere (5 = cel mai preferat criteriu)

Investiție mică  
Costuri de exploatare scăzute (echipament și cultură)  
Fiabilitate ridicată  
Manevrare ușoară  
Flexibilitate

13 În ce măsură considerați posibilă asocierea producătorilor în vederea robotizării lucrărilor

Imposibilă  
Posibilă  
Puțin probabilă  
Probabilă  
Sigură

14 Vârsta

15 Sex

Masculin  
Feminin

16 Mediu

Rural  
Urban







