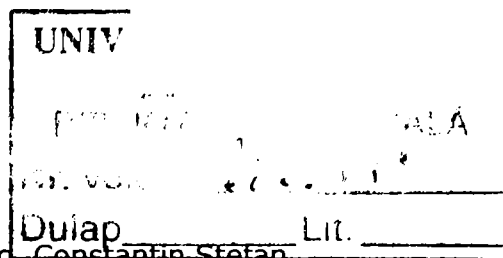


# CERCETĂRI PRIVIND CONDUCEREA AUTOMATĂ A PROCESULUI DE PRELUCRARE PRIMARĂ A LEGUMELOR ȘI FRUCTELOR

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea „Politehnica” din Timișoara  
în domeniul INGINERIE MECANICĂ  
de către

**Ing. Marius Buzera**



Conducători științifici:

prof.dr.ing. ~~Constantin Ștefan~~

Referenți științifici:

prof.dr.ing. Octavian Proștean

prof.dr.ing. Nicolae Bria

prof.dr.ing. Onisifor Olaru

prof.dr.ing. Dumitru Iancului

Ziua susținerii tezei: 27.11.2008

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1. Automatică          | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie              | 8. Inginerie Industrială                    |
| 3. Energetică          | 9. Inginerie Mecanică                       |
| 4. Ingineria Chimică   | 10. Știința Calculatoarelor                 |
| 5. Inginerie Civilă    | 11. Știința și Ingineria Materialelor       |
| 6. Inginerie Electrică |   |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2008

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,  
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221  
e-mail: editura@edipol.upt.ro

# Cuvânt înainte

Obiectivul fundamental al cercetărilor efectuate cu ocazia întocmirii acestei teze de doctorat, l-a constituit rezolvarea unei probleme de importanță hotărâtoare pentru afirmarea țării noastre ca partener egal în raporturile internaționale, alături de celelalte state participante la comerțul internațional cu legume-fructe.

Nivelul tehnic ridicat al instalațiilor de prelucrare primară a legumelor și fructelor din aceste țări, le permite câștigarea cu ușurință a competiției pentru păstrarea piețelor de valorificare a acestor produse alimentare deosebit de căutate de toate popoarele lumii.

Decalajul tehnic al instalațiilor folosite în țara noastră în vederea prelucrării legumelor și fructelor destinate valorificării în stare proaspătă pe piețele internaționale, reprezintă un impediment major în pătrunderea noastră pe piețele externe, deși produsele noastre sunt mai apreciate decât ale multor state ce s-au afirmat puternic în această direcție.

Acest lucru este foarte bine cunoscut de mulți manageri de firme străine cu astfel de profile, motiv pentru care vin în țara noastră și procură materie primă ecologică la prețuri deosebit de avantajoase, după care o supun prelucrării primare în instalații cu un înalt grad de tehnicitate, ridicându-i enorm valoarea indicilor de valorificare comercială și obținând câștiguri nemeritate, în detrimentul muncii agriculturilor din România.

Desigur că aspectele rezolvate cu ocazia cercetărilor impuse de această teză de doctorat nu sunt suficiente pentru a asigura saltul tehnic total, necesar pentru instalațiile de prelucrare primară a legumelor și fructelor din țara noastră. Totuși, rezultatele experimentale obținute confirmă un început ce îndeamnă la noi și susținute cercetări pe această temă și oferă garanția că nivelul științific din țara noastră de cunoaștere și aplicare a proceselor tehnice cu suport electronic, poate contribui la modernizarea tehnologiilor și instalațiilor folosite în acest domeniu.

În Uniunea Europeană, calitatea ecologică a produselor de acest gen din țara noastră este pe deplin recunoscută. Nouă însă ne revine sarcina să luptăm pentru câștigarea acestei competiții, atât sub aspectul respectării indicilor de calitate impuși, cât și în realizarea unor costuri ce ne permit intrarea pe piețele externe.

Valorificarea la export a acestui mare potențial economic de care dispune țara noastră, reprezintă una din căile de afirmare puternică în plan economic și implicit, de creștere a nivelului de trai al poporului nostru.

Acum, la încheierea acestei pretențioase cercetări, doresc să mulțumesc cu deosebit respect distinșilor profesori ai Universității „Politehnica” din Timișoara, prof.dr.ing. Constantin ȘTEFAN, și prof.dr.ing. Octavian PROȘTEAN, care cu înaltă competență profesională și experiență în cercetarea științifică, m-au îndrumat, sprijinit și încurajat permanent pentru rezolvarea în mod corespunzător a tuturor fazelor de cercetare și întocmire a acestei teze de doctorat. De asemenea doresc să aduc mulțumiri și domnului director tehnic al S.C. Grimex S.A. Târgu-Jiu dr.ing Mirea Constantin pentru sprijinul acordat în realizarea standului experimental.

Timișoara, noiembrie 2008

Marius Buzera

Buzera, Marius

**Cercetări privind conducerea automată a procesului de prelucrare primară a legumelor și fructelor**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr. 46, Editura Politehnica, 2008, 186 pagini, 138 figuri, 17 tabele.

ISSN: 1842-4937

ISBN: 978-973-625-760-5

Cuvinte cheie: procese de prelucrare primară, algoritmi de clasificare, sisteme de inspecție video

**Rezumat:**

În baza studiilor efectuate și a unei ample documentări în legătură cu realizările în domeniului proceselor de prelucrare primară a fructelor și legumelor, din țara noastră cât și pe plan internațional, au fost proiectați și dezvoltați mai mulți algoritmi, care pe baza inspecției video să permită analiza gradului de sănătate și integritate, a culorii și dimensiunilor fructelor și legumelor. În scopul validării acestor algoritmi a fost concepută și realizată o instalație originală care, prin intermediul unei stații-combinate pilot permite clasificarea fructelor și legumelor cu factor de formă cât mai aproape de 1, în baza criteriilor impuse.

Algoritmii decizionali dezvoltați în cadrul sistemului de vedere artificială proiectat și realizat, valorifică cele mai noi descoperiri în domeniul rețelelor neuronale și al logicii Fuzzy.

Cercetările experimentale realizate au pus în evidență faptul că instalația concepută și realizată satisface pe deplin toate cerințele impuse, gradul de precizie fiind mult superior majorității instalațiilor folosite în țara noastră. De asemenea, sistemul de vedere artificială proiectat și realizat poate fi adaptat rapid pentru un număr mare de fructe și legume, chiar și cu factor de formă mult diferit de 1.

Aceste cercetări deschid un nou capitol în abordarea proceselor de prelucrare primară în țara noastră, iar lucrarea realizată poate constitui un punct de plecare și totodată un ghid pentru cei ce doresc să continue cercetările pe această temă.

## CUPRINS

Cuvânt înainte .....	3
Lista de notații și abrevieri.....	8
Introducere .....	10
<b>PARTEA ÎNTÂI .....</b>	<b>12</b>
<b>STUDII ASUPRA PROCEDEELOR DE LUCRU ȘI NIVELULUI TEHNIC ACTUAL AL INSTALAȚIILOR UTILIZATE ÎN DOMENIUL PRELUCRĂRII PRIMARE A LEGUMELOR ȘI FRUCTELOR ÎN ȚARA NOASTRĂ ÎN ETAPA ACTUALĂ .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPITOLUL 1 .....</b>	<b>13</b>
Caracteristicile materiilor prime și fazele tehnologice ale proceselor de prelucrare primară a legumelor și fructelor .....	13
1.1. Caracteristicile fizice ale legumelor și fructelor ce trebuie luate în considerare în cadrul proceselor de prelucrare primară .....	13
1.2. Calitatea biologică a legumelor și fructelor .....	19
1.3. Aspecte generale legate de fazele tehnologice ale procesului de condiționare a legumelor și fructelor, în vederea valorificării în stare proaspătă .....	20
<b>CAPITOLUL 2 .....</b>	<b>22</b>
Utilaje și instalații mecanice folosite pentru condiționarea legumelor și fructelor .....	22
2.1. Stadiul actual de execuție a unor operații de condiționare a legumelor și fructelor în țara noastră .....	22
2.2. Principii constructiv funcționale ale mașinilor de calibrat fructe și legume pe cale mecanică .....	26
2.2.1. Cerințe tehnologice impuse calibroarelor de legume – fructe. Categoriile de calibre utilizate. ....	26
2.2.2. Sinteza particularităților constructiv-funcționale ale ansamblurilor mecanice pentru calibrat legume-fructe după dimensiuni.....	26
2.2.3. Sinteza particularităților constructiv-funcționale ale calibroarelor pentru legume-fructe, după diferența de masă. ....	34
2.2.4. Aprecierea calității lucrului realizat de calibroarele mecanice și unele performanțe obținute.....	36
2.3. Studiul critic și concluzii asupra construcției și funcționării instalațiilor mecanice utilizate în procesele de condiționare a legumelor și fructelor .....	38
<b>CAPITOLUL 3 .....</b>	<b>41</b>
Instalații combinate mecano-electronice folosite la condiționarea legumelor și fructelor .....	41
3.1. Direcții de modernizare a principalelor faze de prelucrare primară a legumelor și fructelor, prin implementarea unor principii electronice .....	41
3.2. Scheme de principiu privind funcționarea instalațiilor mecano-electronice utilizate în țara noastră .....	42
3.2.1. Separarea componentelor din amestecuri brute după diferența de porozitate .....	42

3.2.2. Principiul de separare a amestecurilor brute după diferența de culoare a componentelor din amestec utilizând celule fotoelectrice și analizor electronic.....	43
3.2.3. Principiul de sortare după diferența de culoare a componentelor din amestec utilizând camere video.....	47
3.2.3.1. Influența bio-dependenței între fazele de recoltare și cele de prelucrare a legumelor și fructelor, asupra structurii și preciziei mașinilor de sortat.....	48
3.2.4. Principiul de calibrare a componentelor culturii de bază după diferențe dimensionale utilizând camere video .....	49
<b>CAPITOLUL 4 .....</b>	<b>51</b>
<b>Instalații mecano-electronice complexe folosite la sortarea legumelor și fructelor .....</b>	<b>51</b>
4.1. Instalații fixe și mobile pentru sortat legume și fructe.....	51
4.1.1. Instalație mecano-electronică fixă pentru sortat castraveți .....	51
4.1.2. Instalație mecano-electronică fixă pentru sortat mere.....	52
4.1.3. Instalație mecano-electronică fixă pentru sortat fructe după culoare .....	53
4.1.4. Instalație electronică mobilă pentru sortat tomate după gradul de coacere .....	54
4.2. Instalații moderne de sortat legume-fructe folosind camere video .....	55
4.2.1. Mașini și instalații moderne de sortat tomate, utilizând cameră video și senzor de impact .....	55
4.3. Studiul critic și concluzii asupra construcției și funcționării instalațiilor mecano-electronice utilizate în etapa actuală în efectuarea proceselor de condiționare a legumelor și fructelor .....	58
<b>PARTEA A DOUA .....</b>	<b>61</b>
<b>STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND POSIBILITATEA APLICĂRII TEHNICII DE CALCUL ȘI DE CONDUCERE AUTOMATĂ A PROCESELOR DE SORTARE A LEGUMELOR ȘI FRUCTELOR FOLOSIND INSPECȚIA VIDEO .....</b>	<b>61</b>
<b>CAPITOLUL 5 .....</b>	<b>62</b>
<b>Studii și cercetări privind soluția constructivă a standului experimental.....</b>	<b>62</b>
5.1. Considerații privind alegerea structurii și configurației organologice a standului experimental.....	62
5.2. Contribuții la alegerea structurii și configurației standului experimental .....	64
<b>CAPITOLUL 6 .....</b>	<b>68</b>
<b>Proiectarea sistemului de vedere artificială .....</b>	<b>68</b>
6.1. Structura sistemului de vedere artificială.....	68
6.2. Sistemul de iluminare. Cerințe impuse .....	69
6.2.1. Alegerea și testarea corpurilor de iluminat și a tehnicilor de iluminare. ....	69
6.2.2. Structura sistemului de iluminare proiectat .....	74
6.3. Sistemul de vizualizare. Elemente de percepție vizuală.....	75
6.3.1. Cerințe impuse sistemului de vizualizare.....	77
6.3.2. Structura sistemului de vizualizare realizat .....	77
6.4. Structura Sistemului de comandă și control realizat .....	79
<b>CAPITOLUL 7 .....</b>	<b>82</b>
<b>Proiectarea Blocului de preprocesare a imaginilor.....</b>	<b>82</b>
7.1. Preliminarii .....	82
7.2. Tipuri de operații de preprocesare a imaginilor. ....	84

7.3. Contribuții la proiectarea, realizarea și testarea tehnicilor de preprocesare a imaginilor achiziționate .....	85
7.4. Implementarea și testarea operațiilor de îmbunătățire și analiza performanțelor obținute .....	88
7.4.1. Implementarea operațiilor punctuale.....	88
7.4.2. Proiectarea și testarea filtrelor de eliminare a zgomotelor din imagini și analiza performanțelor acestora .....	95
7.5. Modele de culori .....	109
7.6. Structura Blocului de preprocesare proiectat .....	112
<b>CAPITOLUL 8</b> .....	114
Proiectarea blocului de extragere a informației utile din imagini.....	114
8.1. Cerințe impuse de caracteristicile aplicației .....	114
8.2. Contribuții privind realizarea algoritmului de segmentare .....	115
8.3. Algoritmul de detecție a descriptorilor formeii .....	118
8.3.1. Fundamente teoretice pentru generarea descriptorilor formeii în vederea interpretării automate.....	118
8.3.2. Algoritmul propus de generare a descriptorilor formeii pe baza semnăturii razelor și a tehnicilor Fourier .....	120
8.4. Proiectarea și realizarea algoritmului de generare a descriptorilor culorii ..	124
<b>CAPITOLUL 9</b> .....	127
Proiectarea Blocului de analiză și interpretare a informațiilor utile din imagini ..	127
9.1. Preliminarii .....	127
9.2. Tehnici de analiză și apreciere a integrității produselor vegetale pe baza caracteristicilor de formă .....	127
9.3. Tehnici de analiză și clasificare a produselor după culoare utilizând logica Fuzzy .....	133
9.4. Tehnici de analiză și clasificarea dimensională a produselor vegetale utilizând logica Fuzzy .....	137
<b>CAPITOLUL 10</b> .....	142
Proiectarea și testarea aplicațiilor de coordonare a activităților sistemului de calcul .....	142
10.1. Specificațiile aplicațiilor .....	142
10.2. Proiectarea și dezvoltarea aplicației Analizor Imagini .....	144
10.3. Contribuții la proiectarea și dezvoltarea aplicației de antrenare Analizor Domenii.....	146
10.4. Proiectarea și dezvoltarea aplicației Analizor Culoare .....	148
10.5. Contribuții la proiectarea și dezvoltarea aplicației Analizor Dimensiuni....	150
10.6. Concluzii.....	152
<b>PARTEA A TREIA</b> .....	153
<b>CERCETĂRI EXPERIMENTALE</b> .....	153
<b>CAPITOLUL 11</b> .....	154
Experimentarea sistemului de clasificare folosind inspecția video .....	154
11.1. Metodica experimentală .....	154
11.2. Experimentarea sortării după culoare .....	156
11.3. Experimentarea sortării dimensionale.....	161
11.4. Experimentarea stabilirii integrității și gradului de sănătate .....	167
<b>CAPITOLUL 12</b> .....	177
Concluzii finale și contribuții personale.....	177
12.1. Concluzii finale .....	177
12.2. Contribuții personale și recomandări .....	180

# Lista de notații și abrevieri

AC	Aplicația Analizor Culoare
ACF	Aplicația Analizor Calitate Filtre
AD	Aplicația Analizor Dimensiuni
ADE	Aplicația Analizor Defecte
AI	Aplicația Analizor Imagini
B1,B2	Benzi transportoare
BAI	Blocul de analiză și interpretare a informației utile
BEI	Blocul de extragere a informației utile din imagini
BIOS	Basic Input-Output System
BP	Bloc Preprocesare
C1,C2, C3	Containere colectoare sorturi
CCD	Charge coupled devices
CCM	Circuitul de comandă al motoarelor
CI	Camera de iluminare
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CV1, CV2	Camerele video 1 și 2
DF	Descriptorii Formei
FTJ	Filtru Trece Jos
FTS	Filtru Trece Sus
Gv	Gradul de vătămare
HSI	Modelul Hue, Saturation, Intensity
HSL	Modelul Hue, Saturation, Lightness
HSV	Modelul Hue, Saturation, Value
iF	Indice de formă
LPT 1,2	Porturile paralele 1 și 2
$m, \sigma$	Media și deviația standard a nivelelor de gri
M1, M3	Motoare electrice acționare conveior
M2	Motor pas cu pas acționare jgheab distribuție
MAE	Eroarea medie absolută
Max1	Nuanța predominantă a fructului
Max2	Nuanța predominantă a fundalului
ML	Matrice de leduri
MPP	Motor pas cu pas
MSE	Eroarea medie pătratică
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
PCS	Precizia de calibrare pe sectoare
Pi	Precizia de calibrare pe fracție sau pe mașină
PSNR	Raportul semnal de vârf-zgomot
PT	Placă de teste
PV	Placa grafică
R1	Role transportoare
RGB	Modelul Red, Green, Blue
Rm	Raza medie
SAC	Sistem de achiziție



SC	Sistemul de calcul
SCC	Sistemul de comandă și control
SF	Semnătura formei
SI	Sistemul de iluminare
SM	Sistemul mecanic
SNR	Raportul semnal zgomot
SV	Sistemul de vizualizare
SVA	Sistem de vedere artificială
T1,T2, $\alpha$ , $\beta$	Parametri de control ai contrastului
TA	Aplicația Test Achiziție
TF	Transformata Fourier
TFI	Transformata Fourier Inversă
TFR	Transformata Fourier Rapidă
UML	Unified Modeling Language
Xc, Yc	Coordonatele centrului de greutate al produsului

## Introducere

Înșușirile deosebite ale legumelor și fructelor cât și valoarea lor în alimentarea și menținerea sănătății populației, determină un consum sporit al acestora și un interes aparte pentru produsele solicitate la export.

Țara noastră se situează printre țările mari producătoare și exportatoare de legume și fructe, gradul lor ecologic fiind apreciat deosebit în țările europene.

Acum, când România a aderat la Uniunea Europeană, ea a intrat într-o competiție acerbă cu celelalte firme din domeniu, motiv pentru care se impune ca proceselor de prelucrare primară a legumelor și fructelor să li se acorde o tot mai mare atenție și importanță, atât pentru respectarea indicilor de calitate impuși acestor produse, cât și a celorlalți indici impuși de standardele europene în vigoare.

Cerințele pieței externe pot fi cunoscute din studierea statisticilor oficiale ale țărilor importatoare, din cunoașterea studiilor elaborate de organisme internaționale (FAO, GATT, CEE) și din confruntarea directă a produselor românești cu produse din alte țări. Standardele naționale și internaționale stabilesc totodată condițiile tehnice de calitate, de calibrare, de ambalare și în unele cazuri și lista grupelor de soiuri și în funcție de calitățile lor. Introducerea progresului tehnic în domeniul prelucrării finale a legumelor și fructelor, va determina diminuarea decalajului existent față de țările Uniunii Europene.

Una din direcțiile ce pot contribui la introducerea rapidă a progresului tehnic în acest domeniu, îl reprezintă cuceririle științifice din *domeniul tehnicii de calcul și de conducere automată a proceselor bazate pe inspecția video a produselor*.

Istoricul inspecției video începe în anii 60 cu operații de genul manipulări robotice și clasificarea obiectelor, iar succesul acestei tehnologii în investigarea suprafeței spațiului lunar, a condus la implementarea acesteia și în domenii cum ar fi: diagnostic medical, inspecția și ambalarea produselor, conducerea vehiculelor, automatizarea roboților, etc.

Un caz particular îl reprezintă inspecția video a produselor de origine vegetală, deoarece tehnologiile mecanice utilizate în prezent în procesul de sortare a acestora, produc un grad ridicat de vătămare și totodată nu permit valorificarea clasificării după culoare și detecția defectelor. În aceste condiții, implementarea tehnicii de calcul și a inspecției video în cadrul proceselor de prelucrare primară a fructelor și legumelor, induce o serie de avantaje, în domeniul creșterii calității, a productivității muncii și reducerii costurilor.

Orice tehnică nouă de clasificare avansată, utilizată în procesul de prelucrare primară a legumelor și fructelor, ar trebui în mod ideal să acopere următoarele cerințe-cheie:

- creșterea preciziei de clasificare;
- reducerea dependenței de operatori umani;
- reducerea nivelului de vătămare a produselor clasificate;
- creșterea vitezei procesului de clasificare;
- reducerea cheltuielilor.

Aceste cerințe s-au găsit în atenția noastră în cercetările efectuate, conturându-se pentru operațiile de sortare după gradul de sănătate și integritate, cât și pentru sortarea dimensională și după culoare, următoarele obiective:

Dezvoltarea unor metodologii teoretice privind analiza pentru toate aspectele principale care trebuie abordate pentru ca procesul de clasificare să fie realizat cu succes, identificându-se etapele și modurile de abordare ale acestora, precum și conexiunile dintre aceste etape.

Conceperea și dezvoltarea unor algoritmi noi, moderni, de inspecție video și clasificare, utili în aplicațiile rulate în timp real, ce permit identificarea defectelor, sortarea după culoare și calibrarea dimensională, care să crească precizia clasificării, să reducă considerabil timpii de lucru și să minimizeze nivelul vătămarilor în rândul produselor analizate.

Proiectarea și dezvoltarea unei instalații de clasificare bazată pe inspecția video, pe tehnica de calcul și pe noile descoperiri din domeniul *inteligenței artificiale*, care să permită testarea performanțelor algoritmilor dezvoltați și a aplicației software, care coordonează și controlează întreaga activitate a instalației.

Conceperea și dezvoltarea unui produs program – „**Analizor Imagini**”, care să ofere în plus față de sistemele software existente pe piață, un mecanism de scurtare drastică a duratei operațiilor de îmbunătățire a imaginilor oferind posibilități de raportare, ajustare, evaluare și control în timp real, putându-se astfel realiza o apreciere a calității sistemului de inspecție video proiectat.

Experimentarea funcționării sistemului de clasificare proiectat și dezvoltat, utilizând fructe și legume cu factor de formă apropiat de 1 sau mult diferit de 1, cu formularea unor concluzii finale privind caracteristicile și performanțele noilor algoritmi proiectați și implementați.

În acest sens, în cuprinsul părții a II-a și a III-a a acestei teze se prezintă contribuțiile autorului în problematica tehnicilor de prelucrare primară a legumelor și fructelor în general și a conexiunilor dintre metodele, tehnicile și instrumentele software specifice inspecției video, în particular, ca rezultat al unei activități de cercetare desfășurată pe parcursul mai multor ani.

O parte din rezultatele obținute au constituit obiectul a 3 lucrări prezentate în cadrul unor Conferințe Internaționale desfășurate în țară, 2 articole publicate în reviste de specialitate și 3 lucrări prezentate în cadrul unor Conferințe Internaționale desfășurate în străinătate. Restul informațiilor sunt prezentate în premieră în lucrarea de față.

Contribuțiile de ordin teoretic, programele concepute și dezvoltate, precum și instalația în sine conferă lucrării un real caracter de originalitate și aplicabilitate practică.

# PARTEA ÎNTÂI

STUDII ASUPRA PROCEDEELOR DE  
LUCRU ȘI NIVELULUI TEHNIC ACTUAL  
AL INSTALAȚIILOR UTILIZATE ÎN  
DOMENIUL PRELUCRĂRII PRIMARE A  
LEGUMELOR ȘI FRUCTELOR  
ÎN ȚARA NOASTRĂ ÎN ETAPA  
ACTUALĂ

## CAPITOLUL 1

# Caracteristicile materiilor prime și fazele tehnologice ale proceselor de prelucrare primară a legumelor și fructelor

### 1.1. Caracteristicile fizice ale legumelor și fructelor ce trebuie luate în considerare în cadrul proceselor de prelucrare primară

Trăsăturile caracteristice definitorii pentru studierea posibilităților optimizate de prelucrare primară automată a fructelor și legumelor sunt: culoarea, forma, mărimea, fermitatea structo-texturală, gradul de integritate rezultat în urma recoltării și gradul de impurificare. Aceste particularități reprezintă fundamente esențiale de care trebuie să se țină seama la alegerea subansamblelor și determinarea limitelor de reglare a instalațiilor de prelucrare primară.

#### **Culoarea**

În cazul legumelor și fructelor, culoarea furnizează informații foarte importante cu privire la estimarea gradului de maturitate, a prezenței defectelor, precum și a prospețimii acestora. De asemenea, culoarea și gradul ei de uniformitate influențează gradul de acceptare de către consumator, precum și condițiile de valorificare. [39]

Gradul de reflexie a unor fascicule luminoase cu anumite lungimi de undă, este funcție directă de culoarea și gradul de acuratețe al produselor, iar uniformitatea acestora reprezintă parametrii ce asigură prelucrarea primară de înaltă eficiență, a unor instalații automate.

#### **Forma**

Ca trăsătură caracteristică a fructelor și legumelor, forma variază cu specia, soiul, gradul de maturare în momentul considerat, condițiile de mediu etc. Atât pentru fructele propriu-zise cât și pentru legumele-fructe, forma poate fi rotundă și ovală, cu diferite și profunde modificări.

Forma mai mult sau mai puțin ovală se observă la mere: Pătul, Crețești, Renate etc.; bace: struguri, agrișe, coacăze etc.; drupe: caise, piersici, vișine, prune etc.; [84]

Legumele-fructe, cum sunt unele soiuri de pătlăgele roșii, pepeni verzi și galbeni, au o formă ovală aproape regulată. Prin urmare, fructele și legumele-fructe au forme care derivă din forma ovală și cea rotundă. Legumele-muguri terminali au forma aproape rotundă (varza de iarnă, varza de Bruxelles), sau oval alungită

(varza de vară). [10] Legumele-inflorescențe au forma oval turtită, ca de exemplu conopida, broccoli.

Aceste forme sunt caracteristice numai la maturitatea de recoltare. În afară de gradul de maturare la care s-a făcut recoltarea, condițiile de mediu, pot influența foarte mult forma fructelor și legumelor. De exemplu, în cazul când precipitațiile atmosferice sunt minime, unele soiuri de fructe și în special prunele, care în mod normal au o formă alungită, rămân mici și iau o formă aproape rotundă. Același lucru se întâmplă și cu celelalte fructe sau legume.

Cunoașterea formei de bază și a variațiilor ei, în funcție de gradul de maturare considerat și de condițiile de mediu, permite o orientare ușoară în labirintul multiform al fructelor și legumelor cu privire la rezolvarea problemelor legate de alegerea formei și dimensiunilor pieselor active ale instalațiilor mecanice folosite la sortarea și calibrarea lor, la felul de ambalare etc.

Aprecierea diferenței de formă dintre componentele sortului de legume-fructe supus prelucrării primare se face cu ajutorul factorului de formă care se exprimă prin raportul  $\Psi = AS/AP$ , adică raportul dintre suprafața unei sfere AS de volum egal cu volumul particulei, și AP care este suprafața particulei. Fructele rotunde au cel mai mare factor de formă, adică  $\Psi = 1$ , iar posibilitățile de asigurare a unor seturi de organe de sortare-calibrare sunt cele mai comode și care pot asigura o împărțire dimensională cât mai exactă. Cu cât componentele amestecului sunt mai deformate în raport cu sfera, suprafața AP este din ce în ce mai mare, iar factorul de formă este din ce în ce mai mic.

## Mărimea

Mărimea este urmarea firească a diviziunii și lărgirii dimensionale a celulelor, ea fiind condiționată de aceiași factori ca și forma. Din acest punct de vedere, mărimea este normală, când corespunde întocmai nu numai speciei și soiului ci și gradului tipic de maturare și anormală, când depășește sau este sub limitele respective.

Mărimea poate fi exprimată în unități de masă, dimensiuni sau volum.

În funcție de specie, soi, condiții de climă, de sol, tehnologie de cultură etc., mărimea variază în limite foarte largi. În tabelul 1.1 sunt redată valorile acestei însușiri, pentru unele legume și fructe și numărul de bucăți care revin la kg. [84][85]

**Tabelul 1.1.** Greutatea și numărul de bucăți/kg pentru principalele legume și fructe

<b>Produsul</b>	<b>Greutatea (g) - limită -</b>	<b>Bucăți/kg - limită -</b>
Ardei gras	13-200	5-33
Castraveți	10-800	1-100
Cartofi	30-300	3-33
Ceapă	40-500	2-25
Morcovi	25-200	5-40
Pepeni verzi	1000-10000	-
Pătlăgele vinete	100-500	2-10
Tomate	20-280	3-50
Varză	1000-10000	-
Caise	15-60	17-66
Cireșe	3-20	50-330

Produsul	Greutatea (g)	Bucăți/kg
	- limită -	- limită -
Căpșuni	5-40	25-200
Gutui	100-720	10-13
Mere	70-350	4-14
Pere	30-500	2-33
Piersici	40-260	4-25
Prune	10-65	15-100

Dimensiunile (diametrul, înălțimea) sunt folosite pentru a stabili calibrul produselor.

Condiția de mărime este stabilită prin normele în vigoare și este determinată prin:

- măsurarea calibrului, stabilindu-se diametrul ecuatorial în partea cea mai bombată (cea mai mare) a produsului, ca de exemplu la mere, pere, conopidă, vișine, căpșuni etc., sau lungimea (înălțimea), grosimea ca de exemplu la castraveți, dovleci, morcovi etc.;

- cântărirea individuală, stabilindu-se masa unui exemplar, ca de exemplu la varză, vinete etc., sau număr de bucăți la kilogram, ca de exemplu la prune, cartofi, tomate etc.

Pentru unele produse cum ar fi de exemplu piersicile, în funcție de limitele de calibrare, împărțirea se face pe clase. Astfel, piersicile cu diametrul maxim mai mare decât 90 mm intră în clasa AAAA, între 80 și 89 mm în clasa AAA, între 73 și 79 mm în AA, între 67 și 72 mm în clasa A, între 61 și 66 mm în B, între 56 și 60 mm în C, între 51 și 55 mm în D și între 47 și 50 în E. [40]

În funcție de mărime, legumele și fructele sunt în general grupate în mari, mijlocii și mici. Astfel, se consideră ca fiind mici, spre exemplu prunele care au sub 20 g, cireșele și vișinele sub 4 g, merele sub 75 g, tomatele sub 40 g, cartofii sub 50 g, ceapa sub 40 g.

De asemenea se apreciază ca mari produsele ce depășesc limitele de greutate de 125-150 g la mere, 30-40 g la prune, 6 g la cireșe și vișine, 80-100 g la cartofi, 15-200 g la tomate etc.

Se face precizarea că mărimea nu este totdeauna un indiciu pentru calitatea superioară a produsului respectiv. Astfel, în cazul castraveților, morcovilor, sfeclei, ridichilor, cepei, sunt apreciate exemplarele de dimensiuni medii, cele mari fiind considerate inferioare.

La tomate, piersici, caise mărimea nu determină totdeauna calitatea. Astfel, dacă celelalte caracteristici corespund normelor impuse, exemplarele de dimensiuni medii și mici se pot încadra și la calitatea extra și I.

În același timp se poate întâmpla ca, un produs de dimensiuni mari să fie apreciat a fi de calitate a II-a, mai ales dacă se adaugă și alte aspecte de prospețime, uniformitatea culorii, formă etc.

Spre exemplu, în cazul cepei, se încadrează în calitate I bulbi cu diametrul minim de 40 mm la ceapa din arpagic și 60 mm la ceapa din răsad, iar la calitatea a II-a bulbii cu diametrul de 25 mm, respectiv 40 mm.

Spre o documentare mai completă în tabelul 1.2. se prezintă caracteristicile după care se face calibrarea și valorile calibrelor pentru principalele specii de legume și fructe.[39]

**Tabelul 1.2.** Caracteristicile după care se face calibrarea și valorile calibrelor pentru principalele specii de legume și fructe

Specia		Calitatea		
		Extra	I	II-a
1		2	3	4
<b>1. Diametrul ecuatorial maxim (mm)</b>				
Ardei gras		60	50	40
lung		40	30	30
gogoșar		70	60	50
Cartofi timpurii	minim	-	35	30
de vară		-	40	30
Ceapă din arpagic și sămânță		-	40-60	peste 25
Conopidă timpurie	minim	13	11	9
târzie		15	13	11
Dovlecei	maxim	15	13	11
Morcovi tip Nantes		25-40	20-50	20-60
alte soiuri		25-40	20-60	20-60
Praz	minim	-	25	20
Pătrunjel		-	20-50	minim 20
Păstârnac	minim	-	35	25
Ridichi soiuri rotunde	minim	-	15	12
soiuri alungite		-	20	15
Țelină rădăcini	minim	80	70	50
Caise soiuri extra-timpurii		35	35	35
restul soiurilor		40	40	40
Căpșuni soiuri cu fructe mari		30	25	20
mici		20	15	15
Cireșe	minim	21	18	16
Gutui	minim	90	70	50
Mere soiuri cu fructe mari	minim	65	60	55
fructe mici	minim	60	55	50
Nuci în coajă		28	26	24
Pere soiuri cu fructe mari		65	60	55
mici		60	55	50
Piersice		56	51	-
Prune soiuri cu fructe mari		40	35	-
mijlocii		35	30	-
mici		20	25	-
Vișine		20	18	15
<b>2. Înălțimea (mm)</b>				
Bulbi la ceapa din răsad		-	60-80	peste 40



Specia	Calitatea		
	Extra	I	II-a
1	2	3	4
<b>3. Lungimea (mm)</b>			
Castraveți de câmp	12	12	12
de răsadniță	15	15	15
de seră	20	20	20
<b>4. Greutatea (g)</b>			
Cartofi de toamnă	80	40	30
Salată de câmp	-	150	100
din culturi protejate	-	-	-
sau forțate	-	80	50
Sfeclă roșie	-	300-600	100-1000
Varză roșie soiuri timpurii	0,8	0,6	0,4
soiuri târzii	1	0,8	0,4
Varză albă soiuri timpurii	0,8	0,6	0,4
soiuri semi-timpurii	1,2	1	0,8
soiuri târzii	2	1,5	1
Struguri cu boabe mari	200	150	-
cu boabe mijlocii	-	-	-
sau mici	150	100	-

După cum se constată din tabelul 1.2., la mere spre exemplu, la soiurile cu fructe mari, se i-au în considerare diametrele minime de 55 mm pentru calitatea a II-a, 60 mm pentru calitatea I-a și 65 mm pentru calitatea extra.

Ca și în cazul formeii, mărimea dimensională a fructelor și legumelor stă la baza calculului limitelor de reglare a ansamblurilor de prelucrare primară, de dimensionare a spațiilor de păstrare, cât și la stabilirea numărului de ambalaje, a numărului de mijloace de transport etc.

### Fermitatea structo-texturală

Mărimea celulelor componente și așezarea lor în țesuturi, reprezintă structura, iar felul cum diferite țesuturi, care alcătuiesc masa organelor vegetale, sunt asociate între ele, poartă denumirea de textură. Consecința firească a structurii și texturii, în sensul interdependenței funcționale din punct de vedere mecanic, se cunoaște sub denumirea de fermitate structo-texturală.

Fermitatea structo-texturală, ca proprietate dinamică, reprezintă intensitatea legăturii dintre structura și textura fructelor și legumelor și este condiționată nu numai de forma, mărimea și îmbinarea celulelor în țesuturi, ci și de: mărimea spațiilor intercelulare; a spațiilor vacuolare și de faptul dacă acestea sunt pline cu gaze sau cu substanțe solubilizate în sucul celular și vacuolar.

În legătură cu fermitatea structo-texturală se amintește faptul că, piersicile și caisele recoltate la maturitatea de livadă, după scurt timp, la temperatura mediului, devin foarte sensibile la manipulare și transport, pentru că pierd fermitatea și starea de elasticitate, iar epiderma se desface de mezocarp.

Semințoașele (merele, perele, gutuile) au o fermitate structo-texturală mult mai mare, atât la recoltare, cât și pe durata timpului acceptabilității pentru consum, decât sămburoasele (caisele, piersicile, prunele, cireșele, vișinele), bacele (strugurii, coacăzele, agrișele, etc.) și în special față de poliachene (căpșuni, zmeură, mure). Totuși, sămburoasele prezintă o elasticitate evidentă față de semințoașe, la care această însușire nu este comercial sensibilă.

Fermitatea structo-texturală ca proprietate fizică servește la stabilirea momentului și felului de recoltare, ambalare, transport, durata păstrării în stare proaspătă și a metodei de prelucrare pe cale industrială. Fizic, fermitatea structo-texturală se determină cu aparate speciale, iar rezultatele se exprimă în  $N/m^2$ .

Din punct de vedere al proceselor de prelucrare primară, fermitatea structo-texturală reprezintă parametrul care se ia în considerare la stabilirea înălțimilor de cădere a produselor la trecerea de la un ansamblu la altul, de-a lungul fluxului tehnologic. În același timp, este parametrul fundamental, care din punct de vedere tehnologic, alături de cele de rezistență și fiabilitate în funcționare, hotărăște natura materialului din care trebuie confecționat ansamblul respectiv.

Fermitatea structo-texturală a pulpei se determină cu ajutorul *penetrometrului* (fig. 1.1.1.) [38]

**Fig. 1.1.1.** Determinarea fermității structo-texturală a pulpei cu ajutorul penetrometrului



Pentru a se asigura menținerea integrității legumelor și fructelor, alimentarea sectoarelor de calibrare a mașinilor și instalațiilor folosite în acest scop se face pe plan înclinat, iar distanța maximă de cădere la fiecare calibru nu trebuie să depășească 25 cm. Dacă legumele și fructele cad de la înălțimi mai mari de 25 cm, în cazul fructelor moi sau cu grad de maturare avansat, pot să apară grave vătămări. [38]

### **Porozitatea**

Porozitatea legumelor și fructelor a devenit una din proprietățile fizice ce a fost valorificată pentru executarea unor faze de prelucrare primară, în mod deosebit, pentru curățirea amestecurilor de tuberculi sau bulbi recoltați din sol.

Porozitatea pietrelor sau a bulgărilor de sol se situează sub, respectiv, peste porozitatea componentelor culturii de bază.

În aceste condiții, folosind diferența de porozitate drept element de măsurare a capacității de absorbție a razelor X, s-au realizat instalații mecano-electronice mobile, capabile să elimine pietrele și bulgării de sol din amestec direct în câmp.

## 1.2. Calitatea biologică a legumelor și fructelor

Pentru stabilirea însușirilor care stau la baza aprecierii calității fructelor sau legumelor se efectuează analize organoleptice sau senzoriale și de laborator. Analizele de laborator se efectuează în general pentru stabilirea proprietăților fizice și chimice, iar cele organoleptice sau senzoriale, pentru cele care pun în evidență suculența pulpei, gustul, aroma etc.

Precizia de apreciere a calității se poate măări dacă se aplică metoda punctelor, prin care pentru fiecare caracteristică, se acordă un anumit număr de puncte. În tabelul 1.3. se prezintă un exemplu de acordare a punctajului folosit pentru stabilirea calității legumelor și fructelor în concordanță cu prevederile STAS 6441-61. [38]

**Tabelul 1.3.** Punctajul folosit pentru stabilirea calității legumelor și fructelor

Specificare	Legume	Mere, pere, gutui*	Cireșe, vișine, piersici, caise, prune*	Struguri**
Mărimea	5-1	3-1	3-1	-
Forma tipică soiului	5-1	3-1	-	-
Pruina	-	-	3-1	3-0
Culoarea pielii	5-1	4-1	-	-
Starea pielii	5-1	4-1	-	-
Uniformitate de soi	5-1	-	-	-
Culoarea pulpei	5-1	3-1	-	-
Consistența pulpei	5-1	3-1	3-1	2-0
Suculența pulpei	5-1	3-1	3-1	-
Gradul de maturare	5-1	-	-	-
Gustul	8-1	7-1	6-1	3-0
Aroma	5-1	4-1	4-1	-
Aderența sâmburului de pulpă	-	-	3-1	-
Raport pulpă/sâmbure	-	-	3-1	-
Desprinderea boabelor de pe ciorchine	-	-	-	1-0
Grosimea pielii, numărul și mărimea semințelor	-	-	-	1-0

În cazul legumelor, pentru calitatea extra sunt necesare minim 55 puncte, la calitatea I minim 33, iar la calitatea II minim 11 puncte, cu condiția ca niciuna din însușiri să nu fie mai mică decât 1.

La fructe limitele variază cu grupa de specii, ajungând maximum de puncte de 31 la semînțoase și 28 puncte la sâmburoase.

### 1.3. Aspecte generale legate de fazele tehnologice ale procesului de condiționare a legumelor și fructelor, în vederea valorificării în stare proaspătă

În procesul de valorificare a fructelor și legumelor, destinate exportului în stare proaspătă, condiționarea constituie o verigă importantă și absolut necesară.

În acest scop lanțul tehnologic al operațiilor ce trebuie efectuate este foarte diversificat, în funcție de mediul în care s-au dezvoltat produsele ce se valorifică: în sol, deasupra solului, pe ramurile plantelor în spațiul aerian, sau pe ramurile pomilor fructiferi, precum și de tehnologiile de recoltare folosite, tehnologii de care depinde în mod hotărâtor gradul de impurificare cu sol, frunze și alte corpuri străine de natura componentelor recoltei de bază.

De aceea, apar de foarte multe ori situații impuse de pretențiile manifestate de unele piețe externe care, înafara respectării condițiilor impuse asupra integrității, stării de sănătate, grad uniform și de culoare, solicită respectarea unei acuratețe totale a suprafeței produselor, cât și un anumit grad de strălucire a acestor suprafețe. În acest scop se impune efectuarea acestor operații prin spălări în urma imersiei produselor în bazine cu apă, cu sau fără utilizarea curățitoarelor cu perii, sau eliminarea pe cale uscată a acestor impurități, folosind căderea gravitațională, sitele acționate sau neacționate cinematic, cât și acțiunea câmpului aerodinamic ascendent sau înclinat.

Pentru fiecare caz în parte au fost concepute scheme tehnologice de prelucrare primară în cadrul cărora fazele de prelucrare sunt distribuite după conform scopului de valorificare și duratei de păstrare.

Spre exemplificare în figura 1.3.1., se prezintă schema tehnologică de prelucrare primară a merelor și perelor. [39]

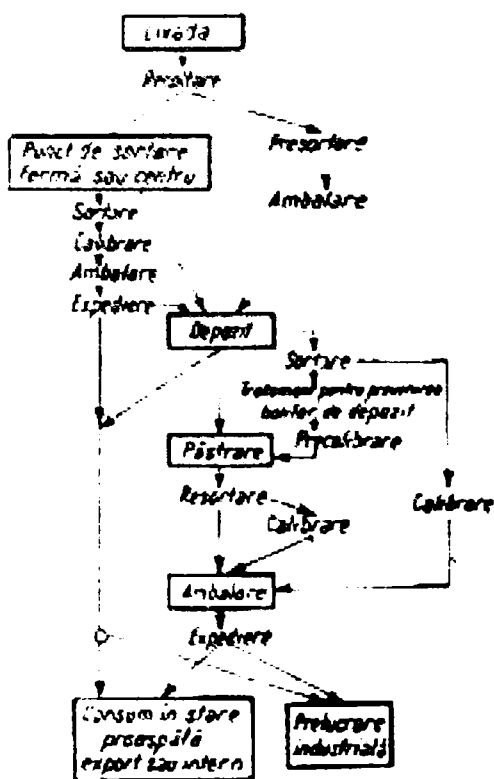


Fig.1.3.1. Schema tehnologică de prelucrare primară a merelor și perelor în funcție de direcția de valorificare

Pentru asigurarea gradului cerut de strălucire a suprafeței fructelor, în unele state se practică ceruirea prin aplicarea unei pelicule fine de ceară alimentară pe suprafața acestora.

Operația contribuie și la închiderea porilor de pe suprafața fructelor și prin aceasta, determină lungirea perioadei de păstrare a lor în stare nedeshidratată.

Dintre toate aceste operații obiectivul acestei teze îl reprezintă realizarea pe cale automată, prin procedee electronice moderne, a operațiilor de sortare calitativă, de sortare dimensională și de sortare după culoare, operații care în faza actuală, în țara noastră, pentru produsele destinate exportului, se efectuează manual.

## CAPITOLUL 2

### Utilaje și instalații mecanice folosite pentru condiționarea legumelor și fructelor

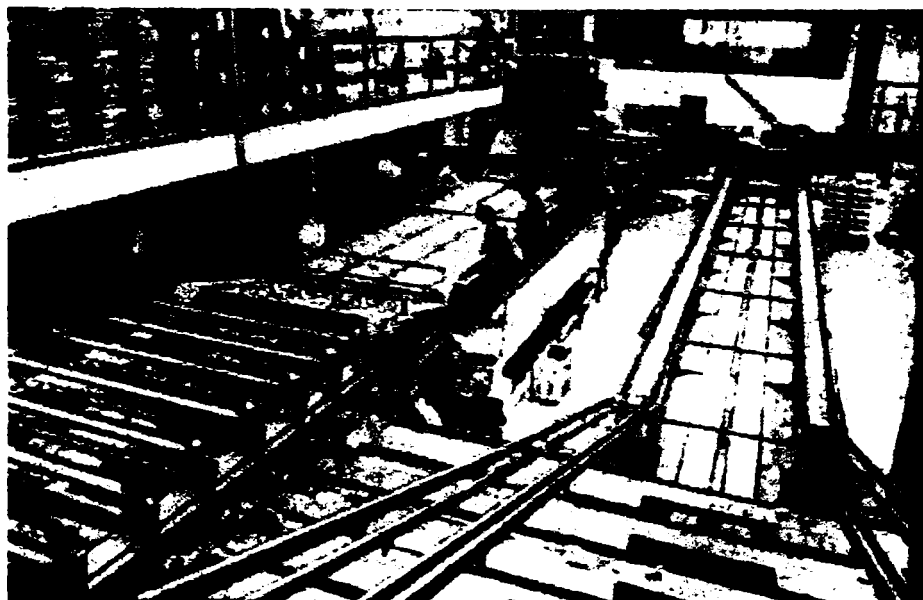
#### 2.1. Stadiul actual de execuție a unor operații de condiționare a legumelor și fructelor în țara noastră

După cum reiese din figura 1.3.1., condiționarea reprezintă o succesiune de operațiuni la care sunt supuse legumele și fructele în vederea pregătirii lor pentru depozitare, sau pentru livrarea la beneficiar, astfel încât să corespundă normelor de calitate în vigoare.

Componența și capacitatea de lucru a unei linii tehnologice de condiționare depinde de speciile de fructe și legume care trebuie condiționate, destinația acestora, volumul total de produse care trebuie condiționate în perioadele de vârf, disponibilul de forță de muncă etc.

În figura 2.1.1. se prezintă o vedere de ansamblu a interiorului unei hale în care este amplasată o instalație pentru condiționat mere și piersici, din care se observă mărimea secțiilor instalației cât și necesarul de spațiu pentru amplasarea ei în stare de lucru.[34]

**Fig. 2.1.1.**  
Vedere de ansamblu a halei în care este instalată stația pentru condiționat mere și piersici.



Din domeniul instalațiilor mecanice folosite pentru condiționarea legumelor, în figura 2.1.2. se prezintă instalația ISIC-30, folosită pentru condiționarea tuberculilor de cartofi.[5]

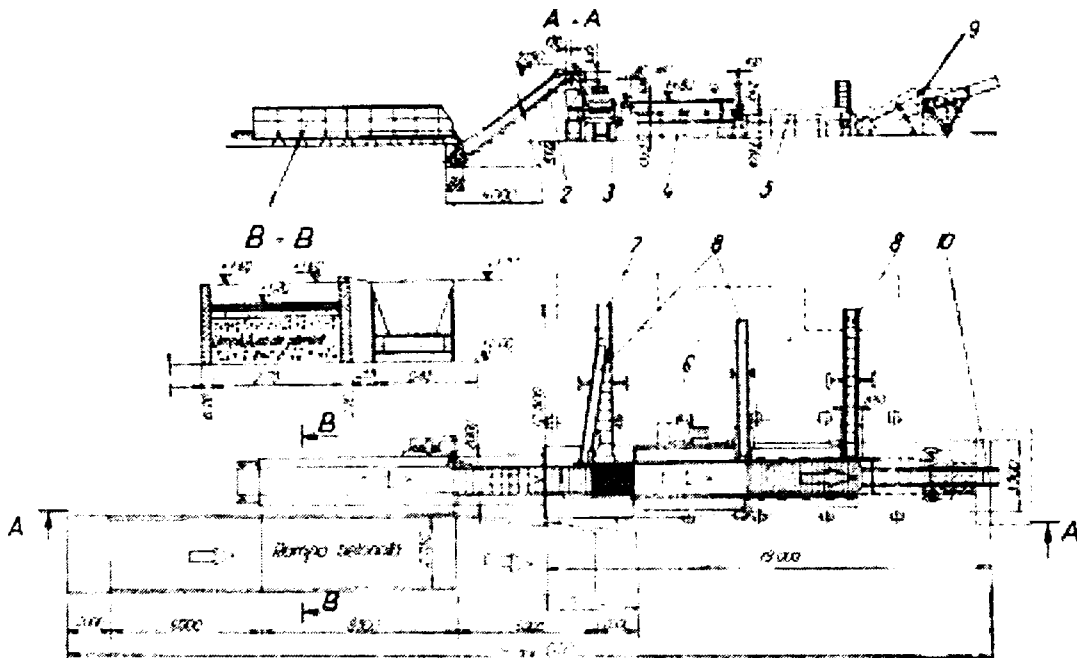


Fig. 2.1.2. Schema instalației ISIC -30

- 1 – buncăr de preluare; 2 - elevator cu bandă EB-30-3; 3 – mașina de presortat MP-1;  
4 - masa de sortare MSB-1; 5 - masa de sortare cu role; 6 – pupitru de comandă;  
7, 8 – transportoare pentru diminuarea impurităților; 9 – mașină de calibrat MCC-60 (45);  
10 – transportor TU-25 pentru evacuarea cartofului condiționat.

După cum se vede din valoarea cotelor de pe figură, instalația are nevoie efectivă de 44 m în plan orizontal, iar pentru a crea condiții comode de acces a mijloacelor de transport a amestecurilor rezultate în urma recoltării cartofilor, această instalație se instalează de obicei în șoproane multifuncționale.

Mașinile folosite pentru înlăturarea deficiențelor arătate, realizează **descărcarea produselor** pe cale „uscată” sau prin „imersie în apă”.

O metodă mai modernă de descărcare a produselor pe linia tehnologică, care se folosește în special pentru descărcarea merelor și a altor produse sensibile, este metoda de descărcare în apa dintr-un bazin special construit (descărcarea prin imersie).

Mecanismul de imersie este de tip platformă elevatoare, acționată electric, folosit în cazul lăzilor box-paletă, (fig. 2.1.3.), sau de tip cu bandă transportoare așezată transversal față de axa longitudinală a bazinului folosit în cazul lăzilor obișnuite. Unele instalații pot fi prevăzute cu ambele tipuri de mecanisme (ex. instalația de condiționat mere tip „Roda”). [115]

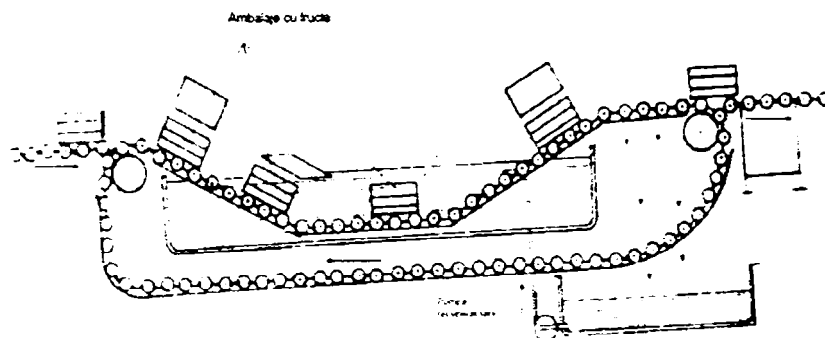


Fig. 2.1.3.  
 Schema instalației de descărcare a lăzilor cu fructe prin imersie în apă

Mecanismul de imersie tip platformă elevatoare este format dintr-o rampă cu role, pe care se așează lăzile paletate pline cu fructe. Acestea sunt transportate pe platforma elevatoare, care le coboară în bazinul cu apă. După antrenarea produselor de către curentul de apă și eliminarea impurităților ușoare cu banda, lăzile paletate ajung pe rampa cu role pentru lăzi goale.

**Sortarea calitativă** reprezintă operația de separare din amestec atât a componentelor degradate biologic, cât și a celor care nu se încadrează în parametrii ce caracterizează aspectul exterior, ca: gradul de coacere, culoare, formă, etc.

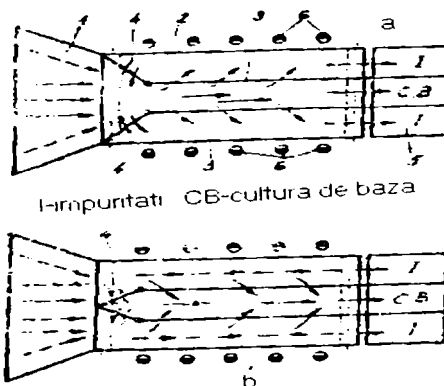
Extragerea componentelor necorespunzătoare se face manual, produsele deplasându-se prin fața posturilor de lucru cu ajutorul benzilor transportoare special construite (fig. 2.1.4.) sau cu transportoare cu rulouri. În cazul în care componentele culturii de bază sunt puternic impurificate cu corpuri străine (pietre, bulgări de pământ, etc.), **sortarea calitativă** se face la început pe transportoare cu bandă de pe care se extrag componentele străine și apoi pe transportoare cu rulouri, de pe care se extrag componentele necorespunzătoare ale culturii de bază.[101]

Fig.2.1.4. Schema procesului de separare manuală a impurităților din cultura de bază, folosind bandă transportoare

a. în amestec predomină cultura de bază C.B.;

b. în amestec predomină impuritățile I.;

- 1 - coșul de alimentare;
- 2 - bandă transportoare;
- 3 - pereți delimitatori;
- 4 - deflectoare;
- 5 - buncăr colector;
- 6 - posturi de lucru.



În locul transportorilor cu benzi se pot folosi transportoare cu rulouri (fig. 2.1.5.), care, prin asigurarea rotirii produselor concomitent cu transportul lor evidențiază rapid și comod deficiențele calitative ale sorturilor supuse prelucrării.



Dat fiind avantajele introduse de acest transportor cu rulouri, el a fost utilizat și la realizarea machetei experimentale pentru testarea și validarea algoritmilor proiectați.

Lungimea și lățimea benzii de sortare depinde de productivitatea benzii. Lungimea benzii se calculează cu formula:

$$L = \frac{a \times P}{2q} + l + p, \text{ în m.} \quad (2.1.)$$

în care:

P - reprezintă cantitatea de materie primă care se sortează, în t/h;

a - lățimea locului de muncă, în m;

q - norma efectuată de muncitori, în t/h;

l - lungimea de bandă corespunzătoare unui muncitor, în m;

p - lungimea neîntrebuințată din transportor, în m

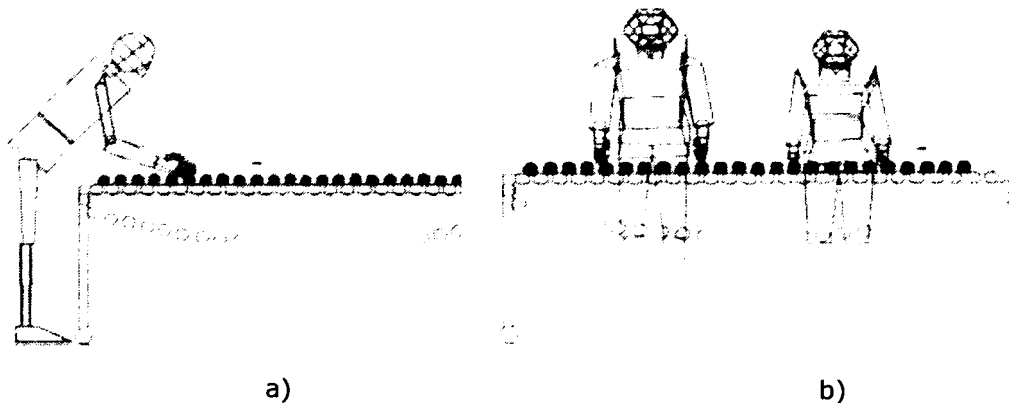
Se consideră că, pentru 0,1 m de lățime de bandă, productivitatea benzii de sortare este 1 t/h.

În funcție de lățimea B benzii, relația 2.1 devine:

$$L = \frac{a \times B}{0,2q} + l + p, \text{ în m.} \quad (2.2.)$$

Întrucât operația este deosebit de pretențioasă și solicită în mare măsură atenția personalului sortator, în scopul creșterii productivității și calității la execuția acestei operații, au fost declanșate o serie de cercetări.

Ele au evidențiat faptul că plasarea sortatorilor prin acces direct (fig. 2.1.5.a), aduce îmbunătățiri semnificative față de plasarea sortatorilor pe laterala transportorului (fig. 2.1.5.b). [32]



**Fig. 2.1.5.** Plasarea sortatorilor: a - prin acces direct; b - pe laterala transportorului

În aceste condiții crește considerabil suprafața de vizualizare a produselor de sortat și în plus apar numeroase avantaje ergonomice.

Din schema tehnologică prezentată în figura 1.3.1. se constată că operația următoare ce urmează sortării calitative este calibrarea.

Gradul ridicat de diversificare a legumelor și fructelor, atât sub aspectul formei cât și a diferenței de masă, a condus la realizarea de variante constructive de calibroare mecanice care împart fluxul de produse fie după diferențe dimensionale, fie după diferență de masă.

În acest sens, în continuarea lucrării, se prezintă o sinteză a particularităților constructiv-funcționale și a principiilor implementate în cadrul acestor instalații, pentru a răspunde acestor situații atât de diversificate.

## 2.2. Principii constructiv-funcționale ale mașinilor de calibrat fructe și legume pe cale mecanică

### 2.2.1. Cerințe tehnologice impuse calibroarelor de legume – fructe. Categoriile de calibroare utilizate.

Ținând seama de caracteristicile produselor ce se calibrează, cerințele principale impuse mașinilor de calibrat sunt:

- să execute calibrarea pe cât mai multe sorturi;
- să asigure o eficiență cât mai ridicată a calibrării, toate produsele dintr-un calibru să fie cuprinse în limite foarte strânse;
- gradul de vătămare al produsului, în timpul trecerii prin mașină să fie eliminat sau cât mai mic;
- să realizeze o productivitate mare.

**Calibrarea fructelor**, în funcție de dimensiunile lor, se face cu mai multe tipuri de organe active care asigură separarea pe grupe a fructelor după unul din diametre, de cele mai multe ori, după diametrul maxim ecuatorial.

**Calibrarea după două diametre conjugate** asigură o precizie mai mare de calibrare a fructelor pe grupe de dimensiuni. Ea se execută cu mașini prevăzute cu organe de calibrare de forma unor orificii circulare extensibile, cu orificii circulare cu diametre variabile progresive, cu palpatoare, cu rulouri spirale sau cilindrice, cu orificii cu diametre diferite.

**Calibrarea după diferența de masă** se asigură cu ajutorul ansamblor cu cupe dezechilibrabile de tipul cu greutate mobilă, sau cu brațe oscilante blocabile, precum și în varianta cu conveyer cu cupe pe cale de rulare cu tronsoane pe arcuri cu comprimare prealabilă diferită.

### 2.2.2. Sinteza particularităților constructiv-funcționale ale ansamblor mecanice pentru calibrat legume-fructe după dimensiuni

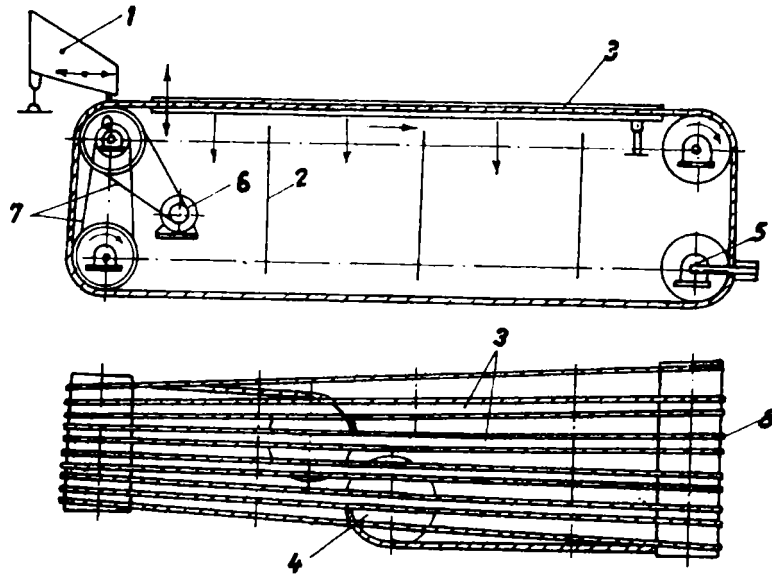
Calibrarea după dimensiuni a generat un număr mare de variante de ansamble mecanice, ca urmare a gamei foarte largi a acestora, mai ales a diametrului și grosimii fructelor.

De aceea, criteriile după care se face calibrarea fructelor, diferă de la o specie la alta. Astfel, merele sunt calibrate după circumferința maximă, iar piersicile se calibrează după diametrul secțiunii ecuatoriale. Fructele cu factor de formă  $\Psi < 1$  se calibrează după diferența de grosime.

Calibrarea legumelor din grupele solano-fructoase și bulbo-rădăcinoase, se realizează cu succes cu ajutorul calibroarelor de tipul cu fantă divergentă orizontală. În figura 2.2.1 se prezintă schema constructiv funcțională a unei mașini de calibrat cu cabluri divergente. [4]

**Fig. 2.2.1.** Schema mașinii de calibrat cu cabluri divergente

- 1 – pâlnie de alimentare;
- 2 – plăci despărțitoare;
- 3 – bare de lemn;
- 4 – disc de ghidare;
- 5 – sistem de întindere;
- 6 – electromotor;
- 7 – transmisie prin lanț;
- 8 – cablu de sârmă.



Principiul după care acest utilaj realizează procesele de calibrare, se prezintă în figura 2.2.2.. [100]

Condiția de calibrare este ca:

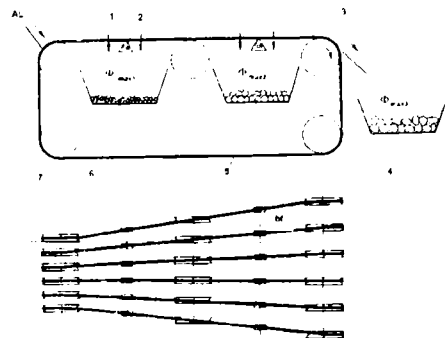
$$bf_i < \Phi_{\max_i} \quad (2.3)$$

în care,

- $bf_i$  este lățimea fantei,
- $\Phi_{\max_i}$  este diametrul maxim a fiecărui sort „i”.

**Fig. 2.2.2.** Schema de principiu privind funcționarea cu cabluri divergente

- 1 – cablu;
- 2 – suport;
- 3 – rolă motoare;
- 4, 5 și 6 – colectoare;
- 7 – rolă ghidare;



Cum:

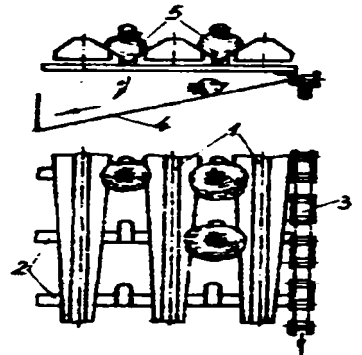
$$bf_1 < bf_2 < bf_3 < \dots < bf_i, \quad (2.4)$$

iar:

$$\Phi_{max_1} < \Phi_{max_2} < \Phi_{max_3} < \dots < \Phi_{max_i}, \quad (2.5)$$

rezultă că are loc calibrarea de la mic la mare.

Dat fiind faptul că precizia de calibrare la ansamblele echipate cu cabluri sau curele ce formează calea divergentă, este afectată prin deformarea acestor elemente datorită elasticității lor, au fost concepute soluții constructive care elimină acest dezavantaj folosind suporturi de rulare ficși, confecționați din material rigid (lemn de esență moale). O astfel de soluție constructivă este prezentată în figura 2.2.3.. [101]



**Fig. 2.2.3.** Calibror după dimensiunea maximă, folosind căi de rulare divergente rigide

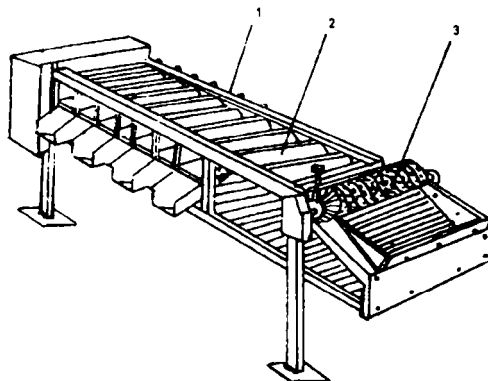
- 1 - profile divergente fixe; 2- bare antrenare fructe;
- 3 - lanț Gall; 4 - colector calibre; 5 - fructe.

Căpșunile și alte fructe de acest gen se calibrează cu calibroare cu plăci transversale și fante cu deschidere variabilă (fig. 2.2.4.).

Mașina asigură transportul și distribuția produselor în fante reglate diferit ca deschidere și realizează calibrarea produselor în șapte categorii, la dimensiuni cuprinse între 0 și 70 mm. [70]

**Fig. 2.2.4.** Mașina de calibrat cu fante reglabile

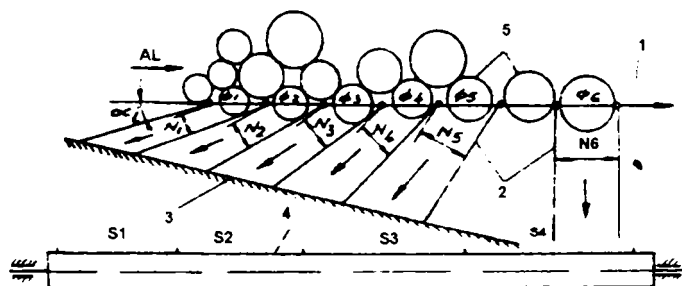
- 1 - cadru; 2 - banda de calibrare; 3 - dispozitiv de uniformizare;



Schema constructiv-funcțională de principiu a acestui tip de calibror, se prezintă în figura 2.2.5. [102]

**Fig. 2.2.5.** Schema de principiu a calibrorului cu plăci transversale și fante cu deschidere variabilă

- 1 - lanț transportor de plăci;
- 2 - plăci; 3 - plan înclinat de sprijin a capetelor nearticulate ale plăcilor;
- 4 - transportor colector de sorturi;
- 5 - fructe;



Condiția de calibrare este:

$$\Phi_i < N_i, \quad (2.6)$$

în care:

- $\Phi_i$  - reprezintă diametrul fructelor dintr-un anumit sort „i”,
- $N_i=f(\alpha_i)$  - reprezintă distanța dintre plăci.

Cu cât unghiul  $\alpha_i$  este mai mare cu atât și  $N_i$  este mai mare, respectiv și calibrul  $\Phi_i$  este mai mare.

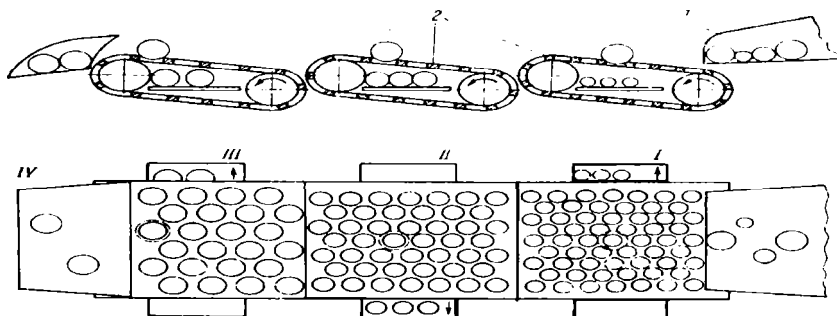
În acest fel se obțin sorturile:

$$S_1 < S_2 < S_3 < \dots < S_I, \quad (2.7)$$

iar ordinea de calibrare este de la  $< \rightarrow >$ .

Pentru calibrarea merelor în România s-a fabricat mașina de sortat mere MSM, al cărui calibror este de tipul cu benzi transportoare în cascadă și cu orificii circulare (fig. 2.2.6.). [102]

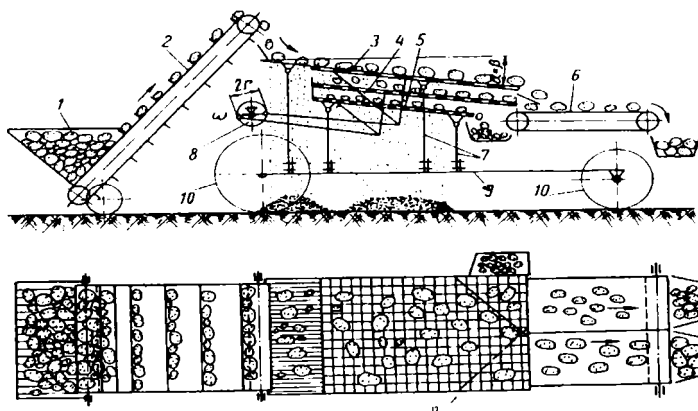
**Fig. 2.2.6.** Calibror  
cu benzi  
transportoare în  
cascadă, cu orificii  
circulare  
1 - alimentator;  
2 - benzi cu orificii  
calibroare; I,II,III și  
IV - sorturi de fructe  
calibrate;



Tuberculii, care au o gamă atât de variată dimensional, se calibrează cu ajutorul sitelor plane oscilante, sau sitelor cilindrice, cât și cu ajutorul calibroarelor cu rulouri profilate. Calibroarele cu site plane oscilante (fig. 2.2.7.) sunt construite astfel încât să aibă loc și eliminarea unei bune părți din impuritățile mici. Sitele acestor calibroare sunt cu orificii pătrate și calibrează după lățimea „b”. [6]

**Fig. 2.2.7.** Calibror pentru  
tuberculi cu site plane

- 1 - buncăr; 2 - elevator;
- 3, 4, 5 - site plane;
- 6 - bandă sortare calitativă pe  
sorturi; 7 - suportți elastici din  
lemn; 9 - cadrul,
- 10 - roți, 11, 12 - deflector;
- 13 - jgheab colector al celui  
mai mic sort; 14 - separator  
impurități mici.



30 Utilaje și instalații mecanice folosite  
 pentru condiționarea legumelor și fructelor – 2

Deoarece, în cazul tuberculilor, între lățimea  $b$  și grosimea  $c$ , adesea diferențele sunt mici, lățimea laturii orificiului pătrat al sitei se stabilește cu relația:

$$a = 0,708\sqrt{b^2 + c^2}, \quad \text{în mm} \quad (2.8)$$

Dimensiunea „ $a$ ” este aleasă astfel încât, tuberculii cu dimensiunile „ $b$ ” și „ $c$ ” să reprezinte fracțiunile refuzate. Sitele se așează în varianta una sub alta, asigurând calibrarea tuberculilor după regula:

$$b_s > b_m > b_i, \quad (2.9)$$

în care:

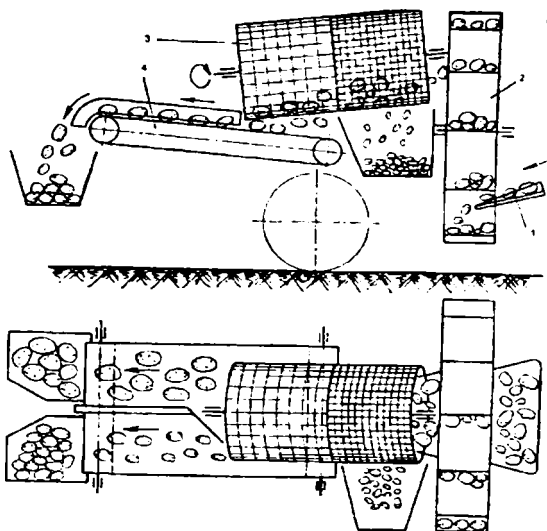
- $b_s$ ,  $b_m$  și  $b_i$  - reprezintă grosimea tuberculilor refuzați pe sita superioară, respectiv mijlocie și inferioară.

Repartizarea calibrelor pe fiecare colector se asigură prin utilizarea deflectoarelor 11 și 12, iar tuberculii colectați pe benzile 6, se supun sortării calitative manuale.

Calibroarele cu site cilindrice (fig. 2.2.8.) au avantajul unei construcții mai simple și al unei funcționări mai liniștite decât a calibroarelor cu batiuri oscilante. [6][61]

**Fig. 2.2.8.** Calibror pentru tuberculi cu site cilindrice

- 1 - jgheab de alimentare; 2 - elevator cu racleți,  
 3 - sită cilindrică cu două sectoare;  
 4 - transportor sorturi

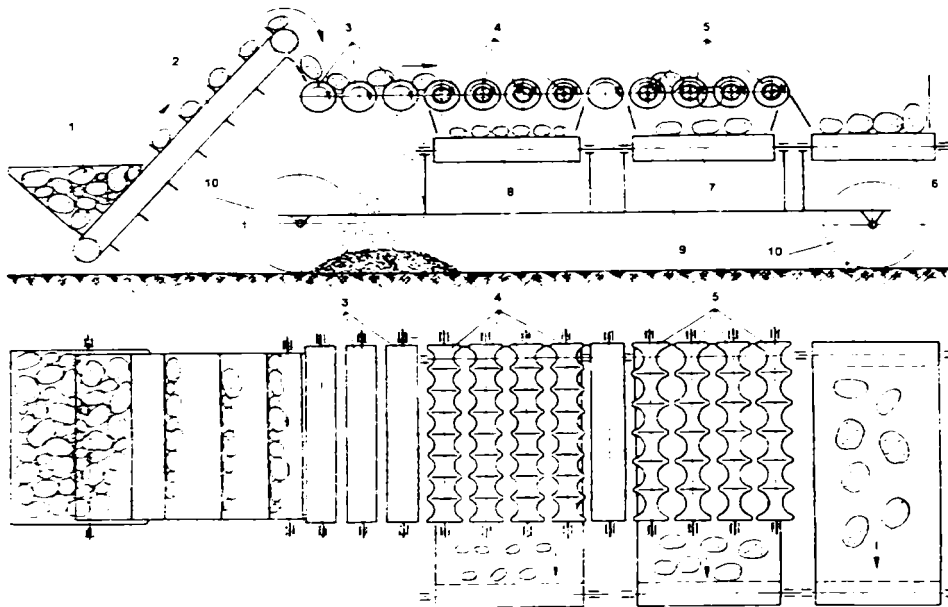


Condiția obținerii celor 3 sorturi cu o sită cilindrică cu două sectoare, este:

$$a_1 < a_2 \leq 0,708\sqrt{b^2 + c^2}, \quad \text{în mm} \quad (2.10)$$

în care:  $a_1$  este latura pătratului orificiului sectorului anterior al sitei cilindrice, în mm;  $a_2$  - latura pătratului orificiului sectorului posterior al sitei cilindrice, în mm;  $b$  și  $c$  - lățimea, respectiv grosimea fracțiunii refuzate de fiecare sector, în mm. Calibrarea are loc în ordinea  $b_1 < b_2 < b_3$ , deci de la mic la mare.

În largă măsură se folosesc și instalații pentru condiționat cartofi în construcția cărora calibroarele sunt de tipul cu rulouri cilindrice profilate. (figura 2.2.9.) [6]



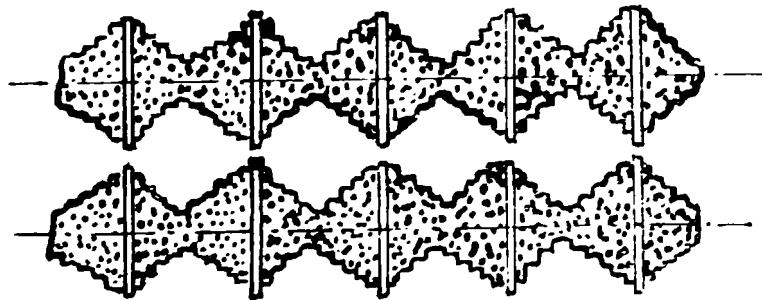
**Fig. 2.2.9.** Calibror pentru tuberculi cu rulouri cilindrice profilate

1 - buncăr, 2 - elevator, 3,4,5 - rulouri;  
6,7,8 - benzi receptoare de sorturi; 9 - cadre, 10 - roți.

Rulourile sunt montate astfel încât distanța dintre ele să se poată regla și prin aceasta, să se poată adapta calibrorul la categoriile dimensionale din amestec.

Calibroarele de tuberculi de construcție românească au profilurile acoperite cu un strat de spume poliuretanic (fig. 2.2.10.).

**Fig. 2.2.10.** Rulouri  
profilate ale calibrorului  
ISG4



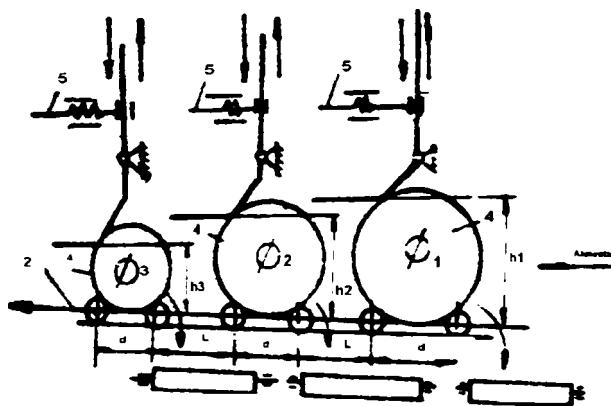
Între dimensiunile  $l, b, c$  și masa  $G$  a tuberculelor există o dependență pe care academicianul Goreacikin a propus-o sub forma:

$$G = 0,01048l^{2,06} = 0,000305b^{3,22} = 0,000,66c^{3,15} \quad \text{în g} \quad (2.11)$$

Liniile tehnologice moderne de prelucrare primară a fructelor cu factor de formă ridicat, folosesc calibroare care separă după diferența de diametru, folosind fante restrictive realizate cu ajutorul unor palpatoare. (fig. 2.2.11.) [101]

**Fig. 2.2.11.** Schema procesului de lucru realizat de un calibrator cu palatoare

1 - palatoare, 2 - transportor de fructe cu rulouri, 3 - colectoare de calibre, 4 - fructe, 5 - dispozitiv de reglare palpator;



Condiția de calibrare este:

$$h_i < \Phi_i, \quad (2.12)$$

în care:

- $h_i$  este înălțimea minimă de fixare a palpatorului pentru reținerea fructelor cu diametrul  $\Phi_i$ , pentru un anumit domeniu „i” de calibrare.

Cum:

$$h_1 > h_2 > \dots > h_i, \quad (2.13)$$

iar:

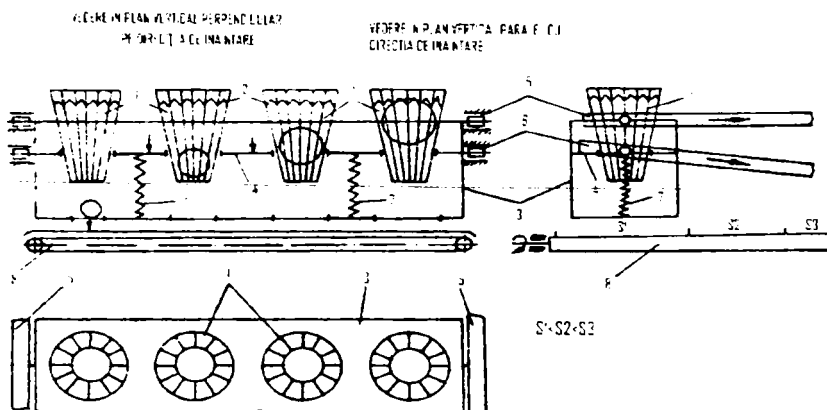
$$\Phi_1 > \Phi_2 > \dots > \Phi_i, \quad (2.14)$$

calibrarea are lor de la mare la mic.

Instalațiile echipate cu calibre care împart fluxul de produse după mai multe dimensiuni ale diametrelor folosesc calibre cu orificii extensibile.

Instalațiile RODA, importate în țara noastră din Italia, sunt echipate cu calibre cu orificii extensibile (fig. 2.2.12). [7]

**Fig. 2.2.12.** Schema constructivă și procesul de lucru realizat de calibratorul cu orificii extensibile



1 - orificii extensibile din lamele, 2 - arcuri jartieră, 3 - ramă port orificii extensibile, 4 - ramă deplasabilă în plan vertical sub acțiunea ghidajelor 6, 5 - ghidajele ramei port orificii extensibile, 7 - arcuri elicoidale, 8 - transportoare colector de sorturi.



Condiția de calibrare este:

$$h_i = f(\Phi_{fi}), \quad (2.15)$$

în care:

- $\Phi_f$  este diametrul fructului,
- $h$  înălțimea inițială de reținere a fructului în interiorul alveolei.

Cum:

$$\Phi_{f1} < \Phi_{f2} < \dots < \Phi_{fi} \quad (2.16)$$

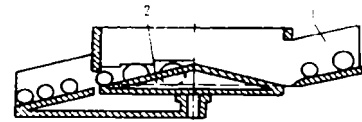
și

$$h_1 < h_2 < \dots < h_i, \quad (2.17)$$

calibrarea are loc de la mic la mare.

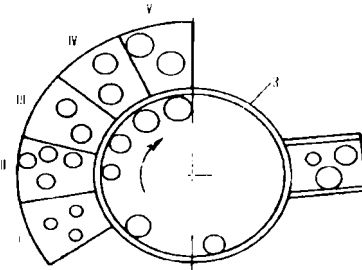
Gama largă a diametrelor sorturilor de calibre ce se pot obține, permit utilizarea acestor calibre pentru mere sau piersici.

Pentru fructele cu forma sferică sau aproape sferică (tomate, mere, ceapă etc.) se folosesc calibre de tipul cu disc centric și fantă divergentă pe verticală (fig. 2.2.13.) [102]



**Fig. 2.2.13.** Schema constructiv-funcțională a calibrului cu disc centric și cale divergentă pe verticală

- 1 - direcția de alimentare, 2 - disc, 3 - ramă,
- I,II,III,IV,V - colectoare de sorturi.



Cu un astfel de calibror este echipată instalația românească ICT-1, precum și instalațiile importate Dokex și Grefa.

Condiția de calibrare este:

$$\Phi_{imax} < h_i, \quad (2.18)$$

în care:

- $\Phi_{imax}$  - reprezintă diametrul maxim al sortului,
- $h_i$  înălțimea fantei.

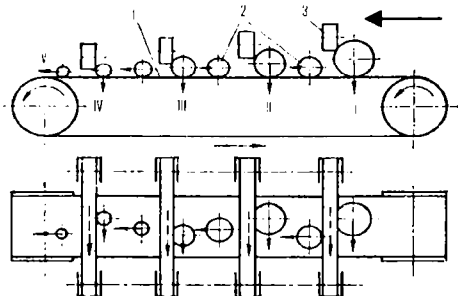
Așa cum reiese și din figura 2.2.14, calibrarea are loc de la  $\Phi_{min}$  la  $\Phi_{max}$ .

Pentru simplitatea lor, se folosesc și calibre de tipul cu benzi paralele așezate transversal peste banda transportoare, la ecartamente variabile.

Principiul constructiv-funcțional al calibrului cu benzi paralele cu ecartamente variabile, așezate în trepte succesive transversal, se prezintă în figura 2.2.15. [101]

**Fig. 2.2.14.** Schema constructiv-funcțională a calibrului cu benzi transversale și ecartament variabil

- 1 - banda transportoare, 2 - fructe supuse calibrării, 3
- benzi transversale cu înălțime variabilă față de banda transportoare, I-IV - locul de amplasare al colectoarelor de calibre.



După cum se observă din schemă, față de sensul de deplasare al benzii transportoare, alimentarea cu fructe se face pe partea dreaptă a acesteia, condiția de calibrare este  $h_b < \Phi_{fruct}$ , respectiv calibrarea are loc de la mare către mic.

### 2.2.3. Sinteza particularităților constructiv-funcționale ale calibroarelor pentru legume-fructe, după diferența de masă.

Calibrarea după diferența de masă se asigură în instalații cu cuple dezechilibrabile de tipul cu contragreutate mobilă (fig. 2.2.15. a și b) sau cu brațe oscilante blocabile (fig. 2.2.16.), precum și în varianta cu cărucioare pe cale de rulare cu tronsoane pe arcuri cu comprimare prealabilă diferită (fig. 2.2.17.).

În figurile 2.2.15. a se prezintă o vedere de ansamblu a calibratorului de fructe cu pârghie și greutate mobilă, iar în figura 2.2.15. b se prezintă schema de principiu privind funcționarea calibratorului după diferența de masă cu cuplă dezechilibrabilă prin deplasarea contragreutății secției. [6] [101]

Pentru cele prezentate în figura 2.2.15.b, condiția de răsturnare a cupei este dată de următoarea relație:

$$(G_c + G_{fi}) \cdot a > Q_{cg} \cdot b_i \quad (2.19)$$

în care:

$G_c$  și  $G_{fi}$  - reprezintă greutatea cupei, respectiv greutatea fructului din sortul  $i$ ;

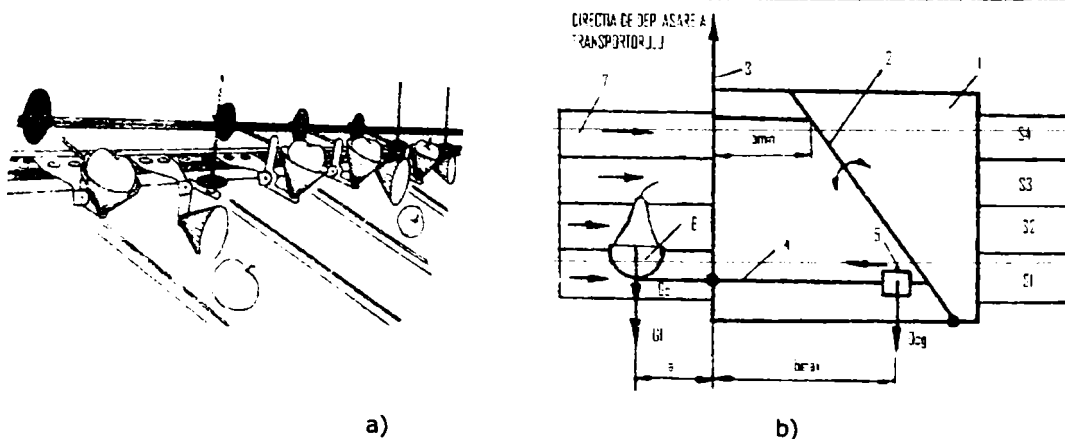
$Q_{cg}$  - greutatea contragreutății;

$a$  - brațul de articulare al cupei pe lanțul transportor port-cupe;

$b_i$  - brațul contragreutății în diversele poziții pe traseu.

Deoarece „ $a$ ” este constant, iar  $b_i < b_{max}$ , rezultă că totdeauna calibrarea se va realiza de la mare la mic, respectiv sorturile „ $S$ ” se vor găsi în corelația:

$$S_1 > S_2 > S_3 > \dots > S_n \quad (2.20)$$



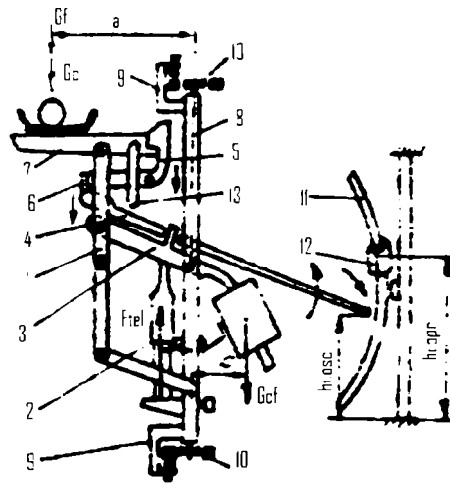
**Fig. 2.2.15.** Calibror de fructe cu pârghie și greutate mobilă  
 a. Vedere generală. b. Principiu de funcționare

1 - cadru; 2 - cale deflectoare; 3 - lanț transportor; 4 - pârghie; 5 - contragreutate deplasabilă continuu; 6 - cupă; 7 colector sorturi.

În complexele de sere ca și în complexele avicole, castraveții, respectiv puii, precum și alte produse, se calibrează cu ajutorul calibroarelor de tip cântar cu paralelogram deformabil și pârghie cu camă (fig. 2.2.16.).

**Fig. 2.2.16.** Schema calibrorului de tip cântar cu paralelogram deformabil și pârghie cu camă

- 1 - fruct; 2 - telescop; 3 - pârghie cu contragreutate; 4 - pârghie cu camă; 5 - zăvor;  
6 - camă; 7 - cupă; 8 - suport; 9 - eclise; 10 - role; 11 - uija curbaia; 12 - opritor; 13 - contragreutățile cupei.



Acestea sunt formate dintr-o ramă port opritoare, plasate la distanțe reglabile pe diagonala ramei și secțiunile de cântărire. În producție se cunosc sub denumirea de „instalația MOBA”. [101][102]

Condiția de echilibrare după încărcarea cântarului este:

$$(G_f + G_c) \cdot a - F_{tel} \cdot b = Q_{cg} \cdot c \quad (2.21)$$

iar descărcarea cupei are loc când:

$$h_{i,osc} = h_{i,opr} = f(G_{fi}) \quad (2.22)$$

în care:

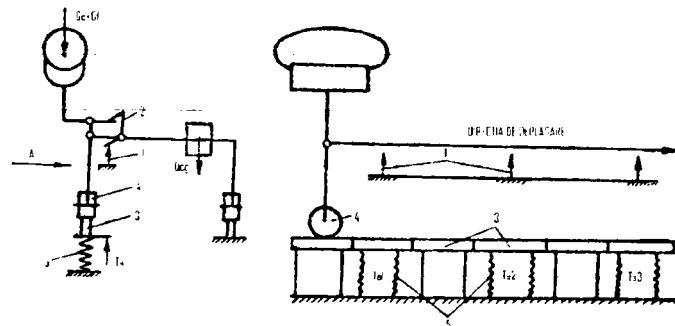
- $h_{i,osc}$  - este înălțimea de oscilație a pârghiei,
- $h_{i,opr}$  - este înălțimea la care este plasat un anumit opritor de-a lungul diagonalei camei.

Cum  $h_{1,opr} < h_{2,opr} < h_{3,opr} < \dots < h_{i,opr}$ , rezultă că  $G_{f1} < G_{f2} < G_{f3} < \dots < G_{fi}$ .

De mare eficacitate și stabilitate sunt ansamble de calibrare de tipul cu cărucior și clichet de declanșare (fig. 2.2.17.), cu arcuri cu comprimare diferită. [101]

**Fig. 2.2.17.** Schema de principiu a calibrorului după diferența de masă, folosind arcuri cu comprimare diferită;

- 1 - vârf declanșator; 2 - clichet; 3 - cale de rulare cu tronsoane; 4 - roată cu bandaj neted; 5 - arcuri cu comprimare prealabilă diferită.



Condiția de stabilitate este:

$$(G_{fmax} + G_c) \cdot a \leq Q_{cg} \cdot b + Q_c \cdot c \quad (2.23)$$

iar descărcarea cupei are loc când:

$$G_{\bar{n}} + G_c + Q_c + Q_{cg} > T_{ai} \quad (2.24)$$

în care:

- $T_{ai}$  este forța de comprimare prealabilă a arcurilor unui anumit tronson „i” al căii de rulare.

Cum  $T_{a1} > T_{a2} > \dots > T_{ai}$ , rezultă  $G_{f1} > G_{f2} > \dots > G_{\bar{n}}$ , iar calibrarea are loc de la mare la mic.

#### 2.2.4. Aprecierea calității lucrului realizat de calibroarele mecanice și unele performanțe obținute

Calitatea lucrului realizat în cadrul acestor procese se apreciază cu ajutorul unor indici calitativi care exprimă: precizia de execuție a procesului respectiv, atât în cazul ansamblurilor specializate, cât și pe întreaga mașină.

Pentru fructele la care  $b \approx c$ , **indicele de formă**  $i_{F1}$  se exprimă [117] în una din variantele:

$$i_{F1} = \frac{1}{b}; i_{F2} = \frac{1}{c}; i_{F3} = \frac{1}{\sqrt{b \cdot c}} \quad (2.25)$$

iar fructele de formă aproximativ sferică sau eliptică se diferențiază prin indicele de formă:

$$i_{F4} = \frac{h}{d_M} \quad (2.26)$$

în care:  $l$  este lungimea;  $b$  – lățimea;  $c$  – grosimea;  $h$  – înălțimea și  $d_M$  - cel mai mare diametru al fructului.

**Precizia de calibrare** pe sectoare se stabilește cu relația:

$$P_{CS} = \left[ \frac{n_f - n_i}{n_f} \right] \cdot 10^2, [\%] \quad (2.27)$$

iar **precizia de calibrare pentru întreg calibrorul** se stabilește cu relația:

$$P_c = \frac{\sum_{S=1}^{S=n} P_{CS}}{n}, [\%] \quad (2.28)$$

în care:

$n_f$  este numărul total de fructe calibrate la un anumit sector;

$n_i$  - numărul de fructe calibrate incorect la sectorul respectiv;

$n$  - numărul sectoarelor de calibrare.

De asemenea, **precizia de calibrare** se poate determina și pentru fiecare fracție în parte și respectiv pe întreaga mașină, cu relațiile:

$$P_i \% = \frac{g_i}{G_i} 100 \quad (2.29)$$

în care:

- $P_i$  – reprezintă precizia de calibrare pe o fracție, în %;
- $g_i$  – reprezintă cantitatea de tuberculi care a fost separată în fracția respectivă și corespunde acestei fracțiuni, în kg;
- $G_i$  – reprezintă cantitatea totală de tuberculi din fracția respectivă, în kg;

iar **precizia de calibrare pe întreaga instalație** se stabilește ca cu relația:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} g_i}{\sum_{i=1}^{i=n} G_i} \cdot 100, \text{ în } \% \quad (2.30)$$

în care:

- $P$  – reprezintă precizia de calibrare a instalației în procente;
- $n$  – numărul de fracții realizate de instalație.

**Gradul de vătămare**, exprimă gradul de agresivitate a organelor de lucru asupra produselor supuse calibrării. Vătămarea acestora se referă la ruperea cojii, tăieturi în pulpă sau strivirea și secționarea acestora. [32]

Gradul de vătămare a produselor supuse calibrării, se poate stabili cu ajutorul raportului:

$$G_v = G_v/G_t \cdot 100, \text{ în } \% \quad (2.31)$$

în care:

- $G_v$  – este masa produselor vătămăte;
- $G_t$  – este masa totală a produselor

De asemenea, gradul de vătămare a produselor supuse calibrării [28] se poate aprecia și cu ajutorul relației:

$$g_v = \frac{N_v}{N_v + N_i} 100, \text{ în } \% \quad (2.32)$$

în care:

- $g_v$  – reprezintă gradul de vătămare exprimat în procente;
- $N_v = N_{v1} + N_{v2} + N_{v3}$  – reprezintă masa produselor ușor, mediu, sau grav vătămăte de mașinile instalației, în kg;
- $N_{v1}$  – produse ușor vătămăte;
- $N_{v2}$  – produse mediu vătămăte;
- $N_{v3}$  – produse grav vătămăte;
- $N_i$  – produse nevătămăte (integre);

Pentru ca gradul de vătămare să fie redus, este necesar ca organele mașinilor care vin în contact cu produsele supuse condiționării să fie căptușite cu materiale moi și elastice (cauciuc spongios, spume poliuretanic etc.).

Mai jos se dau, spre exemplificare, performanțele obținute de mașina MSM,

obținute cu ocazia încercărilor de laborator [120].

**Astfel, precizia de calibrare**, care variază în funcție de soiul merelor, respectiv de forma acestora; s-au obținut următoarele valori medii: 81% și 85% pentru soiul Belle Fleur Jaune, 87% pentru soiul Reinette de Canada, 80% și 82% pentru soiul Jonathan, 88% pentru soiul Crețesc și 69% pentru soiul Gustav durabil.

Se poate observa că cele mai ridicate valori ale preciziei de calibrare au fost înregistrate pentru valorile minime ale factorului de formă (Crețesc 0,78; Reinette de Canada: 0,81) respectiv la soiurile a căror formă se apropie de forma unui disc. Pentru soiurile de formă aproximativ cilindrică sau tronconică, precizia de calibrare a scăzut simțitor.

Este de remarcat, de asemenea, faptul că, exceptând soiul Reinette de Canada, ale cărui particularități de formă nu au putut fi studiate suficient pentru justificarea abaterii de la regula generală, pentru toate celelalte soiuri precizia de calibrare a scăzut o dată cu creșterea calibrului.

Acest fenomen este explicat de faptul că, pe măsură ce cresc dimensiunile găurilor practicate în benzile perforate, în măsură echivalentă se produce ovalizarea longitudinală a acestora, ovalizare provocată de alungirea benzilor. Prin ovalizare, diametrul inițial al benzii se modifică, crescând pe axa longitudinală și micșorându-se pe cea transversală, fenomen ce atrage după sine micșorarea respectivului calibr; deci, merele de dimensiunea limită a calibrului nu trec prin găurile respectivului calibr și sunt transportate mai departe la calibrul imediat superior.

În urma probelor cu mere Jonathan, s-a obținut o precizie medie de calibrare de 87% pentru calibrul 60-70 mm și 74% pentru calibrul de 70-80 mm, rezultând o precizie de calibrare pe mașină de 80%.

**Gradul de vătămare** a fructelor a atins valoarea de 30% din care: pete mai mici de 50 mm<sup>2</sup> – 27 %, pete cu dimensiuni cuprinse între 50 mm<sup>2</sup> și 100 mm<sup>2</sup> – 25% și pete cu suprafața mai mare de 100 mm<sup>2</sup> – 9%. Petele cu diametrul mai mic de 100 mm<sup>2</sup> sunt admise de STAS astfel încât gradul de vătămare este practic 9%. [116]

### 2.3. Studiul critic și concluzii asupra construcției și funcționării instalațiilor mecanice utilizate în procesele de condiționare a legumelor și fructelor

Făcând, în primul rând, o analiză a soluțiilor tehnicilor aplicate în construcția și funcționarea calibroarelor pentru legume și fructe după criteriile dimensionale, se pot stabili o serie de concluzii cu caracter fundamental. [11][33][73][81][89]

*Cu cât diferențele dimensionale ale șarjelor de produse sunt mai mari, cu atât numărul de trepte pentru împărțirea în sorturi trebuie să fie mai mare, și ca urmare, instalația va fi mai mare.*

Din acest motiv organele de calibrare sunt și mijloace de transport a fructelor precum și invers, adică platforma de calibrare este imobilă, iar fructele sunt împinse pe platformă de organe separate.

Indiferent de soluția constructivă și de principiul după care are loc separarea, toate aceste utilaje trebuie să răspundă sarcinii de bază de a nu vătăma produsele supuse calibrării. De aceea, organele de calibrare ale acestor utilaje sunt captonate după caz: cu cauciuc alimentar, spume poliuretanică, benzi cu mare capacitate de suspensie, etc.

*Alegerea principiului funcțional al calibratorului mecanic pentru fructe, cât și a tipului de mișcări pe care trebuie să le execute aceste organe, trebuie să țină seama de comportarea și rezistența la șocuri a produselor supuse calibrării;*

Calibroarele pentru căpșuni, mere, piersici realizează în principal procesul prin mișcarea liniară a organelor de calibrare, pe când, calibroarele pentru tuberculi, pot utiliza site cilindrice sau cilindri profilați, imprimând în procesul de calibrare atât mișcarea de translație cât și cea de rotație, supunând uneori produsele la șocuri mai mari decât în cazul celorlalte categorii de calibroare.

Calibrarea legumelor și fructelor cu factor de formă din ce în ce mai mic, impune ca secțiunile inițiale de prelucrare a fructelor să dispună de dispozitive de dirijare, astfel încât, pe cât posibil, toate fructele să fie supuse calibrării după aceeași dimensiune, respectându-se o anumită poziție a fructelor în momentul comparării dimensiunilor.

Toate instalațiile mecanice necesită personal de deservire specializat și cu o bună perspicacitate de observare, acestea impunând o suprasolicitare, ceea ce duce la o obosire rapidă a personalului de deservire.

Indicii de lucru realizați de instalație depind de conștiințiozitatea celor care o exploatează și de numărul lucrătorilor care execută separarea manuală.[5]

Specialiștii din țara noastră cu contribuții deosebite în domeniu [5] precizează că „*pentru a se obține puritatea corespunzătoare*” la ieșire din instalația ISIC – 30, se impune ca să lucreze 10 lucrători la masa de sortare cu bandă și 10 lucrători la cea cu role.

Cele precizate confirmă că, în stadiul actual de tehnicitate realizat pentru executarea acestor procese în țara noastră, contribuția muncii manuale la realizarea indicilor de calitate impuși este foarte mare.

În vederea asigurării unei sortări corecte după integritatea și starea de sănătate și a unei productivități a muncii ridicate, formațiile de lucru se permanentizează. Instruirea, ca și controlul muncii depuse, se face periodic, operatorii fiind specializați astfel încât fiecare operator să elimine produsele care prezintă un anumit defect (fructe lovite, tăiate și deformate) se elimină de același operator, fructele cu grad avansat de stricare, putrede etc. se elimină de alt operator etc.).

Pentru o bună productivitate, munca se organizează în schimburi de 8 ore, pentru a se evita slăbirea atenției, pauzele fiind de 10 minute la fiecare 1½ - 2 ore de lucru.

În cazul în care nu sunt utilaje de condiționare, sortarea se poate face și manual pe mese de sortare pe care se efectuează concomitent mai multe operații (sortare, calibrare, ștergere, lustruire, grupare pe culori etc.). În această situație, sortatorul examinează toate exemplarele și le așează pe calități în ambalajele care sunt grupate în jurul lui.

*În funcție de specie, de destinația produsului și de calitatea pe care o au loturile supuse sortării, condiționarea manuală a legumelor sau fructelor se face cu un consum de 3-6 norme/t.*

*O problemă importantă în procesul de condiționare a fructelor este iluminarea locurilor de muncă, în special, în zonele de presortare și sortare a fructelor. Uneori este necesar ca, între culoarea verde și galben, la merele Golden, să se diferențieze trei sau chiar patru nuanțe, care să fie separate în grupe diferite. Acest lucru este necesar mai ales când fructele sunt destinate a fi păstrate o durată mai lungă în camerele cu atmosferă controlată, unde regimul de păstrare se stabilește în funcție de gradul de maturare a fructelor. Pentru a putea deosebi aceste nuanțe fine de culori, este necesar să se asigure iluminarea naturală de la*

soare a locurilor de muncă, prevăzându-se în acest sens geamuri mari pe pereții sălii de condiționare și chiar pe tavan. În cazul în care construcția sălii nu asigură posibilități suficiente de iluminare naturală, este necesar să se completeze cu iluminare artificială, utilizându-se în acest scop tuburi fluorescente.

O altă problemă, este instruirea și specializarea oamenilor, justa repartizare a lor, precum și controlul permanent al controlul lucrului, de acestea depinzând în final rentabilitatea întregii activități. Productivitatea muncii, în special la sortarea și la ambalarea fructelor, poate fi simțitor mărită, în cazul în care se ține o evidență strictă a realizărilor pe fiecare operator și se afișează aceste realizări sau numai cele bune.

Succinta trecere în revistă a principiilor constructiv-funcționale a instalațiilor mecanice, folosite pentru realizarea mecanizată a fazelor de prelucrare primară a legumelor și fructelor în vederea valorificării acestora în stare proaspătă la indici superiori de calitate și civilizație, permite stabilirea unor concluzii ferme, printre care menționăm:

Față de nivelul tehnic actual și mai ales față de cuceririle științifice în domeniul realizării și conducerii automate a proceselor de producție, efectuarea în continuare a tuturor fazelor de prelucrare pe cale mecanică este contraproductivă și fără perspectivă.

Pregătirea fructelor și legumelor în vederea valorificării în stare proaspătă la parametrii calitativi superiori este o lucrare de mare finețe, iar interacțiunea dintre ele și organele de separare ale actualelor instalațiilor mecanice, nu poate satisface această finețe.

Cerințele impuse de Uniunea Europeană pentru comercializarea acestor categorii de produse, sunt deosebit de exigente în toate verigile lanțului de pregătire după recoltare.

Actualele instalații mecanice folosite pentru realizarea fazelor de pregătire a legumelor și fructelor în vederea valorificării în stare proaspătă la parametrii superiori, nu pot răspunde la majoritatea acestor cerințe.

Tendența de a suplini deficiențele instalațiilor mecanice prin operații executate manual, nu se justifică economic, iar imposibilitatea corelării productivității muncii realizată de instalații și respectiv prin muncă manuală, face ca această combinație să devină în continuare inaccesibilă.

Perspectiva aparține utilizării instalațiilor automate care pot crește mult performanțele de calitate și productivitate în raport cu cele realizate de instalațiile mecanice, cu sau fără contribuție de muncă umană.

Dacă fazele finale de sortare calitativă, dimensională și după culoare permit implementări consistente ale cuceririlor științifice și tehnice din domeniile I. T., pentru efectuarea fazelor de prelucrare inițială (pre-curățire, curățire, etc.) se impun în continuare cercetări laborioase asupra dezvoltării instalațiilor mecanice, acestea fiind singurele ce pot realiza aceste operații și în plus, pot realiza transportul produselor între diferitele faze de lucru ale instalației.



## CAPITOLUL 3

### Instalații combinate mecano-electronice folosite la condiționarea legumelor și fructelor

#### 3.1. Direcții de modernizare a principalelor faze de prelucrare primară a legumelor și fructelor, prin implementarea unor principii electronice

Așa cum reiese din concluziile enunțate la sfârșitul capitolului 2, viitorul operațiilor de prelucrare primară a fructelor și legumelor aparține instalațiilor automate electronice. Totuși, instalațiile mecanice nu pot fi eliminate definitiv din cadrul instalațiilor de prelucrare primară datorită unor operații care nu se pot realiza decât pe cale mecanică. Exemple de astfel de operații sunt cele de transport și operații auxiliare de pre-curățire și curățire. Tehnologiile de recoltare actuale a legumelor și fructelor asigură obținerea în final a unui amestec al culturii de bază cu o cantitate destul de mare de impurități aderente sau neaderente la componentele culturii de bază, a căror eliminare nu se poate realiza decât prin utilizarea unor ansamble mecanice, hidromecanice, pneumo-mecanice, etc. De aceea, considerăm că se impun cercetări în continuare pentru perfecționarea proceselor de lucru realizate de mașinile de recoltat, care să ducă la perfecționarea fazelor de eliminare a impurităților din recoltă. Literatura de specialitate de peste hotare afirmă că o soluție în acest sens, se pare că o reprezintă montarea pe mașinile de recoltat a unor echipamente „*inteligente*” care asigură preluarea recoltei fără antrenarea impurităților. [3][7][9][73]

Gradul ridicat de impurificare a recoltei a permis implementarea conceptelor electronice, doar pentru efectuarea fazelor finale de prelucrare, adică sortarea și calibrarea, pentru fructele și legumele ce se dezvoltă în afara solului. [59]

Pentru recoltele de cartofi, ceapă, etc. eliminarea bulgărilor de sol și a pietrelor din amestecurile recoltate din sol, se realizează cu instalații fixe, care valorifică diferența de porozitate, de culoare și grad de reflexie, ce apar între componentele din amestec. Realizările existente în această direcție sunt sintetizate în paragrafele următoare ale acestui capitol.

Indiferent de principiile implementate, din analiza construcției și funcționării instalațiilor, mai ales pentru cele destinate prelucrării rădăcinoaselor, în cadrul cărora sunt încorporate componente electronice, se desprind următoarele aspecte fundamentale legate de organizarea fluxului organologic realizat.

Dintre acestea reliefăm necesitatea ca:

- înainte de orice fază a prelucrării primare, este nevoie ca impuritățile ușoare (tije de plante, frunze, etc.) să fie eliminate prin alte mijloace, în cadrul punctelor de presortare organizate în câmp;

- amestecul de componente ale culturii de bază cu alte corpuri străine (bulgări de sol, pietre, etc.), trebuie să fie ordonat în rânduri, pentru a se putea efectua analiza fiecărui component.

Acest ultim aspect este evidențiat în mod deosebit de pregnant în schemele și paragrafele ce urmează.

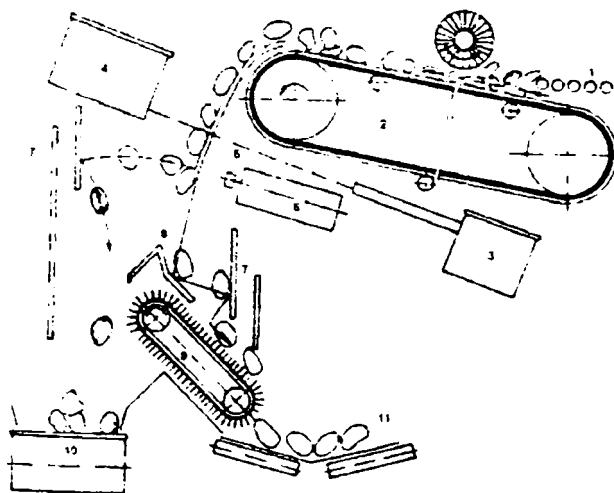
## 3.2. Scheme de principiu privind funcționarea instalațiilor mecano-electronice utilizate în țara noastră

### 3.2.1. Separarea componentelor din amestecuri brute după diferența de porozitate

Una din direcțiile încercate, s-a bazat pe capacitatea diferită de absorbție a razelor X de către componentele din amestec. O astfel de proprietate a fost valorificată în procesul de condiționare în câmp a amestecurilor de bulboase sau tuberculifere, în scopul separării bulbilor de ceapă sau a tuberculilor de cartofi de pietrele și bulgării de sol din amestec. Diferența de penetrare a razelor X este funcție de diferența de structură a componentelor din amestec. Din acest punct de vedere, tuberculii de cartofi și bulbii de ceapă pot fi considerați drept componente cu rezistență medie la penetrarea razelor X, pe când pietrele au o rezistență totală și se situează la o extremă, iar bulgării de sol au cea mai mică rezistență și se situează la cealaltă extremă. În aceste condiții apar posibilități destul de largi în scopul stabilirii domeniilor de reglare pentru fiecare categorie a produselor din amestec. În țara noastră s-a experimentat în unitățile productive instalația automată de triere E 691 fabricată în fosta RDG. Principiul constructiv funcțional al a unui canal de triere din cadrul acestei instalații se prezintă în figura 3.2.1. [102]

**Fig. 3.2.1.** Schema de principiu privind utilizarea razelor X pentru separarea bulgărilor de pământ din masa de cartofi

- 1 - rulouri;
- 2 - bandă transportoare cu canal pentru ordonarea pe rând a componentelor;
- 3 - generator de raze X;
- 4 - receptor-analizor de raze X;
- 5 - rază X;
- 6 - dispozitiv pneumatic cu poanson pentru îndepărtarea corpurilor străine;
- 7 - pereți limitatori;
- 8 - deflector;
- 9 - bandă pentru extragerea tijelor și a impurităților mici;
- 10 - transportor de corpuri străine;
- 11 - transportorul culturii de bază.



Din figura 3.2.1. se observă prezența organelor care efectuează concomitent transportul și ordonarea în rând a componentelor din amestec.

Pentru ca să aibă loc eliminarea componentelor nedorite din flux receptorul analizor 4, pe baza nivelului de radiație primit în timpul intersectării de către produs a fluxului de radiații trimite către elementul de execuție 6 reprezentat de un dispozitiv pneumatic semnalul de amorsare și eliminare a produsului din flux.

Calitatea de prelucrare realizată cu această instalație depinde de precurățirea prealabilă a amestecului de tije, frunze și alte corpuri ușoare, precum și de particulele mai mici de sol ce pot fi eliminate de obicei gravitațional.

### 3.2.2. Principiul de separare a amestecurilor brute după diferența de culoare a componentelor din amestec utilizând celule fotoelectrice și analizor electronic

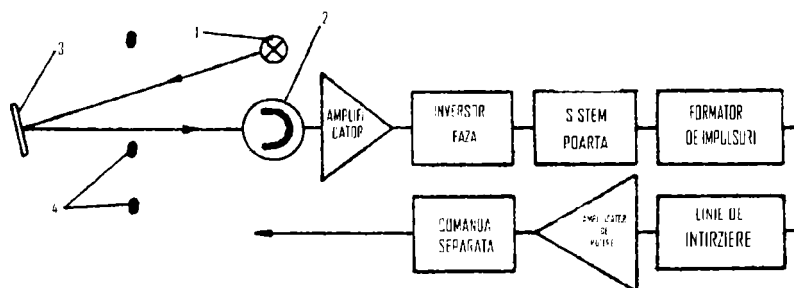
Sortarea calitativă a fructelor se realizează în principal, după gradul lor de coacere, caracterizat, în general, de culoarea fructului. De aceea, pentru sortarea calitativă a fructelor după culoare, primele instalații care au valorificat această particularitate au funcționat pe bază de celule foto-electrice.

În principiu, procesul de sortare la aceste mașini se execută prin trecerea fructelor unul câte unul, prin fața unor celule foto-electrice, reglate pentru diferite nuanțe de culoare, care declanșează palpatori electromagnetici sau jeturi de aer, ce deviază traseul fructelor la categoria corespunzătoare.

Pentru a arăta precizia cu care lucrează aceste mașini, menționăm faptul că aceste mașini, pentru soiul de mere Golden, între culoarea verde a merelor neajunse la maturitatea deplină și între culoarea galbenă a merelor ajunse la maturitatea de recoltare, dispozitivul electronic poate deosebi până la patru nuanțe de culoare.

Schema drumului parcurs de raza de lumină și transformările la care este supus impulsul emis de celulele foto-electrice până la executarea comenzii de separare [61][102], se prezintă în figura 3.2.2..

În momentul când între celula foto-electrică și ecran trece un fruct sau o legumă, aceasta întretaie razele luminoase reflectate de ecran. Dacă fructul sau leguma are aceeași culoare cu ecranul, lumina reflectată de fruct sau legumă pe direcția celulei fotoelectrice are aceeași intensitate, iar curentul emis de fotocelulă rămâne același. Dacă fructul are o altă culoare decât a ecranului, atunci fotocelula este impresionată diferit și emite un curent electric de o altă intensitate.



**Fig. 3.2.2.** Schema bloc a componentelor canalului pentru detectarea culorii și emiterea comenzii de separare a fructelor sau legumelor de culoare necorespunzătoare.

1 - sursa de lumină; 2 - celula fotoelectrică; 3 - ecran; 4 - fruct.

În acest fel, diferențele de culoare se transformă în impulsuri electrice de intensitate diferită care, acționând dispozitivul de separare, se lansează un jet de aer comprimat ce deviază fructele sau legumele de culoare nedorită de pe traiectoria fluxului principal.

Un exemplu de stație în cadrul căreia este implementat principiul la baza căruia stă sortarea foto-electrică cu analizor electronic este prezentată în figura 3.2.3.[102]

Stația este folosită pentru sortarea tomatelor după gradul de coacere și clasifică în final fluxul de tomate în trei sorturi: roșii și roze, brune (coapte intermediar) și verzi.

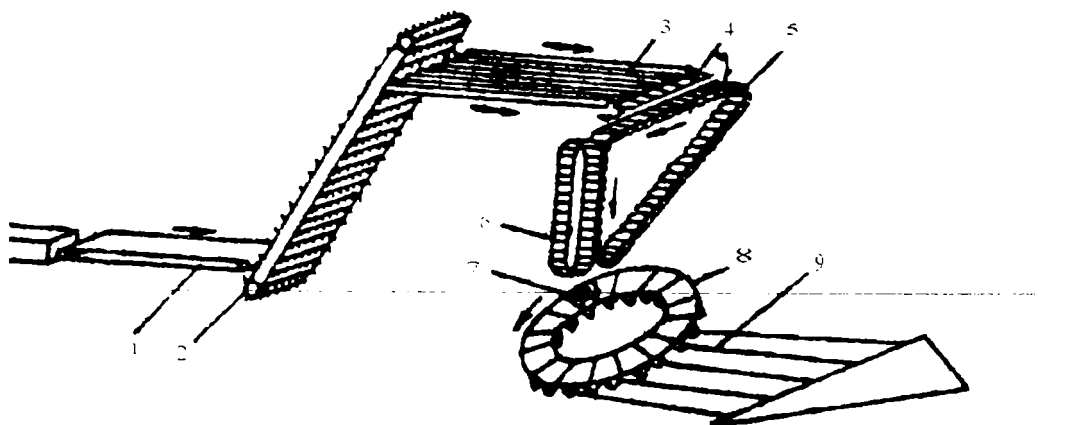


Fig. 3.2.3. Stație electronică pentru sortarea tomatelor după culoare.

1 - transportor recepuitor pentru sortarea manuală primară; 2 - transportor-elevator ordonator de rânduri; 3 - plan înclinat profilat; 4 - plan colector, rabatabil cu intermitență; 5 - conveier continuu cu celule receptoare; 6 - contra-conveier de susținere; 7 - analizor-programator optico-electronic; 8 - placă carusel cu cupe cu fund rabatabil programat; 9 - canale colectoare de sorturi după culoare.

Schema analizorului foto-electronic este prezentat în figura 3.2.4. [101]

Pe fiecare latură a suportului hexagonal al foto-analizorului este fixat un dispozitiv cu lentile și filtre de interferențe, precum și un fotoreceptor. De asemenea, tot pe acest suport sunt montate trei surse de iluminare cu lentile de focalizare.

Fructul în cădere, întretaie fluxul luminos al celor trei surse de iluminare, reflectând razele pe lentilele de captare. Acestea trec prin lentilele condensatoare, filtrele de interferență și în final se focalizează pe suprafața receptorului foto.

Filtrele luminoase interferenționale lasă să treacă numai spectrul luminos cu lungimile de undă  $\lambda_1=570$  nm și  $\lambda_2=680$  nm.

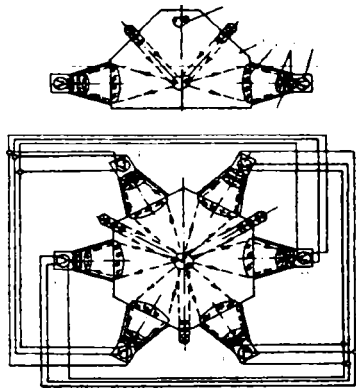


Fig. 3.2.4. Schema foto-analizorului electronic.  
1 - fruct;  
2 - sursă de lumină;  
3 - cameră iluminare;  
4 - lentilă de captare;  
5 - lentile condensatoare;  
6 - foto-receptor;  
7 - filtru.

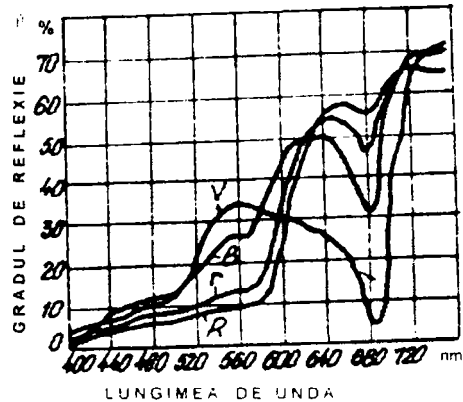


Fig. 3.2.5. Curbele spectrofotometrice în funcție de gradul de reflexie al fructelor de tomate, cu grade diferite de coacere.  
unde:  
R- roșii;  
r- roze;  
B- brune;  
V- verzi.

După cum se vede din figura 3.2.5., capacitatea de reflexie a fiecărui fruct este de grade diferite și depinde de gradul de coacere.[100]

În funcție de gradul de coacere variază gradul de impresionare a fotoreceptorului, ceea ce determină modificarea în mod corespunzător a curentului emis.

Intensitatea curentului emis de fotodiodă, sub influența fluxului luminos ce o impresionează, depinde de corelația factorilor din relația 3.1.

$$I_{\Phi} = \int_{\lambda_a}^{\lambda_b} S(\lambda) \cdot F(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot \zeta(\lambda) \cdot d(\lambda) \quad (3.1)$$

în care:

- $S(\lambda)$  este sensibilitatea spectrală a fotoelementului;
- $F(\lambda)$  - intensitatea de iluminare a fructelor;
- $\rho(\lambda)$  - reflexia fructelor;
- $\zeta(\lambda)$  - coeficientul capacității de trecere prin filtrele de lumină;
- $\lambda_a$  și  $\lambda_b$  - limitele sectorului ales din spectrul ( $\lambda_a - \lambda_b = 10 \dots 14$  nm).

Pe cale experimentală s-a stabilit că mărimea semnalului electric ce iese de la filtrul interferențial depinde de dimensiunile, forma, luciul fructelor și stabilitatea iluminării.

Pentru eliminarea influenței negative a acestor factori se adoptă o metodă diferențială de măsurare a curentului, corespunzător căreia, mărimea de ieșire este diferența curentului ce depinde de reflexia determinată de fructe în două sectoare

alese din spectru. În acest scop, după cum se observă din figura 3.2.4., tuburile foto-analizorului sunt cuplate în circuit astfel:  $\Phi_1 + \Phi_1 + \Phi_1$ , respectiv  $\Phi_2 + \Phi_2 + \Phi_2$ .

Dacă se ia sensibilitatea spectrală a fotoelementului  $S(\lambda)$  la o valoare egală pentru ambele sectoare ale spectrului, atunci :

$$I_r = I_2 - I_1 = S(\lambda) |F'_{\lambda_2} - F'_{\lambda_1}| \quad (3.2)$$

în care:

$$F'_{\lambda_{1,2}} = \int_{\lambda_{a1,2}}^{\lambda_{a2,2}} F(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot \zeta(\lambda) \cdot d(\lambda),$$

este intensitatea monocromatică de iluminare corespunzătoare, cu lungimea de undă  $\lambda_1 = 570$  nm și  $\lambda_2 = 680$  nm, care intră în foto-receptor.

La trecerea unui fruct de o anumită culoare, respectiv grad de coacere, prin foto-analizor, razele reflectate de către acesta intră în două receptoare foto vecine  $\Phi_1$  și  $\Phi_2$ , cu o sensibilitate egală.

În fața foto-receptorului  $\Phi_1$  este un filtru interferențial de lumină, care permite trecerea numai a razelor cu lungimea de undă  $\lambda_1 = 570$  nm, iar în fața foto-receptorului  $\Phi_2$  este un filtru de lumină care permite trecerea numai a razelor cu lungimea de undă  $\lambda_2 = 680$  nm. În fiecare caz lățimea benzii de pătrundere a undelor este de 10...14 nm.

După cum se vede din spectrograma reprezentată în figura 3.2.5., pentru tomatele de culoare roșie și roză,

$$\begin{aligned} \rho(\lambda_1) &< \rho(\lambda_2) \\ \text{iar} \quad F'(\lambda_1) &< F'(\lambda_2), \end{aligned} \quad (3.3)$$

ceea ce determină o valoare pentru intensitatea curentului emis, în limita:

$$I_r = S(\lambda) [F'(\lambda_2) - F'(\lambda_1)] > 0 \quad (3.4)$$

La trecerea tomatelor verzi,

$$\begin{aligned} \rho(\lambda_1) &> \rho(\lambda_2) \\ \text{respectiv:} \quad F'(\lambda_1) &> F'(\lambda_2) \end{aligned} \quad (3.5)$$

ceea ce determină:

$$I_r = S(\lambda) [F'(\lambda_2) - F'(\lambda_1)] < 0 \quad (3.6)$$

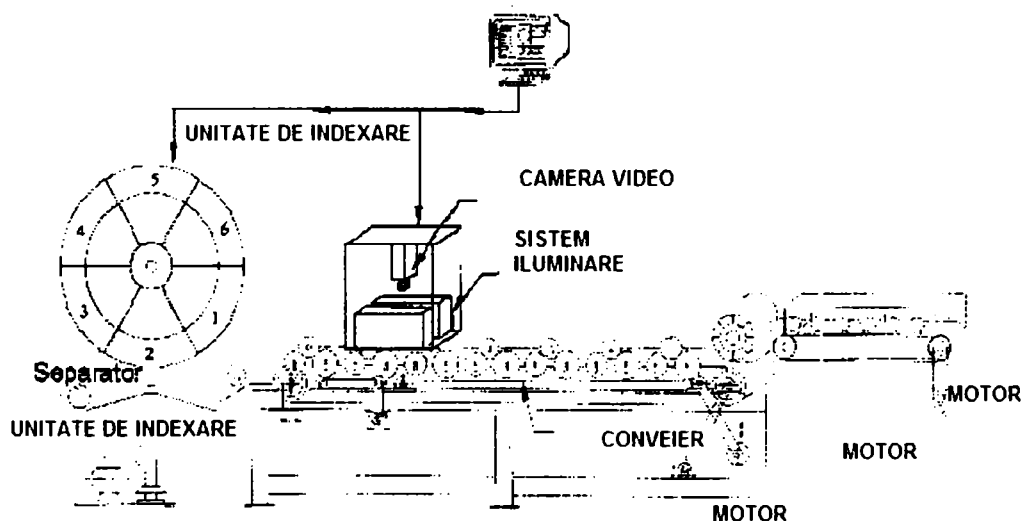
Fructele brune au:  $\rho(\lambda_1) \cong \rho(\lambda_2)$  și deci  $I_r = 0$ .

Prin acest procedeu fructele se pot împărți în trei fracțiuni și anume: roșii și roz, brune și respectiv verzi.

### 3.2.3. Principiul de sortare după diferența de culoare a componentelor din amestec utilizând camere video

După separarea componentelor nedorite din amestecurile brute rezultate în urma recoltării, componentele culturii de bază se supun operațiilor de sortare dimensională și după culoare. Principiul unui separator modern de sortare și clasificare a merelor, utilizând camera video se prezintă în figura 3.2.6..[98]

Separatorul este sincronizat cu viteza conveierului, astfel încât, fructele să fie analizate unul după altul.



**Fig. 3.2.6.** Schema separatorului modern de sortare și clasificare a merelor, utilizând cameră video

Mecanismul conveierului permite vizualizarea în întregime a suprafeței mărului, cât timp acesta se găsește în camera de iluminare, prin rotirea acestuia în jurul axei calyx - codiță.

Camera CCD utilizată, este una color și transmite imaginea achiziționată prin intermediul unei plăci de achiziții la un calculator personal.

Placa de achiziții are rolul de a transforma imaginea analogică achiziționată în una digitală. Pentru a asigura o cât mai corectă iluminare, s-a optat pentru utilizarea unui sistem de iluminare de tip Pulnix 9700.

Imaginea capturată are o rezoluție de 768x494 pixeli și la fiecare captură optică, sunt achiziționate imaginile a trei mere.

În urma folosirii tehnicilor de procesare, imaginea obținută este analizată pentru determinarea culorii și a dimensiunilor fructului.

Pe baza parametrilor obținuți, fructele sunt clasificate în patru clase, atât în ceea ce privește nivelul culorii roșii cât și dimensiunea acestora.

### 3.2.3.1. Influența bio-dependenței între fazele de recoltare și cele de prelucrare a legumelor și fructelor, asupra structurii și preciziei mașinilor de sortat

Este foarte important de cunoscut faptul că la majoritatea legumelor și fructelor modificarea principalelor caracteristici precum culoarea, masa și chiar forma, se accentuează cu rapiditate între fazele de recoltare și cele de prelucrare.

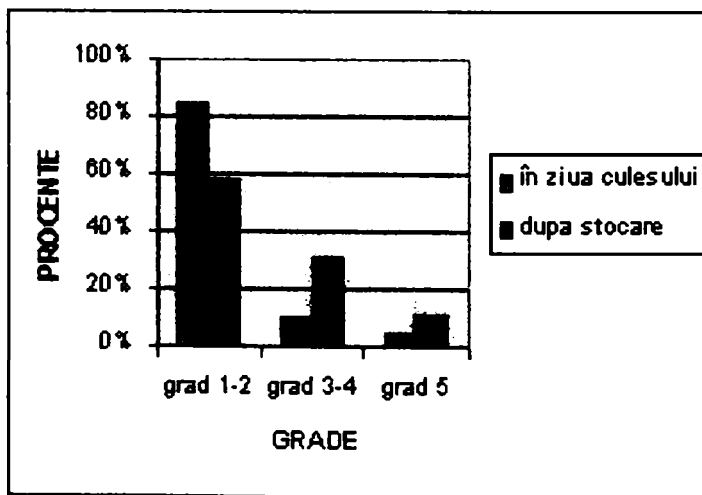
În studiul realizat în cadrul Departamentului de Industrie, Energie și Management, Universitatea Ben Gurion și Institutul Inginerie agricolă din Israel, a fost realizat un dispozitiv de sortare a tomatelor după culoare, omogenitatea culorii, formă și defecte, folosind camera video. În acest studiu cercetătorii israelieni au propus pentru detecția culorii trei metode, pe care le-au testat folosind fructe luate imediat după recoltare dar și după ce acestea au fost păstrate 14 zile la 12 grade Celsius și 2 zile la 20 grade.

În timpul stocării, culoarea fiecărui fruct a fost testată la interval de 2-3 zile conform standardelor israeliene. Astfel, s-a putut observa că în perioada păstrării, nivelul culorii crește de aproximativ 10 ori. [51][52]

Sortarea pe baza analizei omogenității culorii, furnizează următoarele rezultate:

- la tomatel culese în aceeași zi cu procesul de sortare, 85% din fructe au fost omogene (gradele 1 și 2), 10% aparțin mediei (gradele 3-4) și doar 5% au fost neomogene (fig 3.2.7.).

Fig. 3.2.7. Graficul de variație al omogenității culorii la tomate



- După depozitare distribuția a fost : 58% (gradele 1-2), 31% (gradele 3-4), iar 11% sunt neomogene.

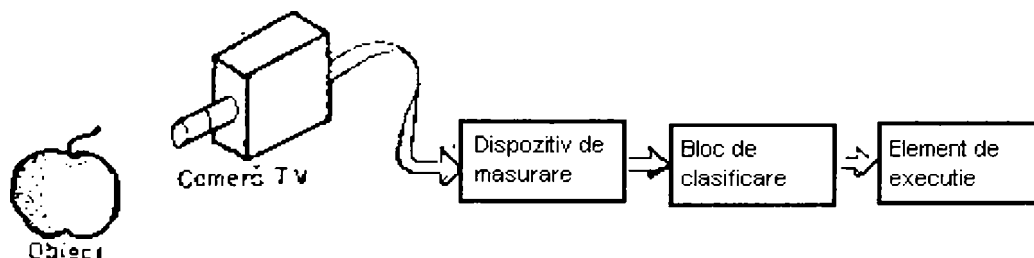
Ținând cont de aceste bio-dependențe, marile firme și universități din străinătate testează mașinile de sortare de tip „*machine vision*”, atât în fazele următoare recoltării cât și după ce acestea au fost stocate o perioadă.



### 3.2.4. Principiul de calibrare a componentelor culturii de bază după diferențe dimensionale utilizând camere video

În scopul creșterii preciziei și măririi productivității operațiilor de calibrare a fructelor și legumelor, au fost realizate instalații de calibrare automată, care utilizează mijloace de televiziune și de tehnică de calcul. Acestea execută următoarele operații: măsoară dimensiunile fructelor, convertesc semnalele obținute la măsurare în forme corespunzătoare prelucrării automate, stabilesc apartenența fructelor la sortimentele dimensionale prescrise și transmit comenzile la elementele de execuție a sortării.

Schema de principiu a unui sistem de calibrare automată prin televiziune [42] este reprezentată în figura 3.2.8.

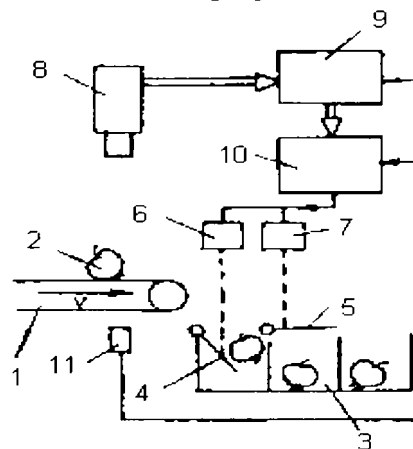


**Fig. 3.2.8.** Schema de principiu a calibrării automate a fructelor prin intermediul camerelor de televiziune.

Pentru exemplificare, în figura 3.2.9. se prezintă schema structurală a unei instalații pentru calibrarea automată a merelor folosind camere TV. [42]

**Fig. 3.2.9.** Schema structurală a unui sistem de calibrare automată a merelor utilizând camerele TV.

Instalația se compune dintr-un transportor de alimentare 1, trei celule (buncăre) de primire 3, obturate de clapetele basculante 4 și 5, și elementele de execuție 6 și 7. Deasupra transportorului de alimentare 1, este plasată o cameră de televiziune 8, sub care trec fructele 2, iluminate de lămpi incandescente. Camera TV este legată la dispozitivul 9, care măsoară dimensiunile a fructelor, semnalele obținute la măsurare fiind transmise la blocul de clasificare (clasificatorul) 10, care stabilește ordinea de intrare în funcțiune a elementelor de execuție 6 și 7. Readucerea periodică la zero a dispozitivului de măsurare 9, a clasificatorului 10 și a clapetelor de obturare 4 și 5 se face după fiecare măsurare, cu ajutorul dispozitivului de sincronizare (sincronizatorul) 11.



Lămpile de iluminare a fructelor sunt plasate deasupra transportorului 1 (în zona de control) în așa fel încât lumina lor să nu cadă pe obiectivul camerei TV și să asigure iluminarea uniformă a fructului. Transportorul este executat dintr-un material cu coeficient scăzut de reflexie a luminii.

Dispozitivul de măsurare 9 recepționează informațiile referitoare la dimensiunile fructului și transmite semnalul obținut prin măsurare la clasificatorul 10 care, prin prelucrarea informației, stabilește apartenența fructului respectiv la una din cele trei clase de dimensiuni stabilite (clase standard).

În funcție de valoarea concretă a dimensiunii fructului măsurat, se comandă intrarea în funcțiune a unuia din elementele de execuție 6 și 7. Acestea modifică poziția clapelor rabatabile 4, și respectiv 5, permițând intrarea fructelor din zona de control. Sincronizatorul 11 dă comanda de ștergere a informației existente în dispozitivul de măsurare și în blocul de clasificare. În această situație, celulele sunt închise de clapete și se așteaptă comanda pentru măsurarea și clasificarea fructului următor.

La apariția în zona de control a unui fruct cu dimensiuni mari, clasificatorul 10 comandă elementul de execuție 6, care deschide clapeta 4 și fructul cade în prima celulă (situația prezentată în figura 3.2.6.). În cazul în care fructul are dimensiuni mijlocii, clasificatorul 10 comandă deschiderea clapetei 5, iar fructul cade în cea de a doua celulă. Dacă fructul este mic, nu se deschide nici una din clapete, încât fructul respectiv trece în cea de a treia (ultima) celulă.

Cercetările experimentale au arătat că prin utilizarea unui dispozitiv automat de calibrare de tipul celui descris mai sus, *volumul de muncă se reduce de cinci ori în comparație cu volumul consumat la calibrarea manuală.* [42] *Trebuie menționat că asemenea instalații de calibrare prin televiziune se pot utiliza atât pentru calibrarea merelor, cât și pentru calibrarea altor fructe care au factor de formă ridicat.*

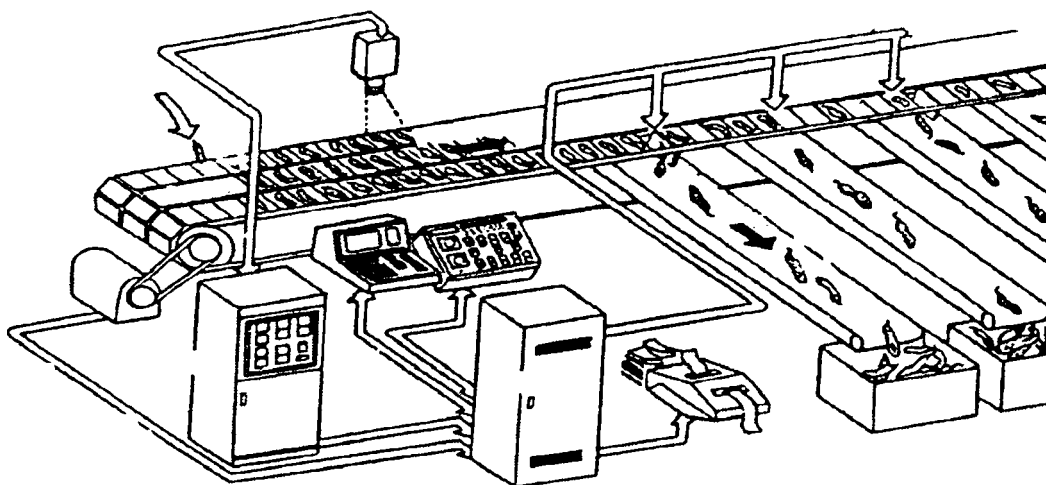
## CAPITOLUL 4

### Instalații mecano-electronice complexe folosite la sortarea legumelor și fructelor

#### 4.1. Instalații fixe și mobile pentru sortat legume și fructe

##### 4.1.1. Instalație mecano-electronică fixă pentru sortat castraveți

Sistemul automat din figura 4.1.1., a fost construit de firma Mitsubishi Electric Corporation și este folosit de fermele din Japonia pentru sortarea castraveților în nouă categorii. [2]



**Fig. 4.1.1.** Schema constructiv-funcțională a unei instalații de sortat castraveți a firmei Mitsubishi Electric Corporation

Referitor la procesul de lucru din figura 4.1.1., castraveții sunt plasați cu mâna în alveole pe conveier. O singură linie cu cameră de scanat, poziționată deasupra liniei de sortare, inspectează trei rânduri și transmite informații despre forma și textura castraveților la un microcontroler. Pe baza acestor semnale, sistemul de control clasifică castraveții și în funcție de rezultate, aceștia cad pe un conveier ce trece pe dedesubt și se deplasează pe o direcție perpendiculară pe primul conveier. Fiecare semnal de îndepărtare este numărat și rezultatele sortării sunt înregistrate și în final tipărite.

Dimensiunea alveolelor este aleasă, astfel încât, să se potrivească la toate dimensiunile castraveților. Alveola este aleasă de culoarea alb strălucitor, în contrast cu culoarea verde a castravetelui.

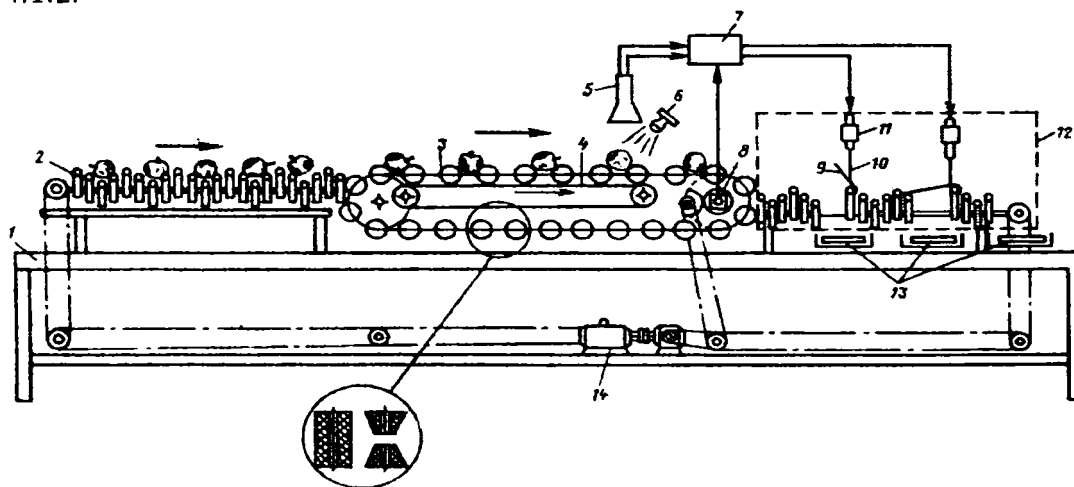
Camera de scanat conține fotodiode cu elementele dispuse într-o matrice liniară. Fiecare linie de sortare este realizată pe lățimea a trei alveole, iar prelucrarea informației furnizate de camera de scanat, este prelucrată de un microprocesor pe 8 biți.

Instalația permite clasificarea castraveților după lungime în clasele 2L, L, M, S, D (în ordinea descendentă a mărimii), iar după formă, în clasele A, B și C.

Problemele întâlnite în recunoașterea formelor sunt: zgomotul ce alterează semnalul util, cauzat de murdărirea alveolelor, și anormala reflexie cauzată de neregularitățile suprafeței castraveților, prezența gunoaielor, materiilor străine și a picăturilor de apă ce aderă la suprafața castravetelui. Încărcarea manuală în acest caz, rezolvă o parte din aceste probleme. Florile și codițele atașate la capătul castraveților, sunt șterse prin algoritmi de recunoaștere a formelor.

#### 4.1.2. Instalație mecano-electronică fixă pentru sortat mere

Una din metodele cele mai utilizate la sortarea merelor, este cea a reflexiei luminii de către fruct. Pe baza acestui principiu a fost realizată instalația din figura 4.1.2.



**Fig. 4.1.2.** Schema constructiv-funcțională  
a unei instalații mecano-electronice pentru sortat mere, [7]

Instalația cuprinde cadrul 1, un transportor cu rulouri 2, transportorul cu role 3, dispozitivul de control al fructului 5, blocul de prelucrare al semnalului 7, traductorul de sincronizare 8, mecanismul de execuție 12, blocul de iluminat 6.

Transportorul cu role 3 asigură orientarea merelor și ducerea lor în zona de control, cu o rotație uniformă. În acest scop transportorul este realizat din role cilindrice și conice dispuse în serie.

Mecanismul de execuție asigură separarea fructelor controlate în sorturi. Dispozitivul de control este destinat pentru prelucrarea informației optime primită de pe suprafața mărului.

Blocul de prelucrare a semnalului are următoarele sarcini:

- recunoașterea calitativă a zonelor analizate ale suprafeței mărului;
- măsurarea suprafeței globale și a celei deteriorate;

- luarea unei decizii asupra sortării și comandă capacele mecanismului de execuție.

Sortarea decurge în felul următor:

Transportorul 2, aduce merele bucată cu bucată, în spațiul dintre role, pe tronsonul 3 care le deplasează în zona de control. După oprirea merelor în zona de control, acestea sunt analizate de către blocul de prelucrare, iar la terminarea analizei sunt furnizate informații asupra deteriorărilor mecanice (3 gradații) și dimensiunea mărului (3 gradații).

Cercetările efectuate cu o astfel de instalație au arătat că, coloritul și prezența particulelor de apă pe fructe nu influențează valoarea semnalului informațional. Pentru a reduce unele aspecte neplăcute, este indicat ca sortarea merelor după principiul de mai sus, să nu se execute mai devreme de 8 ore de la recoltare.

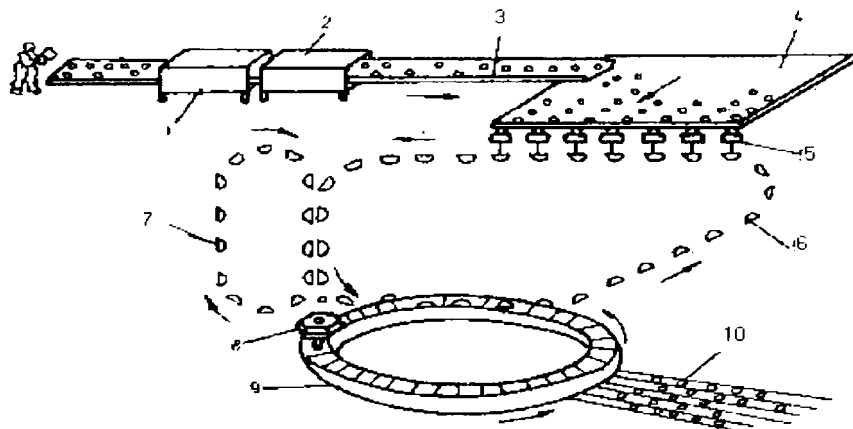
#### 4.1.3. Instalație mecano-electronică fixă pentru sortat fructe după culoare

Aceste tipuri de instalații permit reglarea rapidă a limitelor de sortare după culoare a fructelor cu diferite grade de coacere.

În figura 4.1.3. este prezentată schema unei instalații complexe de sortare după culoarea utilizată pentru produse mari ca tomate, mere, lămâi. [42]

Produsele sunt încărcate în mașina de spălat 1, de unde sunt dirijate în tunelul de uscare 2. Prin transportorul 3, produsele ajung în alimentatorul 4, de unde, prin distribuitorii 5, acestea sunt încărcate uniform în cupele transportorului 6 (în fiecare cupă se introduce câte un exemplar).

În zona verticală a transportorului cu cupe 6, instalația este prevăzută cu un transportor vertical ajutător 7, care împiedică căderea produselor în această zonă, obturând porțiunea deschisă a cupelor. Ramificația verticală a transportorului 6 se descarcă deasupra camerei foto-electronice 8, în care se controlează culoarea și starea suprafeței produsului. Din camera foto-electronică, produsele cad în alveolele căptușite cu cauciuc, ale caruselului de sortare 9.



**Fig. 4.1.3.** Schema unei instalații fotoelectronice de sortare automată după culoare a fructelor și legumelor cu dimensiuni mari (mere, lămâi, tomate):

- 1 - mașină de spălat; 2 - tunel de uscare; 3 - transportoare; 4 - alimentator; 5 - distribuitor; 6,7,10 - transportoare; 8 - cameră fotometrică hexagonală; 9 - conveier circular cu cupe.

În timpul în care fructul rămâne în camera foto-electronică hexagonală 8, din fiecare unghi al camerei primește fascicule luminoase datorită lămpilor instalate. Fluxul luminos reflectat este concentrat de o oglindă și dirijat printr-un sistem optic, care desparte fluxul în două părți egale.

O jumătate a fluxului luminos se îndreaptă către o celulă fotoelectrică, printr-un filtru care lasă să treacă radiațiile roșii, iar cea de-a doua celulă fotoelectrică primește cealaltă jumătate a fasciculului luminos printr-un filtru care lasă să treacă numai radiațiile verzi. În funcție de raportul dintre radiațiile verzi și roșii se modifică intensitatea fotocurentului generat. Cu ajutorul schemelor electronice obișnuite se poate transmite semnalul la o instalație de memorizare și dispozitivului electromagnet de execuție a sortării.

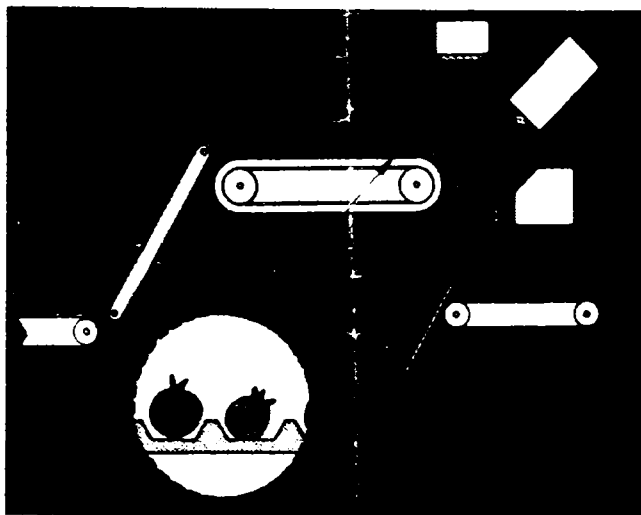
Conveierul circular cu cupe 9 are o mișcare de rotație de 9 rot/min și este prevăzut cu 16 alveole de primire, ceea ce asigură o productivitate de 180 buc/min. În funcție de intensitatea curentului electric, fructele se împart în cinci categorii care sunt distribuite separat pe transportorul final 10 care are cinci fluxuri, separate prin pereți despărțitori.

#### 4.1.4. Instalație electronică mobilă pentru sortat tomate după gradul de coacere

Sortarea electronică a tomatelor se realizează ușor, este mai sigură, deoarece sunt eliminate erorile cauzate de oboseală și de judecata umană, și este mai rapidă. Sortatorul reduce numărul de sortatori manuali, iar viteza de sortare crește cu 1/3 față de sortarea manuală. În figura 4.1.4. este prezentat modelul 2024 al sortatorului de tomate Johnson [82], montat pe combine de recoltat tomate. Cele 24 de canale ale sortatorului pot furniza 35 de tone pe oră în condiții normale. Sortatorul folosește pentru fiecare fruct câte o alveolă, pentru a permite o bună vizualizare a fructului de către dispozitivul optic.

**Fig. 4.1.4.** Schema instalației de sortat tomate Johnson model 2024

- 1 - elevator;
- 2 - alveole;
- 3 - lampă de iluminare;
- 4 - dispozitiv optic;
- 5 - dispozitiv de îndepărtare tomatelor verzi și a gunoaielor;
- 6 - conveier de preluare a tomatelor roșii;
- 7 - gunoaie și fructe verzi.



Tomatele sunt urcate dintr-o singură parte în alveolele celor 12 canale. Fiecare canal trece prin fața unui senzor optic ce compară caracteristicile roșu-verde ale fiecărui fruct. Semnalul este analizat și se decide ce tomate sunt acceptate și care dintre ele sunt respinse. Tomatele acceptate sunt preluate de un conveier și sunt transportate într-un buncăr. Tomatele verzi și gunoaiele sunt îndepărtate cu ajutorul unui jet de aer cu presiune.

## 4.2. Instalații moderne de sortat legume-fructe folosind camere video

Instalațiile automate moderne pentru sortarea fructelor utilizează dispozitive de control electronice, camere de luat vederi și tehnică de calcul. Acestea execută următoarele operații:

- măsoară dimensiunile fructelor;
- măsoară suprafața vătămată a fructelor;
- convertesc semnalele obținute la măsurare în forma corespunzătoare prelucrării automate;
- stabilesc apartenența fructului la sortimentul dimensional sau calitativ prescris;
- transmit comenzile la elementele de execuție ale sortării;

### 4.2.1. Mașini și instalații moderne de sortat tomate, utilizând cameră video și senzor de impact

Evaluarea și sortarea manuală a fructelor proaspete este costisitoare, ineficientă și subiectivă. Sortarea automată a fructelor îmbunătățește calitatea aprecierii produselor și reduce dependența de disponibilitatea mâinii de lucru.

Una din metodele cel mai des întâlnite, este cea a utilizării dispozitivelor de recunoaștere a imaginilor. Aceste sisteme lucrează în timp real, pentru a corecta rapid problemele ce apar pe fluxul de producție.

Folosind sistemele de achiziție și prelucrare a imaginilor bazate pe microcontrolere, crește productivitatea, versatilitatea, gradul de reproductibilitate și fiabilitatea, reducându-se totodată costurile de producție, prin efectuarea unor sarcini complexe de inspecție vizuală în linia tehnologică.

Calitatea unei sortări se bazează pe o multitudine de măsurări și teste, iar cercetările lui Laykin și Eden din 2000 și 2004 indică faptul că clasificarea cu mai mulți senzori, poate îmbunătăți procesul de sortare.

În prezent, majoritatea sistemelor de sortare se bazează pe un singur senzor.

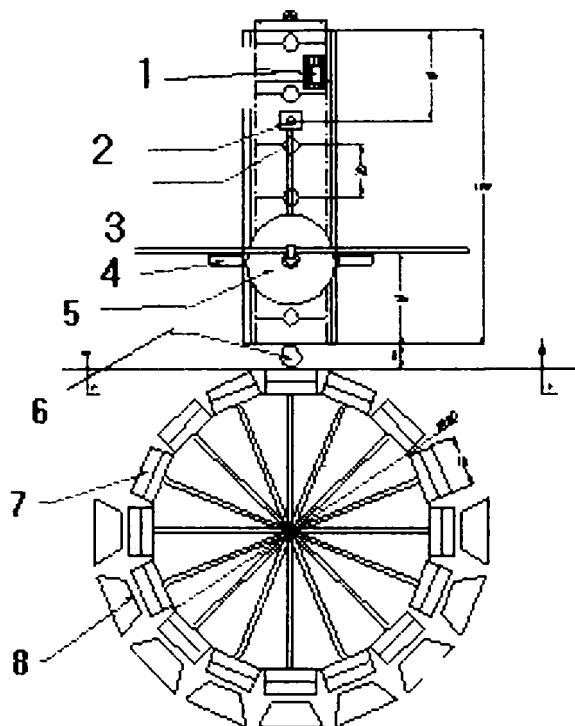
O astfel de instalație de sortare bazată atât pe camere video cât și pe senzori de impact, se poate folosi atât în cazul legumelor cât și în cazul fructelor, produsele necesitând setări apropiate.

În cazul de față, pentru teste au fost utilizate tomatele. De asemenea, fermitatea este una din cele mai importante calități interne. În multe părți din America și Europa, tomatele sunt culese în stagiul de declanșare a procesului de coacere, când fermitatea le permite să suporte mai ușor șocurile transportului, iar în plus, se reduc cheltuielile.

Schema generală a mașinii de sortare cu cameră video și senzor de impact, este prezentată în figura 4.2.1.

**Fig. 4.2.1.** Schema de rîndu a mașinii de sortat tomate cu cameră video și senzor de impact; [52]

- 1 - motor; 2 - prima cameră de inspecție și dispozitiv de iluminat; 3 - transportor; 4 - camere de inspecție laterale; 5 - dispozitiv de iluminat; 6 - senzor de impact; 7 - alveole pentru tomate; 8 - coșuri colectoare;



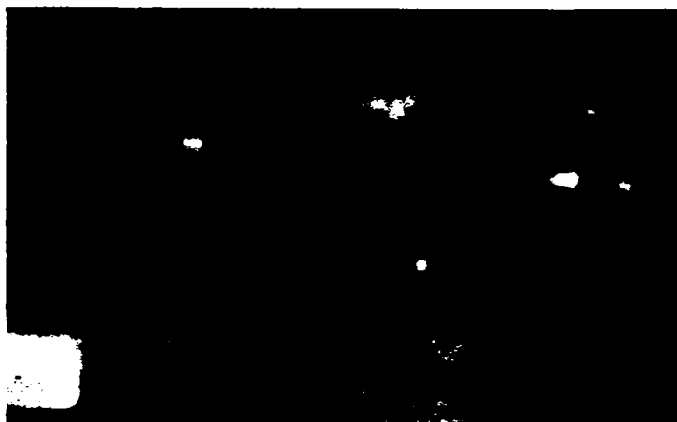
Sistemul mecanic al instalației este proiectat să deplaseze produsele din punctul de încărcare, prin dreptul sistemului de inspecție cu camera video direct pe un senzor de fermitate și să-l sorteze în 10 sorturi. În cazul acestei instalații fructele sunt așezate și poziționate manual, iar rata de sortare a instalației este de un fruct pe secundă.

Cupa conveierului poate transporta un singur fruct, iar susținerea tomatei se face de dedesubt. Pentru ușurarea procesului de separare, cupele sunt vopsite în culoarea albastră.

În acest mod cupa, permite dezvăluirea majorității suprafeței fructului, iar structura cupei și a cadrelui de prindere a fost proiectată să se potrivească majorității fructelor, iar în caz de necesitate să poată fi ușor înlocuită, așa cum se poate vedea și în figura 4.2.2..

**Fig. 4.2.2.** Cupa și moduli de prindere al acesteia [51][52]

Sistemul de iluminare a fost realizat din două semi-sfere cu diametrul de 36 cm, special proiectate. Primul dispozitiv de iluminat este plasat deasupra camerei de vizualizat de jos, iar cel de al doilea dispozitiv de iluminare este plasat deasupra suprafeței



de transport și are pe laturi două găuri pentru camerele de vizualizare laterale. Sistemul de iluminare este realizat din 4 spoturi cu halogen de 20 W, ce au fost așezate în unghi de 90 grade, pentru a asigura distribuția uniformă a iluminării în întreaga suprafață de



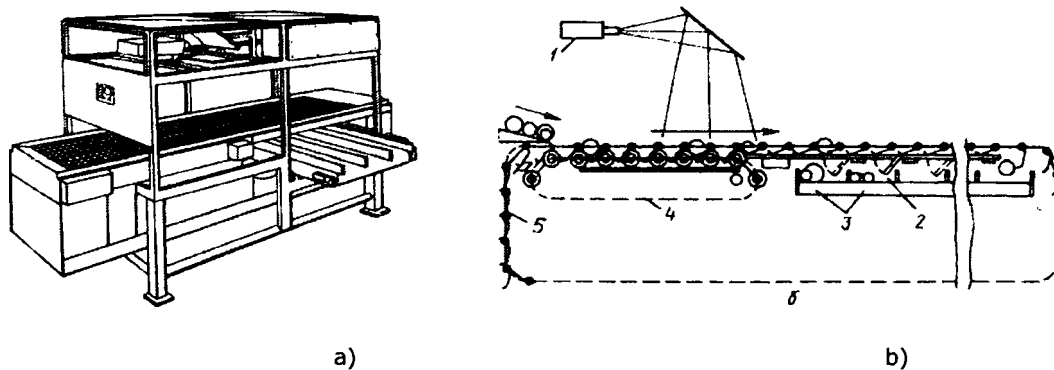
lucru, lumina fiind reflectată din laturile dispozitivului de iluminare.

Vizualizarea fructului se face cu trei camere, montate pe un arc ce înconjoară conveierul, aranjate la distanțe egale de conveier, perpendicular pe direcția de deplasare. Acest aranjament furnizează trei vederi ale fructului: – o vedere verticală din partea de jos a conveierului și 2 vederi de deasupra, fiecare înclinată la 60 de grade față de vederea verticală. Pentru camera de jos a fost asigurat un plafon întunecat, iar pentru camerele de sus a fost asigurat un fundal negru.

Senzorul de impact a fost realizat dintr-un cilindru și un platou de impact, iar senzorul piezoelectric a fost plasat în interiorul cilindrului. Senzorul de impact s-a amplasat la punctul de descărcare al conveierului, localizarea exactă a fost determinată, în funcție de mărimea fructului, viteza fructului, distanța de la conveier. Senzorul de impact este plasat pe un suport care este depărtat de conveier pentru a-l feri de vibrații. Deoarece senzorul de impact este foarte mic în comparație cu fructele testate, se folosește un element intermediar. Acesta este un platou metalic cu diametrul mai mare decât al fructului testat, de 1,5-2 ori.

Încărcarea fructelor pe conveier se face manual, iar conveierul le va transporta prin dreptul primei camere de filmat, care are ca scop detecția formei. Sistemul de vizualizare următor este format din două camere și are ca scop detecția culorii, omogenitatea culorii, determinarea loviturilor. În continuare fructul cade de pe conveier, de la o distanță mică, aproximativ 3 cm, pe un senzor de impact. Acest sistem permite separarea produselor în 10 sorturi.

În literatura de specialitate sunt prezentate și alte instalații de clasificare a produselor vegetale folosind principiile video, precum cea din figura 4.2.3., în care este prezentată schema de principiu a unei instalații de sortare legume și fructe. [91]



**Fig. 4.2.3** Instalație de sortat legume-fructe folosind camere TV

a) vedere generală;      b) schema constructiv funcțională

- 1 - camera TV; 2 - canal cu poziție reglabilă pentru eliminarea fructelor;
- 3 - transportor transversal pentru sorturi; 4 - transportor cu role;
- 5 - transportor general cu clapete pentru susținerea fructelor.

Imaginea fructelor în timp ce sunt transportate de conveier, este achiziționată de camera TV 1 și transmisă unui sistem de decizie, care apreciază culoarea acestora, iar prin intermediul unui element de execuție ce controlează clapetele de susținere a fructelor pe transportorul general 5, se asigură distribuirea pe sorturi a fructelor pe transportorul 3.

### 4.3. Studiul critic și concluzii asupra construcției și funcționării instalațiilor mecano-electronice utilizate în etapa actuală în efectuarea proceselor de condiționare a legumelor și fructelor

Studiul bibliografic realizat asupra instalațiilor de sortat și calibrat legume și fructe pe cale electronică, a permis stabilirea unor concluzii cu caracter fundamental, atât în ceea ce privește performanțele cât și dezavantajele acestora.

Astfel, sinteza realizărilor în direcția implementării instalațiilor electronice în execuția integrală s-au parțială a fazelor proceselor de prelucrare primară a legumelor și fructelor, evidențiază în principal următoarele:

1. Stadiul de implementare a instalațiilor electronice se găsește în faza „integrată”, alături de ansamblele mecanice, ele efectuând fazele finale de calibrare și sortare după culoare.
2. Personalul ce deservește aceste echipamente necesită cunoștințe temeinice în ceea ce privește modul de funcționare a instalației.
3. Sunt realizate progrese considerabile în domeniul implementării procesului de separare a componentelor culturii de bază (tuberculi, bulbi, rizomi, etc.) din amestecurile rezultate în urma recoltării produselor din sol. Instalațiile electronice sau electronico-optice, valorificând și alte proprietăți ale componentelor (gradul de coacere, de reflexie, diferența de porozitate, de culoare, etc.), asigură efectuarea separării componentelor fără participarea muncii manuale.
4. Instalațiile de separare a produselor din amestec, pe baza diferenței de porozitate sau de reflexie, sunt foarte eficiente, cu condiția ca amestecurile recoltate să fie precurățite la punctele de presortare.
5. Cu cât gradul de impurificare a amestecului supus prelucrării este mai redus, cu atât linia tehnologică de utilaje folosite la prelucrarea primară a tuturor categoriilor de legume-fructe se simplifică. Ne exprimăm opinia că, dacă organele de recoltare folosesc în mai mare măsură sistemele electronice și de informatizare, gradul de impurificare a recoltei colectate scade, iar procesele de prelucrare în vederea valorificării în stare proaspătă, se simplifică considerabil, atrăgând implicit simplificarea instalațiilor.
6. Majoritatea instalațiilor de prelucrare primară ce folosesc celule fotoelectrice sau camere video, furnizează erori grave în cazul amestecurilor de produse puternic impurificate.
7. Instalațiile de sortare după culoare, ce folosesc principii electronice nu permit obținerea a mai mult de două sau trei sorturi, iar clasificarea pe baza omogenității culorilor este imposibilă. De asemenea, unele instalații de apreciere a culorii fructelor cu celule fotoelectrice, necesită prezența unor ecrane de aceeași culoare cu a majorității produselor din amestecul de analizat. Acest lucru este greu de realizat dacă ținem seama de limitele mari de variație ale fructelor în funcție de soi, specie și de condițiile de mediu. De asemenea, crește dependența operației de clasificare, de operatorul uman, de subiectivismul și de nivelul de instruire al acestuia.

8. Cele mai multe din instalațiile de sortat după culoare, nu permit vizualizarea în întregime a suprafeței fructelor și legumelor analizate, acestea fiind aduse în zona de inspecție video de o bandă transportoare. Cele mai revoluționare instalații se folosesc de căderea produselor printr-un analizor de celule fotoelectrice, dar și în acest caz, viteza mare de cădere și faptul că produsele nu se rotesc, nu permit o analiză corectă.
9. Foarte multe instalații care analizează culoarea produselor, utilizează o singură cameră video și de multe ori camera video captează o imagine cu mai multe produse ce sunt analizate separat de sistemul de calcul. Acest mod de lucru reduce costurile instalației în ceea ce privește numărul de camere, însă, necesită un sistem de calcul performant pentru a face față algoritmilor de calcul complicați și în plus, nu permite vizualizarea în întregime a suprafeței produselor.
10. În majoritatea instalațiilor de clasificare, nu este acordată importanța cuvenită, nici instalațiilor de vizualizare și nici instalațiilor de iluminare, neexistând o corelare între acestea.
11. Majoritatea instalațiilor de iluminare folosesc încă becurile cu incandescență, ce realizează o iluminare puternic direcțională, fapt ce impune utilizarea materialelor cu rol de difuziune a luminii.
12. În ultimii ani a crescut numărul instalațiilor ce folosesc tehnica de calcul și camerele video pentru operațiile de prelucrare primară a fructelor și legumelor, însă, majoritatea acestora permit numai calibrarea dimensională ori numai sortarea calitativă și majoritatea nu permit identificarea prezenței defectelor.
13. O parte din instalațiile de prelucrare primară ce utilizează camere video pentru inspecția vizuală a produselor, furnizează grave erori atunci când amestecul este puternic impurificat, datorită murdăririi alveolelor de susținere și a apariției unor străluciri sau pete pe suprafața produselor ce sunt interpretate ca defecte, vătămări.
14. Instalațiile de clasificare cu camere video, folosesc de regulă modelul de culoare RGB ce impune realizarea unui număr mare de operații de calcul.
15. De asemenea, în majoritatea cazurilor, algoritmi implementați pe aceste sisteme de calcul sunt cei clasici, ce necesită mari resurse de timp și hard. Având în vedere caracteristicile legumelor și fructelor, dar și a tuturor produselor vegetale, a domeniului mare de variație al acestora, acești algoritmi nu permit o apreciere în întregime a acestor caracteristici. În plus, ei sunt aceia ce limitează numărul de operații ce pot fi realizate de instalație prin numărul mare de resurse de care au nevoie.
16. Instalațiile electronice automate permit diversificarea și valorificarea pe o paletă mult mai largă a indicilor și a tot felul de particularități fizice, structurale, cromatice, grad de maturare sau de altă natură, după care să efectueze în modul cel mai fin și mai complet aceste operații de prelucrare.
17. Utilizarea instalațiilor automate contribuie la creșterea indicilor de calitate, la reducerea pierderilor și inclusiv la perfecționarea proceselor de prelucrare prin scurtarea deplasărilor fructelor peste organele de prelucrare, precum și prin posibilitatea de colectare a sorturilor

rezultate cu reducerea considerabilă a impactului în toate fazele de prelucrare.

18. Prin compactitatea lor, instalațiile automate de prelucrare primară a legumelor și fructelor, contribuie la reducerea considerabilă a spațiilor necesare pentru amplasarea acestora, renunțându-se la actualele hale de amplasare a instalațiilor mecanice.
19. Finețea construcției acestor instalații, conduce la îmbunătățirea condițiilor de muncă, la reducerea zgomotului și creșterea confortului în supravegherea fazelor procesului, atrăgând în mod nemijlocit saltul tehnic necesar a fi efectuat și în acest domeniu al producției umane atât de vital pentru perpetuarea speciei.
20. Deși s-au făcut progrese considerabile în implementarea tehnicii de calcul și a electronicii în instalațiile de prelucrare primară a fructelor și legumelor, acestea sunt totuși la început, iar cuceririle tehnice ale tehnologiilor „*machine vision*” și ale inteligenței artificiale sunt abordate foarte timid de către cercetătorii din domeniu.

## PARTEA A DOUA

# STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND POSIBILITATEA APLICĂRII TEHNICII DE CALCUL ȘI DE CONDUCERE AUTOMATĂ A PROCESELOR DE SORTARE A LEGUMELOR ȘI FRUCTELOR FOLOSIND INSPECȚIA VIDEO

## CAPITOLUL 5

### Studii și cercetări privind soluția constructivă a standului experimental

#### 5.1. Considerații privind alegerea structurii și configurației organologice a standului experimental

În baza concluziilor enunțate în cadrul paragrafelor 2.3. și 4.3., pentru valorificarea fructelor și legumelor la standarde tot mai ridicate, se impune realizarea unei instalații de prelucrare primară automată a legumelor și fructelor folosind principiile electronicii numerice și pe cele ale inspecției video, ce va trebui să asigure realizarea simultană a următoarelor trei faze de analiză: [13][22][64][113][125][128]

- analiza gradului de sănătate;
- calibrarea dimensională;
- sortarea după culoare;

*Analiza sănătății și integrității* fructelor și legumelor, trebuie să verifice și să stabilească *gradul de sănătate* al acestora, creând condițiile de eliminare din flux în cazul în care fructele sunt vătămate sau bolnave.

*Calibrarea dimensională* va trebui să împartă fructele supuse analizei în trei sorturi (mare, mijlociu, mic), iar pentru cele care sunt sub o dimensiune stabilită să se creeze condițiile de eliminare din flux.

*Sortarea după culoare* a fructelor urmărește împărțirea în trei sorturi (fructe coapte – roșii, fructe coapte intermediar – roz și fructe necoapte – verzi).

Pentru îndeplinirea dezideratelor menționate, au fost proiectați mai mulți *algoritmi de analiză a formei, dimensiunii și culorii* produselor pe baza imaginilor achiziționate.

Algoritmii propuși permit ca prin analiza formei produselor să se poată aprecia calitatea – integritatea (lipsa unor părți din produse sau eventuale găuri realizate de dăunători) și dimensiunea acestora, iar pe baza culorii să se facă aprecierea după culoare a produselor dar și o apreciere calitativă care să vizeze prezența unor pete datorate bolilor, dăunătorilor sau loviturilor.

Pentru validarea acestor algoritmi, atât ca eficiență cât și ca timpi de execuție, s-a proiectat și realizat un stand experimental de clasificare a produselor pe baza principiilor inspecției video.

Standul realizat are în componență următoarele sisteme:

- sistemul mecanic (SM);
- sistemul de vizualizare (SV);
- sistemul de iluminare (SI);
- sistemul de comandă și control (SCC);

Chiar dacă așa cum reiese din concluziile paragrafului 2.3., sistemul mecanic se face vinovat de majoritatea vătămarilor suferite de fructe și legume în timpul procesului de prelucrare primară, el este indispensabil pentru transportul automat al acestora între diferitele secții ale instalației, dar și pentru operații de pre-curățire și curățire.

În acest sens, **sistemul mecanic** (SM) a fost astfel proiectat încât să permită realizarea următoarelor secvențe:

- Preluarea amestecului de produse ce trebuie sortat, din punctul de descărcare până în punctul de analiză;
- Să permită ordonarea fructelor și legumelor analizate, unul câte unul, prin intermediul unui transportor cu role;
- În urma analizei imaginilor furnizate de către SV, SM trebuie să permită redistribuirea fructelor și legumelor astfel încât, acestea să fie încadrate în mai multe clase, corespunzătoare deciziei sistemului de conducere a instalației;
- Mișcările elementelor mecanice ce schimbă direcția fructelor supuse operației de analiză, nu trebuie să fie bruște, deoarece există riscul vătămării fructelor și legumelor;
- Componentele mecanice care se află în contact cu fructele supuse analizei să fie învelite în materiale spongioase care să asigure integritatea acestora;
- Instalația mecanică trebuie să elimine pe cât posibil căderile, pentru fructele supuse analizei;
- Grupul motor-reductor folosit pentru antrenarea sistemului trebuie să permită modificarea rapidă a vitezei transportorului.

De asemenea, la proiectarea SM s-a avut în vedere ca acesta să fie ușor de exploatat și să permită adaptarea la un număr cât mai mare de soiuri de fructe și legume.

Forma și structura SM a fost aleasă în raport și cu cerințele celorlalte sisteme ale instalației, în special cu **sistemele de vizualizare și de iluminare**.

**Sistemul de vizualizare** (SV) a fost proiectat încât să permită:

- Vizualizarea întregii suprafețe a fructelor și legumelor analizate;
- Achiziția imaginilor la o rezoluție care să permită identificarea eventualelor defecte de pe suprafața produselor analizate;
- Prelucrarea directă a imaginilor achiziționate de către sistemul de calcul SC fără eventuale conversii;
- Achiziția rapidă a cadrelor din fluxul video;
- Achiziția imaginilor fără perturbații de genul – umbre, străluciri etc.;
- Realizarea comodă a unor reglaje în ceea ce privește focalizarea camerelor video asupra produselor;
- Redispunerea rapidă și facilă a camerelor, în raport cu soiurile de produse analizate.

Calitatea imaginilor achiziționate depinde în mod substanțial de calitatea iluminării oferite de către **Sistemul de iluminare** (SI). Acesta trebuie să asigure:

- O iluminare corespunzătoare a produselor analizate;
- Eliminarea dependenței față de iluminarea naturală;
- Eliminarea oricăror posibilități de apariție a unor perturbații de genul: umbre, penumbre, străluciri etc.;

**Sistemul de comandă și control** (SCC) constituie cea mai importantă componentă a instalației de prelucrare primară și are rolul de a coordona activitatea tuturor celorlalte sisteme în raport cu cerințele impuse și cu rezultatele obținute în urma actului de decizional.

De aceea, SCC trebuie să asigure:

- funcționarea în timp real a întregii instalații;
- analiza imaginilor furnizate de SV și luarea deciziilor în ceea ce privește aprecierea gradului de sănătate, a culorii și dimensiunilor pentru fiecare produs supus analizei;
- comanda elementelor de execuție în vederea clasificării produselor analizate;

Pentru îndeplinirea cerințelor impuse, a fost ales un **Sistem de Calcul (SC)** cu procesor PENTIUM IV cu 3200 MHz și placă video GeForce nVidia quattro FX1700. S-a avut în vedere ca sistemul de calcul să fie dotat cu două porturi paralele, patru porturi USB 2.0. și un port PCMCIA. SC împreună cu Placa Video (PV) și cu Circuitul de Comandă Motoare (CCM), alcătuiesc **Sistemul de Comandă și Control (SCC)**.

În vederea coordonării tuturor activităților SCC, a fost dezvoltată o aplicație **Analizor Imagini (AI)** în limbajul Matlab 7.0 R14, aplicație ce permite aprecierea în timp real a fructelor și legumelor analizate în ceea ce privește gradul de sănătate și integritate, culoarea și dimensiunile și comandă elementele de execuție reprezentate de motoare pas cu pas după necesitate.

## 5.2. Contribuții la alegerea structurii și configurației standului experimental

Ansamblele de bază din componența sistemului mecanic SM îl constituie transportorul combinat a cărei configurație se prezintă în figura 5.2.2.

După cum se vede în figura 5.2.2. prima secție a transportorului este constituită din 5 rulouri netede amplasate fix pe cadrul transportorului (vezi figura 5.2.1.) și puse în mișcare de rotație prin transmisie cu curele trapezoidale, conform celor ce se evidențiază în figura 5.2.3.b. Cea de-a doua secție a transportorului combinat este constituită dintr-o bandă transportoare lisă.

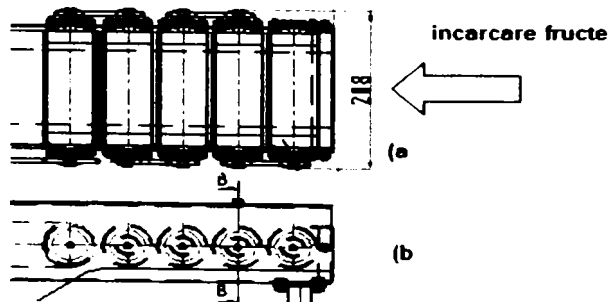
Alegerea unui astfel de mijloc de transport a produselor supuse analizei, a fost determinată de realizarea unor cerințe de asigurarea unui transport stabil, cu realizarea unei rotiri a fructelor pe rulourile primului sector în vederea vizualizării lor pe întreaga suprafață.

Diametrul și lungimea rulourilor transportorului au fost alese în raport cu diametrele și înălțimile produselor vizate a fi clasificate: pătlăgele roșii – diametru cuprins între 40-87 mm, mere indigene – diametru 40-93 mm și înălțime 39-82 mm, mere aclimatizate – diametru 36-98 mm și înălțime 35-94 mm. [11][17][70][75][92]

Fig. 5.2.1. Transportor cu rulouri netede

a) vedere de sus,

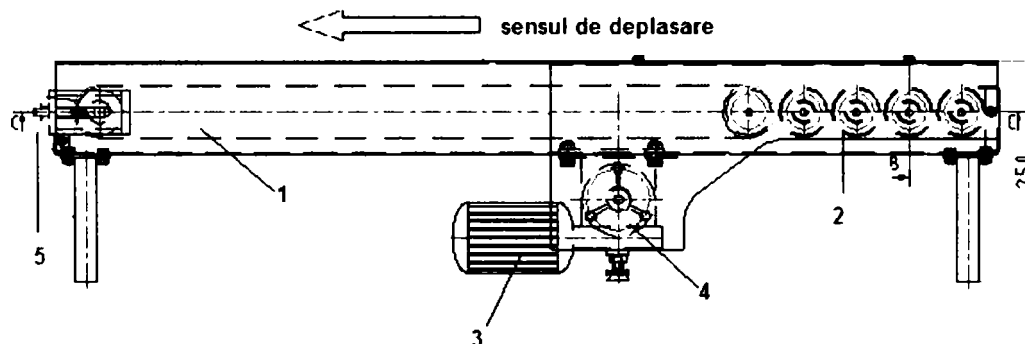
b) vedere laterală





Deasupra sectorului cu rulouri au fost amplasate și sistemele de iluminare și vizualizare. Sistemul de vizualizare SV este realizat din două camere video digitale. Fiecare cameră video achiziționează fiecare la interval de o secundă câte două imagini ale aceluiași produs. Intervalul de o secundă dintre cele două cadre achiziționate ale aceluiași produs a fost stabilit în raport cu viteza transportorului, astfel încât să poată fi vizualizată în întregime întreaga suprafață a produsului analizat.

După ce fructul este analizat în zona sectorului cu rulouri netede, acesta este preluat de către banda transportoare 1 (fig. 5.2.2.) și este deplasat către elementele de execuție



**Fig. 5.2.2.** Structura constructiv-funcțională a secțiilor transportorului combinat al standului și ansamblele de antrenare

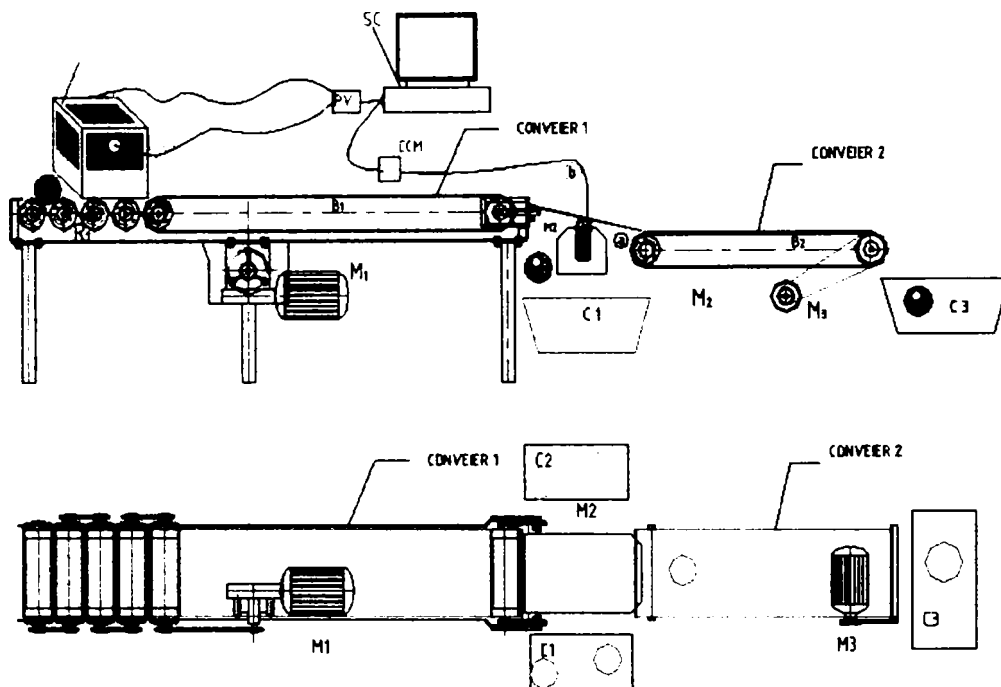
- 1 – bandă transportoare, 2 – rulouri transportoare, 3 – motor antrenare, 4 – reductor,  
5 – dispozitiv reglare întindere bandă;

Transportorul este deservit de un motor electric de curent continuu de 24 de volți, alimentat de o sursă reglabilă de tensiune în domeniul 0-30V și 0-10A, prin intermediul unor reductoare, ce asigură deplasarea organelor transportorului cu viteze cuprinse între 0,05 și 0,1 m/s.

Chiar dacă la ieșirea din zona de inspecție video, fructele și legumele analizate au fost deja etichetate în ceea ce privește gradul de sănătate și integritate, culoare și dimensiuni, testarea simultană a tuturor algoritmilor dezvoltați, este dificil de realizat din punct de vedere al urmării performanțelor din fazele de antrenare a rețelelor neuronale a algoritmilor decizionali, a performanțelor pentru fiecare secvență de clasificare, necesitând realizarea unei instalații de mari dimensiuni.

Având în vedere aceste inconveniente, standul de sortare a fost dezvoltat astfel încât să permită realizarea fiecărei faze separat. Astfel, produsele analizate și considerate *sănătoase* în timpul analizei gradului de sănătate, au fost reutilizate pentru a fi analizate din punct de vedere al culorii, iar apoi, pe rând, fiecare dintre cele trei sorturi obținute a fost utilizat în procesul de calibrare.

În figura 5.2.3. este prezentată schema de principiu a instalației realizate în scopul testării și validării algoritmilor și principiilor propuse în teză.



**Fig. 5.2.3.** Schema de principiu a standului experimental  
a) vedere laterală; b) vedere de sus

CV1, CV2 – camere video, SC – sistem de calcul, PV – placă video, CCM – circuit comandă motoare,  
CI – cameră iluminare, R1 – Role transportoare, M1 – motor acționare conveier 1, M2 – motor  
acționare jgheab distribuție, M3 – motor acționare conveier 2, B1 – bandă transportoare conveier 1,  
B2 – bandă transportoare conveier 2, C1, C2, C3 – containere produse sortate

Procesul de lucru realizat cu acest stand experimental este sintetizat în cele ce urmează.

Fruitele și legumele supuse sortării se rostogolesc pe rolele R1 și sunt vizualizate de camerele video CV1 și CV2, care culeg informații referitoare la formă, culoare și dimensiunile acestora și le transmit sistemului de decizie reprezentat de SCC. Acesta prelucrează informațiile și transmite în consecință comenzi către motorul pas cu pas M2, în vederea distribuirii fructelor și legumelor către clasa corespunzătoare.

**Pentru sortarea după culoare**, în funcție de informațiile culese, instalația realizează sortarea în următorul mod: dacă fructul sau leguma analizată este verde (necoaptă), motorul M2 rotește jgheabul către poziția b, favorizând distribuția acestuia către containerul C2. Dacă produsul este roz (copt intermediar), motorul M2 rotește jgheabul în poziția a, către containerul C1, iar pentru produse roșii, jgheabul nu își modifică poziția și produsul se deplasează către containerul C3.

**Pentru testarea algoritmilor de calibrare**, se plasează pe transportor produsele ce au fost deja distribuite pe baza culorii într-unul din cele trei containere, iar SCC v-a asigura redistribuirea lor, respectând condițiile de mărime pentru fiecare clasă: mare, medie, mică.

**Sortarea după gradul de sănătate și integritate** se realizează conducând fructele sănătoase către containerul C2 și pe cele bolnave sau vătămăte către poziția C1.

Principiul pe care a fost dezvoltat standul experimental de sortare permite atașarea rapidă de noi elemente de execuție și de transport pentru a face față unor cerințe mult mai complexe. Astfel, instalația mecanică, sistemul de comandă și control și aplicația soft **Analizor Imagini** (AI), permit atașarea rapidă a încă 3 motoare pas cu pas și a mai multor benzi transportoare, pentru a permite realizarea simultană a celor trei faze: analiză sănătate, sortare și calibrare.

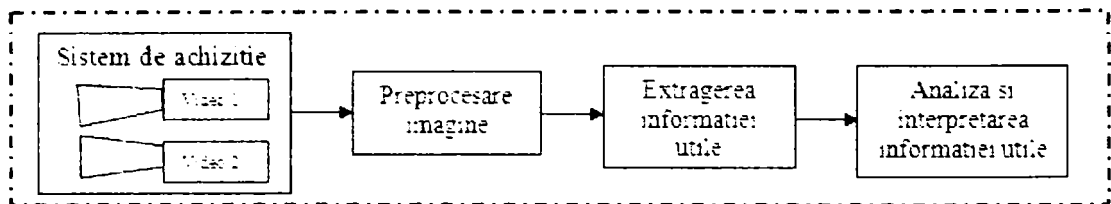
De asemenea, instalația permite realizarea rapidă a fazei de pregătire pentru lucru, cât și identificarea domeniilor de variație a culorilor și dimensiunilor inclusiv pregătirea rețelei neuronale folosite pentru stabilirea integrității structurale a produselor analizate.

## CAPITOLUL 6

### Proiectarea sistemului de vedere artificială

#### 6.1. Structura sistemului de vedere artificială

În ultimii ani a crescut considerabil numărul aplicațiilor de clasificare a produselor ce folosesc inspecția video, în special pentru produsele de proveniență industrială. **Sistemele de vedere artificială** au fost dezvoltate având ca model inevitabil sistemele biologice și în special sistemul uman, iar principalele funcții ale acestora sunt reprezentate de achiziția, prelucrarea și recunoașterea imaginilor.[25][77] Structura generală a **Sistemului de vedere artificială (SVA)**, ales pentru aplicația dezvoltată, a fost considerată în funcție de specificul aplicației, de cerințele impuse și este prezentată în figura 6.1.1.



**Fig. 6.1.1.** Schema bloc generală a sistemului de vedere artificială (SVA)

**Sistemul de achiziție (SAC)** - are ca element principal senzorul de imagine și realizează toate operațiile ce au loc de la achiziția electronică a imaginii, continuând cu digitizarea sa și până la aducerea într-un format numeric anume, în memoria RAM a unui calculator sau într-un fișier. Studiile și cercetările din ultimii ani evidențiază rolul tot mai important al asigurării unei iluminări corespunzătoare, în special în cazul analizei produselor vegetale.[78][48]

**Blocul de preprocesare (BP)** - poate avea funcții multiple. În general, prin preprocesare se înțeleg acele prelucrări grafice ce se efectuează asupra imaginilor achiziționate în scopul de a elimina posibilele perturbații sau informațiile inutile din imagine. Aceste prelucrări sunt necesare pentru a îmbunătății atât timpii de execuție cât și rezultatele diversilor algoritmi (clasificare, recunoaștere forme, etc.). Totuși, BP mai este responsabil și de alegerea modelului de culoare optim aplicației în cauză, cât și de eventuale decupări sau redimensionări ale imaginilor achiziționate. [23][77][78]

Pentru ca un astfel de SVA să funcționeze corect trebuie ca următoarele două blocuri, **Blocul de extragere a informației utile (BEI)** și **Blocul de analiză și interpretare a informației utile (BAI)**, să permită găsirea unor răspunsuri la întrebări de tipul:

- Ce imagine trebuie extrasă din imaginile preluate?
- Cum poate fi extrasă aceasta informație ?
- Cum se reprezintă aceasta ?
- Cum poate fi folosită informația astfel rezultată pentru obținerea scopului dorit?

BEI urmărește extragerea acelor caracteristici din imagini, pe baza cărora, în funcție de cerințele aplicației, BAI să poată lua o decizie privind apartenența fructelor și legumelor la o clasă sau la alta. [12]

## 6.2. Sistemul de iluminare. Cerințe impuse

Sistemul de iluminare (SI) este o componentă critică a instalațiilor de sortare ce utilizează tehnici de tip „*machine vision*”. [12][8][26][53]

În funcție de performanțele acestuia se poate îmbunătăți calitatea imaginii achiziționate. Reducându-se numărul de operații necesare, crește viteza de lucru a instalației. De asemenea, existența unui SI propriu elimină dependența instalației de sortare de condițiile atmosferice necorespunzătoare.[90] Din aceste considerente s-a optat pentru proiectarea și realizarea unui sistem de iluminare propriu, iar condițiile pe care sistemul de iluminare trebuie să le îndeplinească au fost stabilite în urma analizei cerințelor aplicației: [13][19]

- produsele sunt analizate după culoare, formă, dimensiune și prezența defectelor;
- aplicația este de viteză;
- suprafața produselor ce trebuie analizată este maximă;
- caracteristicile produselor (culoarea, forma, dimensiunea) supuse analizei pot varia drastic în funcție de soi, specie, dar și de la șarjă la șarjă.

De asemenea, în proiectarea SI au fost avute în vedere: [13][23][27]

- o lumină direcțională va conduce la accentuarea umbrelor;
- plasarea unei surse de lumină lângă camera video conduce la accentuarea strălucirilor;
- plasarea surselor de lumină pe direcții oblice conduce la atenuarea strălucirilor;
- plasarea sursei de lumină sub obiectul de analizat furnizează maximul de contrast;
- iluminarea frontală permite studiul caracteristicilor de suprafață;
- iluminarea laterală permite inspecția caracteristicilor tridimensionale.

### 6.2.1. Alegerea și testarea corpurilor de iluminat și a tehnicilor de iluminare.

Literatura de specialitate recomandă ca, înainte de a alege corpurile și tehnicile de iluminare ce vor fi utilizate la realizarea SI, să se stabilească cele mai importante **surse de erori** ce pot afecta procesul de achiziție a imaginilor. [25][31][60]

Cunoașterea și înțelegerea lor este importantă pentru adoptarea ipotezelor de lucru corecte, alegerea corpurilor și a tehnicilor de iluminare corespunzătoare, precum și a modelelor matematice adecvate pentru tehnicile de îmbunătățire a algoritmilor de analiză și clasificare.

Astfel, principalele surse de erori avute în vedere sunt:

- **Schimbări ale intensității iluminării** ce pot fi provocate de aprinderea sau stingerea unor surse de lumină în cazul în care procesul se desfășoară într-o

încăpere, sau de evoluția soarelui și a norilor în cazul proceselor ce se desfășoară în mediul exterior.

- **Umbre și reflexii** datorate unei iluminări necorespunzătoare, sau interpunerii între sursele de iluminare și obiectele de analizat a unor obiecte mobile. La imaginile cu un contrast puternic, umbrele și/sau reflexiile pot afecta iremediabil informația de culoare și formă. Astfel, obiectul analizat, sau porțiunea din obiect umbrită, poate deveni cvasi-neagră, estimarea nuanței și a formei devenind extrem de sensibilă la orice perturbație. Reflexiile datorate iluminării necorespunzătoare a unor produse cu grad de reflexie ridicat, pot provoca saturația sensorului de imagine și apariția unor zone apropiate de alb, cu nuanțe dificil de estimat corect din informația RGB furnizată de SAC.

- **Alegerea unui sistem optic** greșit proiectat sau utilizat, poate duce la obținerea unor informații eronate, unele din aceste erori nemaiputând fi corectate nici în blocul de preprocesare.

- **Apariția unor porțiuni din conveier, podea, cabluri, sau alte obiecte în imaginea achiziționată**, în afara obiectelor vegetale supuse analizei, va perturba grav procesul de analiză și clasificare.

- **Asigurarea unui fundal** de aceeași culoare cu a obiectelor de analizat crește riscul ca obiectele să rămână nedetectate, sau detecția să fie imprecisă.

- **Perturbarea semnalului** (imaginii) în zona de achiziție și transmisie a acesteia, în special cu perturbații de tip Gaussian și impulsiv, datorate unor vibrații sau unde electromagnetice.

**Alte erori ce pot să apară sunt cele datorate funcționării improprii a metodelor și algoritmilor de prelucrare utilizați, precum:**

- erori numerice;
- erori datorate conversiilor;
- erori de prelucrare propriu zise;

Diversitatea mare a caracteristicilor produselor vegetale dată de specie și soi, dar și de alți factori precum culoare sau grad de reflexie, impun o analiză atentă în timpul procesului de proiectare și realizare a SI.[1][15][37]

La realizarea sistemului de iluminare au fost testate trei tipuri de lămpi de iluminat și anume:

- becuri cu incandescență;
- corpuri cu fluorescență;
- leduri.

Principalele caracteristici avute în vedere în timpul testelor au fost:

- libertatea în proiectare;
- căldura degajată;
- prețul de achiziție;
- intensitatea iluminării;
- viteza de răspuns a corpului de iluminat;
- raportul calitate/performanță.

În urma testării [16][22] celor trei tipuri de corpuri de iluminat s-au putut evidenția următoarele **concluzii**:

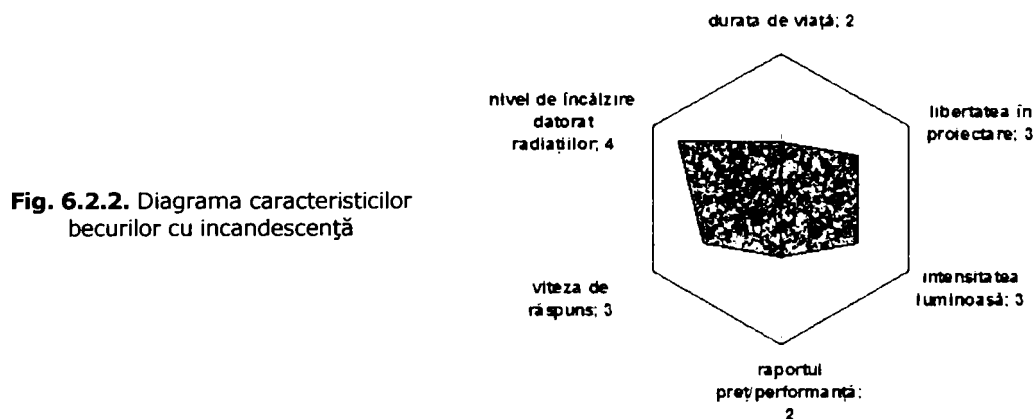
- Becurile cu incandescență, deși se găsesc în multe variante constructive și de diferite mărimi, au dezavantajul de a concentra intensitatea iluminării într-un singur punct, ceea ce conduce la necesitatea utilizării unor materiale cu rol de difuzie a luminii, (fig. 6.2.1.).



Fig. 6.2.1. Montaj placă becuri cu incandescență

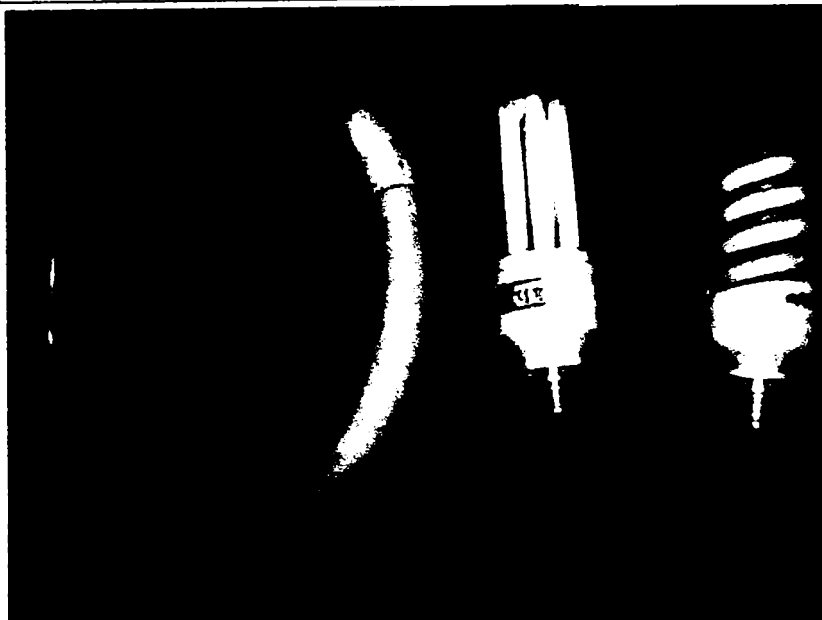
Prețul de achiziție al unui astfel de corp de iluminare este mare, iar durata lui de viață este relativ mică, ceea ce conduce și la un raport preț/performanță necorespunzător.

De asemenea, nivelul de încălzire datorat radiațiilor este unul foarte mare, spre deosebire de corpurile fluorescente sau de leduri, așa cum reiese și din diagrama caracteristicilor prezentată în figura 6.2.2., la realizarea căreia, pentru fiecare caracteristică a corpului de iluminat s-a acordat un punctaj între 1 (valoarea minimă) și 5 (valoarea maximă).



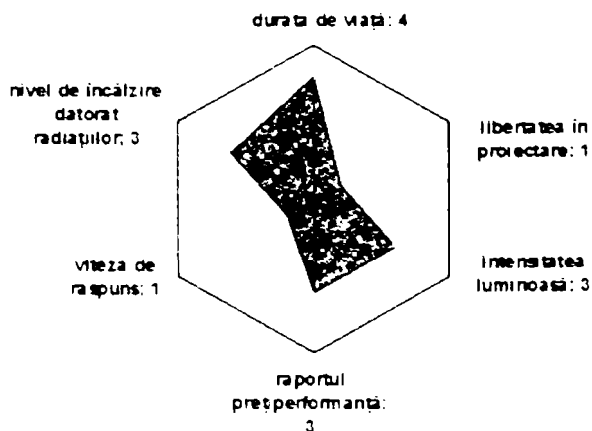
- Corpurile fluorescente, precum cele din figura 6.2.3., sunt net superioare becurilor cu incandescență, atât în ceea ce privește nivelul de încălzire datorat radiațiilor, a duratei de viață, dar și a raportului preț/calitate. Totuși, principalul dezavantaj al acestora constă în viteza de răspuns mică și în libertatea în proiectare redusă.

**Fig. 6.2.3.** Exemple de corpuri de iluminat fluorescente



Așa cum se observă din figura 6.2.3., dar și din diagrama caracteristicilor din figura 6.2.4., foarte puține din acest tip de corpuri de iluminat se potrivesc aplicației de tipul celei considerate în teză.

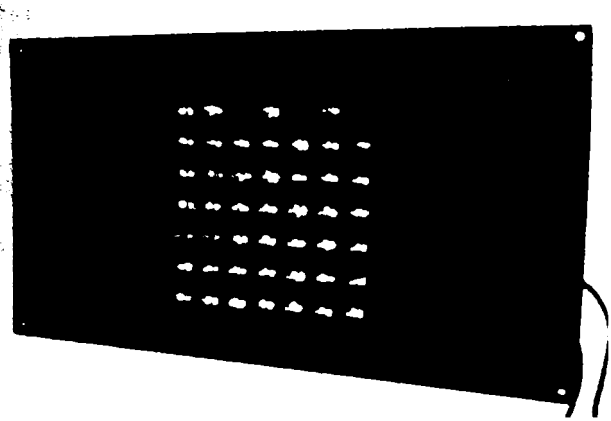
**Fig. 6.2.4.** Diagrama caracteristicilor corpurilor cu fluorescență



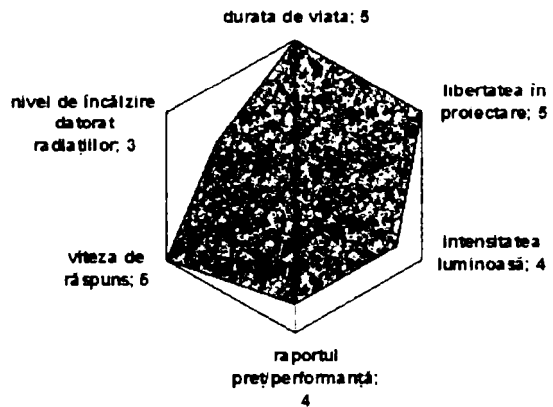
- Testele efectuate [18] au reliefat faptul că ledurile furnizează cele mai bune rezultate (fig. 6.2.6.). Dar, plusul cel mai mare adus de ele constă în gradul foarte mare de libertate în ceea ce privește modul de dispunerea a acestuia, (fig. 6.2.5.) precum și de faptul că intensitatea de iluminare poate fi reglată rapid prin modificarea tensiunii de alimentare.



**Fig. 6.2.5.** Placă suport pentru leduri folosită la realizarea camerei de iluminare



**Fig. 6.2.6.** Diagrama caracteristicilor ledurilor



În consecință, în urma testelor și a analizei diagramelor, pentru construirea camerei de iluminare s-au ales ledurile. Caracteristicile ledurilor au fost stabilite prin teste, avându-se în vedere particularitățile legumelor și fructelor supuse analizei, dimensiunea camerei de iluminare și tehnica de iluminare folosită.

În vederea alegerii **tehnicii de iluminare** potrivite aplicației s-au urmărit tehnicile „*bright-field*”, „*dark-field*” și „*direct light*”, iar pentru teste au fost utilizate trei categorii de produse: bile din material plastic, mere, tomate de diferite culori și mărimi.

Rezultatele obținute au fost optime pentru iluminarea de tip „*bright-field*”, în special datorită gradului moderat de reflexie a produselor testate. Astfel, pentru bile și mere, produse cu un grad de reflexie scăzut, rezultatele obținute folosind această tehnică, au fost foarte bune. În cazul tomatoanelor, unde gradul de reflexie este mai mare, intensitatea iluminării a trebuit scăzută pentru a împiedica apariția strălucirilor. Acest lucru s-a realizat atât prin modificarea tensiunii de alimentare a ledurilor cât și prin utilizarea unor materiale cu rol de difuzie.[13][31][56]

Pentru testarea calității imaginilor obținute cu ajutorul SI proiectat, s-a conceput și realizat un program în mediul Matlab denumit **Test Achiziție** (TA), ce permite atât o analiză off-line, cât și o analiză on-line a principalelor caracteristici ale imaginilor (fig. 6.2.7.). Aplicația TA a permis, ca pe baza aprecierii imaginilor

achiziționate, să se aleagă caracteristicilor ledurilor și modul de plasare a acestora în vederea utilizării unei tehnici de iluminare optime.[22]

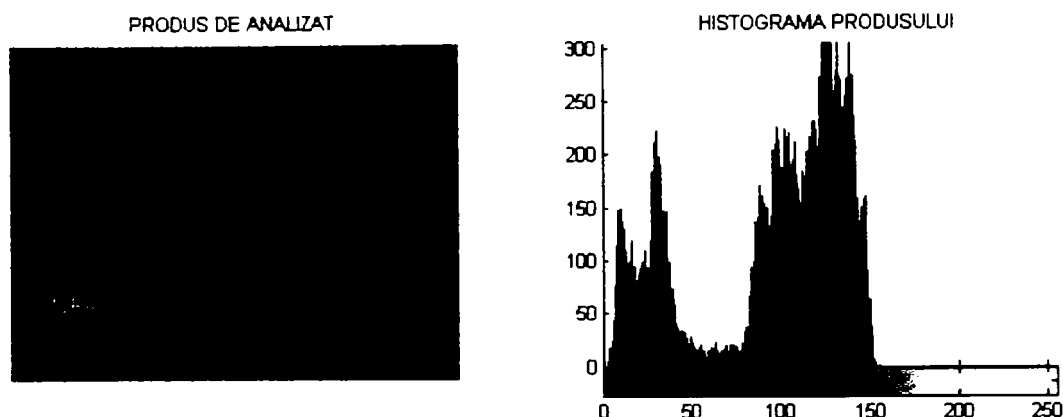


Fig. 6.2.7. Imagini achiziționate în timpul procesului de proiectare și testare a SI

De asemenea, în urma experimentelor s-au stabilit materialele ce au fost utilizate pentru a acoperi ruloarele primei secții a transportorului standului experimental, culoarea acestora, pentru a nu reflecta lumina, precum și modul de dispunere a camerelor digitale în raport cu sistemul de iluminare.

Testele efectuate au permis de asemenea și identificarea posibilelor perturbații ce pot altera imaginile achiziționate, astfel încât filtrele din BP a imaginilor să permită eliminarea rapidă a acestora.

### 6.2.2. Structura sistemului de iluminare proiectat

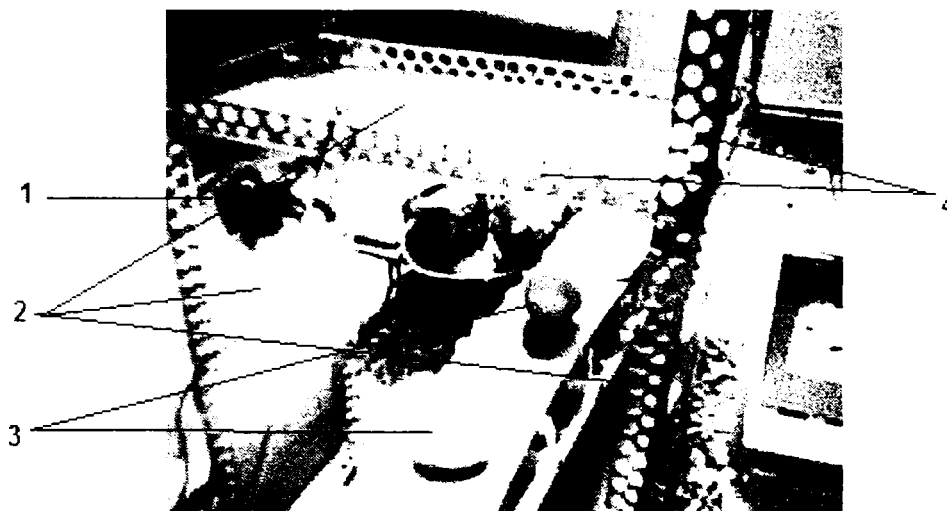
Datorită faptului că gradul de reflexie a produselor vegetale precum și dimensiunile acestora variază foarte mult, caracteristicile SI trebuie modificate și adaptate în funcție de fiecare categorie de produse.

În consecință, acesta a fost proiectat de la început pe un suport metalic mobil, care a permis redispunerea rapidă a corpurilor de iluminat, astfel încât imaginile achiziționate să fie optime.

Ledurile au fost dispuse pe plăci suport denumite **matrice de leduri (ML)**, care să permită reconfigurarea rapidă a acestora, astfel încât iluminarea să fie optimă pentru mai multe categorii de produse.

Pereții camerei de iluminare au fost vopsiți în alb pentru a asigura o iluminare difuză, optimă, a produselor din toate unghiurile, eliminând astfel prezența eventualelor umbre sau penumbre. [14]

Sistemul de iluminare a fost amplasat deasupra transportorului cu ruloare prin intermediul unui dispozitiv de prindere cu șuruburi, așa cum se poate observa și din figura 6.2.8.



**Fig. 6.2.8.** Structura sistemului de iluminare (SI)

1 – cameră video, 2 – matrice de leduri, 3 – obiecte de vizualizat, 4 – suport metalic

Cum fructele și legume variază ca dimensiuni în funcție de soi și specie, structura mobilă permite redispunerea rapidă a ML prin îndepărtarea sau apropierea acestora de produsele de pe bandă, pentru a controla calitatea iluminării.

Pereții laterali ai camerei de iluminare prezintă două orificii laterale destinate plasării CV. Aceste orificii au fost astfel proiectate încât pozițiile CV pot fi oricând modificate. Pentru alimentarea ML s-a achiziționat o sursă de alimentare a cărei tensiune și intensitate maximă este 12V și 1A și care permite incrementarea și decrementarea tensiunii cu 0,5V. Astfel, intensitatea de iluminare în cameră poate fi modificată și prin creșterea și descreșterea tensiunii de alimentare. De asemenea, pereții camerei permit accesul în interior pentru montarea unor materiale cu rol de difuzie a luminii, în cazul în care produsele supuse analizei au un grad de reflexie foarte ridicat.[12][18]

### 6.3. Sistemul de vizualizare. Elemente de percepție vizuală.

În cazul instalațiilor de clasificare automată bazate pe inspecția video a produselor, SAC a imaginilor are o importanță majoră. Acesta are rolul de a capta imaginea obiectului și de a o furniza mai departe către SCC pentru analiză și interpretarea rezultatelor. Calitatea imaginilor achiziționate depinde în principal de performanțele senzorilor de imagine.[96]

Într-un sens larg, o imagine reprezintă descrierea variației unui parametru pe o suprafață. Astfel, imaginile sunt rezultatul variației intensității luminoase într-un plan bidimensional.[23][95]

Prin urmare, o imagine digitală este un semnal bidimensional și ca urmare prelucrarea imaginilor poate fi considerată și ca o ramură a prelucrării digitale de semnal, precum prelucrarea semnalului audio, telecomunicațiile etc. [77]

Se poate considera că o imagine este o descriere a variației intensității luminoase într-un plan bidimensional. Astfel, imaginea este o funcție bidimensională a intensității luminoase de coordonate  $x$  și  $y$ .

Deoarece lumina este o formă de energie, funcția este nenulă și finită, respectiv: [23]

$$0 < f(x,y) < \infty \quad (6.1)$$

Imaginile sunt formate prin înregistrarea de către un senzor, a radiației luminoase ce interacționează cu un obiect fizic.[23][64][96]

Un sistem digital de achiziție a imaginilor se compune din:

- un sistem optic (lentile, diafragmă);
- senzorul propriu zis (de obicei de tip CCD);
- un eventual etaj de amplificare și filtrare a semnalului de la senzor;
- un convertor analog-digital.

Toate aceste subsisteme influențează direct imaginea achiziționată, în sensul că pot introduce diverse tipuri de distorsiuni. Un element foarte important în sistemul de achiziție a imaginii este sistemul de lentile. Alegerea unui sistem optic greșit proiectat sau utilizat, poate conduce la obținerea unor informații eronate, unele din aceste erori putând fi corectate prin folosirea blocului de preprocesare BP.

În prezent, cei mai utilizați senzori sunt cei de tip CCD (Charge coupled devices) sau CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), care au în componență câteva milioane de celule. Fiecare astfel de celulă este la rândul ei un mic senzor care, expusă la lumină, reacționează producând o sarcină electrică (tensiune electrică). Tensiunea va încălca celula (ca un condensator) în timpul expunerii, și se va descărca imediat după expunere. În continuare, încărcătura va fi transformată electronic într-un pixel.[95][46][122]

Se poate concluziona că senzorul de imagine este un dispozitiv analogic ce operează cu fotoni și electroni ce sunt încălcați și descărcați. Aceste tensiuni electrice trebuie transformate în biți „0” și „1”, astfel încât imaginea rezultată să fie digitală.

Tranziția de la tensiune la biți digitali are loc într-un convertor analog-digital. Acesta captează pulsurile electrice și le traduce separat în valori numerice, fiecare număr indicând cât de multă lumină a căzut peste una din celulele senzorului de imagine. În urma acestui proces rezultă o matrice de numere care reprezintă distribuția intensității luminoase din aria imaginii. O structură simplificată a SAC este prezentată în figura 6.3.1.

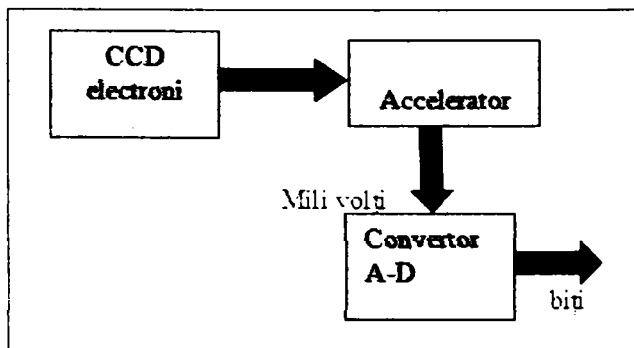


Fig. 6.3.1. Structura sistemului de achiziție a imaginii

Fiecare număr al matricei descrie numai luminozitatea primită de la una din fotodiode, neindicând nimic despre culoarea luminii ei. Deci senzorul de imagine nu distinge diferitele culori ale luminii, înregistrând numai cantitatea de lumină. [46]

Un element al unei imagini se numește **pixel** (picture element), iar valorile acestuia pot fi numere naturale, reale sau complexe, ce descriu nivelul de strălucire sau culoarea acestuia.

### 6.3.1. Cerințe impuse sistemului de vizualizare

Pentru a asigura o precizie ridicată sistemului de clasificare automată, se impun câteva cerințe ce trebuie îndeplinite de către SV.[13][128]

Astfel, SV trebuie să asigure vizualizarea unei suprafețe cât mai mare din produsele vegetale supuse analizei. De asemenea, el trebuie astfel amplasat în raport cu SI, încât să evite preluarea unor posibile perturbații (străluciri, umbre etc.), iar procesul tehnologic impune ca achiziția imaginilor să se realizeze în mișcare. [123][126]

Produsele vegetale supuse analizei sunt aproximativ de factor de formă egal cu 1, dar din diferite soiuri și specii, ceea ce implică un spectru larg de dimensiuni, dar și o variație mare a gradului de reflexie a suprafeței acestora. Din acest motiv, SV trebuie să permită anumite reglaje de focalizare în vederea obținerii unor caracteristici optime. [12][62]

Pentru a permite analiza fructelor și legumelor din soiuri cu mari variații dimensionale, camerele video vor trebui să fie fixate astfel încât să permită modificarea poziției acestora.

Deoarece printre caracteristicile de interes ale procesului se găsesc analiza defectelor și cea a culorii, imaginile achiziționate trebuie să fie color și să aibă o rezoluție superioară.[66][111][112] Trebuie avut în vedere faptul că procesul se desfășoară în timp real și din acest motiv o rezoluție foarte mare va induce timpi de calcul mari.[113] Din acest motiv va trebui determinată, în funcție de caracteristicile de interes ale aplicației, valoarea optimă a rezoluției produselor, care să permită funcționarea în timp real a aplicației.

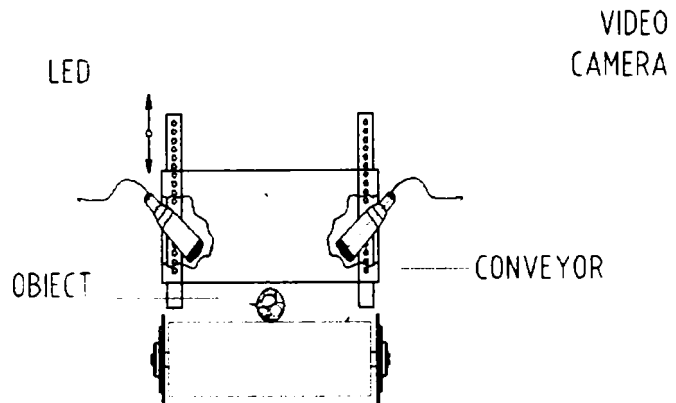
### 6.3.2. Structura sistemului de vizualizare realizat

Deoarece imaginile sunt achiziționate de la același SV se diminuează posibilitatea ca imaginile să fie perturbate în exces și în plus, aceste perturbații vor fi de același tip și se vor repeta ciclic. Cunoașterea tipurilor posibile de perturbații ce pot altera imaginea achiziționată permite proiectarea BP astfel încât să se obțină filtrarea eficientă a acestora.

Prin proiectarea unui sistem dedicat de iluminare și vizualizare se urmărește reducerea numărului de perturbații ce alterează imaginile achiziționate, cunoașterea acelor care nu pot fi îndepărtate și reducerea lor sub un nivel impus. [12][14]

Pentru a asigura vizualizarea produselor în întregime, CV au fost amplasate de o parte și de alta a conveierului, formând unghiuri de 60° cu orizontala (fig. 6.3.2.).

**Fig. 6.3.2.** Schema de principiu a instalației de iluminare

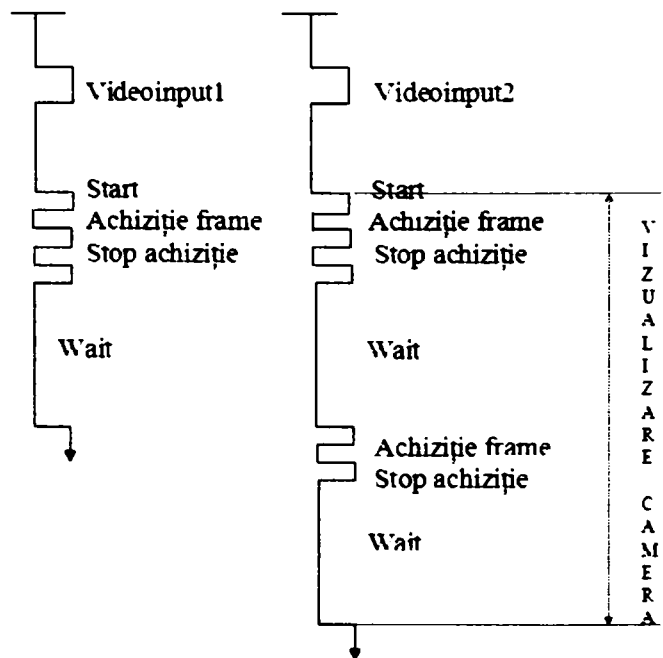


Cele două CV sunt conectate prin intermediul porturilor USB 2.0., ce permit un trafic de 480 MBps, la un sistem de calcul. Pentru fiecare fruct sau legumă analizată, cele două camere achiziționează câte 2 imagini la interval de o secundă.

Intervalul a fost calculat ținându-se cont de viteza transportorului și permite obținerea imaginilor unui fruct înainte și după ce a fost rotit. Cele 4 imagini RGB (Red, Green, Blue) cu o rezoluție 340x250, sunt achiziționate două câte două simultan, la interval de o secundă, așa cum se poate observa și din diagramele celor două fluxuri video, prezentate în figura 6.3.3..[16][126]

**Fig. 6.3.3.** Diagramele celor două fluxuri video

După achiziționarea unei imagini de la unul din cele două obiecte video (fig. 6.3.3), aceasta va fi trimisă într-o zonă de memorie și de acolo într-o variabilă de memorie *img*, ce va fi utilizată în procesul de analiză a imaginii. Noua valoare obținută înlocuiește vechea valoare a variabilei ce corespunde imaginii achiziționate anterior, (fig. 6.3.4.).[18]



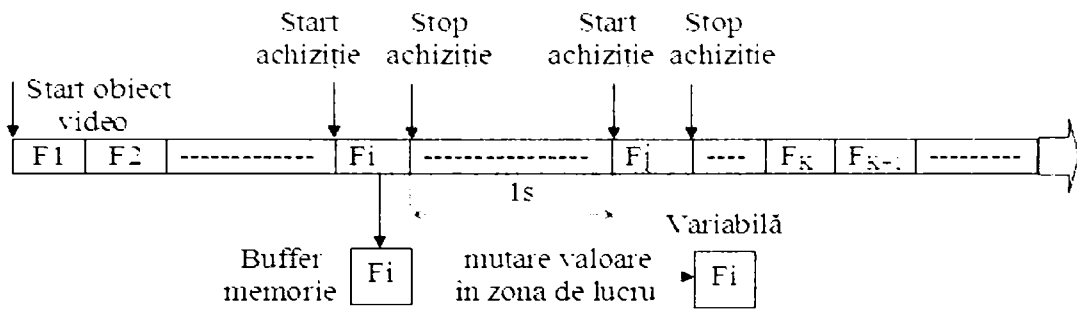


Fig. 6.3.4. Schema de extragere a cadrelor pe fiecare obiect video

Testarea modului de funcționare a CV s-a realizat cu ajutorul aplicației TA, prin aprecierea imaginilor, achiziționate de camere în funcție de poziționarea și focalizarea acestora și respectiv de viteza de deplasare a conveierului.

În timpul testelor s-au utilizat două tipuri de camere video: cu *focalizare manuală* și cu *focalizare automată*. Experimentele realizate [13][16] au evidențiat faptul că în cazul *camerelor cu focalizare automată*, este nevoie de un timp suplimentar pentru focalizare, altfel, imaginile achiziționate fiind neclare, mai ales atunci când după fructe mici urmau fructe foarte mari. *Camerele cu focalizare manuală* necesită înaintea fiecărei șarje de produse ce urmează a fi analizate o refocalizare, dar furnizează imagini mult mai clare.

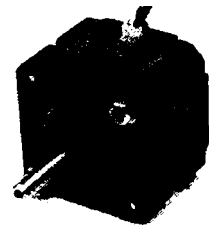
## 6.4. Structura Sistemului de comandă și control realizat

Sistemul de comandă și control (SCC) a fost dezvoltat în jurul unui sistem de calcul reprezentat de un calculator personal, o placă video (PV) și unui circuit de comandă motoare (CCM).

Placa video este de tipul GeForce nVidia quadro FX1700 și are un procesor grafic Quadro FX1700 ce asigură o rezoluție maximă de 3840 x 2400 pixeli.

CCM a fost proiectat astfel încât prin intermediul aplicației Analizor Imagini, să asigure controlul a maxim șase motoare pas cu pas (MPP), (fig. 6.4.1.), alimentate la 12V.

Fig. 6.4.1. Imaginea motorului pas cu pas utilizat



Motorul pas cu pas este un convertor impuls-deplasare unghiulară, ce realizează conversia directă a semnalului de intrare dat sub o formă numerică, într-o mișcare unghiulară discontinuă sau incrementată. Funcționarea MPP în buclă deschisă se bazează pe principiul asigurării sincronismului între numărul pașilor efectuați de motor și trenul impulsurilor de comandă. La fiecare impuls de comandă motorul pas cu pas efectuează un pas, oprindu-se până la apariția unui nou impuls de comandă.[48][50][72][124]

Indiferent de principiul de funcționare al unui MPP, comanda acestuia se realizează prin comutarea succesivă a fazelor înfășurărilor, iar în urma testelor din [13], pentru comanda MPP a fost aleasă comanda simetrică simplă sau cu putere pe jumătate.

Generarea biților de comandă a MPP se realizează prin utilizarea celor două porturi paralele și a portului PCMCIA ale SC. Cele două porturi paralele dispun, în modul de setare standard, de 8 biți de date pentru ieșire și 4 biți de date pentru intrare. Primul port paralel este identificat în BIOS ca LPT1 și poate primii adrese în domeniul 378h – 37Fh, iar al doilea port paralel este identificat cu LPT2 și i se alocă o adresă în domeniul 278h – 27Fh. Ambele porturi paralele, cât și adaptorul PCMCIA-Paralel utilizează conectori mamă DB-25S. În tabelul 6.1. sunt prezentate semnalele portului paralel utilizat.

**Tabelul 6.1.** Semnalele corespunzătoare portului paralel utilizat

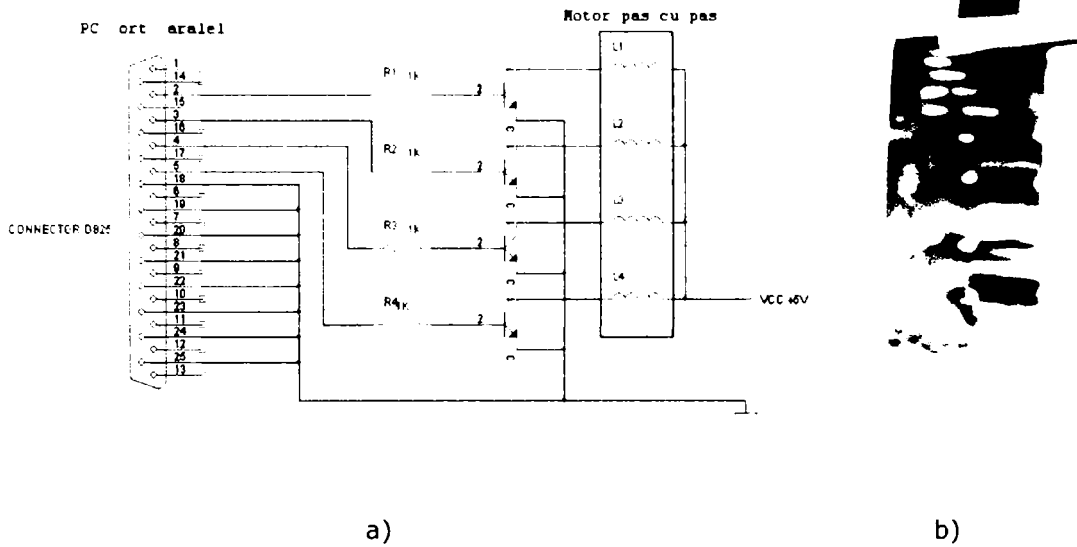
Numărul pinului	Tipul semnalului	Direcție (in/out)	Registru
1	nStrobe	In / Out	Control
2	Data 0	Out	Data
3	Data 1	Out	Data
4	Data 2	Out	Data
5	Data 3	Out	Data
6	Data 4	Out	Data
7	Data 5	Out	Data
8	Data 6	Out	Data
9	Data 7	Out	Data
10	nAck	In	Status
11	Busy	In	Status
12	Paper Out / Paper End	In	Status
13	Select	In	Status
14	nAuto - Line feed	In / Out	Control
15	nError / nFault	In	Status
16	nInitialize	In / Out	Control
17	nSelect-Printer / nSelect-In	In / Out	Control
18 - 25	Împământare	Gnd	-

SC, având în componență două porturi paralele și un adaptor PCMCIA-Paralel, asigură suficienți biți pentru comanda a șase motoare pas cu pas.

Ținând cont de faptul că pe portul paralel curentul suportat este foarte mic, pentru acționarea motoarelor a fost necesară proiectarea și realizarea unui **Circuit de comandă motoare** (CCM), care prin intermediul SC și al aplicației AI, poate asigura controlul motoarelor pas cu pas.[14]

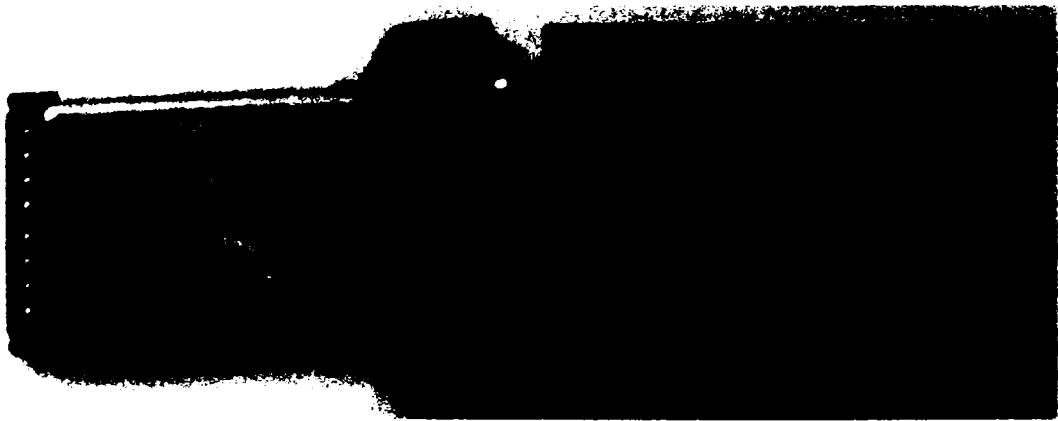
În figura 6.4.2.a. este prezentată schema electronică a CCM pentru un singur MPP, iar în figura 6.4.2.b. este prezentat circuitul electronic corespunzător realizat.





**Fig. 6.4.2.** Schema electronică a CCM pentru comanda unui motor  
 a) Schema circuitelor electronice pentru comanda unui motor  
 b) Placa cu circuitul electronic realizat pentru comanda unui motor

Pentru testarea funcționării rutinelor algoritmilor dezvoltați, a fost proiectată și dezvoltată o Placă de Teste (PT), (fig. 6.4.3.) ce permite evaluarea funcționării SCC prin analiza biților de comandă.



**Fig. 6.4.3.** Placa de teste cu adaptorul PCMCIA-Paralel

PT permite analiza automată a funcționării aplicației cu până la maxim patru motoare pas cu pas. Utilizarea acesteia introduce un ajutor semnificativ în faza de testare a rutinelor algoritmilor de comandă a elementelor de execuție.

## CAPITOLUL 7

# Proiectarea Blocului de preprocesare a imaginilor

### 7.1. Preliminarii

Calitatea imaginilor achiziționate nu este în toate cazurile satisfăcătoare și ca urmare, acestea trebuie prelucrate pentru a elimina perturbațiile, sau pentru a amplifica unele caracteristici utile, ca de exemplu contrastul.[23][78] [96][106]

Rezolvarea acestei probleme impune ca între faza de achiziție a imaginilor și cea de analiză a acestora, să se introducă noi operații de îmbunătățire a acestor imagini, denumite generic **Blocul de preprocesare** (BP) a imaginii.

Aceste prelucrări suplimentare ale imaginii au rolul de îmbunătățire a unor caracteristici importante din imagine, care să ajute SC să înțeleagă, să descrie, sau să interpreteze o scenă, dar și de a îndepărta anumite perturbații nedorite datorate deficiențelor de iluminare, a existenței umbrelor, a anumitor vibrații, etc.

Metodele de îmbunătățire nu măresc conținutul de informații al imaginii, dar modifică dinamica unor caracteristici alese, pentru a putea fi observate mai ușor. [23]

*Îmbunătățirea imaginilor este o sintagmă generală, ce se referă la o clasă de operații al căror scop este creșterea detectabilității componentelor imaginii.*

*Detectabilitatea componentelor este legată mai mult de percepția vizuală a unui observator uman decât de o analiză automată calitativă. Conținutul imaginilor achiziționate este puternic și direct legat de scena pe care o reprezintă. Așadar, criteriile de evaluare a calității unei imagini sunt subiective și specifice aplicației, cu atât mai mult în cazul în care produsele supuse clasificării sunt de origine vegetală, ale căror caracteristici și parametri variază în funcție de specie și soi, iar limitele de variație sunt foarte mari.*

*Ca o consecință, procesul de îmbunătățire se impune a fi unul interactiv, transformările efectuate trebuind să fie validate cel puțin în etapa de probă de un observator uman.*

*Datorită diversității produselor vegetale, nu există o teorie unitară a îmbunătățirii imaginilor în acest gen de activități, aprecierea gradului de calitate a acestora fiind o operație subiectivă, depinzând de genul de informații conținut în imagine și de caracteristicile care se doresc a fi puse în evidență. [77]*

*În consecință, alegerea tehnicilor de îmbunătățire a imaginilor achiziționate depinde în mod substanțial de aplicație, de conținutul imaginilor și de caracteristicile urmărite.*

*În prezent există numeroase lucrări ce prezintă rezultate deosebite în condiții de laborator a unor astfel de tehnici de preprocesare, dar soluțiile propuse sunt încă perfectibile atunci când sunt confruntate cu varietatea situațiilor ce apar în aplicațiile reale, în special în cazul produselor de natură vegetală.*

*În alegerea tehnicilor de îmbunătățire a imaginilor trebuie ținut cont că unele dintre ele îmbunătățesc considerabil gradul de detectabilitate a produselor din*

imagini, în timp ce altele le degradează. De asemenea, trebuie avut în vedere faptul că *majoritatea tehnicilor de îmbunătățire sunt mari consumatoare de resurse de timp și hardware*, iar procesul de clasificare trebuie să se desfășoare în timp real.

### Indicatori de performanță a imaginilor îmbunătățite

Indicatorii de performanță selectați spre a caracteriza calitatea imaginilor obținute în urma operațiilor de preprocesare sunt de fapt extensii bidimensionale ale indicatorilor de calitate folosiți pentru caracterizarea semnalelor unidimensionale. [23]

**Raportul semnal zgomot – SNR** (Signal to Noise Ratio) – este direct proporțional cu calitatea prelucrării:

$$SNR = 10 \log \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M f^2(n, m)}{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M (g(m, n) - f(n, m))^2} \text{ dB} \quad (7.1)$$

unde:

f – imaginea inițială;

g – imaginea obținută în urma prelucrării;

**Raportul semnal de vârf zgomot – PSNR** (Peak Signal to Noise Ratio) - este direct proporțional cu calitatea prelucrării;

$$PSNR = 10 \log \frac{NM(n, m_{\max} f(n, m))^2}{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M (g(m, n) - f(n, m))^2} \text{ dB} \quad (7.2)$$

**Eroare pătratică medie – MSE** (Mean Squared Error) – este invers proporțională cu calitatea imaginii prelucrate.

$$MSE = \frac{1}{NM} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M (g(m, n) - f(n, m))^2 \quad (7.3)$$

**Eroare medie absolută – MAE** (Mean Absolute Error) – este invers proporțională cu calitatea imaginii prelucrate.

$$MAE = \frac{1}{NM} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M |g(m, n) - f(n, m)| \quad (7.4)$$

## 7.2. Tipuri de operații de preprocesare a imaginilor.

Din punctul de vedere al metodelor folosite pentru îmbunătățirea imaginilor se pot distinge mai multe astfel de operații: [23][77][78]

- **operații punctuale** (fig. 7.2.1.), prin care se realizează o corespondență de tip „*unu la unu*” între vechea valoare a nivelului de gri a pixelului și noua valoare a acestuia. Aceste operații nu solicită memorie, ele transformând nivelul de gri  $v \in [0, L-1]$  în altul  $u \in [0, L-1]$ , conform transformării T.

$$v = T(u) \quad (7.5)$$

Principalele tipuri de operații punctuale sunt legate de transformări de intensitate precum: modificarea contrastului, egalizarea histogrammei, imaginea negativă, compresia gamei dinamice, etc.

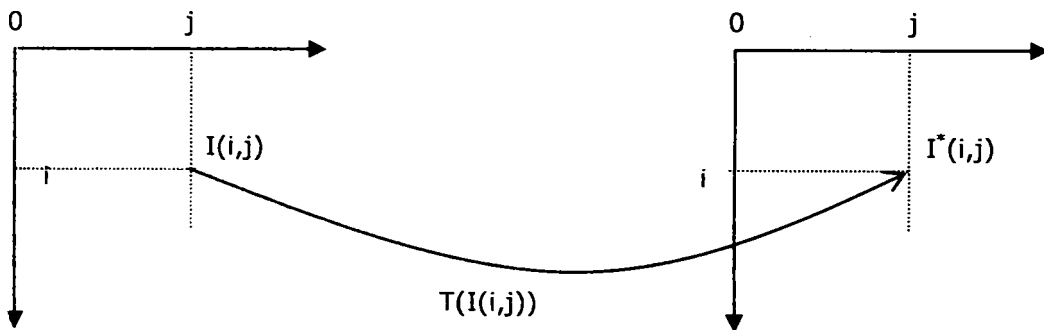


Fig. 7.2.1. Operații punctuale de transformare

- **operații locale** (fig. 7.2.2) prin care noua valoare a nivelului de gri dintr-un punct  $(i, j)$  depinde de vechea valoare a pixelului din acel punct, precum și de valorile unor pixeli învecinați.

În această categorie de operații sunt cuprinse prelucrări precum filtrări de tip trece-jos, filtrări trece-sus, mărirea imaginii, etc.

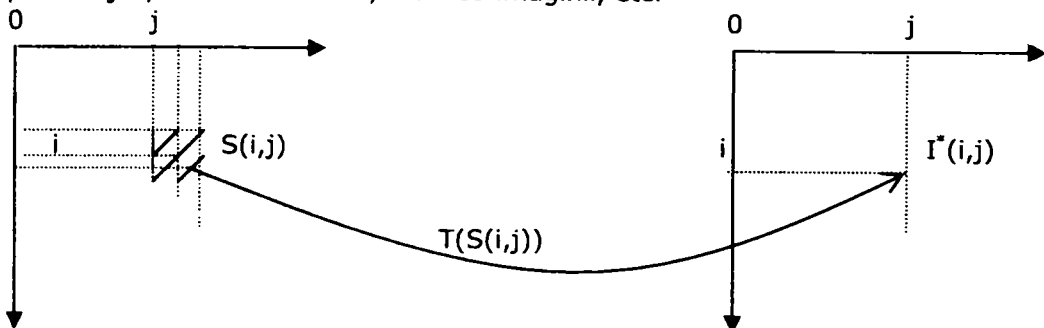


Fig. 7.2.2. Operații locale de transformare

- **operații integrale** (fig. 7.2.3), în care noua valoare a unui pixel este dependentă de valorile tuturor pixelilor din imagine.

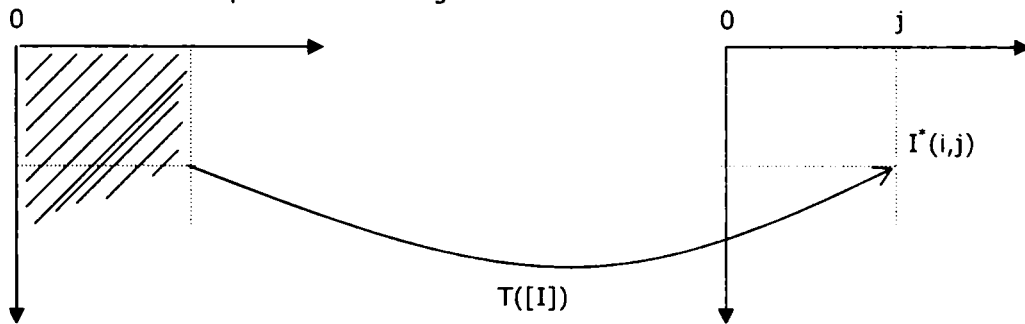


Fig. 7.2.3. Operații globale de transformare

### 7.3. Contribuții la proiectarea, realizarea și testarea tehnicilor de preprocesare a imaginilor achiziționate

Așa cum reiese din studiile efectuate în [13], imaginea achiziționată poate fi prelucrată, obținându-se o imagine „falsificată”, dar care permite extragerea mult mai rapidă a unor caracteristici de interes.

Astfel, calitatea imaginii poate fi apreciată pe baza contrastului sau accentuării liniilor de contur (muchii, frontiere, linii, margini), dar și pe baza netezimii imaginilor uniforme. [1][121]

De asemenea, calitatea imaginilor achiziționate este invers proporțională cu nivelul de zgomot ce o afectează.

Pornind de la aceste considerente și ținând cont de cerințele impuse instalației de clasificare, dar și de particularitățile acesteia și anume: procesul se desfășoară în timp real, produsele analizate sunt de origine vegetală, existența unor posibilele surse de erori și de zgomot ce alterează imaginea - s-a urmărit atât proiectarea și testarea unor tehnici de prelucrare, care să îmbunătățească imaginea, dar și a unor filtre care să asigure acuratețea semnalului achiziționat.

În acest scop s-a proiectat și realizat o aplicație denumită **Analizor Calitate Filtre** (ACF), ce a fost dezvoltată în limbajul Matlab 7.0. R14.[43][126] Aplicația a fost astfel creată încât permite testarea unui număr mare de operații de îmbunătățire și filtrare și de asemenea, permite aprecierea atât a calității imaginilor obținute dar și a timpilor necesari pentru implementare.[15]

Pentru o mai bună analiză a efectelor tehnicilor de îmbunătățire implementate, aplicația permite atât testarea on-line cât și testarea off-line. Astfel, după achiziția celor două imagini, există posibilitatea întreruperii activității SV pe durata rulării tehnicilor de preprocesare a imaginilor.

Interfața aplicației ACF oferă un model grafic prietenos și permite analiza efectului unor tehnici de preprocesare a imaginilor.

Principalele funcții ale aplicației sunt:

- achiziția imaginilor;

- analiza rezultatelor unor tehnici de preprocesare;
- calculul perioadei de execuție a algoritmilor testați.

Imaginile achiziționate sunt afișate în zona activă a aplicației, împreună cu histograma corespunzătoare a acesteia. În funcție de rezultatul analizei histogrammei se stabilesc operațiile de preprocesare ce vor fi aplicate imaginii.

În zona activă a interfeței va fi afișată imaginea obținută în urma prelucrării dar și histograma acesteia, avându-se în vedere că aprecierea calității unei imagini cu ochiul liber nu este elocventă.

Tehnicile implementate prin proiectarea aplicației de preprocesare și analiză a imaginilor digitale sunt:

- tehnicile de îmbunătățire punctuale;
- tehnicile de îmbunătățire spațiale;
- tehnicile de îmbunătățire integrale.

Toate cele trei tehnici menționate, impun un grad ridicat de interacțiune cu utilizatorul, care prin experiențe repetate are posibilitatea să seteze anumiți parametri, pentru a sporii randamentul metodei. Timpii necesari pentru rularea fiecărei metode sunt cronometrați, și pe lângă aprecierea calitativă a metodei implementate are loc și o analiză a duratei de implementare a fiecărui algoritm. În figura 7.3.1 este prezentată interfața grafică a aplicației proiectate –ACF.

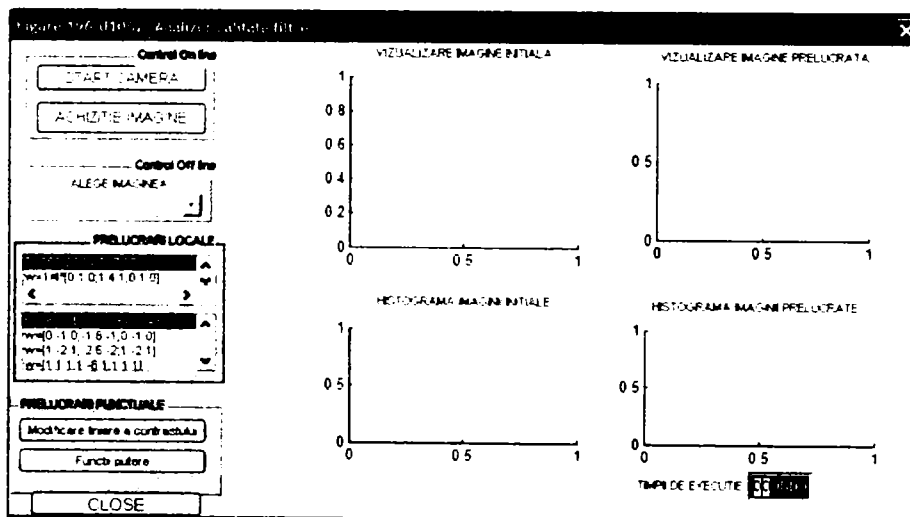


Fig. 7.3.1. Interfața aplicației Analizor Calitate Filtre

Programarea s-a realizat pe baza diagramelor Unified Modeling Language - UML, iar rezultatele obținute sunt prezentate pe larg în Anexa 2. Diagrama de activități a procesului de proiectare a aplicației ACF, ce indică diferitele responsabilități în cadrul aplicației, sunt prezentate detaliat în figura 7.3.2. [133][134] Poziția relativă a culoarelor de activități nu are nici o semnificație, tranzițiile fiind libere să traverseze culoarele la care nu se referă. [18][19]

Fig. 7.3.2. Diagrama de activități a aplicației ACF

Deoarece anumite operații de îmbunătățire aplicate după alte operații de îmbunătățire pot crește calitatea imaginii, aplicația ACF a fost astfel structurată încât să permită aplicarea tehnicilor în ordinea dorită de utilizator.

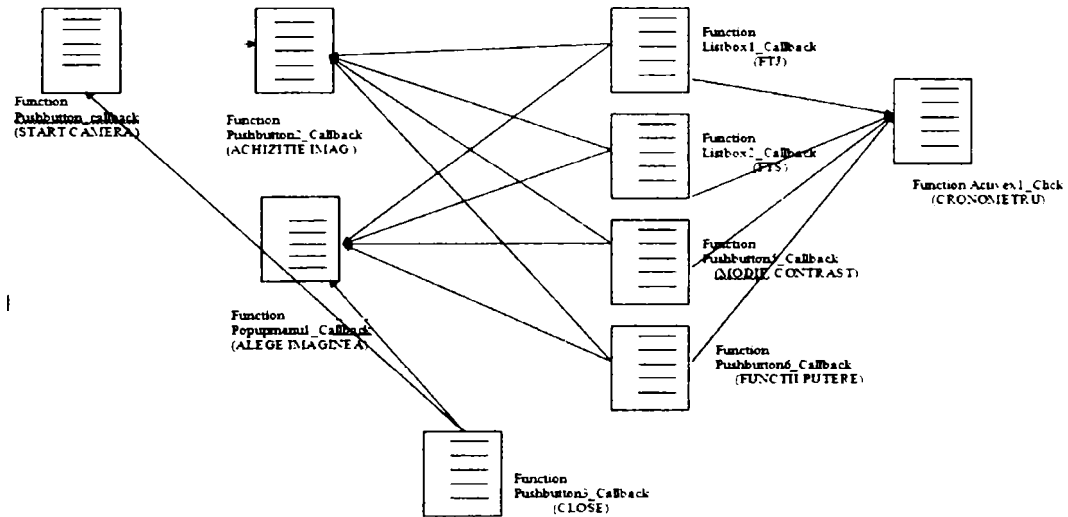
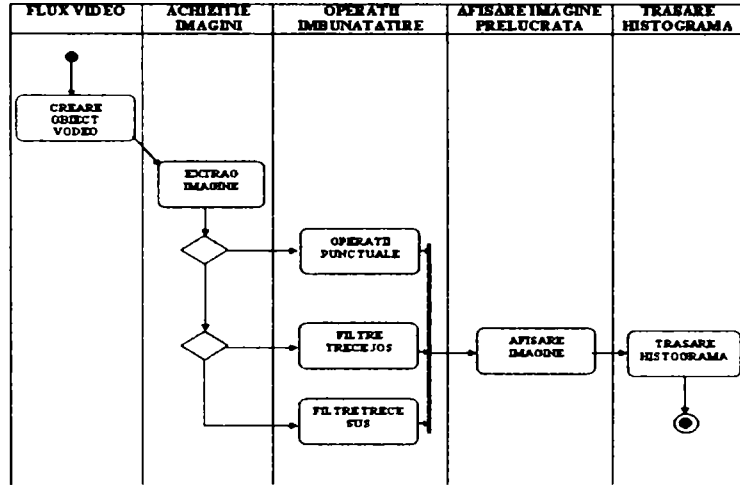


Fig. 7.3.3. Diagrama de componente a aplicației ACF

Testarea inițială a algoritmilor s-a făcut prin utilizarea unor bile de plastic de mărimi și culori diferite, ce au fost plasate cu mâna pe transportor. Ajunse în zona de observare, imaginile lor au fost preluate de către cele două camere digitale ale SV. S-a preferat folosirea bilelor pentru testarea algoritmilor, deoarece acestea permit obținerea unor caracteristici ideale, față de care se pot raporta rezultatele obținute în urma utilizării fructelor cu factor de formă  $\psi \approx 1$ , iar apoi, testele au continuat cu tomate și mere. [15]

În faza a doua a experimentelor s-au utilizat pentru testare tomate de diferite mărimi și culori: tomate roșii, tomate roz și tomate verzi.

Rezultatele operațiilor de îmbunătățire dar și a filtrelor proiectate și testate, împreună cu concluziile obținute sunt prezentate în cele ce urmează.

## 7.4. Implementarea și testarea operațiilor de îmbunătățire și analiza performanțelor obținute

Din categoria *operațiilor punctuale*, foarte importante sunt tehnicile de *modificare a contrastului*, deoarece acestea pot fi utilizate în toți algoritmi de analiză și sortare. Accentuarea *contrastului* este necesară mai ales în cazul imaginilor cu contrast mic, datorat iluminării slabe sau dinamicii scăzute a elementului traductor imagine-curent electric. [23][77][78][95]

Cele mai importante tehnici de îmbunătățire a contrastului sunt :

- modificarea liniară a contrastului ;
- modificarea neliniară a contrastului;
- tehnici de contrastare bazate pe histograma imaginii.

### 7.4.1. Implementarea operațiilor punctuale

**Modificarea liniară a contrastului** este o transformare liniară pe porțiuni dată de:

$$v = \begin{cases} \frac{\alpha}{T_1} u, 0 \leq u < T_1 \\ \alpha + \frac{\beta - \alpha}{T_2 - T_1} (u - T_1), T_1 \leq u < T_2 \\ \beta + \frac{L - 1 - \beta}{L - 1 - T_2} (u - T_2), T_2 \leq u < L \end{cases} \quad (7.6)$$

Unde parametri  $T_1, T_2, \alpha$  și  $\beta$  sunt parametri de control. Aceștia sunt grupați câte doi, definind punctele de control  $(T_1, \alpha)$  și  $(T_2, \beta)$ , care împreună cu punctele fixe  $(0, 0)$  și  $(L - 1, L - 1)$  vor defini trei segmente de dreaptă.

Structura funcției dezvoltate pentru a implementa transformarea liniară pe porțiuni dată de relația 7.6, în raport cu particularitățile introduse de produsele vegetale supuse analizei este:

```
pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
Modificare Contrast
```

```
L=256;
t1=115;
```



```

t2=115;
a=0;
b=L-1;
z=1:255;
t0=clock;
axes(handles.axes4);
imgh1=handles.foto;
[nrlin,nrcol]=size(imgh1);
for i=1:t1-1
    x(i)=a*z(i)/t1;
end;
for i=t1:t2-1
    x(i)=a+(b-a)*(z(i)-t1)/(t2-t1);
end;
for i=t2:L-1
    x(i)=b+(L-1-b)*(z(i)-t2)/(L-1-t2);
end;
plot(z,x);
for i=1:nrlin
    for j=1:nrcol
        if imgh1(i,j)>0
            u1(i,j)=x(uint8(round(imgh1(i,j)*255)));
        else
            u1(i,j)=0;
        end;
    end;
end;
axes(handles.axes3);
imshow(u1);
handles.foto=u1;
guidata(hObject,handles);
x=etime(clock,t0);
set(handles.activex1,'value',x);
end;

```

Așa cum se observă și în figura 7.4.1., aplicând această transformare asupra fiecărui pixel din imaginea inițială  $u$ , se obține noul nivel de gri  $v$ . [12][23]

VIZUALIZARE IMAGINE INITIALA



VIZUALIZARE IMAGINE PRELUCRATA



**Fig. 7.4.1.** Efectul modificării liniare a contrastului

În urma analizei efectuate utilizând aplicația ACF putem concludiona că *modificarea liniară a contrastului este o tehnică simplă, relativ ușor de implementat, și furnizează rezultate foarte bune atunci când principalele componente ale imaginii se încadrează în anumite limite.*

Ca și dezavantaje reliefate, în urma experimentelor, se pot enunța:

- în cazul imaginilor cu rezoluție foarte mare, timpii de lucru sunt mari;
- nu permite modificarea contrastului decât în jurul unui anumit nivel de gri;
- trebuie realizate un număr mare de încercări înainte de a stabili valoarea optimă a celor 4 parametrii de control.

**Modificarea neliniară a contrastului** permite modificarea contrastului pe un anumit domeniu de nivele de gri.

Tehnicile de modificare neliniară implementate și testate sunt:

- compandarea domeniului;
- expandarea domeniului;
- utilizarea funcțiilor de tip putere.

*Compandarea domeniului* este o tehnică definită de o curba logaritmică și de punctele fixe (0,0) și (L-1,L-1). [12][23]

$$v = T(u) = \frac{L-1}{\lg L} \lg(1+u) \quad (7.7)$$

unde: L - este nivelul de gri maxim, 255;

Această tehnică mărește contrastul la capătul inferior (negru) și îl micșorează la capătul superior (alb).

Tehnica inversă celei de compandare este *tehnica de expandare*:

$$v = T(u) = (L-1) \frac{e^u - 1}{e^{L-1} - 1} \quad (7.8)$$

În cazul acesteia contrastul variază neuniform de-a lungul scalei de gri, mărindu-se la capătul superior (alb) și micșorându-se la capătul inferior (negru).

În urma testelor s-a observat că: *cele două transformări nu afectează domeniul de valori care rămâne [0, L-1] și de asemenea, timpii de rulare a acestor algoritmi sunt relativ buni.*

Utilizarea funcțiilor de tip putere, ce sunt date de transformarea:

$$v = T(u) = (L-1) \left( \frac{u}{L-1} \right)^r \quad (7.9)$$

furnizează rezultate similare. Funcția are comportări diferite în raport de valoarea parametrului r. Astfel pentru r<1 comportarea funcției este de același tip cu al funcției de compandare, în timp ce pentru r>1 comportarea este de tipul funcției de expandare.

Codul-sursă scris pentru implementarea funcțiilor de tip putere, în raport cu particularitățile produselor vegetale vizate a fi analizate este:

```

pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
Funcții Putere

```

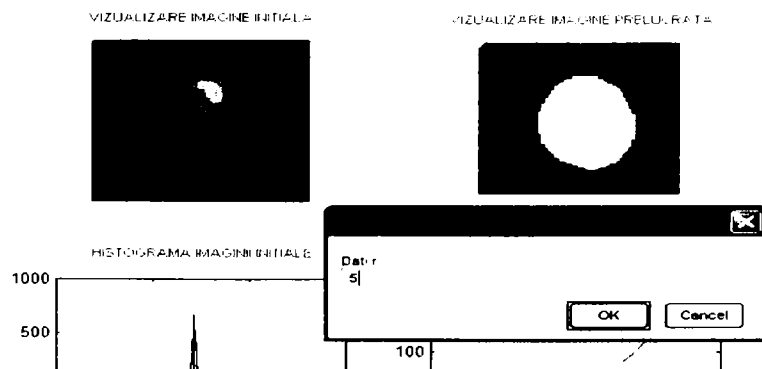
```

t0=clock;
u=1:255;
L=256;
imgh1=handles.foto;
[nrln,nrcol]=size(imgh1);
% prin modificarea parametrului r se modifica comportarea fie de functie
logaritmica, fie de functie exponentiala
r2 = inputdlg('Dati r');
r1 = cell2mat(r2);
r = str2num(r1);
for i=1:L-1
    x(i)=(L-1)*((u(i))/(L-1))^r;
end;
axes(handles.axes4);
plot(u,x);
for i=1:nrln
    for j=1:nrcol
        if imgh1(i,j)==0
            imgh1(i,j)=0.01;
        end;
    end;
end;
for i=1:nrln
    for j=1:nrcol
        u1(i,j)=x(uint8(round(imgh1(i,j)*255)));
    end;
end;
axes(handles.axes3);
imshow(u1);
handles.foto=u1;
guidata(hObject,handles);
x=etime(clock,t0);
set(handles.activex1,'value',x);
end;

```

Tinând cont că rolele transportorului R1 au fost vopsite în negru, prin experiențe s-a

j  
 că valoarea parametrului de control  $r$  trebuie aleasă supraunitară (fig. 7.4.2.) [13]



**Fig. 7.4.2.** Efectul modificării neliniare a contrastului asupra

Testele au evidențiat faptul că în cazul merelor rezultate foarte bune se obțin pentru valori ale parametrului  $r \geq 2$ , iar pentru tomate și ardei grași rezultate foarte bune se obțin pentru  $r \geq 4$ .

### Tehnici de contrastare bazate pe histogramă

*Histograma* este caracteristica referitoare la repartiția nivelelor de gri dintr-o imagine. [76]

Pentru o imagine  $f$  de  $M \times N$  pixeli și  $L$  nivele de gri, *histograma este definită ca probabilitatea de apariție în imagine a diferitelor nivele de gri posibile.*[23][96][122]

$$h(i) = \frac{1}{MN \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \delta(i - f(m, n))}, i = 0, 1, \dots, L - 1; \quad (7.10)$$

unde:

- $M, N$  reprezintă dimensiunea matricei imaginii achiziționate;
- $f(m, n)$  valoarea pixelului curent.

Din punct de vedere statistic, se poate considera valoarea fiecărui pixel al imaginii ca o realizare particulară a unei variabile aleatoare asociată nivelelor de gri.

Din punct de vedere practic calculul histogramei înseamnă parcurgerea punct cu punct a imaginii și contorizarea numărului de nivele de gri întâlnite. Astfel, pentru fiecare punct al imaginii se va incrementa poziția în histogramă ce corespunde valorii de gri din acel pixel.

Graficul acestei funcții conține pe abscisă nivelele de gri și pe ordonată frecvența de apariție a fiecărui nivel de gri și oferă o descriere globală a unor caracteristici ale imaginii analizate.

Una din informațiile utile conținute în histogramă este aceea despre *contrastul imaginii*. Astfel, dacă într-o imagine predomină nuanțele închise de gri imaginea are un contrast bun, iar în cazul în care predomină nuanțele deschise contrastul nu este satisfăcător.

O altă informație utilă furnizată de histogramă este dată de *forma* acesteia. Astfel, o histogramă plată și relativ uniformă sugerează o bună utilizare a nivelelor de gri disponibile și este de așteptat o bună observabilitate a detaliilor din imagine.

O histogramă cu un maxim într-o extremitate a intervalului de nivele de gri și o lipsă a nivelelor de gri din extremitatea opusă, va sugera un contrast slab și o posibilă pierdere a detaliilor din imagine din zonele predominant albe sau negre.

O similară lipsă de contrast este semnalată și în cazul unei distribuții relativ uniforme pe întreaga scară de nivele de gri, dar cu un vârf proeminent într-o extremitate.

Testele și experimentele întreprinse au reliefat faptul că la majoritatea imaginilor achiziționate există o distribuție neuniformă a nivelelor de gri, astfel, existând nivele predominante, precum și nivele de gri folosite puțin sau deloc. Faptul că nivelele de gri ale imaginii nu ocupă integral intervalul disponibil

$(0, L-1)$  conduce la un contrast slab, datorat iluminării slabe sau dinamicii scăzute a elementului traductor imagine-curent electric.

În **concluzie** se poate afirma că deși prin generalitatea reprezentării unei histograme se pierd relațiile geometrice dintre pixeli, iar corespondența histogramă-

imagine nu este reciprocă, totuși această reprezentare are cel puțin două avantaje majore:

- constituie baza de definire a unor prelucrări în vederea transformării imaginii;
- conține informații despre natura fundamentală a imaginii, și în anumite privințe despre calitatea ei.

Pentru îmbunătățirea calității imaginii pe baza histogramei se pot utiliza câteva tehnici precum:

- Egalizarea histogramei;
- Extinderea contrastului.

Cum tehnica *extinderii contrastului* s-a dovedit în timpul experimentelor [12] mare consumatoare de resurse de calcul nu a mai fost prezentată în continuare.

**Egalizarea histogramei** din punct de vedere matematic, înseamnă transformarea unei distribuții oarecare (descrișă de histograma imaginii inițiale), într-o distribuție uniformă.[28] [78][128]

Fie  $I=F(x,y)$  o imagine numerică,  $h(g)$  histograma ei și  $g$  nivelele de gri. Și fie  $Y$  o transformare a nivelelor de gri  $g \rightarrow g'$ , (unde  $g'$  sunt noile nivele de gri), care conduce la o nouă imagine  $f'(x,y)$  a cărei histogramă este  $h'(g')$ .

Ținând cont de relația (7.10) rezultă că histograma verifică condiția de normare:

$$\sum_{i=0}^{L-1} h(i) = 1 \quad (7.11)$$

Considerând procesele aleatoare  $X(\xi,x)$  și  $Y(\xi,y)$  legate prin transformarea de histogramă  $Y=g(X)$ , atunci între funcțiile de densitate de probabilitate a celor două variabile aleatoare există relația:

$$f_y(y) = f_x(x) \left( \frac{1}{(g^{-1}(y))'} \right) = g^{-1}(y) \quad (7.12)$$

Pentru ca funcția densitate de probabilitate  $f_y(y)$  să fie uniformă, trebuie verificată următoarea relație:

$$\left| (g^{-1}(y))' \right| = 1/kf_x(g^{-1}(y)) \quad (7.13)$$

Rezolvarea acestei ecuații conduce la soluția:

$$y = g(x) = \int_{-\infty}^x f_x(t) dt \quad (7.14)$$

Pentru cazul particular al imaginilor în care variabila aleatoare  $X$  ia ca valori nivelele de gri, funcția densitate de probabilitate  $f_x(x)$  este histograma normată a imaginii, iar funcția de transformare devine :

$$y = g(x) = \int_0^x f_x(t) dt \quad (7.15)$$

Ținând cont că valorile de gri sunt discrete, integrala se transformă în sumă, care este de fapt histograma cumulativă a imaginii:

$$g(x) = H(x) = \sum_{i=0}^x h(i) \quad (7.16)$$

Valorile funcției trebuie însă redistribuite în intervalul permis de valori de gri, ceea ce conduce la obținerea relației care exprimă noile valori de gri:

$$v = \left[ \frac{H(u) - H(0)}{MN - H(0)} (L - 1) + 0.5 \right] \quad (7.17)$$

unde:

H - este histograma imaginii;

M,N - numărul de linii și de coloane ale imaginii.

O parte din codul program scris pentru implementarea tehnicii de egalizare a histogrammei, implementat în aplicația ACF este prezentat în secvența următoare:

```

imgh1=handles.foto;
[nrlin,nrcol]=size(imgh1);
L=255;
histo=zeros(1,L)
for i=1:L
    p=find(imgh1==i)
    histo(i)=length(p)
end;
axes(handles.axes3);
plot(histo);
histo_cum(1)=histo(1);
for i=2:255;
    histo_cum(i)=histo_cum(i-1)+histo(i);
end;
axes(handles.axes4);
stem(histo_cum);
handles.his=histo_cum;
guidata(hObject,handles);
x=etime(clock,t0);
set(handles.activex1,'value',x);

```

În urma implementării tehnicilor de îmbunătățire a calității imaginilor bazate pe histograma imaginii s-au obținut rezultate relativ bune, însă datorită numărului mare de operații ce trebuie efectuate, necesită resurse hardware consistente.

### Concluzii obținute privind eficiența tehnicilor de îmbunătățire

Tehnicile de îmbunătățire testate pe produsele analizate sunt puternic dependente de operatorul uman, gradul de interactivitate fiind maxim în cazul operațiilor de modificare liniară a contrastului, datorită numărului mare de parametri ce trebuie setați.

Testele efectuate au scos în evidența faptul că în cazul imaginilor impurificate cu zgomot Gaussian sau Salt and Peper, zgomotul nu este filtrat, fiind propagat mai departe și chiar amplificat.[13]

Deși, timpii de execuție ai acestor tehnici nu sunt foarte mari, totuși datorită particularităților aplicației: operare în timp real, varietatea produselor supuse

analizei, numărul mare de caracteristici urmărite, domeniul mare de variație al acestor caracteristici în funcție de soi, de condițiile de mediu, sau de timpul trecut de la recoltare, - implementarea unor astfel de operații nu se justifică.[15]

În consecință, în cazul SCC realizat în cadrul tezei, al cărui scop final este clasificarea produselor vegetale, utilizarea tehnicilor de îmbunătățire care să mărească confortul vizual este inoportună.

*Totuși, testele și experimentele realizate au evidențiat rolul histogramei în aprecierea imaginilor achiziționate, în testarea tehnicilor de preprocesare, a algoritmilor de clasificare, permițând analiza calitativă a imaginilor obținute. De asemenea, histograma constituie prin procesul de segmentare, punctul de plecare în procesul de detecție a formei și a culorii obiectelor de analizat. [14][30]*

#### 7.4.2. Proiectarea și testarea filtrelor de eliminare a zgomotului din imagini și analiza performanțelor acestora

O categorie importantă de tehnici utilizate în procesul de îmbunătățire a imaginilor sunt *tehnicele de filtrare*, prin care se urmărește eliminarea zgomotului care impurifică imaginea.

Funcția *filtrului* este de a transforma un semnal dat într-un alt semnal, mai potrivit unei anumite aplicații date.

Există mai multe criterii de clasificare a filtrelor dintre care cea mai generală, în conexiune cu utilitatea lor în prelucrarea imaginilor este [78] :

- *Filtru trece-jos* – utilizat pentru uniformizarea aspectului imaginii;
- *Filtru trece-bandă* – folosit cu precădere pentru prelucrarea imaginilor provenite prin teledetecție (imagini provenite din avion, din satelit, etc.);
- *Filtru trece-sus* – este utilizat pentru evidențierea conturilor datorită comportării ca un element derivator.

Un alt criteriu de clasificare a filtrelor este constituit de respectarea criteriului liniarității, și în funcție de acesta există:

- *Filtre liniare*;
- *Filtre neliniare*.

De asemenea, filtrarea se poate realiza în domeniul spațial sau în domeniul frecvenței. [1][25]

**Tipuri de perturbații** ce apar în SV proiectat și realizat în cadrul tezei.

La achiziția oricăror semnale de frecvență înaltă, peste semnalul dat apare o perturbație ce va fi numită în continuare zgomot, care deteriorează calitatea unei imagini și care dacă nu este eliminată influențează negativ rezultatele analizelor ulterioare.[127]

Așa cum s-a prezentat în paragraful 7.1.1., zgomotul din imaginile digitale poate proveni dintr-o mulțime de surse.

Procesul de achiziție a imaginilor digitale, prin care se convertește imaginea optică într-un semnal electric, este un proces primar, prin care zgomotul poate să apară în imaginile digitale. La fiecare pas, în procesul de achiziție există fluctuații cauzate de fenomene naturale ce adaugă o valoare aleatoare la extragerea fiecărei valori a luminozității pentru un pixel dat.

Cum în cadrul SAC proiectat, imaginile sunt achiziționate de la același SV special proiectat, este exclusă posibilitatea ca imaginile să fie perturbate de un număr mare de zgomote și în plus, este posibil ca aceste zgomote să se repete ciclic. Pe baza acestor premise s-a urmărit identificarea posibilelor zgomote ce alterează imaginea achiziționată.

În urma testelor efectuate [13] pe imaginile achiziționate de sistemul de vizualizare proiectat, s-a observat că zgomotele cele mai frecvente pot fi modelate prin distribuții gaussiene, uniforme și de tip Salt and Peper.

Zgomotul **Gaussian** și cel **Uniform distribuit** sunt similare și provin de regulă din funcționarea necorespunzătoare a sistemului de achiziție. Zgomotul **Salt and Peper** este cauzat de funcționarea proastă a celulelor din senzorii camerelor de vizualizare, erori ale locațiilor de memorie, sau erori de sincronizare în timpul procesului de digitizare.

Acest tip de zgomot apare în câmpul imaginii sub forma unor pixeli cu nuanțe mult diferite de nuanța pixelilor înconjurători.

Scopul urmărit prin utilizarea *filtrelor* este acela de atenuare a zgomotelor și a perturbațiilor conținute de imaginea achiziționată. În practică, în funcție de proces și de natura imaginilor achiziționate, majoritatea filtrelor pierd informațiile utile în încercarea lor de înlăturare a zgomotelor. De asemenea, în cazul filtrelor neliniare, în funcție de proces și de condițiile impuse, rezultatele filtrărilor sunt imprevizibile.

În continuare, împreună cu considerentele teoretice sunt prezentate și o parte din rezultatele obținute cu ajutorul aplicației ACF, în urma proiectării și testării filtrelor utilizate în BP.

**Proiectarea și testarea filtrelor liniare** – Operația de filtrare liniară implică lucrul cu *operatorii de vecinătate*, dar și cu *operatori globali*. În cazul operatorilor de vecinătate, noua valoare a nivelului de gri într-un pixel este obținută din vechea valoare a pixelului respectiv și valorile unor pixeli învecinați acestuia. Acest tip de filtrare în domeniul spațial presupune prelucrarea matricei de pixeli ce formează imaginea. [28][97]

O astfel de prelucrare poate fi exprimată sub forma:

$$g(x,y)=T[f(x,y)] \quad (7.18)$$

unde:

$g(x,y)$  – este imaginea de ieșire;

$f(x,y)$  – este imaginea de intrare;

T - este un operator definit pe funcția F într-o vecinătate a pixelului de coordonate  $(x,y)$ ;

La nivelul fiecărui pixel al imaginii rezultatul acestui operator depinde atât de valoarea pixelului în care a fost aplicat cât și de valorile unui număr de puncte vecine punctului de calcul.

Acest tip de filtrare se numește *liniară* pentru că operația verifică principiul liniarității. Astfel pentru 2 imagini  $f_1$ ,  $f_2$ , doi scalari  $a_1$ ,  $a_2$  și operatorul liniar L este verificată relația:

$$L(a_1f_1+a_2f_2)=a_1L(f_1)+a_2L(f_2) \quad (7.19)$$

Acest tip de filtrare liniară calculează noua valoare a unui pixel a imaginii, ca o combinație liniară (medie ponderată) a unui număr de valori din imaginea originală.



$$v(x, y) = \sum_{(k,l)} w_{kl} f(x-k, y-l) \quad (7.20)$$

unde:

$w_{kl}$  – coeficienți ai măștii filtrului;

$w$  – este vecinătatea punctului curent în care se face calculul;  $w$  este denumită și *mască* sau *ferastră de filtrare* și este o formă plană, descrisă ca o mulțime de puncte din spațiul cartezian.

Spre exemplu o mască de mediere este media aritmetică a valorilor dintr-o vecinătate  $w$  pătrată de 3x3 pixeli – centrată în pixelul curent. Dacă se consideră  $T$  o mască de forma:

$$T = \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & I \end{bmatrix} \quad (7.21)$$

rezultă:

$$T(f(x,y)) = Af(x-1,y-1) + Bf(x-1,y) + Cf(x-1,y+1) + Df(x,y-1) + Ef(x,y) + Ff(x,y+1) + Gf(x+1,y-1) + Hf(x+1,y) + If(x+1,y+1) \quad (7.22)$$

Ținând cont de relația (7.22) și considerând cazul particular în care toți coeficienții măștii au valoarea 1/9 se obține relația :

$$v(x, y) = \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 \frac{f(m-k, n-l)}{9} \quad (7.23)$$

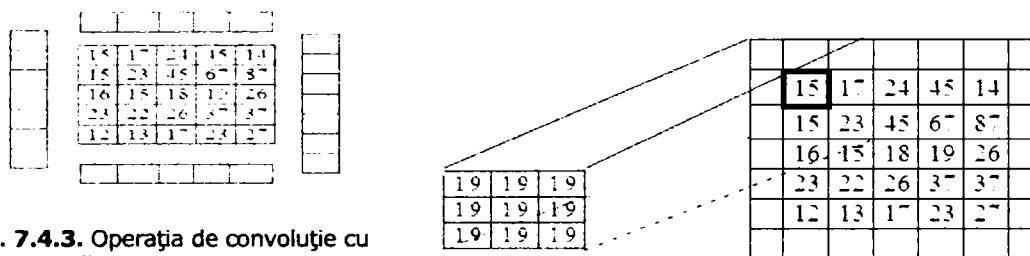
Această sumă de produse se calculează pentru fiecare punct al imaginii, deplasând masca. Descrierea algoritmului nu este altceva decât descrierea unei operații de convoluție bidimensionale, în care prin convenție, masca de filtrare este considerată nucleul de convoluție.

Deplasarea măștii (*ferestrei de filtrare*) a condus la preluarea denumirii de **tehnica ferestrei glisante**, care presupune aplicarea următorilor pași:[77]

- Se deplasează originea *ferestrei de filtrare* în fiecare punct al imaginii și se selectează punctele imaginii situate în interiorul ferestrei;
- Pentru fiecare poziție se face suma produselor punct (valoare pixel) cu coeficient mască.

Cele mai simple ferestre sunt cele de formă pătrată, de dimensiuni impare având originea în centru( exemplu 3x3, 5x5, 7x7).

*Fereastra de glisare* din figura 7.4.3. are o dimensiune mult mai mică decât dimensiunile imaginii și pentru a evita efectele de margine, când fereastra poate depăși imaginea, aceasta va fi completată (bordată) cu linii și coloane conținând elemente de valoare nulă. [12]



**Fig. 7.4.3.** Operația de convoluție cu mască de dimensiune 3x3

Pentru o imagine pătrată de dimensiune  $N \times N$  și o mască de filtrare de dimensiune  $n$ , numărul de operații necesare unei filtrări este de  $N^2 n^2$  înmulțiri și  $N^2 (n^2 - 1)$  adunări. Acest număr mare de operații conduce la constrângerea practică de a folosi ferestre de filtrare cât mai mici, sau de a lucra în domeniul frecvenței folosind tehnicile TFR.

O parte din codul-sursă dezvoltat pentru implementarea unui asemenea filtru este:

```

if optiune==3
axes(handles.axes3);
img=handles.foto;
w=handles.masca;
img1=imresize(img,[256,256]);
imgh=rgb2hsv(img1);
imgh1=imgh(:,:,1);
fimgh1=fft2(imgh1);
fw=fft2(w,256,256);
rez=fimgh1.*fw;
rezd=ifft2(rez);
handles.foto=rezd;
guidata(hObject,handles);
etime(clock,t0);
set(handles.activex1,'value',x);
axes(handles.axes4);
plot(imhist(rezd));

end;

```

Ținând cont de efectul acestui filtru, se poate trage concluzia că acesta este în principiu un filtru trece-jos (FTJ). Principala efect așteptat de la o operație de filtrare trece-jos este o uniformizare a diferitelor zone din imagine și eliminarea variațiilor punctuale exagerate a nivelelor de gri.

Diversele tipuri de măști folosite în acest scop realizează în esență aceeași operație, adică o mediere a nivelelor de gri dintr-o vecinătate a imaginii, valoarea obținută atribuindu-se pixelului central al vecinătății.

Au fost utilizați cu rezultate bune următorii operatori de mediere pentru 8-vecinătăți: [15]

$$w1 = \frac{1}{16} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad w1 = \frac{1}{64} \begin{pmatrix} 7 & 7 & 7 \\ 7 & 8 & 7 \\ 7 & 7 & 7 \end{pmatrix} \quad w1 = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (7.24)$$

Testele cu aplicația ACF au evidențiat că efectul primei măști este mai slab decât efectul celei de a doua pentru că ponderea pixelului central este mai mare ( $4/16 > 8/64$ ). La limită, cea mai slabă filtrare este cea care alocă ponderi 0 vecinilor și deci pixelul central are pondere maximă, iar cea mai puternică filtrare este realizată când pixelul central are ponderea 0, în timp ce vecinii săi au ponderi maxime.

Un astfel de exemplu, sub formă parametrizată, depinzând de factorul  $x$  este:

$$w4 = \frac{1}{(x+2)^2} \begin{pmatrix} 1 & x & 1 \\ x & x^2 & x \\ 1 & x & 1 \end{pmatrix} \quad (7.25)$$

Factorul de scară a fost introdus pentru a păstra nivelele de gri în aceeași plajă cu cele din imaginea inițială. Din relațiile 7.24 și 7.25 se observă că măștile asociate acestui tip de filtru au ponderi pozitive. [13]

Folosind aplicația ACF s-au proiectat și testat din punct de vedere al rezultatelor obținute, precum și a timpilor de execuție mai multe FTJ, iar pentru teste s-au utilizat bile din material plastic, tomate și mere. Cele care au furnizat rezultatele cele mai bune au fost utilizate în proiectarea BP.

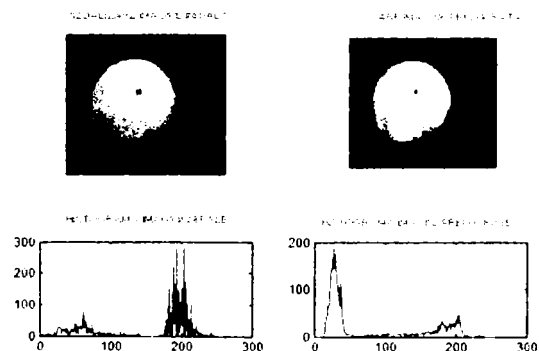
### Concluzii asupra utilizării FTJ

Testarea filtrelor trece-jos s-a realizat prin analiza comparativă a indicilor de performanță prezentați în paragraful 7.1.2., în baza principiului natural care impune ca imaginea prelucrată să fie cât mai apropiată de imaginea originală. Prin experimente repetate s-au determinat valorile maxime ale parametrilor imaginii, peste a căror valoare informația din imaginea prelucrată nu mai respectă informația din imaginea originală.

Analiza imaginilor obținute în urma filtrării cu FTJ (fig. 7.4.4.) indică o uniformizare a componentelor imaginii de ieșire, imaginea fiind mai neclară și mai cețoasă, iar ca urmare contururile au devenit mai vagi. [13][15]

**Fig. 7.4.4.** Efectul filtrării liniare trece jos

În **concluzie**, efectul de *încețoșare* a unei imagini poate fi considerat și ca efect de îmbunătățire a uniformității regiunilor, ceea ce înseamnă că acest lucru conduce la eliminarea micilor diferențe dintre valorile pixelilor aparținând unei aceluiași regiuni.



FTJ reduc sau elimină zgomotul gaussian, însă sunt ineficiente pentru zgomotul de tip Sare și Piper. [15]

Testele și experimentele efectuate au evidențiat faptul că FTJ implică un număr mare de calcule, ceea ce pentru procesele ce se desfășoară în timp real constituie un dezavantaj. Utilizarea unei măști de filtrare mai mare, de tip 7x7 sau 11x11, furnizează rezultate mai bune dar cu timpi foarte mari, însă testele evidențiază ca același efect, dar cu timpi mult mai mici de calcul, se obțin și prin aplicarea consecutivă a unui filtru cu o mască de filtrare mai mică de tipul 3x3.

Astfel, aplicarea consecutivă a filtrării cu o mască de mici dimensiuni de un anumit număr de ori oferă un control mai fin al procesului de îndepărtare a zgomotelor nedorite, însă crește dependența procesului de filtrare de operatorul uman în faza de stabilire a structurii BP. Deci, acest procedeu de filtrare prin aplicarea repetată a unui FTJ, poate crește atât dependența de operatorul uman cât și timpii alocați operației de alegere a filtrului.[13]

De asemenea, reducerea timpului de execuție al acestei filtrări se obține și prin filtrarea în domeniul frecvenței, folosind o TFR.

Pentru imagini RGB rezultatele sunt bune, însă datorită faptului că se operează pe toate cele trei planuri Red, Green, Blue, este foarte costisitoare ca timp de calcul. Din acest motiv modelul RGB este înlocuit cu modelul HSI (Hue, Saturation, Intensity), la care se operează numai asupra *intensității* I.[15]

**Filtrarea liniară de contrastare** (filtrare trece-sus - FTS) urmărește îmbunătățirea percepției vizuale a conturilor obiectelor, adică creșterea detectabilității componentelor unei imagini de-a lungul frontierelor acesteia. [23][36][123][126]

*În principiu acest deziderat se poate obține prin modificarea pixelilor aflați de o parte și de alta a unei frontiere comune.*

Sistemul vizual uman are tendința de a adâncii profilul zonelor de tranziție dintre regiunile uniforme. Acest lucru se obține prin prelucrări de tip *derivativ*, ce apar în diferitele etape pe care le parcurge informația.

Derivarea imaginii rămâne în esență o operație de accentuare a detaliilor dintr-o imagine numerică. În această situație măștile utilizate au atât ponderi negative cât și ponderi pozitive.

Din punct de vedere teoretic există două modalități de a detecta conturile:

- *calculul gradientului* în fiecare punct al imaginii;
- *calculul operatorului Laplace* în fiecare punct al imaginii.

*Calculul gradientului* presupune obținerea unor informații despre direcția conturului, acesta fiind perpendicular pe contur (fig. 7.4.5).

Vectorul gradient se poate scrie:

$$\vec{G} = (G_x, G_y); \quad \text{unde: } G_x = \frac{\partial I(x, y)}{\partial x}; \quad G_y = \frac{\partial I(x, y)}{\partial y}; \quad (7.26)$$

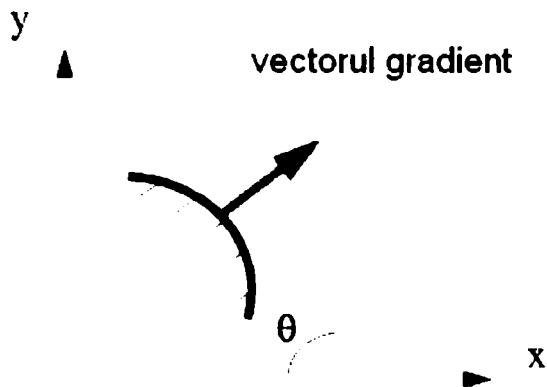


Fig.7.4.5. Vectorul gradient

Considerând un semnal imagine  $I(x,y)$  continuu, gradientul intensității luminoase în  $(x,y)$  este :

$$\vec{G} = \begin{bmatrix} \frac{\partial I}{\partial x} \\ \frac{\partial I}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (7.27)$$

Vectorul  $G$  este orientat în direcția variației maxime ale lui  $I$ . Norma gradientului are expresia:

$$|\vec{G}| = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2} \quad (7.28)$$

și este o măsură importantă a diferenței de intensitate a pixelilor.

Compararea valorilor normei gradientului cu un prag permite selectarea punctelor de pe contur.

De asemenea, metoda permite calculul direcției gradientului:

$$\theta = \arctg\left(\frac{G_x}{G_y}\right); \quad (7.29)$$

În imaginile numerice derivatele sunt approximate prin diferențe finite:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} I(x, y) &= I(x+1, y) - I(x, y) && \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix} \\ \frac{\partial}{\partial y} I(x, y) &= I(x, y+1) - I(x, y) && \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (7.30)$$

Gradientul poate fi calculat dacă se cunosc derivatele după direcție, luând ca direcții cele două axe perpendiculare ale planului cartezian. Prin urmare, este

necesar să se aleagă o pereche de direcții ortogonale și o aproximare a derivatei, în vederea scrierii algoritmului de extragere a conturului folosind gradientul.

Imaginea numerică  $I$  este alcătuită din pixeli cu nivele de gri  $g(i,j)$ , care corespund la intensități luminoase  $I(x,y)$ , despărțiți de distanțe unitare și ținând cont de relația 7.28 care exprimă norma gradientului, se poate scrie:

$$|\vec{G}| = \sqrt{[g(i,j) - g(i+1,j)]^2 + [g(i,j) - g(i,j+1)]^2}$$

sau

$$|\vec{G}| = |g(i,j) - g(i+1,j)| + |g(i,j) - g(i,j+1)| \quad (7.31)$$

Relația 7.31. poate fi identificată unui calcul numeric rapid în binar conform figurii 7.4.6.

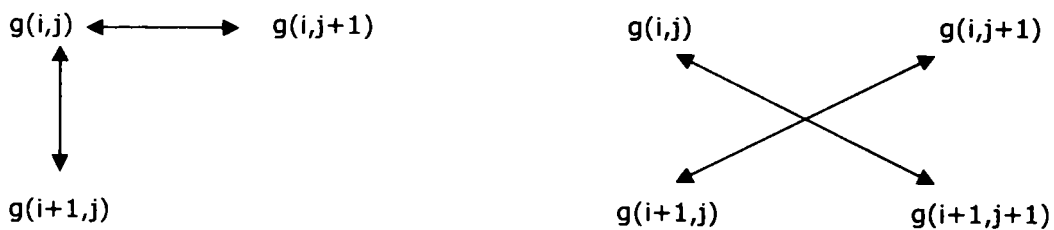


Fig. 7.4.6. Modalități de calcul rapid al gradientului

Relația de calcul (7.30) a gradientului care utilizează diferențe încrucișate, se poate implementa rapid, aplicând succesiv următoarele măști de dimensiuni 2x2 pixeli și poartă și denumirea de **operatorul cruce al lui Roberts**. Acesta permite detectarea foarte bună a conturilor în cazul unor variații mici ale gradientului.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.32)$$

Contururile dintr-o imagine se pot extrage comparând  $|G|$  cu un prag impus  $T$ , astfel: [23]

$$\begin{cases} |G| \geq T - \text{punct pe contur;} \\ |G| < T - \text{punct care nu se află pe contur;} \end{cases} \quad (7.33)$$

În cazul în care valoarea pragului  $T$  este aleasă prea mare, conturul poate apărea ca o curbă cu grosime variabilă. În caz contrar, dacă se alege un prag prea

mic, se obține un contur cu întreruperi, ceea ce conduce la obligativitatea realizării unei operații suplimentare de închidere a conturului.

Aproximări ale gradientului pe axa x, respectiv y, se pot face și în vecinătăți de 3x3 pixeli folosind *operatori Sobel sau Prewitt*.

Astfel, Sobel [23] a propus un operator care îmbină două tipuri de procese : de diferențiere și de mediere. Un exemplu de operator de tip gradient ce lucrează cu ferestre de tip 3x3, conform matricei din relația 7.34

$$\begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & I \end{bmatrix} \quad (7.34)$$

conține două tipuri de diferențe :

$$\begin{aligned} S_x &= (C+2F+I)-(A+2D+G) ; \\ S_y &= (G+2H+I)-(A+2B+C) ; \end{aligned} \quad (7.35)$$

$S_x$  este o aproximare a derivatei imaginii după direcția x și presupune formarea a două medii ponderate, în vederea estimării imaginii în punctele D și F, iar apoi cele două medii sunt scăzute, obținându-se astfel aproximarea derivatei. În mod analog se procedează și pentru  $S_y$ .

Gradientul în punctul E se definește prin relația:

$$E = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} \quad (7.36)$$

În vederea eficientizării se poate utiliza relația de calcul:

$$E = S_x + S_y \quad (7.37)$$

Măștile gradient de tip Sobel și Prewitt sunt:

$$S_x = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad S_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (7.38)$$

$$P_x = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad P_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (7.39)$$

Acești operatori oferă un raport performanță/complexitate foarte bun.

Spre deosebire de operatorii Prewitt, operatorii Sobel au un ușor efect de mediere datorită prezenței unor ponderi mai mari pentru pixelii mai apropiați de pixelul central.

Se remarcă faptul că măștile de convoluție pentru FTJ conțin doar valori pozitive, în timp ce FTS presupun apariția unor valori negative. Aplicarea unui operator derivativ pe o vecinătate cu nivele de gri constante conduce la o valoare nulă. Astfel, pentru a putea reprezenta gradientul unei imagini cu nivele de gri

cuantizate între  $[0, L-1]$ , tot ca pe o imagine, este necesară adunarea unei valori medii și aplicarea unei constante de scalare.

Astfel, gradientul Sobel pe axa X se calculează, după cum urmează :

$$S_x = \frac{L}{2} + K \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 2 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (7.40)$$

unde:

- K este o constantă ce se alege astfel încât să se obțină o imagine cu un contrast bun, fără să se producă depășiri aritmetice (valori negative, sau mai mari decât L-1)

Codul-sursă scris pentru implementarea unui FTS în raport cu particularitățile produselor vegetale analizate este:

```

w=handles.masca;
img=handles.foto;
img1=imresize(img,[256,256]);
imgh=rgb2hsv(img1);
imgh1=imgh(:,:,1);
fimgh1=fft2(imgh1);
fw=fft2(w,256,256);
rez=fimgh1.*fw;
rezd=ifft2(rez);
handles.foto=rezd;
guidata(hObject,handles);
etime(clock,t0);
set(handles.activex1,'value',x);
axes(handles.axes4);
plot(imhist(rezd));

```

Dacă se continuă derivarea la ordinul 2, pentru a calcula norma din relația (7.27.) se ajunge, pentru cazul unei imagini numerice I cu nivelele de gri  $g(i,j)$ , la modulul operatorului Laplace :

$$\begin{aligned} |L| &= |g(i+1,j) - 2g(i,j) + g(i-1,j) + g(i,j+1) - 2g(i,j) + g(i,j-1)| \\ &= |g(i+1,j) + g(i-1,j) + g(i,j+1) + g(i,j-1) - 4g(i,j)| \end{aligned} \quad (7.41)$$

Prin detectarea trecerilor prin 0 ale valorilor laplacianului, se decid care dintre pixeli aparțin conturului. Acest operator amplifică zgomotul imaginii, ceea ce necesită prelucrări suplimentare și în plus nu conține informații utile despre direcția conturului. Matricea celor doi operatori se scriu :

$$\text{Gradient} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.42)$$



$$\text{Laplacian} - \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.43)$$

Filtrul Laplace se calculează cu masca :

$$\frac{L}{2} + K \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.44)$$

Laplacianul poate fi scris utilizând diferite măști, dintre care se pot exemplifica următoarele:

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 \\ 0 & 4 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.45)$$

Pentru un astfel de operator de derivare este esențial ca răspunsul său pentru pixelii din interiorul unei regiuni absolut uniforme (de valoare  $\mu$ ) să fie nul .

$$\mu = \sum_{(k,l) \in W} w_{kl} \mu \quad (7.46)$$

În acest caz, condiția de normare a unui nucleu de filtrare derivativă pentru care suma coeficienților măștii trebuie să fie 0 devine:

$$\sum_{(k,l) \in W} w_{kl} = 0 \quad (7.47)$$

O soluție alternativă mai simplă se obține prin derivarea imaginilor, folosind următoarea relație de tip gradient:

$$G = \max\{|g(i,j) - g(i+1,j)|, |g(i,j) - g(i,j+1)|, |g(i,j) - g(i+1,j+1)|, |g(i+1,j) - g(i,j+1)|\} \quad (7.48)$$

Avantajele obținute în acest caz sunt : volumul relativ redus de calcul, obținerea direcției conturului (Freeman), relativa independență a pragului în raport cu tipul imaginii.

Gradientul poate fi scris sub diferite forme de măști 3x3, dintre care se pot exemplifica:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{pentru detecția muchiiilor verticale}; \quad (7.49)$$

și

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{pentru detecția muchiiilor orizontale}; \quad (7.50)$$

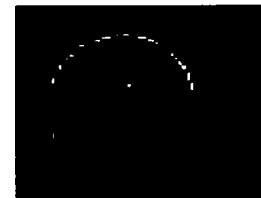
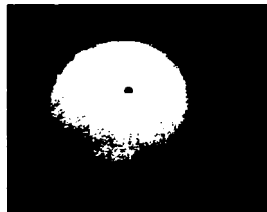
Din filtrul Laplace se obține filtrul „*enhance*”, [15] definit ca diferența dintre imaginea inițială și derivata a doua a imaginii. Efectul acestui filtru este de a pune în evidență detaliile foarte fine ale imaginii, ceea ce din punct de vedere subiectiv poate fi apreciat ca o îmbunătățire. Nu se recomandă utilizarea acestui filtru în cazul în care în imagine încă mai este prezent zgomotul. Masca pentru *filtrul enhance* este:

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.51)$$

Folosind aplicația ACF, s-au proiectat și testat din punct de vedere al rezultatelor obținute, precum și a timpilor de execuție, mai multe astfel de filtre (fig. 7.4.7), iar concluziile obținute sunt prezentate în cele ce urmează.

VIZUALIZARE IMAGINE INITALA

VIZUALIZARE IMAGINE PRELUCRATA



**Fig. 7.4.7.** Efectul filtrării liniare trece sus

### Concluzii asupra utilizării FTS

Testele și experimentele efectuate au indicat că *majoritatea FTS utilizate în aplicațiile de clasificare a produselor industriale sunt inutilizabile în procesele de clasificare a produselor de origine vegetală*. Dacă produsele industriale au o formă clară, bine definită, acest lucru nu mai este valabil pentru produsele vegetale datorită diversității deosebite a caracteristicilor acestora. Aceste ipoteze fac ca filtre recunoscute pentru performanțele obținute în aplicațiile industriale, precum Sobel sau Prewitt, să furnizeze rezultate slabe în acest caz. La fel se comportă și filtrul Laplace, care amplifică semnificativ orice zgomot ce alterează imaginea.

Testele [13] au evidențiat faptul că și cele mai performante filtre au tendința să amplifice eventualele zgomote din imagine. Acest lucru conduce la apariția în imagine a unor pixeli răzleți, al căror număr crește și descrește proporțional cu nivelul zgomotului. Acești pixeli în număr mare contribuie la grave erori în timpul procesului de analiză a imaginilor. Eliminarea lor se poate realiza prin operații de erodare sau/și dilatare, cu rezultate foarte bune însă cu timpi mari de calcul.[13]

Testele cu aplicația ACF au evidențiat faptul că *utilizarea înaintea filtrării trece sus a unei filtrări trece jos, cu scop de uniformizare a regiunilor, îmbunătățește considerabil calitatea imaginilor obținute.*[15]

O eficiență sporită s-a obținut prin realizarea operațiilor de filtrare în domeniul frecvenței. Aceasta s-a realizat prin extinderea considerentelor teoretice valabile și bine consolidate din teoria semnalelor unidimensionale și în cazul imaginilor.

### Filtrarea în domeniul frecvenței

Extinderea acestor pentru procesarea imaginilor, presupune definirea spectrului de frecvență asociat unui semnal cu suport spațial.[78][127]

Utilizarea unei prelucrări în domeniul frecvențelor presupune identificarea benzilor de frecvență corespunzătoare entităților ce se doresc păstrate, respectiv eliminate, asociere ce nu este întotdeauna simplă. În practică aceasta înseamnă determinarea unui spectru de frecvență transformat, căruia i se aplică Transformata Fourier Inversă (TFI) în imaginea filtrată.

*Operația de filtrare în domeniul frecvenței poate fi scrisă ca fiind o convoluție (filtrare liniară) în domeniul spațial:*

$$g(x,y)=f(x,y)*w(x,y); \quad (7.52)$$

Convoluția între imaginea de prelucrat și un nucleu de filtrare este echivalentă cu produsul dintre spectrul Fourier al imaginii și spectrul Fourier al nucleului de filtrare.

$$G(u,v)=F(u,v)\cdot H(u,v) \quad (7.53)$$

*Filtrarea în domeniul frecvențelor presupune parcurgerea următoarelor etape:*

- Realizarea transformării  $f(x,y) \rightarrow F(u,v)$ ;
- Filtrarea în planul frecvențelor  $G(u,v)=F(u,v)\cdot H(u,v)$ ;
- Transformarea inversă în vederea regăsirii imaginii  $G(u,v) \rightarrow g(x,y)$ .

Aplicând TF asupra unei imagini se obține spectrul acelei imagini.

Utilitatea transformatei Fourier este dublă : pe de o parte furnizează aspecte ale cercetării imaginilor, iar pe de altă parte permite implementarea unor operații precum *netezirea imaginilor, accentuarea contrastului și aplicarea tehnicii șablonului, filtrarea imaginilor, reconstrucția imaginilor, compresia imaginilor*, etc.[13]

Transformata Fourier este foarte utilă atunci când se dorește accesul la caracteristicile geometrice ale domeniului spațial, deoarece imaginea în domeniul frecvențelor este descompusă în componente sinusoidale și astfel este mai ușor de analizat frecvențele ce influențează structura în domeniul spațial.

Fie  $f(x)$  o funcție continuă de o variabilă reală. Se definește transformata Fourier a acesteia:

$$F\{f(x)\} = F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-j2\pi ux} dx \quad (7.54)$$

unde

$$j = \sqrt{-1};$$

Dacă se dă  $F(u)$ ,  $f(x)$  se poate obține prin transformata inversă:

$$F^{-1}\{F(u)\} = f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u)e^{j2\pi ux} du \quad (7.55)$$

unde:

$u$  - este variabilă de frecvență;

Transformata Fourier poate fi extinsă și la funcții de două variabile:

$$F\{f(x, y)\} = F(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y)e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy \quad (7.56)$$

Similar dându-se o funcție  $F(u, v)$  se poate defini transformata Fourier inversă:

$$F^{-1}\{F(u, v)\} = f(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u, v)e^{j2\pi(ux+vy)} dudv \quad (7.57)$$

În cazul imaginilor se observă că la obținerea valorii fiecărui pixel din imaginea rezultat contribuie totalitatea pixelilor din imaginea inițială.

Relația (7.56) poate fi considerată ca o dezvoltare a funcției imagine  $f(x, y)$  în termenii unei sume generalizate de exponențiale complexe. Astfel, pentru fiecare pereche de frecvențe spațiale  $u$  și  $v$  există o exponențială în sumă generalizată, exponențială care este înmulțită cu un coeficient pondere  $F(u, v)$ .

În concluzie, transformata Fourier a lui  $f(x, y)$  poate fi privită ca aplicarea unor coeficienți pondere dezvoltării lui  $f(x, y)$  la o sumă de exponențiale.

Transformata Fourier este cea mai importantă transformare integrală, ce asigură trecerea între spațiul semnalului și spațiul de frecvențe ale semnalului.

În cazul funcțiilor discrete avem:

$$F(u, v) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y)e^{-j2\pi(ux+vy)/N} \quad (7.58)$$

și

$$f(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v)e^{j2\pi(ux+vy)/N} \quad (7.59)$$

Pentru simplificare s-a făcut presupunerea că numărul de eșantioane  $N$  este același pentru ambele variante. În aceste condiții s-a introdus factorul  $1/N$  în ambele relații, deși din calcul rezultă însă un factor de  $1/N^2$  pentru relația (7.58) și  $1$  pentru relația (7.59). Se observă că în acest caz formulele de transformare nu mai sunt unitare.

Testele au evidențiat faptul că TF este o operație mare consumatoare de timp de calcul. O transformare a unei funcții monovariabile eșantionată în  $N$  puncte necesită un număr de  $N^2$  operații elementare. O operație elementară constă dintr-o înmulțire complexă a unui eșantion al funcției de intrare cu un termen exponențial. Practic, acesta înseamnă calculul unui sinus, a unui cosinus, două înmulțiri de numere reale și o adunare, ceea ce înseamnă că numărul operațiilor este foarte mare.[78]

O metodă mai rapidă este utilizarea Transformatei Fourier Rapide (TFR) ce presupune în esență următoarele: o transformată în  $N$  puncte se poate descompune

În două transformate în  $N/2$  puncte, una aplicată eșantioanelor pare și cealaltă aplicată eșantioanelor impare. Această diviziune se aplică în momentul în care  $N=2$ . În acest moment toate funcțiile sinus și cosinus ce au ca argument multiplii de  $\pi/2$ , primesc valori de  $-1, 0$  sau  $1$ . Transformata rapidă bidimensională implică realizarea câte unei transformări unidimensionale pentru fiecare linie și coloană a imaginii, iar în final numărul de operații elementare se reduce de la  $N^2$  la  $N \log_2 N$ .

Principalul dezavantaj al acestei metode îl constituie faptul că  $N$  trebuie să fie par, și deoarece diviziunea continuă până când  $N=2$ , înseamnă că  $N$  trebuie să fie par de fiecare dată, adică să fie o putere a lui  $2$ . Deci pentru ca o imagine să poată fi prelucrată folosind TFR trebuie să aibă  $256 \times 256$  sau  $512 \times 512$  pixeli.

Având în vedere că SV furnizează către SCC imagini cu o rezoluție de  $340 \times 250$ , BP trebuie să asigure redimensionarea acestora la o rezoluție de  $256 \times 256$ , înainte ca imaginile să fie supuse operațiilor de filtrare. [13][14]

## 7.5. Modele de culori

Lumina albă se descompune într-un spectru cromatic mergând de la roșu pentru frecvența cea mai mică a radiației luminoase, până la indigo pentru frecvența cea mai mare. Noțiunea de culoare este, așadar, biunivoc legată de cea de frecvență. [58][78][104][106]

**Modelul RGB** (Red, Green, Blue) pornește de la culorile fundamentale roșu, verde și albastru și este numit și *model de compoziție aditivă*, deoarece, celelalte culori se obțin din anumite procente ale culorilor de bază. Acest tip de model este foarte răspândit și stă la baza concepției tehnice a dispozitivelor de achiziție și afișare a imaginilor color.

În acest model, orice culoare se definește ca fiind un punct încadrat într-un cub (fig. 7.5.1.) cu latura 1. Culoarea alb are prezente toate culorile fundamentale, iar culoarea neagră este caracterizată de lipsa acestora. Originea  $(0,0,0)$  este considerată culoarea neagră, iar colțul opus  $(1,1,1)$  corespunde culorii alb. Diagonala care unește cele două puncte, conține niveluri de gri, obținute prin utilizarea aceluiași procente din culorile fundamentale.[77]

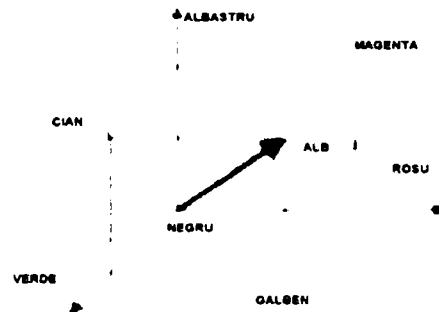


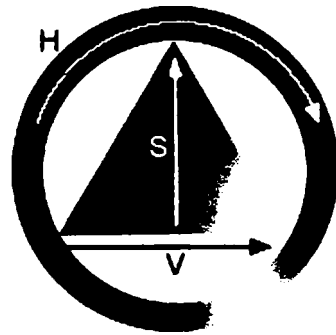
Fig. 7.5.1. Reprezentarea modelului de culori RGB

Percepția color umană se poate descrie cu componentele:

- nuanța de culoare (Hue - H);
- saturație (Saturation - S);
- claritatea culorii-luminozitate (Intensity, Lightness, Value - I,V,L,)

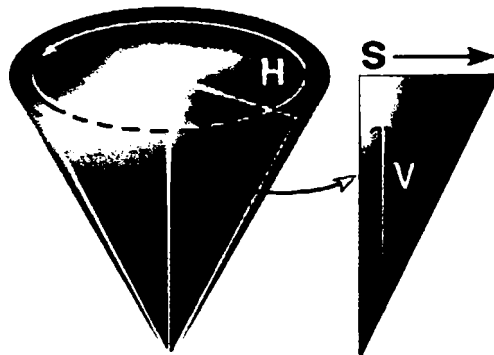
Cores unzător lor se pot defini modelele **HSI** (Hue, Saturation, Intensity), **HSV** (Hue, Saturation, Value), **HSL** (Hue, Saturation, Lightness), trecerea de la un model la altul făcându-se relativ ușor. În general pornind de la un pigment pur se adaugă alb pentru a obține o tentă de culoare și negru pentru a obține o tonalitate.

Spațiul în care sunt desenate aceste trei valori poate fi afișat ca un con, modelul HSV prezentat în imaginile 7.5.2. și 7.5.3., sau dublu-con circular sau hexagonal modelele HSI și HSL, prezentate în figura 7.5.4.. [106][125]



**Fig. 7.5.2.** Spațiul de culoare

HSV – vizualizare circulară



**Fig. 7.5.3.** Spațiul de culoare HSV – vizualizare conică

Model HSV este dezvoltat în coordonate cilindrice.

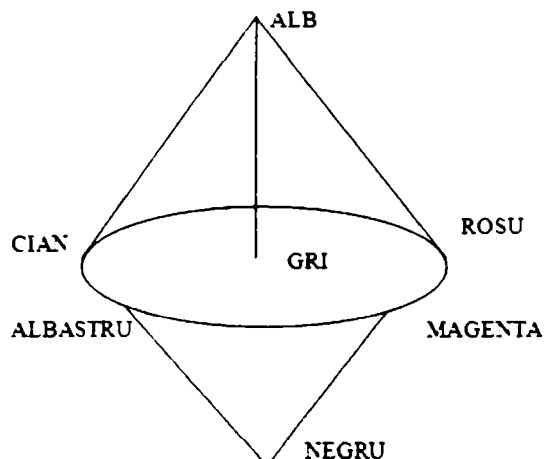
*Nuanța* reprezintă poziția relativă a culorii în spectru și corespunde unghiului pe care îl face culoarea în cercul de culori. Astfel, nuanța parcurge un cerc având culorile roșu la 0°, galben la 60°, verde la 120°, cyan la 180°, albastru la 240°, magenta la 300° și din nou roșu la 360°. Se poate considera astfel nuanța ca o mărime fizică ce exprimă valoric „numele” pe care îl dăm unei culori în limbajul curent.

*Saturația* reprezintă puritatea imaginii ce se referă la gradul de amestecare cu lumină albă a culorii. O culoare pură are  $S=1$ . Saturația se cuantifică pe raza cilindrului. Culorile situate pe suprafața exterioară a cercului sunt culori pure, deci complet saturate. Pe măsură ce saturația scade nuanța este din ce în ce mai dificil de cuantificat, iar culoarea va apărea mai ștearsă. La limită, când saturația este nulă nuanța este indefinită, așadar, pe axa cilindrului avem doar „nivele de gri”.

*Strălucirea, luminozitatea* se referă la percepția subiectivă asupra intensității luminoase.

**Fig. 7.5.4.** Reprezentare bi-conică a spațiului HSI

În reprezentarea biconică a spațiului HSI (fig. 7.5.4), intensitatea I



(nivelul Gri) variază în lungul axei centrale. Distanța dintre axe dă S (Saturation) în timp ce direcția specifică dă H (nuanța de culoare).

### Alegerea modelului de culori conform cerințelor aplicației

Până în prezent, în cercetările și studiile întreprinse la nivel mondial au fost propuse diverse scheme de identificare ale culorii, luându-se în considerație mai multe modele de culoare. Deși, cel mai popular model este RGB datorită simplității sale de implementare, acesta nu este și cel mai adecvat, fiind de preferat un model ce separă componenta de luminanță de cele de cromaticitate, cum sunt HSI, HSV, L\*a\*b, etc.[45][106][124]

La alegerea modelului de culori trebuie ținut cont că algoritmul de identificare a culorii trebuie să se desfășoare în timp real, iar modelul RGB necesită prelucrarea tuturor celor trei componente (roșu, verde, albastru) simultan.

Aceasta conduce la un algoritm complex ce necesită mari resurse de calcul.[92][97] În plus, estimarea gradului de maturitate a produselor agricole este un proces intuitiv, afectat puternic de subiectivismul lucrătorilor.

Pe baza experimentelor realizate cu aplicația ACF s-a dovedit că modelul HSI este mult mai potrivit pentru a constata maturitatea produselor biologice.[18]

Acesta, spre deosebire de modelul RGB este mai apropiat de percepția umană a culorii și aduce următoarele avantaje:

- intensitatea componentelor este decuplată de informațiile despre culoare;
- nuanța și saturația sunt date de felul în care omul percepe culoarea;
- valoarea nuanței este invariantă la modificările intensității luminoase;
- cele trei spații RGB de analizat sunt reduse la o singură dimensiune de analizat - nuanța „H”;

Trecerea din spațiul RGB în HSI, folosită și în majoritatea algoritmilor dezvoltati și implementati în cadrul tezei, se realizează pe baza relațiilor:[106]

$$H = \arccos \left[ \frac{0,5x[(R - G) + (R - B)]}{\sqrt{(R - B)(G - B) + (R - G)(R - G)}} \right] \quad (7.60)$$

$$S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{I} \quad (7.61)$$

$$I = \frac{R + G + B}{3} \quad (7.62)$$

unde:

- R, G, B – componentele de roșu, verde și albastru din RGB;
  - S – saturația;
  - I – intensitatea;
  - H – nuanța;
- Dacă componenta B este mai mare decât componenta G atunci:

$$H = 360^\circ - H \quad (7.63)$$

În concluzie, se poate afirma că sistemul HSI se obține din RGB astfel încât cele 6 laturi ale cubului RGB să poată deveni un cerc, în timp ce pentru conversia inversă din HSI în RGB, procesul depinde de sectorul în care este H.

## 7.6. Structura Blocului de preprocesare proiectat

În proiectarea BP din cadrul aplicației dezvoltate în teză, s-a ținut cont de următoarele considerente:[13]

- aplicația se desfășoară în timp real;
- numărul mare de caracteristici urmărite și dinamica crescută a acestora;
- prezența unui sistem de iluminare și vizualizare care limitează numărul tipurilor de zgomote ce alterează imaginea;
- cunoașterea prealabilă a tipurilor de zgomote introduse;
- caracteristicile îmbunătățite sunt utilizate mai departe în procesul de analiză a culorii și formei produselor analizate.

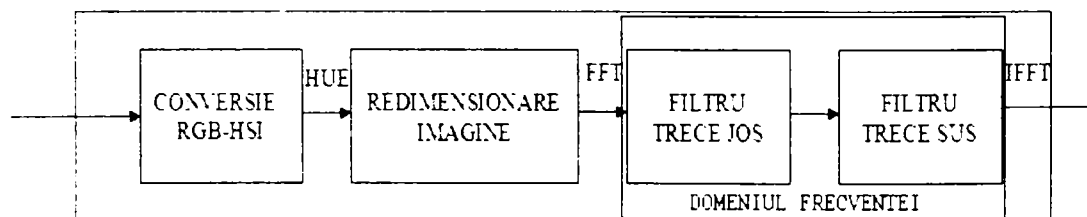
Pe baza testelor și experiențelor efectuate s-a propus și realizat un algoritm complex pentru BP, care îndeplinește următoarele funcții:[13][22]

- convertește modelul imaginii din RGB în HSI;
- redimensionează imaginea;
- filtrează imaginea trece-jos și apoi trece-sus în domeniul frecvenței.

În acest scop s-a considerat că BP trebuie proiectat de la început modular. Modularitatea este o constrângere dată de faptul că înaintea fiecărei șarje de produse analizate trebuie setați parametrii pentru FTJ și FTS.

Valorile parametrilor filtrelor din componența BP vor fi setate în timpul procesului de antrenare, prin experiențe repetate, iar utilizatorul va avea la dispoziție o bază de date cu valori optime ale măștilor de filtrare pentru fiecare categorie de produse.

Schema-bloc a algoritmului propus este dată în figura 7.6.1.



**Fig. 7.6.1.** Schema logică a Blocului de preprocesare propus

Prin conversia modelului RGB în HSI se obține o reducere semnificativă a volumului de lucru și totodată crește calitatea analizei prin *invarianța nuanței la variațiile intensității de iluminare*.

Redimensionarea imaginii se realizează prin eliminarea marginilor matricei imaginii în vederea eliminării acelor zone din imagine ce conțin porțiuni din plafon, conveier, sau alte piese ale instalației.



---

De asemenea, prin redimensionare se urmărește și aducerea imaginii la dimensiuni multiplu de 2, care pot fi utilizate în timpul filtrărilor trece-jos sau trece-sus din domeniul frecvenței.

## CAPITOLUL 8

### Proiectarea blocului de extragere a informației utile din imagini

#### 8.1. Cerințe impuse de caracteristicile aplicației

Scopul final al aplicațiilor de analiză de imagine este extragerea unor caracteristici importante din imagine, care să ofere informațiile necesare sistemului de calcul SC, în scopul descrierii și/sau să interpretării acesteia. Având în vedere faptul că aplicația urmărește aprecierea culorii, mărimii, integrității și prezenței eventualelor defecte s-au dezvoltat algoritmi care să extragă caracteristicile de interes și să permită algoritmilor de analiză o apreciere rapidă și eficientă a calității parametrilor urmăriți.[88]

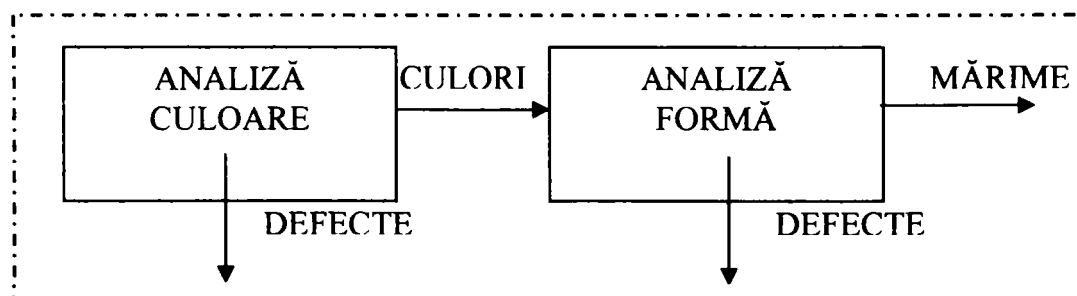
Realizarea unei instalații de analiză și clasificare a produselor vegetale, pe baza diferenței de culoare, formă, omogenitate și prezența defectelor, impune un număr mare de parametri de analiză.[13][27][123]126]

Ținând cont de faptul că procesele de analiză și procesare a imaginilor sunt mari consumatoare de resurse de calcul, s-a căutat ca algoritmi propuși în vederea extragerii caracteristicilor se interes și a clasificării să fie eficienți și rapizi.

Acest lucru s-a obținut prin utilizarea *unor etape comune* în procesele de generare a descriptorilor de formă, mărime sau de culoare. [18]

Algoritmii proiectați și prezentați în cadrul tezei, în raport cu ceilalți algoritmi existenți în literatura de specialitate, minimizează drastic posibilitatea de a clasifica greșit un pixel aparținând unui obiect anume și pot fi utilizați cu succes atât în etapa de stabilire a integrității fructelor analizate cât și pentru stabilirea culorii acestora.

Schema bloc a procesului de analiză a defectelor, a culorii și dimensiunii legumelor și fructelor vizualizate cu ajutorul SAC dezvoltat în cadrul tezei, este reprezentată în figura 8.1.1.



**Fig. 8.1.1.** Schema bloc a procesului de extragere a parametrilor de formă, dimensiune și culoare

Înainte de extragerea caracteristicilor de interes, imaginea va fi *segmentată* în vederea descompunerii ei în componente și identificarea acestora.

## 8.2. Contribuții privind realizarea algoritmului de segmentare

**Segmentarea unei imagini** poate fi definită ca partiționarea completă a acesteia într-un ansamblu de mulțimi disjuncte, nevide și conexe, ce satisfac un anumit criteriu, criteriu ce nu mai este respectat pentru conexiunea oricăror două elemente ale partiției.[23][55][77][96]

În timpul segmentării imaginea este privită ca o scenă ce conține diverse obiecte sau regiuni, eventual proiectate pe un fundal. Segmentarea asigură separarea obiectelor de fundal.

După segmentare, informația conținută în fiecare pixel al imaginii nu se mai referă la nivelul său de gri sau la culoarea sa, ci la apartenența la un anumit obiect. Ca atare, chiar dacă imaginea continuă să fie reprezentată fizic sub forma unei matrice de pixeli, ea devine o imagine convențională.[74][103]

În general algoritmii de segmentare au la bază două principii:

- principiul discontinuității, având ca principală metodă - detecția conturului;
- principiul similitudinii, având ca principală metodă - detecția regiunilor.

*Chiar dacă în vederea stabilirii integrității produselor conturul este unul dintre caracteristicile de interes, particularitățile aplicației precum: caracterul bimodal al histogramei imaginii achiziționate, diferența majoră dintre nivelele de gri ale obiectelor din imagine, calitatea imaginilor achiziționate și necesitatea operării în timp real, au impus ca pentru segmentare să se proiecteze un algoritm bazat pe principiul similitudinii, derivat din segmentarea cu prag global. [13]*

În general segmentarea cu prag global este foarte rapidă și este un test asupra unei funcții de forma:

$$T=T(x,y,f(x,y),p(x,y)) \quad (8.1)$$

unde:

- $f(x,y)$  este nivelul de gri al pixelului de coordonate  $(x,y)$ ;
- $p(x,y)$  este o proprietate locală a acestui punct, de exemplu, nivelul de gri mediu într-o vecinătate centrată pe acest pixel.

Cum imaginea furnizată de SAC proiectat are un caracter bimodal, adică în imagine sunt prezente doar două nuanțe de gri dominante în jurul cărora se poate estima distribuția gaussiană a nivelelor de gri, (caracterizată printr-o valoare medie și o dispersie cunoscută), s-a propus și realizat un **algoritm de identificare a pragului optim de segmentare**.

Așa cum s-a precizat în paragraful 7.5. modelul ales pentru analiza imaginilor este modelul HSI. Acesta introduce o reducere substanțială a timpului de calcul prin reducerea celor trei dimensiuni a domeniului RGB la un singur domeniu, nuanța H și în plus, nuanța devine invariabilă la schimbările intensității luminoase.[64][96]

Algoritmul de segmentare dezvoltat [18] presupune parcurgerea următorilor

pași:

**Pasul 1** - calculul centrului de greutate  $C_g$  al histogramei nuanței cu formula:

$$C_g = \frac{\sum n \cdot k}{\sum k}, \text{ unde } k=0,1,\dots,L-1; \quad (8.2)$$

unde:

- L - nivelul maxim el intensității nivelului de gri;
- K - nivelul de gri;
- N - frecvența nivelelor de gri.

**Pasul 2** - în funcție de centrul de greutate  $C_g$  histograma este împărțită în două și se calculează valorile maxime din cele două suprafețe. Valoarea MAX1 în zona 0- $C_g$  și MAX2 în zona  $C_g+1 - 255$  ;

**Pasul 3** - se determină valoarea minimă notată MIN dintre cele două maxime MAX1 și MAX2;

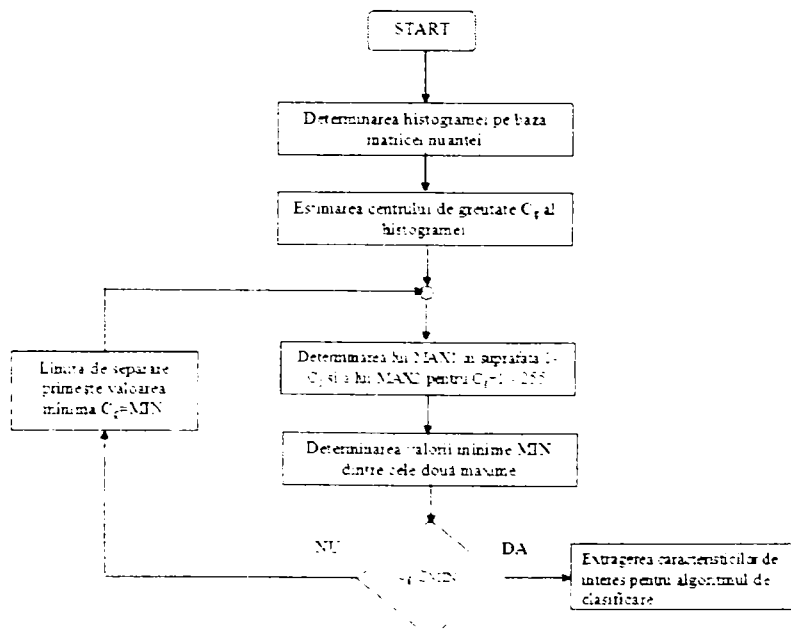
**Pasul 4** - dacă valoarea MIN nu diferă semnificativ de valoarea calculată a centrului de greutate  $C_g$ , segmentarea nuanțelor aparținătoare produsului de analizat se realizează în funcție de  $C_g$ ;

**Pasul 5** - dacă valoarea centrului de greutate  $C_g$  diferă într-o măsură prea mare de valoarea determinată MIN, se repetă etapa 2 cu  $C_g=MIN$ ;

Testele efectuate au arătat că în cazul imaginilor corect achiziționate, ce prezintă o histograma bimodală, valoarea centrului de greutate  $C_g$  este aproximativ egală cu cea a valorii minime MIN. În cazul imaginilor perturbate de zgomot precum umbre, străluciri, sau prezența în imagine a altor obiecte (cum ar fi porțiuni din instalație, podea, etc.) procesul de segmentare conduce ulterior la erori de identificare. [18][19]

Schema logică a algoritmului propus pentru segmentarea imaginilor achiziționate, realizată pe baza celor 5 pași anterior enunțați este prezentată în figura 8.2.1.

**Fig. 8.2.1.** Schema logică a algoritmului propus pentru segmentarea imaginilor achiziționate



Cum fundalul asigurat pentru imaginile achiziționate este de culoare neagră, (prin vopsirea rulourilor conveierului în negru) valorile nivelelor de gri situate în partea stângă a *valorii pragului* vor fi considerate ca aparținând fructelor sau legumelor de analizat.

O parte din codul-sursă scris pentru implementarea algoritmului de segmentare este:

```
img=handles.foto;
apar=imhist(imgrh(:,:,1));
ld=handles.limit;
lo=ld+1;;
max1=max(apar(1:ld))
max2=max(apar(lo:255))
pmax1=0;
for i=1:ld
    if apar(i)==max1
        pmax1=i;
    end;
end;
pmax2=0;
for i=lo:255
    if apar(i)==max2
        pmax2=i;
    end;
end;
minim=min(apar(pmax1:pmax2));
pmin=0;
i=pmax1;
gasit=0;
while (i<=pmax2)&&(gasit==0)
    if apar(i)==minim
        pmin=i;
        gasit=1;
    end;
    i=i+1;
end;
nr=0;
for i=1:255
    nr=nr+apar(i)*i;
end;
nu=0;
for i=1:255
    if apar(i)~=0
        nu=nu+i;
    end; end;
cg=nr/nu;
guidata(hObject,handles);
etime(clock,t0);
set(handles.edit1,'value',cg);
```

*Testele și experiențele realizate au evidențiat superioritatea algoritmului de segmentare propus față de algoritmi existenți prin: creșterea vitezei de execuție a procesului de segmentare, reducerea drastică necesară implementării algoritmului și precizia segmentării. Totuși, segmentarea este o problemă deosebit de dificilă și succesul sau insuccesul algoritmului propus depinde foarte mult de calitatea imaginii inițiale.* [13][18]

### 8.3. Algoritmul de detecție a descriptorilor formei

Examinarea și aprecierea formei unui obiect permite obținerea unor informații suficiente pentru clasificarea acestuia după *formă*, dar permite de asemenea, obținerea și a unor informații cu privire la *integritatea obiectului*. Forma este un parametru ușor de înțeles de către oameni, dar greu de apreciat și cuantificat de către calculator. [33][83][89][93][97]

Dacă, în cazul proceselor industriale, de regulă obiectele supuse clasificării au forme bine definite, în cazul produselor de origine vegetală, acest lucru este foarte greu de apreciat.[16] Asta deoarece condițiile de mediu pot cauza diverse neregularități ale conturului, influențând puternic forma fructelor și a legumelor.

De asemenea, forma fructelor și legumelor poate fi serios influențată în timpul culesului și al operațiilor de prelucrare a acestora. În consecință, numărul de forme posibile în cazul produselor de origine vegetală, este foarte mare. Din acest motiv, în cazul acestui studiu, forma fructelor și legumelor analizate va fi utilizată doar în scopul stabilirii integrității și dimensiunii acestora. [18][20]

#### 8.3.1. Fundamente teoretice pentru generarea descriptorilor formei în vederea interpretării automate

Tehnicile de recunoaștere a formelor sau de clasificare sunt precedate întotdeauna de o etapă de extragere a parametrilor de formă sau altfel spus a caracteristicilor acesteia. [1][23][25][44][123]

**Forma** unui obiect liniar O este un atribut geometric și poate avea valorile liniar sau curbiliniu. Elementul liniar O, exprimat prin n perechi de coordonate  $(x_i, y_i)$ , este caracterizat de unghiurile de incidență  $w_i$ . (fig. 8.3.1.):

$$w_i = \arctg \frac{x_{i+1} - x_i}{y_{i+1} - y_i} \quad (8.3)$$

$$dw_i = w_{i+1} - w_i \quad (8.4)$$

Atributul formă, asociat elementului liniar O, poate lua valoarea curbiliniu dacă este îndeplinită condiția:

$$\max(dw_i) > \tau_c \quad (8.5)$$

unde:

$\tau_c$  – pragul dat;

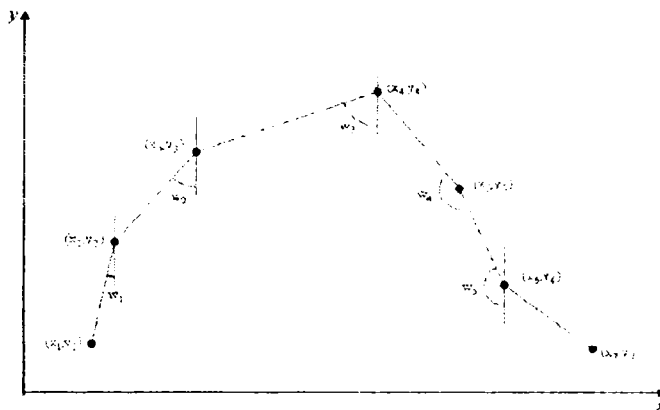


Fig. 8.3.1. Representarea unghiurilor de incidență

**Distanța** dintre două elemente liniare paralele  $O$  și  $O'$  reprezentate de  $n$ , respective  $m$  perechi de coordonate, face parte din categoria caracteristicilor geometrice. Algoritmul calculează inițial  $d_{\min k}$  ca distanța minimă dintre al  $k$ -le punct al lui  $O$  și orice punct al lui  $O'$  (fig. 9.3.2). Distanța dintre  $O$  și  $O'$  se calculează în acest caz cu relația:

$$d_{OO'} = \frac{\sum_{h=1}^n d_{\min k}}{n} \quad (8.6)$$

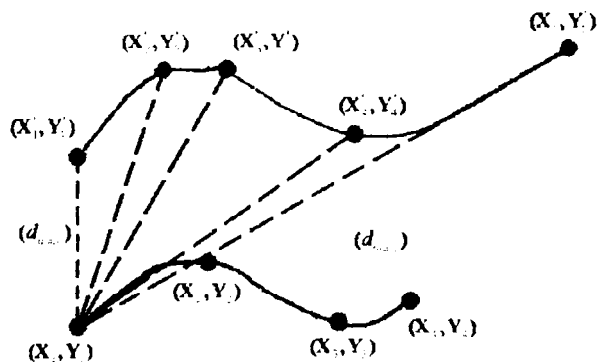


Fig. 8.3.2. Calculul distanței minime între două elemente liniare paralele

### Semnătura Formei (SF)

este o funcție scalară de o variabilă, asociată unei forme plane și reprezintă distanța de la centrul de greutate al formeii la fiecare punct de pe contur. Un rol important în obținerea unui rezultat corect îl are precizia cu care se determină *coordonatele centrului de greutate  $G_g$* . În cazul în care  $G_g$  se calculează folosind numai punctele de pe contur, atunci eventualele erori în aprecierea lungimii efective pot fi importante.

*Conturul obiectului* din imagine poate fi parcurs în două moduri: fie cu pas de lungime constantă de-a lungul conturului, fie cu pas unghiular constant în jurul  $G_g$ . Prima variantă are avantajul unui număr variabil de distanțe în vectorul semnăturii dar și că permite reconstituirea formeii pe baza SF. A doua variantă oferă avantajul unei semnături cunoscute aprioric și controlabilă, însă nu permite reconstituirea formeii plecând de la SF.

*Semnăturile* sunt caracteristici invariante la translație, deoarece se calculează față de  $Cg$ . Invarianța la factorul de scară, care face ca obiectul să pară mai mare sau mai mic în funcție de distanța de la care este observat, se poate obține printr-o normalizare cu distanța maximă, iar invarianța la rotație se obține efectuând o permutare ciclică a semnăturii.

**Descriptorii Fourier** (DF) caracterizează conturul unei forme. Fiecărui punct de coordonate  $(x,y)$  de pe contur îi corespunde un punct  $u=x+iy$  în planul complex, iar conturul se poate scrie sub forma complexă:

$$u(n)=x(n)+iy(n); \quad (8.7)$$

unde:

- $x(n)$  și  $y(n)$  reprezintă coordonatele punctului curent.
- $n$  - poziția pixelului de pe contur ( $n=0,N-1$  unde  $N$  este numărul total de pixeli ce descriu conturul).

Dacă se discretizează  $u(n)$  cu un pas uniform și se obține  $u(k)$ , varianta discretă a semnalului cu  $N$  componente se poate scrie ca:

$$U(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u(n) \cdot e^{\frac{2\pi i}{N} kn} \quad (8.8)$$

unde  $u(k)$  reprezintă setul DF.

### 8.3.2. Algoritmul propus de generare a descriptorilor formei pe baza semnăturii razelor și a tehnicilor Fourier

Produsele obținute prin procese industriale au structuri și forme bine definite, ce au permis dezvoltarea unor algoritmi foarte performanți bazați pe SF și a DF ce pot fi folosiți în recunoașterea formelor unor obiecte cunoscute indiferent de mărimea și orientarea lor. Majoritatea algoritmilor astfel realizați impun crearea în prealabil a unei baze de date cu semnătura fiecărui obiect în parte, iar pentru identificare se folosesc coeficienții de corelație. Astfel, forma obiectului analizat este similară cu cea din baza de date dacă se găsește un coeficient de corelație maxim cât mai apropiat de 1.

În cazul produselor agricole a căror forme sunt puternic individualizate, implementarea unor astfel de algoritmi ar conduce la grave erori în clasificarea acestora.[13][21]

Din aceste considerente algoritmul propus în cadrul tezei are câteva particularități avându-se în vedere varietatea de forme ale fructelor și legumelor analizate, dar și necesitatea operării în timp real a instalației.

Etapile algoritmului dezvoltat pentru generarea caracteristicilor formei [14] sunt:

**Etapa 1.** Imaginea obținută la ieșirea BP este segmentată în scopul identificării suprafeței produsului;

**Etapa 2.** Se identifică conturul produsului din imagine utilizând o filtrare de contrastare cu o mască de dimensiune  $3 \times 3$  prezentată în paragraful 7.4.2.;

**Etapa 3.** Determinarea pe baza momentelor inerție, a coordonatelor  $Cg$  cu ajutorul relațiilor:



$$x_c = \frac{\left[ \iint_{x,y \in \Omega} x dx dy \right]}{\iint_{x,y \in \Omega} dx dy}; \quad y_c = \frac{\left[ \iint_{x,y \in \Omega} y dx dy \right]}{\iint_{x,y \in \Omega} dx dy} \quad (8.9)$$

Utilizând formula fundamentală a lui Green-Riemann cu P și Q convenabil aleși, din formulele (9.8) se obține:

$$x_c = \frac{\left[ \frac{1}{2} \oint_{x,y \in C} \left( y x dx - \frac{1}{2} x^2 dy \right) \right]}{\left[ \frac{1}{2} \oint_{x,y \in C} (y dx - x dy) \right]} \quad \text{și} \quad y_c = \frac{\left[ \frac{1}{2} \oint_{x,y \in C} \left( \frac{1}{2} y^2 dx - x y dy \right) \right]}{\left[ \frac{1}{2} \oint_{x,y \in C} (y dx - x dy) \right]} \quad (8.10)$$

Folosind definiția cu sume Riemann în relația (8.10) rezultă:

$$x_c = \frac{\sum_{k=0}^n \left( y_k (x_k^2 - x_{k-1}^2) - x_k^2 (y_k - y_{k-1}) \right)}{2 \sum_{k=0}^n \left( y_k (x_k - x_{k-1}) - x_k (y_k - y_{k-1}) \right)} \quad (8.11)$$

$$y_c = \frac{\sum_{k=0}^n \left( y_k^2 (x_k - x_{k-1}) - x_k (y_k^2 - y_{k-1}^2) \right)}{2 \sum_{k=0}^n \left( y_k (x_k - x_{k-1}) - x_k (y_k - y_{k-1}) \right)} \quad (8.12)$$

**Etapa 4.** Pentru fiecare punct de pe contur se determină raza cu ajutorul relației:

$$R_k = \sqrt{(x_k - x_c)^2 + (y_k - y_c)^2} \quad (8.13)$$

Ținând cont ca fructele și legumele au de regulă forme unice și ca urmare pot avea dimensiuni și forme foarte diferite, razele au fost normalizate cu raza medie, astfel:

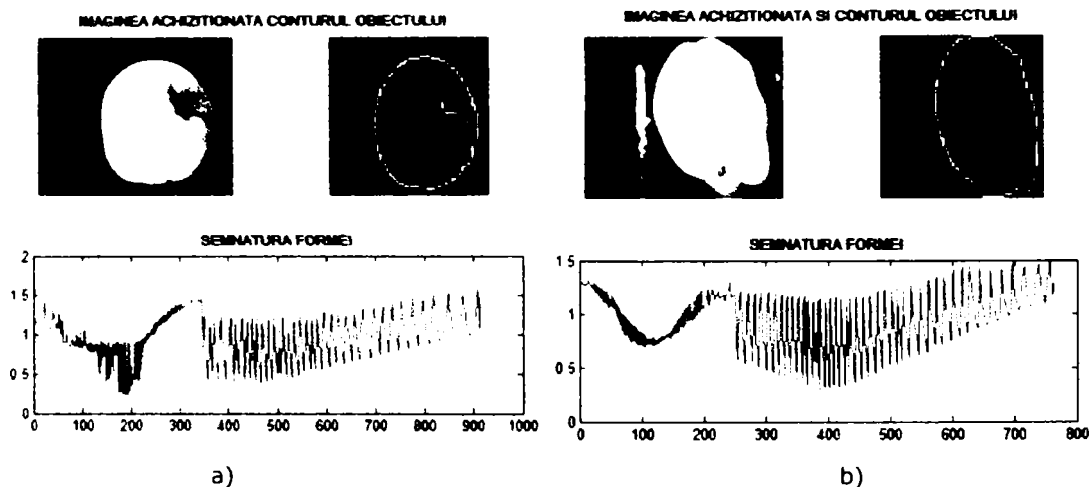
$$r_p = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} r(k) \quad (8.14)$$

$$r_g(k) = r(k) / r_p \quad (8.15)$$

unde:

- $r_p$  este raza medie, și
- $r_g(k)$  este raza obținută în urma operației de normalizare.

În figura 8.3.3. este prezentată semnătura normalizată pentru conturul unui produs cu formă aproximativ rotundă – un măr și pentru un produs cu o formă alungită – ardei gras.



**Fig. 8.3.3.** Imagini obținute în timpul procesului de stabilire a semnăturii formei normalizate  
 a) pentru un măr;  
 b) pentru un ardei gras

Razele obținute, sunt stocate într-un vector  $Y$  numit și vectorul semnăturii formei produsului analizat.

**Etapa 5.** Aplicând TFR asupra semnăturii formei, se obține relația:

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N r(k) \exp[-j2\pi uk / N], u = 0,1,2,\dots,N \quad (8.16)$$

Histograma la care se aplică TFR indică de câte ori fiecare dintre valorile razei produsului analizat apare în imagine.

Descriptorii Fourier astfel obținuți conțin informații utile despre forma de analizat. În general, imaginile care au valori uniforme ale armonicilor, sau conțin un număr mic de armonice reprezintă obiecte cu forme regulate, iar prin intermediul Transformatei Fourier Inverse (TFI) reconstrucția este foarte simplă.

În urma experimentelor [13][19] realizate s-a constatat că în scopul aproximării dimensiunii și a formei unui obiect nu este necesară utilizarea tuturor armonicilor și în plus, prima valoare din setul armonicilor este media razelor obiectului analizat.

În consecință, la intrarea în Blocul de analiză și interpretare a informației (BAI) în vederea clasificării dimensionale și a stabilirii integrității produselor din

imaginile achiziționate a fost **directionat** un vector cu primele 16 armonici ale vectorului histogramă împreună cu raza normalizată  $r_g$ .

O parte din codul-sursă scris pentru generarea caracteristicilor de formă și dimensiune, precum și transmiterea lor către BAI este:

```

contur8=handles.contur8;
nrx=0;
nry=0;
nu=0;
for i=1:lin
    for j=1:col
        if contur8(i,j)~=0
            nrx=nrx+i;
            nry=nry+j;
            nu=nu+1;
        end;
    end;
end;
xg=nrx/nu; yg=nry/nu;
set(handles.edit5,'string',xg);
set(handles.edit6,'string',yg);
k=0;
for i=1:lin
    for j=1:col
        if contur8(i,j)>0
            k=k+1;
            R(k)=sqrt((i-xg)^2+(j-yg)^2);
        end;
    end;
end;
Rm=0;
for i=1:k
    Rm=Rm+R(i);
end;
set(handles.edit7,'string',Rm);
Rm=(Rm/k);
for i=1:k
    Rn(i)=R(i)/Rm;
end;
set(handles.edit8,'string',Rn);
trn=fft2(Rn);
x=imhist(uint8(abs(real(trn))));
u= handles.edit1;
for i=1:u
    y(i)=x(i);
end;
u1= handles.edit2;
for i=1:16
    q(i)=x(i);
end;

```

Validarea algoritmilor s-a realizat cu ajutorul unui program original, realizat în acest scop numit **Analizor Dimensiuni** (AD) prin utilizarea de bile din material plastic, tomate și mere. [14]

#### 8.4. Proiectarea și realizarea algoritmului de generare a descriptorilor culorii

În literatura de specialitate, în special în cadrul instalațiilor de analiză a culorii produselor de natură industrială, dar mai nou și a produselor agricole sunt foarte utilizate tehnicile de apreciere a culorii prin calculul deviației standard și a mediei aritmetice a valorilor pixelilor din produsul inspectat.[51][52]

Pentru testarea performanțelor acestor tehnici în raport cu cerințele impuse de clasificarea produselor vegetale pentru aplicația dezvoltată în teză, se utilizează histograma normalizată a imaginii achiziționate obținută din relația 8.16.

$$H(i) = \frac{h(i)}{n} \quad (8.17)$$

unde:

$n = N \times M$  – numărul total de pixeli din imagine;

$h(i)$  = histograma imaginii achiziționate;

$i$  = numărul total de nivele de gri.

Deoarece, imaginea achiziționată *img* a fost redimensionată pentru a putea fi utilizată în domeniul frecvenței, rezultă că  $N=M=256$ .

După segmentare, media  $m$  și deviația standard  $\sigma_i$  pentru nivelele de gri aparținând fructelor și legumelor din imagini au fost calculate cu relațiile:

$$m = \sum_{i=0}^{G-1} iH(i) \quad (8.18)$$

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{i=0}^{G-1} (i - m)^2 H(i)} \quad (8.19)$$

unde:

$G$  – este numărul total de nivele de gri pe porțiunea de histogramă considerată;

$H$  – porțiunea de histogramă ce corespunde produselor analizate.

*Totuși, în cadrul testelor efectuate pe produse agricole s-a observat că deși cele două tehnici sunt ușor de implementat și destul de rapide în execuție, în cazul modificării intensității de iluminare sau a apariției unor umbre sau străluciri pe suprafața produselor analizate, aceste tehnici conduc la rezultate eronate. [19]*

Din acest motiv, a fost proiectat și realizat un alt algoritm de clasificare după culoare, bazat pe calculul mediei histogramei. [18]

În acest scop pentru generarea parametrilor de apreciere a culorii se pargurg următoarele etape:

**Etapa 1.** Segmentarea imaginilor achiziționate în scopul identificării produselor supuse clasificării pe baza histogramei dată de relația 7.16;

**Etapa 2.** Identificarea valorii maxime **MAX1** din porțiunea de histogramă, dată de relația 8.20, corespunzătoare fructului sau legumei de analizat și a valorii vectorului abscisă **X** corespunzătoare lui **MAX1**, precum și media valorilor pixelilor din imediata vecinătate a valorii maxime;

$$H(i) = \frac{h(i)}{n} \quad (8.20)$$

$$n' = n - n_f \quad (8.21)$$

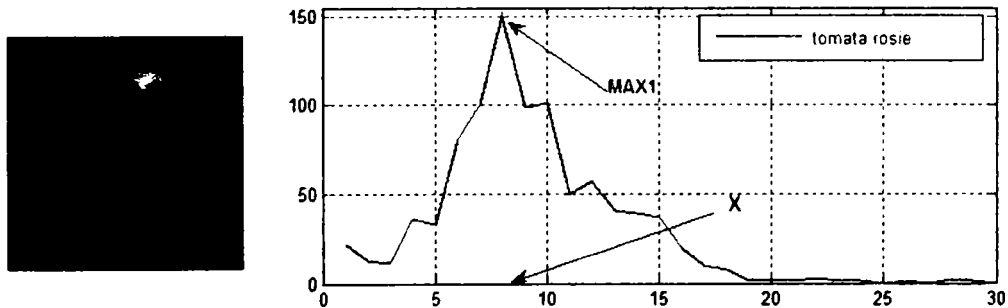
$$MAX1 = \max\{H(x_i)\}; i = \overline{1, Cg - 1} \quad (8.22)$$

unde:

- x – este nivelul de gri cuprins 0.5 și Cg;
- n – numărul de pixeli din imaginea achiziționată;
- n<sub>f</sub> – numărul de pixeli aparținând fundalului;
- n' – numărul de pixeli din zona corespunzătoare produselor analizate.

**Etapa 3.** Direcționarea parametrilor **MAX1** și **X** obținuți pentru fiecare imagine achiziționată, către BAI în scopul interpretării.

Astfel, valoarea **X** indică culoarea preponderentă a fructului, iar **MAX1** frecvența de apariție a acesteia așa cum se observă și din figura 8.4.1..



**Fig. 8.4.1.** Variația culorii preponderente pentru tomatele coapte – roșii

Atât valoarea lui **X** cât și valoarea lui **MAX1** au fost determinate prin teste, pentru fiecare clasă de produse supuse analizei: fructe coapte, fructe coapte intermediar și fructe roșii, (fig. 8.4.2.), domeniile de variație corespunzătoare fiecărei clase fiind prezentate în Tabelul 9.1

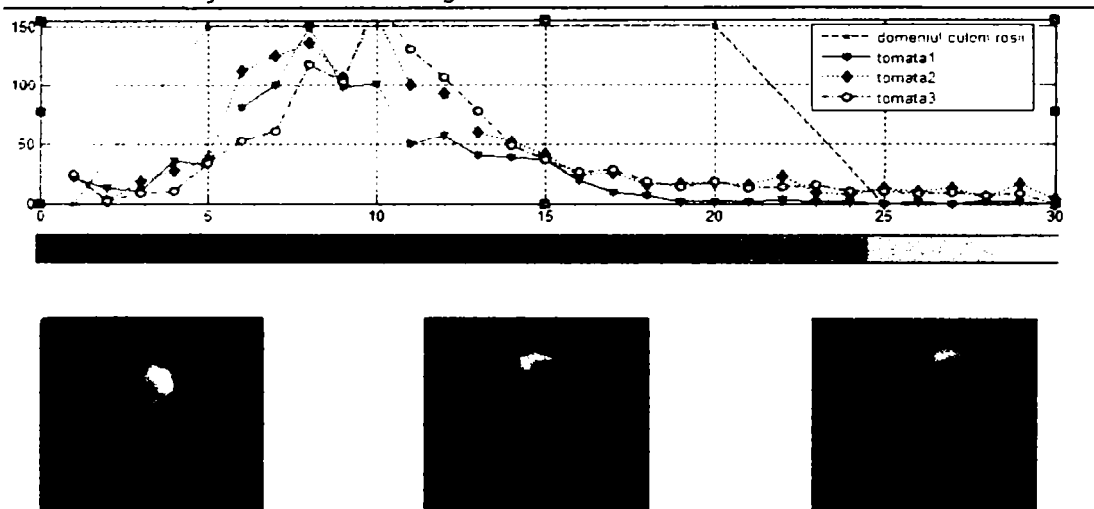


Fig. 8.4.2. Domeniul de variație al tomatelor coapte - roșii

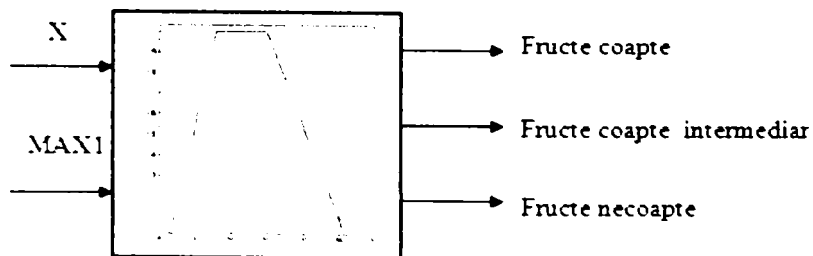
Tabelul 8.1. Domeniile de variație ale categoriilor de tomate analizate

CLASA	DOMENIUL DE VARIATIE
ROȘU	0,5-24,9
ROZ	25-55,9
VERDE	56-90

În timpul testelor sau utilizat bile din material plastic, mere și tomate de diferite mărimi, forme și culori.

Valoarea **MAX1**, valoarea vectorului abscisă **X** corespunzătoare lui **MAX1** și media pixelilor din jurul lui **X** permit pe lângă aprecierea culorii și a omogenității acesteia. Ca urmare aceste valori au fost direcționate către BAI așa cum se poate observa și din figura 8.4.3..

Fig. 8.4.3. Schema blocului de analiză a culorii



Testele au confirmat faptul că algoritmul dezvoltat este simplu, rapid și foarte eficient.

De asemenea, având în vedere gradul ridicat de variație al parametrilor urmăriți, algoritmul furnizează rezultate bune dacă pentru analiza descriptorilor culorii se utilizează tehnici de clasificare din domeniul **Inteligenței Artificiale** în locul algoritmilor *decizionali clasici*. [18][19]

## CAPITOLUL 9

### Proiectarea Blocului de analiză și interpretare a informațiilor utile din imagini

#### 9.1. Preliminarii

După identificarea caracteristicilor de interes din imagini, acestea sunt supuse unor operații de analiză și interpretare a rezultatelor, în raport cu cerințele aplicației. Chiar dacă în cazul aplicației dezvoltate în teză numărul de sorturi propus a fi obținut este relativ mic, complexitatea algoritmilor de analiză și interpretare a caracteristicilor acestora, rezidă din domeniul de variație al acestora, care în cazul fructelor și legumelor este foarte mare.

În aceste condiții utilizarea unui algoritm de succes din domeniul analizei produselor industriale, sau adaptarea lui nu este recomandată. De regulă în cazul aplicațiilor industriale se utilizează algoritmi clasici, care necesită elaborarea unui model matematic (logic, lingvistic) al acesteia.

În cazul analizării fructelor și legumelor parametrii variază în limite foarte largi chiar în cazul aceleiași șarje de produse, în funcție de timpul trecut de la recoltare, de locul și condițiile depozitării.[34][39] Utilizarea tehnicilor de clasificare tradiționale, indiferent de puterea de calcul avută la dispoziție, nu furnizează cele mai bune soluții. În plus, nici nu se cunosc întotdeauna limitele de variație ale domeniului corespunzător fiecărei clase.

Din aceste motive, pentru clasificarea fructelor și legumelor s-au dezvoltat algoritmi de clasificare bazați pe modelele ale **inteligenței artificiale**, precum *logica Fuzzy* și *modelele conexioniste – rețele neuronale*. [20]

Acestea sunt cunoscute ca modele dominante ale *inteligenței artificiale* cu ajutorul cărora își găsesc rezolvarea o varietate largă de probleme științifice sau ingineresti. Spre deosebire de mașinile Von-Neuman, care se caracterizează prin existența unei unități procesoare care execută instrucțiuni stocate în memorie, modelele *inteligenței artificiale*, precum *rețelele neuronale*, se bazează pe un model conexionist. Acest lucru presupune că informația nu mai este stocată în zone bine precizate, ca în cazul calculatoarelor standard, ci este memorată difuz, în toată rețeaua. Dar principalul avantaj al modelelor conexioniste constă în capacitatea acestora de a învăța din exemple. *Având în vedere complexitatea problemelor de clasificare ridicate de legume și fructe, datorită numărului mare de parametri dar și domeniului larg de variație al acestora, dezvoltarea unor astfel de algoritmi de clasificare folosind tehnici din domeniul inteligenței artificiale devine recomandabilă.* [18][99][107]

În plus, dat fiind gradul ridicat de volatilitate al parametrilor urmăriți în cazul clasificării legumelor și fructelor, când limitele claselor de separare trebuie setate de la șarjă la șarjă, chiar și în cazul aceluiași soiuri și specii, utilizarea tehnicilor de clasificare tradiționale devenind ineficientă și necesitând timpi îndelungați. [20][47]

În cazul utilizării tehnicilor de clasificare din domeniul *inteligenței artificiale*, procesul trebuie precedat de o fază de pregătire, în care cu ajutorul unui program special realizat, se identifică limitele de variație pentru fiecare clasă în parte, după care valorile astfel obținute sunt folosite pentru a seta parametrul aplicației AI.

Principalele erori care pot să apară în procesul de clasificare sunt:

- **erori de citire** a parametrilor urmăriți în perioada de pregătire;
- **erori de transfer** ce apar la transmiterea valorilor obținute în perioada de pregătire către aplicația de clasificare;
- **erori conceptuale** care se referă la folosirea unui set de produse destinat pregătirii incorect selecționat;

Utilizarea tehnicilor tradiționale de clasificare necesită timp de pregătire mare, resurse de calcul pe măsură, sunt foarte rigide, iar prezența oricărei din erorile de mai sus conduce la o clasificare incorectă.

În cazul utilizării modelelor conexioniste primele două tipuri de erori sunt excluse, iar eroarea conceptuală poate fi minimizată drastic prin utilizarea unui set de antrenament corespunzător ales. Capacitatea de învățare din exemple în faza de antrenament a acestor modele, le va permite să trateze cazuri similare în faza de lucru și ca urmare se obține o precizie mai bună.

Din aceste considerente, dar și datorită numărului mare de descriptori ai formei ce trebuie analizați, așa cum reiese din paragraful 8.3.2., pentru aprecierea integrității fructelor și legumelor a fost dezvoltat un algoritm bazat pe o rețea neuronală.

Deoarece aprecierea culorii fructelor și legumelor, așa cum reiese din paragraful 8.4., presupune analiza a doar doi parametri **X** și **MAX1**, utilizarea unei rețele neuronale pentru algoritmul de clasificare, ar complica inutil algoritmul conducând la timpii suplimentari atât în faza de antrenament cât și pentru procesul de clasificare. Din aceste considerente, pentru clasificare a fost dezvoltat un algoritm bazat pe logica Fuzzy ce stabilește gradul de apartenență a fiecărui produs analizat la un număr de clase prestabilite.

## 9.2. Tehnici de analiză și apreciere a integrității produselor vegetale pe baza caracteristicilor de formă

Forma este una dintre caracteristicile cele mai importante în aprecierea calității legumelor și fructelor, iar pe baza parametrilor de formă transmiși către BAI se poate aprecia atât *integritatea* fructelor și legumelor analizate cât și *dimensiunea* acestora.

Algoritmul de clasificare realizat a fost dezvoltat pe baza rețelelor neuronale. O rețea neuronală este formată din mai mulți neuroni, fiecare neuron putând să aibă o ieșire și mai multe intrări. Fiecare intrare este ponderată cu o anumită pondere care este reprezentată de un scalar. Un neuron are două funcții, prima funcție realizează adunările termenilor de intrare ponderați, iar a doua funcție realizează activarea ieșirii. De alegerea funcției de activare depinde aplicabilitatea rețelei. [123][131]

Precizia rețelei este dată de performanțele setului de antrenament, iar condiția de oprire a rețelei poate fi una din următoarele: [24][87][132]

- număr prestabilit de pași;
- eroarea medie pătratică globală scade sub un anumit prag;



- numărul de erori de clasificare pentru setul de antrenare este zero.

Pentru analiza integrității structurale a fructelor și legumelor analizate se are în vedere că la intrarea BAI se aplică 16 parametri (descriptorii formei), iar la ieșire fructele și legumele trebuie clasificate în două clase: *bune* și *substandard*.

Din acest motiv rețeaua neuronală dezvoltată are 16 neuroni pe stratul 1 și 2 neuroni pe stratul 3, așa cum se poate vedea și din structura rețelei proiectate prezentată în figura 9.2.1.[20]

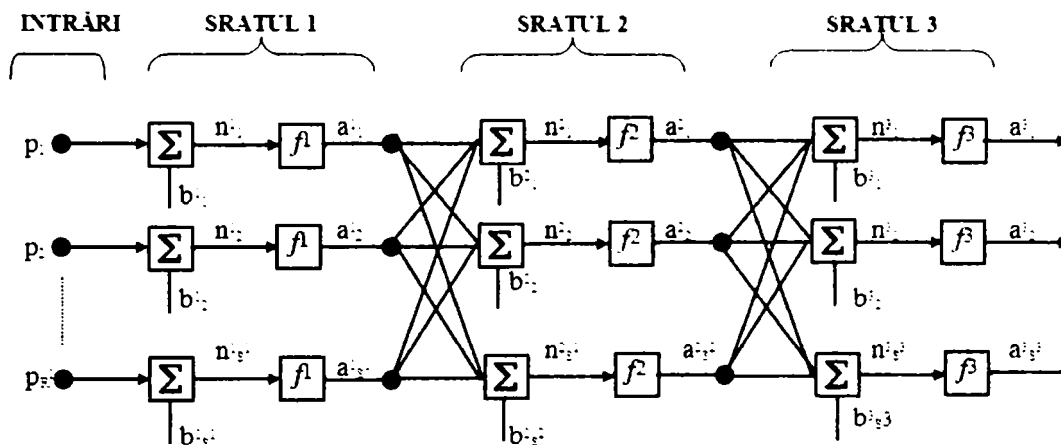


Fig. 9.2.1. Structura rețelei cu trei straturi aleasă pentru stabilirea integrității fructelor și legumelor analizate

$$a^1 = f^1(IW^{1,1}p + b^1); \quad (9.1)$$

$$a^2 = f^2(LW^{2,1}a^1 + b^2); \quad (9.2)$$

$$a^3 = f^3(LW^{3,2}a^2 + b^3); \quad (9.3)$$

unde:

- $IW^1$  = matricea ponderilor pe stratul de intrare;
- $LW^2, LW^3$  – matricea ponderilor pe fiecare strat;
- $p_j$  – intrările rețelei neuronale reprezentate de cei 16 descriptorii ai formei,  $j=1..R_1$ ;
- $R_1$  – numărul total de intrări, 16;
- $S^i$  – numărul de neuroni de pe fiecare strat;
- $i$  – numele stratului;  $i=1,2,3$ ;
- $n^1, n^2, n^3$  – intrările nete;
- $b^1, b^2, b^3$  – bias;
- $a_s^i$  – ieșirile pe fiecare neuron;
- $f_i$  – funcția de activare pentru fiecare strat.

Ținând cont că rolul algoritmului este de clasificare, pe baza testelor și încercărilor realizate, funcția de activare a fost aleasă de tip *tangentă hiperbolică* (9.4) pentru primele două straturi și de tip *sigmoid* (9.5) pentru stratul al treilea:

$$f(v) = \frac{1}{1 + e^{-qv}}, \quad (9.4)$$

$$f(v) = \frac{1 - e^{-2v}}{1 + e^{-2v}}; \quad (9.5)$$

unde:

$q$  = constantă;

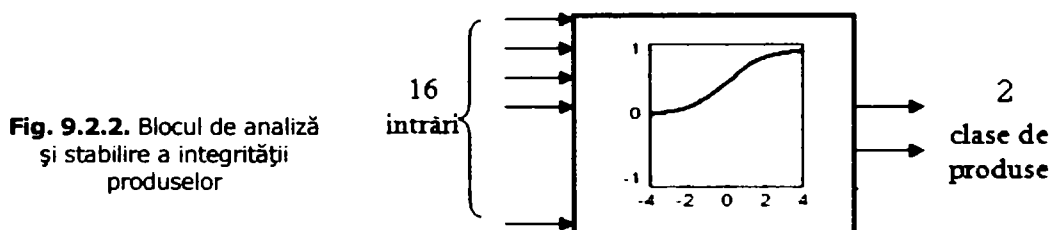
$v$  = potențial de activare;

$\theta_i$  = valoarea pragului de activare;

Potențialul de activare al funcție de activare este dat de diferența dintre intrarea netă și valoarea pragului de activare:

$$v_i = n_i - \theta_i \quad (9.6)$$

Blocul de analiză și stabilire a integrității produselor analizate va fi reprezentat simplificat ca în figura 9.2.2



**Fig. 9.2.2.** Blocul de analiză și stabilire a integrității produselor

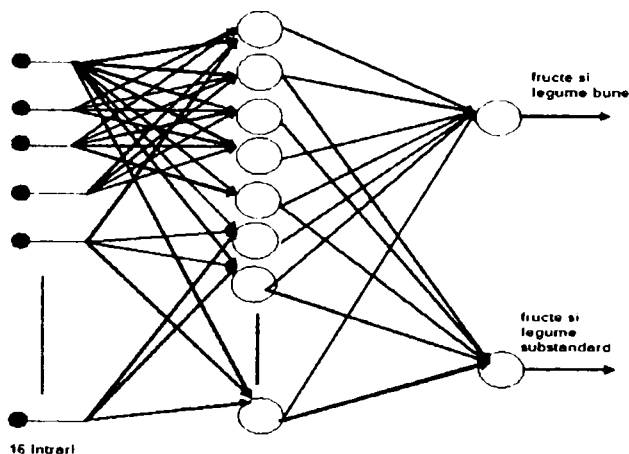
Pentru stabilirea optimă a numărului de neuroni din stratul ascuns, s-au realizat mai multe teste și încercări urmărindu-se: acuratețea clasificării, numărul de produse utilizate pentru antrenament, dar și timpul necesar antrenării rețelei algoritmului de clasificare.

Obiectivul antrenării rețelei este de a ajusta ponderile astfel încât aplicarea unui set de intrări să producă ieșirea dorită. Antrenarea asignează fiecărui vector de intrare un vector pereche numit vector țintă, iar algoritmul de antrenare ales este **backpropagation**. Acesta presupune parcurgerea următorilor pași:

- setarea ponderilor și a offseturilor nodurilor la valori aleatoare mici ;
- se aplică un vector intrare și se specifică ieșirile. Ieșirile sunt setate la zero cu excepția ieșirii corespunzătoare intrării care se setează la „1”;
- se calculează ieșirile actuale folosind neliniaritatea sigmoidală a funcției de activare ;
- se modifică valorile ponderilor ;
- se repetă pasul doi.

Algoritmul a fost setat să se oprească atunci când eroarea scade sub o anumită valoare, iar din acest moment rețeaua este folosită pentru recunoaștere. Structura rețelei neuronale aleasă, cu algoritm de clasificare de tip **backpropagation** este prezentată în figura 9.2.3.

Fig. 9.2.3. Structura rețelei neuronale dezvoltate



Ieșirile pe cei doi neuroni au fost setate în modul următor :

- fructe și legume bune – [1 0] ;
- fructe și legume substandard – [0 1] ;

Aprecierea performanței rețelei a fost realizată prin utilizarea unor seturi de antrenare formate din tomate și mere.

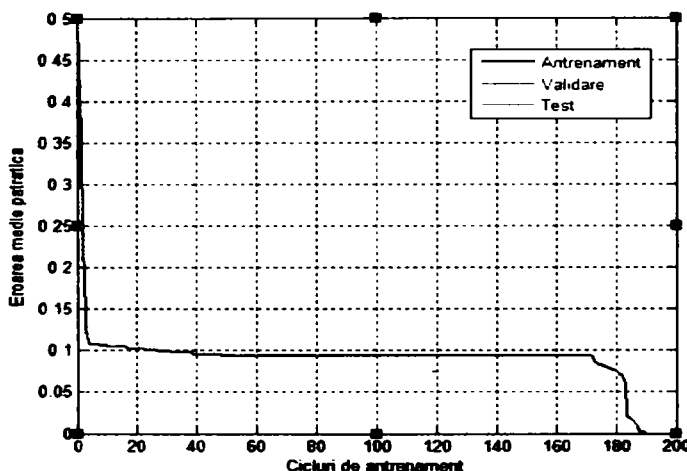
În prima fază, pentru „antrenament” s-a ales un set de 25 de tomate din soiul Productiva, dintre care 20 într-o perfectă stare de sănătate din punct de vedere al integrității și 5 prezentând serioase defecte de integritate (părți lipsă), iar apartenența tomatelor la cele două clase bune și substandard a fost realizată de un operator uman. Rețeaua neuronală a fost „antrenată” cu acest set până când eroarea medie pătratică globală a ajuns sub 0,0001. Așa cum reiese și din rezultatele prezentate în tabelul 9.1. ce indică acuratețea și precizia procesului de antrenare și clasificare în raport cu numărul de pași, s-a optat pentru o rețea neuronală cu trei straturi, iar pentru stratul intermediar s-au ales 24 de neuroni.[18]

**Tabelul 9.1.** Acuratețea și precizia procesului de antrenare și clasificare a tomatelor în raport cu structura rețelei

Structura rețelei	Nr. de pași	Precizia setului de antrenare	Precizia clasificării
16-4-2	1190	100%	100%
16-6-2	1240	100%	100%
16-8-2	1400	100%	100%
16-10-2	1100	100%	100%
16-12-2	1110	100%	100%
16-14-2	1250	100%	100%
16-17-2	1040	100%	100%
16-20-2	1010	100%	100%
16-22-2	940	100%	100%
16-24-2	820	100%	100%
16-26-2	970	100%	100%
16-28-2	1150	100%	100%

De asemenea, în cazul în care stratul intermediar are în componență 24 de neuroni eroarea pătratică medie obținută este 0, în condițiile în care precizia impusă este 0,0001, așa cum reiese și din figura 9.2.4.

**Fig. 9.2.4.** Variația erorii pătrate medii în raport cu ciclurile de antrenament pentru o rețea neuronală cu 24 de neuroni pe stratul intermediar

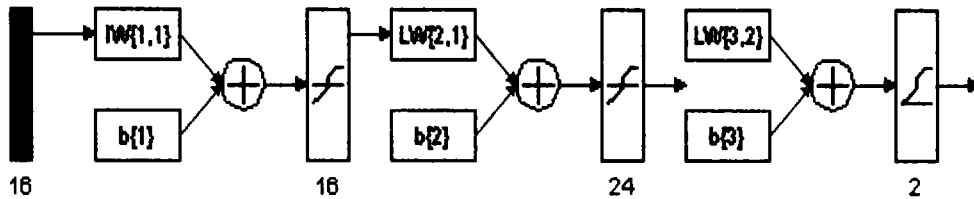


Pentru testarea merelor, în faza de „antrenament” s-a ales un set format din 25 de mere de diferite dimensiuni din soiul Delicious Auriu. Dintre acestea 20 de mere nu prezentau nici un fel de defect de integritate și 5 mere conținând defecte de integritate constând în părți lipsă. Apartenența merelor la cele două clase a fost apreciată de un operator uman, iar rețeaua neuronală a fost antrenată până când eroarea medie pătratică globală a ajuns sub 0,0001. Așa cum reiese și din datele prezentate în tabelul 9.2. care indică acuratețea și precizia procesului de „antrenare” și clasificare în raport cu numărul de pași, rezultatele optime s-au obținut pentru tot pentru o rețea neuronală cu un strat intermediar format din 24 de neuroni.

**Tabelul 9.2.** Procesul de antrenare și clasificare a merelor în raport cu structura rețelei

Structura rețelei	Nr. de pași	Precizia setului de antrenare	Precizia impusă
16-4-2	1190	100%	0,0001
16-6-2	1240	100%	0,0001
16-8-2	1400	100%	0,0001
16-10-2	1100	100%	0,0001
16-12-2	1110	100%	0,0001
16-14-2	1250	100%	0,0001
16-17-2	1040	100%	0,0001
16-20-2	1010	100%	0,0001
16-22-2	940	100%	0,0001
16-24-2	820	100%	0,0001
16-26-2	970	100%	0,0001
16-28-2	1150	100%	0,0001

În consecință, în urma testelor și încercărilor realizate, pentru stabilirea integrității formei produselor analizate a fost propus un algoritm de clasificare pe baza rețelelor neuronale a cărei schemă bloc este reprezentată în figura 9.2.5.



**Fig. 9.2.5.** Schema bloc a algoritmului de stabilire a integrității produselor pe baza analizei formei

Și în cazul tomatelor și a merelor cercetările efectuate au reliefat faptul că o rețea cu trei straturi și 24 neuroni pe stratul ascuns furnizează cele mai bune rezultate și totodată permite obținerea unui timp de antrenament mult redus.

### 9.3. Tehnici de analiză și clasificare a produselor după culoare utilizând logica Fuzzy

Așa cum reiese din paragraful 8.4., după stabilirea valorilor descriptorilor culorii produsului de analizat, **MAX1** și **X**, acestea vor fi transmise către BAI, iar în funcție de aceste valori produsul respectiv v-a fi clasificat ca aparținând uneia din cele trei clase:

- fructe și legume roșii - coapte;
- fructe și legume roz - coapte intermediar;
- fructe și legume verzi - necoapte.

Clasificarea presupune procesul de stabilire a apartenenței unui produs la una din cele trei clase amintite, pentru care s-a utilizat conceptul de **mulțime Fuzzy**.

Aceasta presupune că între apartenența unui obiect la o clasă (mulțime) și nonapartenență există o serie de situații tranzitorii, de natură continuă, caracterizate de așa-numitele **grade de apartenență**. Astfel, valorile 0 și 1 reprezintă cel mai mic, respectiv cel mai mare grad de apartenență a unui obiect la o clasă. [127][129]

Valorile obținute în timpul procesului de identificare a domeniilor pentru fiecare clasă de produse au fost inițial utilizate în implementarea unei funcții de apartenență triunghiulară:

$$m(x) = \begin{cases} (x-a)/(c-a) \\ 1-(x-c)/(b-c) \end{cases} \quad (9.7)$$

$$a \leq x \leq c; \quad c < x \leq b; \quad (9.8)$$

unde:

a,b,c – puncte de discontinuitate ale funcției.

Considerând valorile din tabelul 9.1 pentru clasa tomate roșii și relațiile (9.7) și (9.8) obținem:

$$a=0,5; b=24,9; \tag{9.9}$$

și deci,

$$a \leq c \leq b; \tag{9.10}$$

unde:

$a, b$  - limitele domeniului de variație a culorii pentru clasa tomate roșii;

$c$  - nuanța pentru care funcția de apartenență este 1.

În cazul în care  $c$  este în mijlocul domeniului  $ab$  relația (10.7) devine:

$$m(x) = 1 - 2 \frac{|x - c|}{b - a} \tag{9.11}$$

O astfel de funcție de apartenență are întotdeauna o înălțime unitară, ceea ce impune ca pentru fiecare clasă de fructe sau legume să existe o valoare a culorii acestora pentru care gradul de apartenență la aceste clase să fie maxim, adică 1.

Testele și experimentele realizate au evidențiat faptul că în cazul legumelor și fructelor, a căror culori variază foarte mult, este impropriu să se aleagă o singură valoare de roșu, roz sau verde și din acest motiv, pentru algoritmul de clasificare a fost aleasă o funcție de apartenență de tip trapezoidal. [18]

$$m(x) = \min \left[ 1, h_t \left( 1 - 2 \frac{|x - c|}{b - a} \right) \right], \tag{9.12}$$

unde:

$h_t$  - înălțimea trapezului,  $h_t > 1$ ;

$a, b, c$  - puncte de discontinuitate ale funcției;

La alegerea unei astfel de funcții de apartenență a contribuit și modul de distribuire a valorilor culorilor corespunzătoare fiecărei clase de produse analizate din tabelul 9.1.

O funcție de apartenență triunghiulară limitează drastic domeniile sorturilor, motiv pentru care poate fi utilă în clasificarea după culoare a acelor produse în care valoarea culorii trebuie să fie strictă, precum în cazul produselor de proveniență industrială.

În figura 9.3.1. este prezentată diagrama algoritmului propus pentru procesul de separare a fructelor și legumelor după culoare pe baza logicii Fuzzy. [19]

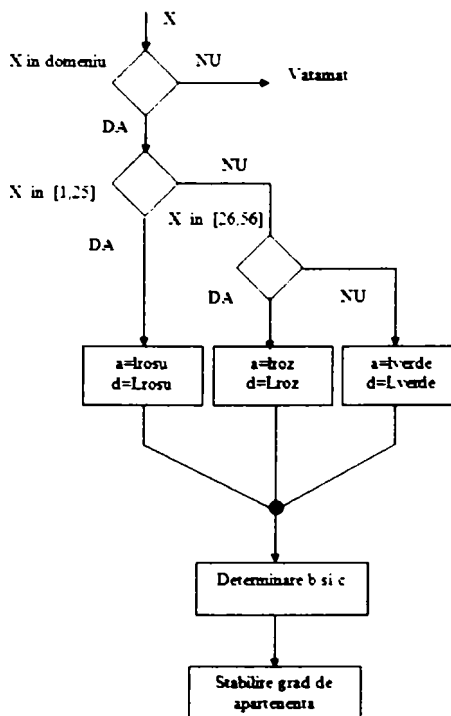


Fig. 9.3.1. Algoritmul de stabilire a culorii

Pentru a stabili *apartenența* unui produs la una din clasele considerate pe baza evaluării *descriptorilor culorii* trebuie parcurși următorii pași:

**Pasul 1.** Se verifică dacă **X** este în afara domeniului de nuanțe [1,90] și dacă da, atunci se consideră produs vătămat și în consecință trebuie create condițiile de eliminare din flux. În caz contrar se verifică cărui subdomeniu din cele trei considerate aparține;

**Pasul 2.** Variabilele *a* și *d* primesc valorile maxime ale clasei de produse stabilite la pasul 1, conform tabelului 8.1.;

**Pasul 3.** Se determină valorile variabilelor *b* și *c* ca fiind ultimele valori ale nuanțelor din domeniu pentru care gradul de apartenență la clasa respectivă este 1 (maxim).

**Pasul 4.** Se stabilește gradul de apartenență al produsului analizat la clasa respectivă pe baza analizei culorii.

În consecință, schema-bloc a algoritmului proiectat pentru analiza culorii este reprezentată în figura 9.3.1.



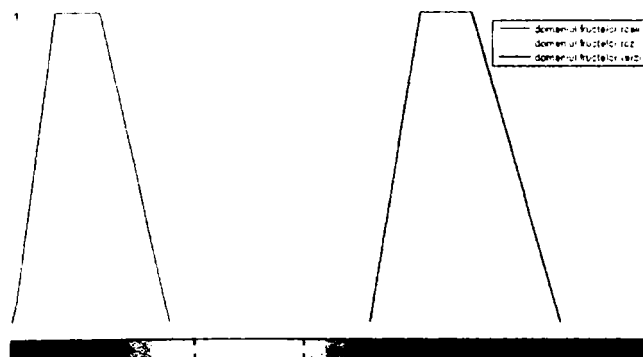
**Fig. 9.3.1.** Schema bloc a algoritmului proiectat pentru analiza culorii

În vederea stabilirii domeniului de variație aparținând fiecăreia din cele trei clase sau ales 30 de produse, câte 10 pentru fiecare clasă și prin experiențe s-au stabilit limitele de variație pentru fiecare clasă.

Apartenența tomatelor la cele trei clase s-a realizat de către un operator uman, iar pe baza rezultatelor obținute s-a realizat o diagramă a culorilor ce a fost utilizată în procesul de clasificare.

Astfel, prin experiențe repetate s-au stabilit valorile lui **X** din vectorul abscisă pentru care gradul de apartenență la fiecare clasă este maxim, și valorile **MAX1** corespunzătoare acestora. (fig. 9.3.2.)

**Fig. 9.3.2.** Domeniile de variație ale culorii corespunzătoare fiecărei clase



Așa cum se observă din figura 9.3.2. limitele de variație au fost extinse la maxim, dat fiind numărul mic de clase luate în considerare. În plus, algoritmul propus permite ușor obținerea pentru fiecare clasă a încă două subclase. De exemplu pentru clasa - tomate coapte (roșii) se pot obține: tomate roșii închis, tomate roșii, tomate roșii deschis.

Algoritmul de analiză a culorii propus permite pe lângă clasificarea după culoare și stabilirea gradului de sănătate al produsului, identificarea unor eventuale pete datorate vătămărilor, bolilor sau dăunătorilor, dar și o analiză a omogenității culorii produselor.

Pentru stabilirea gradului de sănătate, cu ajutorul aplicației **Analizor Imagini** (AI) s-a încercat identificarea domeniilor de variație a culorilor corespunzătoare petelor datorate bolilor, dăunătorilor, condițiilor atmosferice, vătămărilor mecanice atât pentru tomate cât și pentru mere.

În timpul testelor s-au analizat variațiile de nuanță pentru 20 de tomate și 20 de mere al căror grad de vătămare varia de la ușor vătămat până la grav vătămat. Algoritmul propus pentru identificarea gradului de sănătate pe baza culorii este o variație a algoritmului de identificare a clasei produsului pe baza culorii, cu deosebirea că în cazul în care se identifică anumite pete pe suprafața fructului analizat acesta va fi declarat automat vătămat.

Pentru a crește siguranța algoritmului s-au realizat și teste de identificare a culorii din zona codiței atât la tomate cât și la mere astfel încât să nu existe confuzii între aceste zone și petele datorate vătămărilor.

Aceste teste (fig. 9.3.3.) au evidențiat faptul că nuanțele din zona codiței atât la mere cât și la tomate sunt diferite în totalitate de nuanțele întâlnite în cazul vătămărilor studiate, iar astfel de confuzii sunt imposibile

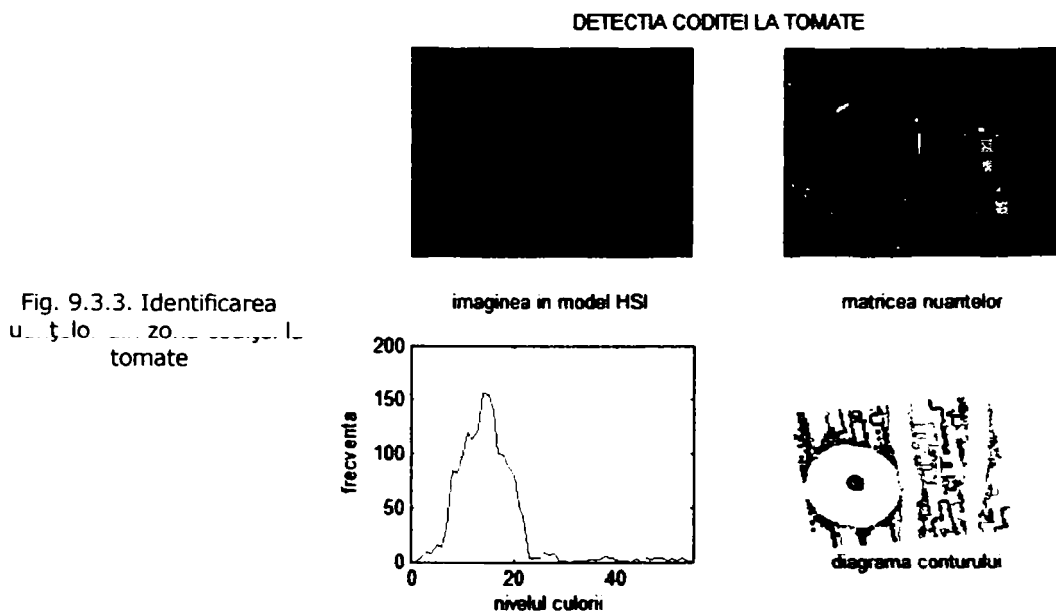


Fig. 9.3.3. Identificarea  
imaginei în zona codiței  
tomate

Deși algoritmul permite inclusiv stabilirea gradului de vătămare și chiar a tipului de vătămare până la un anumit nivel, în cazul aplicației el a fost setat să precizeze doar dacă produsul analizat este vătămat sau nu.



### 9.4. Tehnici de analiză și clasificarea dimensională a produselor vegetale utilizând logica Fuzzy

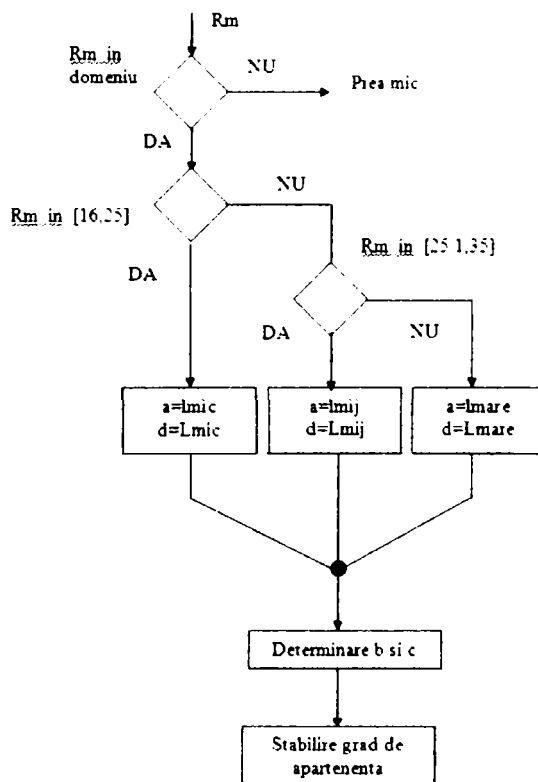
Așa cum reiese și din paragraful 8.3.2., în scopul sortării dimensionale, valoarea **razei medii normalizate** calculată în timpul procesului de stabilire a SF de analizat, va fi transmisă către BAI. În funcție de valorile acesteia produsul a fost atribuit uneia din cele trei clase: [14][19]

- fructe și legume mici;
- fructe și legume mijlocii;
- fructe și legume mari.

Și pentru acest algoritm de clasificare, ca și în cazul clasificării după culoare, s-a utilizat conceptul de mulțime Fuzzy, valorile 0 și 1 reprezentând cel mai mic, respectiv cel mai mare grad de apartenență a unui produs la cele trei clase amintite.

În figura 9.4.1. este prezentată diagrama algoritmului propus pentru procesul de separare a fructelor și legumelor după dimensiune pe baza logicii Fuzzy. În cadrul aplicației realizate raza medie normalizată a fost notată cu *Rm*.

**Fig. 9.4.1.** Schema logică a algoritmului de clasificare dimensională utilizând logica Fuzzy



Așa cum se observă și din schema logică a algoritmului de clasificare dimensională, acesta presupune parcurgerea următoarelor etape:[19]

**Etapa 1.** Se stabilesc limitele de variație pentru fiecare din cele trei calibre pe baza *Rm*, prin experiențe repetate utilizând un set de produs din aceeași categorie cu produsele ce urmează a fi clasificate, astfel încât eroarea conceptuală să fie minimă.

**Etapa 2.** Se verifică dacă *Rm* a produsului analizat se găsește în domeniul [18,45] mm pentru tomate și respectiv [15,35] mm pentru mere, iar în caz contrar se creează condițiile de eliminare din flux, produsele fiind considerate sub standard.

**Etapa 3.** Se verifică în ce calibrul s-ar încadra produsul analizat conform *Rm* și identifică variabilele *a* și *d*.

**Etapa 4.** Se determină valorile variabilelor  $b$  și  $c$  pentru care gradul de apartenență a produsului analizat la calibrul respectiv este maxim, adică 1.

**Etapa 5.** Se analizează valoarea lui  $R_m$  și se stabilește gradul de apartenență a produsului analizat la unul din cele trei calibre.

Algoritmul de clasificare proiectat și realizat este destinat produselor cu factor de formă apropiat de 1 și a fost testat și validat prin experiențe cu mere și tomate.

O parte din codul-sursă scris în acest scop este prezentat în continuare.

```
%.....
% calibrare dimensionala
%-----
%.... primul produs.....
contur=wo1;
contur8=uint8(round(contur*255));
figure,imshow(contur8)
nrx=0; nry=0; nu=0;
for i=1:nrlin
    for j=1:nrcol
        if contur8(i,j)~=0
            nrx=nrx+i;
            nry=nry+j;
            nu=nu+1;
        end;
    end;
end;
xg=nrx/nu;
yg=nry/nu;
k=0;
for i=1:nrlin
    for j=1:nrcol
        if contur8(i,j)>0
            k=k+1;
            R(k)=sqrt((i-xg)^2+(j-yg)^2);
        end;
    end;
end;
Rm=0;
for i=1:k
    Rm=Rm+R(i);
end;
Rm=(Rm/k);
for i=1:k
    Rn(i)=R(i)/Rm;
end;
set(handles.edit1,'string',Rm);
trn=fft2(Rn);
x=imhist(uint8(abs(real(trn))));
%.... al doilea produs.....
contur1=wo2;
contur18=uint8(round(contur1*255));
```

```

nrx=0; nry=0; nu=0;
for i=1:nrlin
    for j=1:nrcol
        if contur18(i,j)~=0
            nrx=nrx+i;
            nry=nry+j;
            nu=nu+1;
        end ;
    end;
end;
xg=nrx/nu;
yg=nry/nu;
.....
set(handles.edit3,'string',Rm);
trn=fft2(Rn);
x=imhist(uint8(abs(real(trn))));
optiune=get(handles.popupmenu1,'Value');
if optiune==2
    mici=18;
    mics=27;
    mediui=27.1;
    medius=36;
    marei=36,1;
    mares=45;
elseif optiune==3
    mici=15;
    mics=19;
    mediui=19,1;
    medius=24;
    marei=24,1;
    mares=35;
elseif optiune==4
    helpdlg('Limite neintroduse. Alegeti alta optiune!');
elseif optiune==5
    helpdlg('Limite neintroduse. Alegeti alta optiune!');
end;
if (Rm>=mici) & (Rm<=mics)
    set(handles.edit2,'string','MICA');
    set(handles.activex1,'string',1);
elseif (Rm>=mediui) & (Rm<=medius)
    set(handles.edit2,'string','MIJLOCIU');
    set(handles.activex1,'value',2);
elseif (Rm>=marei) & (Rm<=mares)
    set(handles.edit2,'string','MARE');
    set(handles.activex1,'value',3);
guidata(hObject, handles);

```

Domeniile de variație pentru toate cele trei clase s-au stabilit prin experiențe repetate pe baza analizei valorilor din vectorii histogramelor, iar rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 9.3., atât pentru tomate cât și pentru mere. La stabilirea acestor limite s-a ținut cont și de limitele de variație ale dimensiunii fructelor și legumelor analizate în funcție de soi și specie.

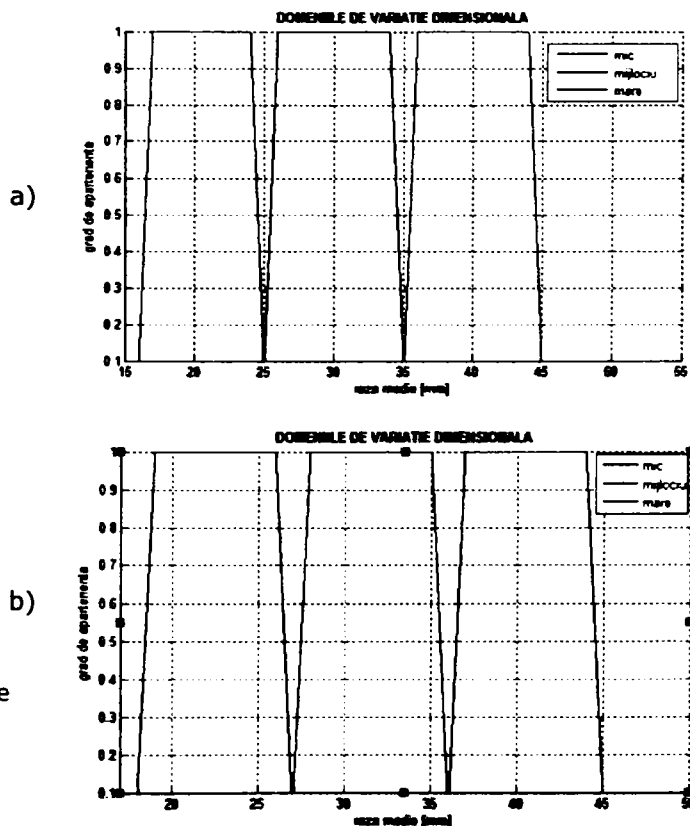
**Tabelul 9.3.** Domeniul de variație dimensională pentru tomate și mere

CLASA	DOMENIUL DE VARIAȚIE	
	TOMATE	MERE
MIC	18-27 mm	15-19 mm
MIJLOCIU	27,1-36 mm	19,1-24 mm
MARE	36,1-45 mm	24,1-35 mm

În vederea stabilirii domeniului de variație dimensională pentru tomate, respectiv mere sau ales 30 de tomate, respectiv mere, câte 10 pentru fiecare clasă și prin experiențe s-au stabilit limitele de variație pentru fiecare clasă.

Apartenența tomatelor și merelor la cele trei clase s-a realizat în prealabil de către un operator uman, iar pe baza rezultatelor obținute s-au realizat diagramele de variație dimensională, figura 9.4.1., ce au fost utilizate în procesul de clasificare. Așa cum se poate observa din domeniile de variație a dimensiunilor atât pentru mere cât și pentru tomate nu există o singură valoare a  $Rm$  pentru care produsele analizate să fie considerate mari, mijlocii sau mici și în consecință pentru acest algoritm a fost implementată o funcție de apartenență trapezoidală:

$$m(x) = \min \left[ 1, h, \left( 1 - 2 \frac{|x - c|}{b - a} \right) \right], \quad (9.13)$$



**Fig. 9.4.2.** Domeniile de variație dimensională ale fiecărei clase  
a) pentru mere,  
b) pentru tomate

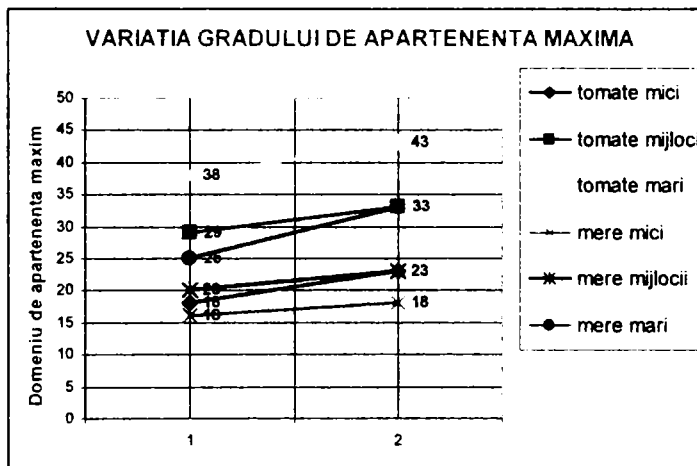
Așa cum se observă și din diagramele din figura 9.4.2. domeniile [b,c] pentru care gradul de apartenență la cele trei clase este maxim este:

- pentru tomate [18,23] – mici; [29,33] – mijlocii; [38,43] – mari;
- pentru mere [16,18] – mici; [20,23] – mijlocii; [25,33] – mari;

Aceste domenii pot varia în limite foarte largi în funcție de specie și soi, de condițiile de mediu și trebuie setate la fiecare nouă șarjă de produse.

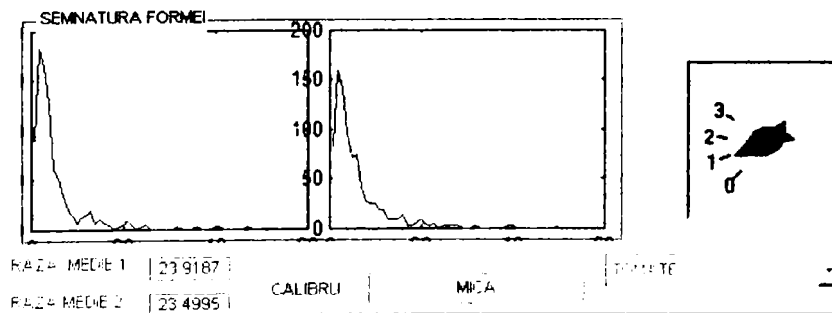
În funcție de setul de produse utilizate pentru experiențe, limitele de variație ale domeniului lui  $Rm$  pentru care gradul de apartenență maxim la unul din cele trei calibre considerate poate să varieze considerabil, precum în figura 9.4.3..

**Fig. 9.4.3.** Domeniul de variație a gradului maxim de apartenență pentru mere și tomate



În urma experimentelor (fig. 9.4.4.) s-a putut observa faptul că deși algoritmul proiectat realizează o redimensionare a imaginilor în scopul creșterii vitezei de lucru, totuși dimensiunile calculate pe baza imaginilor sunt aproximativ aceleași, cu o abatere în minus de maxim 0,3 mm la diametru față de fructele și legumele reale.

**Fig. 9.4.4.** Variația razei medii pentru același produs



Se observă că algoritmul de clasificare proiectat, permite o stabilire mai strictă a domeniile de variație dimensională pentru fiecare calibrul și în plus, pot fi adăugate rapid noi clase suplimentare. Algoritmul poate fi ușor adaptat ca pe baza analizei celui mai lung diametru să permită calibrarea produselor vegetale lungi precum castraveții.

## CAPITOLUL 10

### Proiectarea și testarea aplicațiilor de coordonare a activităților sistemului de calcul

#### 10.1. Specificațiile aplicațiilor

Așa cum reiese și din secțiunea 5.1., SCC este creierul instalației de prelucrare primară proiectate și totodată cea mai importantă componentă a instalației. Activitatea acestuia este coordonată de o aplicație soft denumită **Analizor Imagini (AI)**, care a fost dezvoltată în limbajul Matlab 7.0 R14. și care este bazată pe folosirea tehnicii orientate pe obiecte. Aplicația AI permite aprecierea în timp real a fructelor și legumelor analizate atât în ceea ce privește *gradul de sănătate, culoarea, dimensiunile și comandă a elementele de execuție* reprezentate de MPP. [18]

Pentru îndeplinirea tuturor cerințelor impuse în cadrul tezei, aplicația AI a fost proiectată să realizeze secvențial următoarele **operații**: [22]

- achiziționarea a două imagini ale aceluiași produs de la fiecare din cele două camere video ce alcătuiesc sistemul de vizualizare;
- preprocesarea imaginilor achiziționate în scopul eliminării zgomotelor, dar și a îmbunătățirii calității acestora;
- rularea unor algoritmi de extragere din imagini a unor parametri de formă și culoare, pe baza cărora să se realizeze aprecierea gradului de sănătate, culoarea și dimensiunea produselor analizate.
- comanda elementelor de execuție în baza deciziei algoritmilor de clasificare proiectați.

Funcționarea SCC este supravegheată de un singur operator uman, care urmărește pe ecran produsele supuse analizei și care poate interveni în cadrul procesului atunci când apar suspiciuni asupra corectitudinii interpretării algoritmilor.

De asemenea, s-a avut în vedere și faptul că la ieșirea din zona de inspecție, produsul analizat a fost deja etichetat în ceea ce privește gradul de sănătate, culoare și dimensiune, iar elementul de comandă și control va comanda elementele de execuție pentru a asigura deplasarea acestora către sortul corespunzător.

*Fiecare proces de prelucrare primară a unei noi șarje de produse, trebuie precedată de o etapă de alegere a structurii BP urmată de una de antrenare a algoritmilor decizionali și de stabilire domeniilor de variație pentru fiecare din caracteristicile urmărite.*

În funcție de caracteristicile produselor analizate, cu ajutorul aplicației ACF se identifică operațiile de filtrare optime și se construiește în mod interactiv structura BP, așa cum a fost prezentată pe larg în capitolul 8.

În raport cu particularitățile produselor supuse analizei, enunțate în cadrul paragrafului 2.1., orice operație de prelucrare primară trebuie precedată de o etapă de antrenare a algoritmilor de decizie și de stabilire a domeniilor de variație pentru culoare și dimensiune, precum și de identificare a posibilelor vătămări din șarja respectivă. În acest sens a fost proiectată și realizată o aplicație **Analizor Domeniu (ADO)**.

**Ordinea de execuție** a operațiilor ce trebuie realizate înaintea analizei unei noi șarje de produse, aplicațiile care le realizează și rolul acestora sunt prezentate în figura 10.1.1.

ACTIVITĂȚI			
ȘARJA NIMĂRII L K	ANALIZOR CALITATE FILTRE	ANALIZOR DOMENII	ANALIZOR IMAGINI
		Stabilește structura blocului de preprocesare pentru fiecare șarjă de produse supusă proceselor de prelucrare primară.	Antrenează algoritmi blocului decizional și stabilește domeniile de variație pentru produsele din fiecare șarjă.

**Fig. 10.1.1.** Ordinea activităților de analiză ale unei noi șarje de produse

Chiar dacă caracteristicile procesului de prelucrare primară a legumelor și fructelor impun un grad mare de interactivitate cu operatorul uman, activitatea a fost proiectată să se desfășoare în timpul procesului de pregătire, de antrenament, iar pentru aplicația de comandă AI s-a vizat doar precizia și timpul de lucru.

Având în vedere faptul că validarea algoritmilor de identificare a defectelor, de sortarea după culoare și calibrare dimensională înglobați în aplicația AI este greu de realizat datorită dimensiunilor instalației mecanice, validarea lor s-a realizat pe etape. În acest scop au fost proiectate trei aplicații soft ce au la bază algoritmi dezvoltăți în cadrul tezei: **Analizor Dimensiuni (AD)**, **Analizor Culoare (AC)**, **Analizor Defecte (ADE)**.

În continuare, sunt prezentați pe larg o parte din acești algoritmi cu accent pe structura funcțională în raport cu cerințele impuse în faza de proiectare a acestora și cu rezultatele obținute în urma cercetărilor efectuate. De asemenea, în cadrul Anexei 2 este prezentat codul sursă pentru o parte din acești algoritmi.

## 10.2. Proiectarea și dezvoltarea aplicației Analizor Imagini

În baza particularităților produselor vegetale dar și a cerințelor impuse, proiectarea aplicației AI a fost realizată pe baza diagramelor UML. Diagramele de activități ale procesului, decupate pe culoare sunt prezentate în figura 10.2.1..

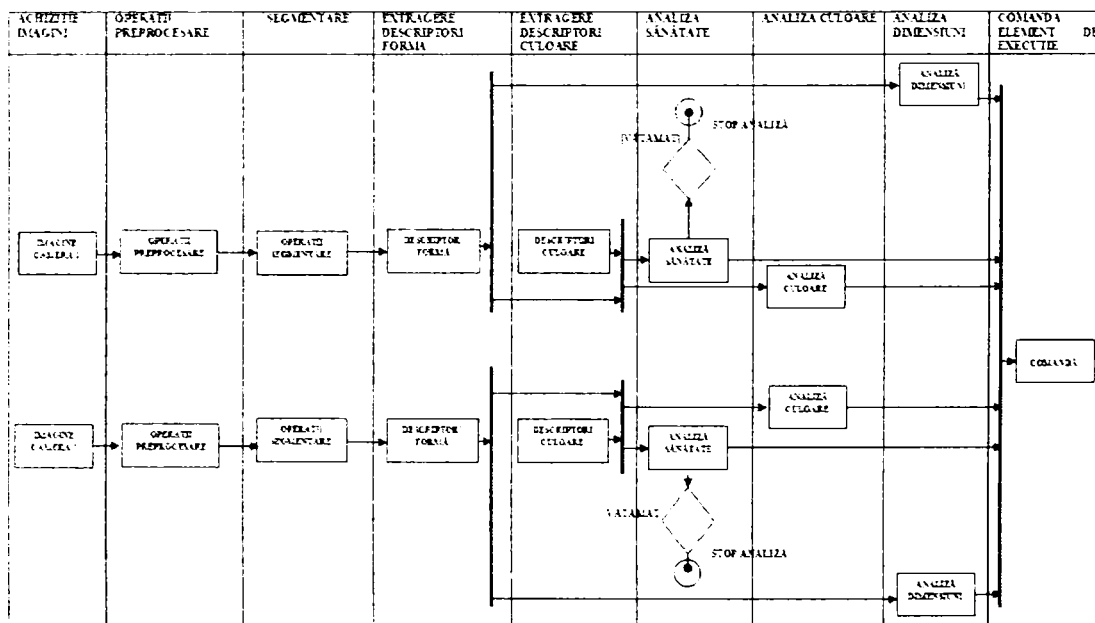


Fig. 10.2.1. Diagrama UML a procesului de comandă pe culoare de activități

Aplicația a fost dezvoltată pe baza diagramei UML având bază **principiul modularității** și cel al **simplității**. **Principiul modularității** este impus de specificul aplicației ce impune modificarea permanentă valorilor diversilor parametrii în funcție de specia și soiul fiecărei șarje, în timp ce **simplitatea** este impusă de condiționarea funcționării în timp real. În acest sens codul sursă al aplicației a fost structurat în mai multe proceduri și funcții ce permit utilizatorilor o depanare ușoară dar și o intervenție rapidă și eficientă acolo unde este cazul.

Din diagramă se poate observa că **algoritmii proiectați au etape comune, sau chiar permit valorificarea aceluiași parametri**, acest lucru permițând obținerea unor reduceri majore a timpilor de analiză necesari fiecărui produs.

Interfața aplicației (fig. 10.2.2.) este foarte simplă, prietenoasă și oferă operatorului ce urmărește procesul un maxim de informații cu privire la culoare, mărime și grad de sănătate, în paralel cu imaginile produsului analizat. Astfel, operatorul are posibilitatea să oprească funcționarea instalației în cazul în care are îndoieli asupra corectitudinii deciziilor aplicației.[19]



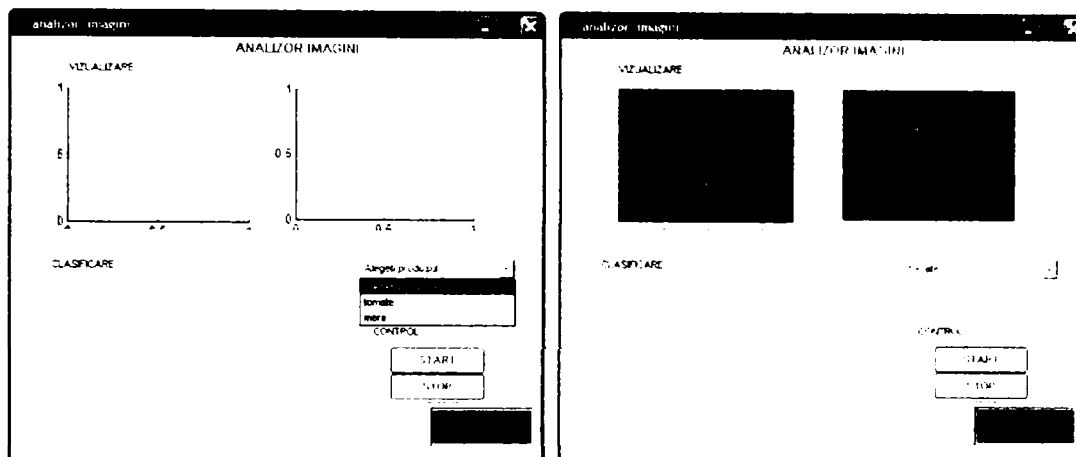


Fig. 10.2.2. Interfața aplicației Analizor Imagini

Așa cum reiese și din paragraful 8.8. aplicația va supune analizei câte patru imagini ale aceluiași produs, două câte două la interval de aproximativ 1 secundă.

Intervalul dintre cele două achiziții ale imaginilor poate fi setat de către utilizator în funcție de viteza transportorului în cadrul funcției „Buton\_Achizitie”.

Cele patru imagini achiziționate sunt supuse operațiilor de îmbunătățire și apoi pe baza descriptorilor de formă și de culoare are loc clasificarea acestora în funcție de gradul de sănătate, culoare și dimensiune. Pentru eficiența algoritmilor aceștia au fost proiectați să ruleze în **domeniul frecvenței** și doar în ultima parte, de luare a deciziilor, se operează în **domeniul spațial**.

Înainte de startul operației de analiză, aplicația impune utilizatorului alegerea unei categorii de produse pentru a stabili limitele parametrilor dimensionali sau de culoare proprii fiecărei categorii de produse, ce vor fi utilizați în timpul actului decizional. Modificarea acestor limite se realizează foarte ușor în cadrul funcției „Categorie\_Produse”. În plus, utilizatorul are posibilitatea de a adăuga rapid noi categorii de produse atunci când se cunosc valorile domeniilor de variație ale parametrilor de interes ale acestora.

Interfața aplicației mai conține și un cronometru digital, pentru a verifica timpul necesar analizei fiecărui produs în parte, precum și un contor al numărului total de produse analizate.

Operatorul instalației are posibilitatea să oprească procesul de analiză prin oprirea totală a procesului, atunci când are dubii asupra deciziei algoritmilor și să salveze acea imagine, ce va fi folosită ulterior în procesul de antrenare și de stabilire a domeniilor de variație în vederea creșterii performanțelor algoritmilor de decizie, în special prin minimizarea erorilor conceptuale.

Algoritmii decizionali sunt prezenți în cadrul funcției „Decizii”, tocmai pentru că valorifică un număr mare parametri comuni, iar rezultatele sunt afișate în casete de editare din zona „Clasificare”.

În baza rezultatelor obținute, se comandă prin intermediul MPP transportul fructelor și legumelor analizate către clasa corespunzătoare. Funcția „Comandă” asigură comanda elementelor de execuție ce a fost astfel concepută încât să permită

adăugarea rapidă de noi elemente de execuție, atunci când este nevoie de modificarea structurii aplicației.

Cronometrul digital realizează cronometrarea operațiilor necesare fiecărui produs analizat, de la achiziția imaginilor acestuia și până la luarea deciziilor și comanda elementelor de execuție.

Așa cum se observă și din figura 10.2.2. aplicația AI prezintă o interfață foarte simplă, nepermițând vizualizarea de către operator a parametrilor în baza cărora se i-au deciziile de clasificare, accentul fiind pus pe acuratețe și viteza de răspuns. Parametrii urmăriți sunt prezentați pe larg în cadrul aplicației ADO, utilizată în timpul etapei de antrenament și de identificare a domeniilor de variație a caracteristicilor pentru fiecare sort în parte.

### 10.3. Contribuții la proiectarea și dezvoltarea aplicației de antrenare Analizor Domenii

Aplicațiile bazate pe inspecția vizuală a produselor și în special a produselor vegetale impun un grad ridicat de interactivitate cu utilizatorul. Această interactivitate se manifestă cu preponderență în partea de antrenament și de identificare a domeniilor de variație pentru culoarea și dimensiunea, corespunzătoare fiecărui sort și calibru. În plus, de corectitudinea identificării acestor domenii de variație sau de calitatea procesului de antrenament depind performanțele procesului de clasificare.

Având în vedere toate aceste premise s-a proiectat și dezvoltat o aplicația ADO care permite identificarea și analiza în timp real a parametrilor de interes pentru procesele de clasificare folosind inspecția video.

Deși este o operație ce se desfășoară în timp real, identificarea corectă a domeniilor de variație corespunzător fiecărei clase este foarte important, motiv pentru care majoritatea parametrilor au fost calculați cu o precizie de până 4 zecimale. De asemenea, aplicația trebuie să pună la dispoziția operatorilor toate informațiile necesare pentru aprecierea corectă a domeniilor de variație, inclusiv a diagramelor privind modul de evoluție a acestor parametri.

Modul de funcționare și structura aplicației este prezentată în diagrama UML din figura 10.3.1. , diagramă ce a stat la baza realizării aplicației.[21]

Din diagrama de activități se observă că spre deosebire de diagrama de activități a aplicației AI, locul algoritmilor decizionali este luat de activități de afișare a parametrilor urmăriți, precum și a diagramelor de evoluție a acestora.

Operatorul va fi informat cu privire la un număr mult mai mare de parametri decât cei care sunt utilizați în algoritmi decizionali. Astfel, el are acces și la o serie de parametri intermediari, pentru o înțelegere mult mai cuprinzătoare a modului de variație a acestora cu fiecare sort.

Această etapă este una interactivă, în care utilizatorul pe baza datelor culese de către aplicație poate stabili cu precizie domeniul de variație al parametrilor pentru fiecare sort de produse.

Așa cum reiese și din secțiunea 9.1., în această etapă un rol hotărâtor în minimizarea **erorii conceptuale** îl are modul în care a fost ales setul de produse pentru stagiul de antrenament și reprezentativitatea acestora pentru șarja de produse ce urmează a fi supusă clasificării.

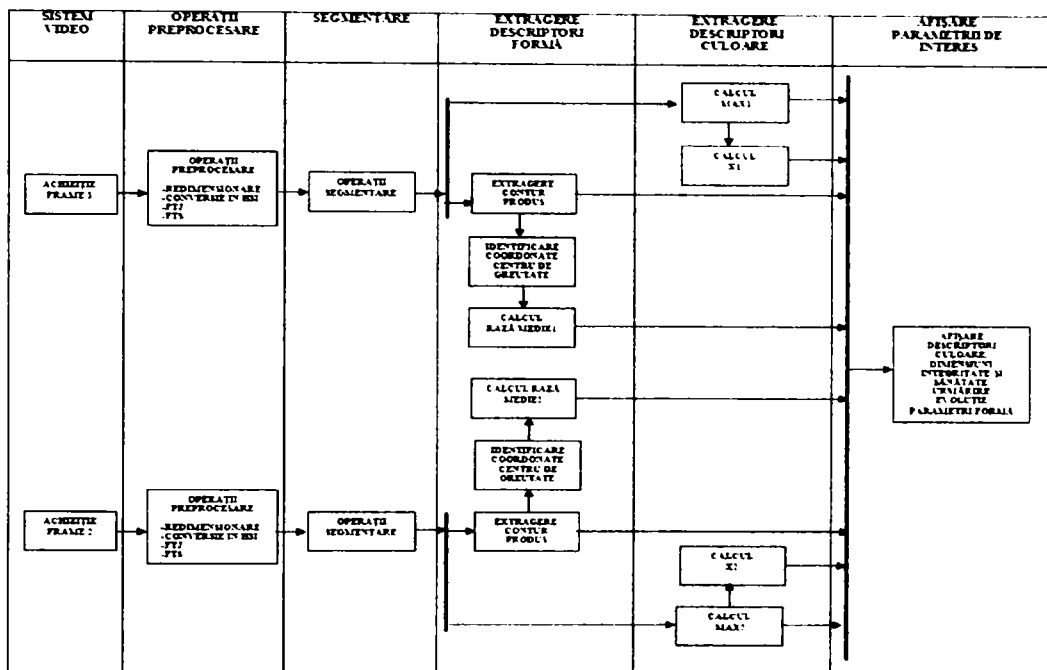


Fig. 10.3.1. Diagrama UML pe culoare de activități pentru procesul de antrenare și identificare a domeniilor de variație a culorilor și dimensiunilor

Pe baza diagramei de activități a fost proiectată aplicația ADO a cărei interfață este prezentată în figura 10.3.2..

În cadrul funcției „Parametrii” sunt identificați toți parametri și descriptorii ce sunt ulterior valorificați în timpul procesului de clasificare și tot aici operatorul poate seta precizia de calcul a acestora.

Interfața aplicației prezintă două zone:

- zona inferioară, ce permite vizualizarea numerică a parametrilor de interes;
- zona superioară, ce permite vizualizarea evoluției acestor parametri.

În partea inferioară, în secțiunile „Culoare” și „Dimensiune” sunt prezentate valorile parametrilor corespunzătoare produselor analizate, iar în secțiunea „Descriptori formă” sunt extrase valorile vectorilor ce vor fi utilizate de **algoritmul neuronal** de stabilire a integrității produselor în faza de antrenament.

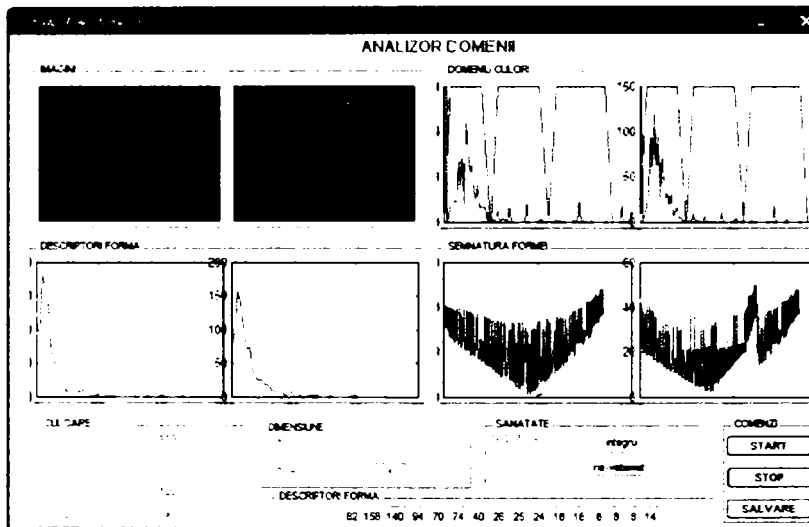
În cadrul secțiunii „Comenzi”, prin intermediul butonului salvare, utilizatorul are posibilitatea salvării într-o locație pe disc a acelor imagini considerate reprezentative pentru fiecare specie și soi de produse ce urmează a fi analizate.

Deoarece forma produsului și deci integritatea acestuia, este dificil de apreciat din cei 16 descriptori de formă afișați, operatorul are acces la două reprezentări grafice: evoluția „Descriptorilor forme” și „Semnătura forme”, prin intermediul funcției „Evoluție\_Parametrii”.

Setarea timpilor de achiziție a cadrelor, precum și numărul acestora se poate realiza foarte rapid în cadrul funcției „Buton\_Achizitie”.

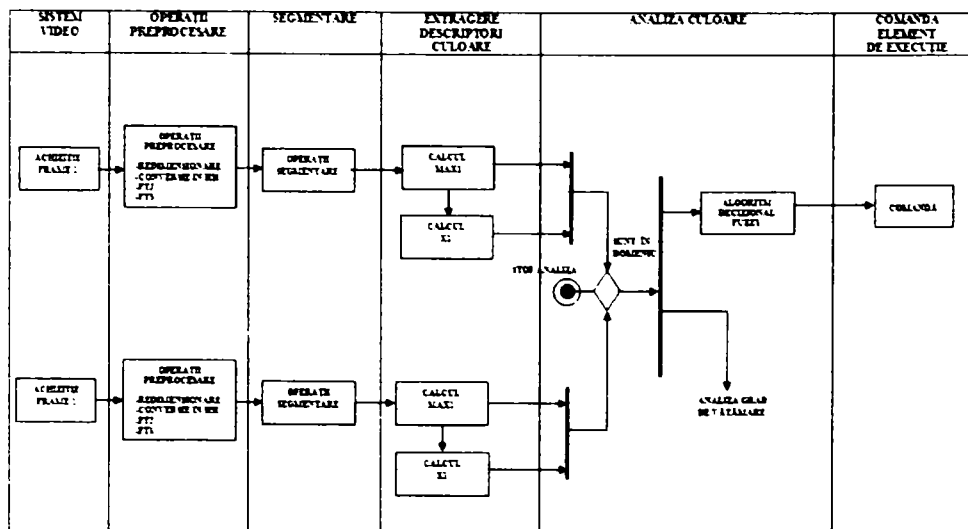
În scopul reducerii **erorilor de citire** și a **erorilor de transfer**, la închiderea aplicației toți parametrii calculați, pentru fiecare produs analizat, sunt salvați într-un fișier *Parametrii.txt*, unde operatorul poate să verifice citirile făcute.

**Fig. 10.3.2.** Interfața aplicației **Analizor Domenii** utilizată în perioada de antrenament și de identificare a domeniilor de variație pentru fiecare clasă de produse



### 10.4. Proiectarea și dezvoltarea aplicației Analizor Culoare

Pentru validarea algoritmilor de sortare pe baza culorii, dezvoltată în cadrul tezei a fost proiectată și realizată aplicația **Analizor Culoare (AC)**. Aceasta a fost dezvoltată pe baza diagramei UML prezentate în figura 10.4.1. și permite vizualizarea unui număr mare de parametri de culoare de către operator.



**Fig. 10.4.1.** Diagrama UML de activități pentru aplicația AC  
Așa cum se poate observa din figura 10.4.1., descriptorii de culoare nu sunt

transmiși mai departe și algoritmilor de analiză a gradului de sănătate, aceștia fiind doar valorificați în procesul de sortare după culoare. Atunci când parametrii extrași din imaginile aceluiasi produs sunt diferiți, peste o limită  $\pm 5$  puncte pentru X (nuanță) și  $\pm 150$  puncte pentru MAX (gradul de prezență a nuanței majoritare în imaginea produsului), procesul de analiză al produsului respectiv este automat întrerupt, produsul fiind considerat ca sub-standard. Valoarea de  $\pm 5$ , respectiv de  $\pm 150$  puncte între valorile parametrilor obținută de la cele două imagini ale aceluiasi produs au fost stabilite prin experiențe pe bile, tomate, mere, ardei grași și castraveți de diferite culori.

Așa cum se poate observa din figura 10.4.2. a) și b), aplicația AC oferă utilizatorilor un maximum de informații cu privire la descriptorii de culoare urmăriți, la modul de variație a acestora, precum și despre modul de funcționare al elementelor de execuție.

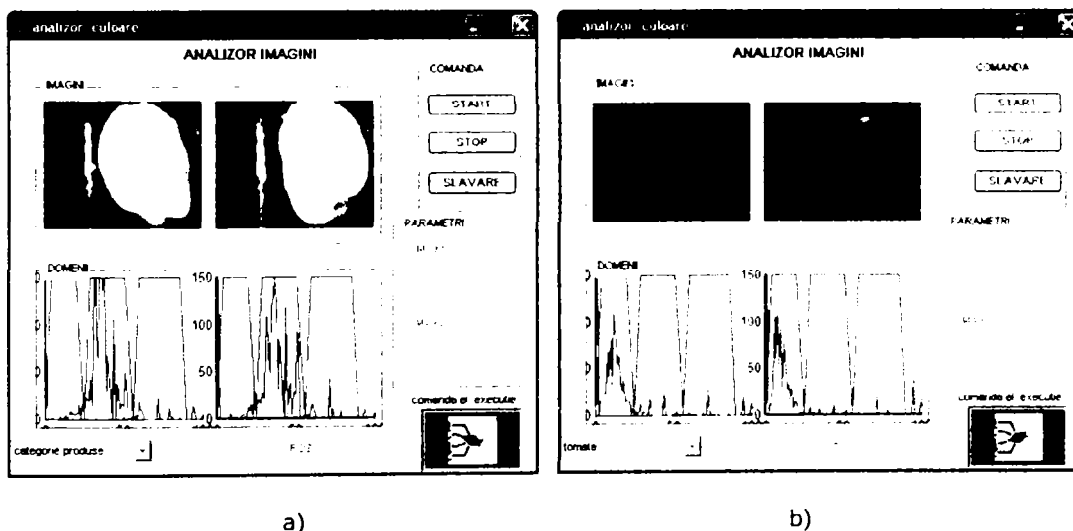


Fig. 10.4.2. Interfața aplicației AC; a) cu tomate și b) cu ardei grași.

În cazul în care operatorul instalației are incertitudini asupra deciziei algoritmilor, acesta poate să întrerupă procesul de analiză și în plus, poate să salveze imaginea produselor într-o zonă de memorie și apoi într-un fișier pe disc, pentru a putea fi ulterior utilizată în procesul de antrenare și de stabilire a domeniilor de variație a culorilor pentru fiecare specie și soi de produse.

Aplicația AC devine un instrument foarte util și în operațiile de stabilire a domeniilor nuanțelor mai ales atunci când se introduc șarje de produse noi.

Domeniile de variație a valorilor nuanțelor se pot schimba rapid prin selectarea unei noi categorii de produse sau prin modificarea acestora în cadrul funcției „Produse”. În cadrul funcției „Comandă” se pot efectua cu ușurință modificări asupra modului de acționare a MPP, astfel, structura instalației să se poată modifica eficient și rapid.

## 10.5. Contribuții la proiectarea și dezvoltarea aplicației Analizor Dimensiuni

Pentru a obține un spor de viteză, dar și pentru creșterea preciziei operațiilor de clasificare, algoritmi de sortare, calibrare și identificare a defectelor au fost astfel proiectați și realizați încât să utilizeze cât mai multe etape comune.

Așa cum reiese și din capitolele 9 și 10, algoritmi proiectați folosesc în calcule o serie de parametri comuni. Acest lucru poate fi observat și din figura 10.5.1. ce prezintă diagrama UML a procesului de sortare dimensională, pe baza căreia a fost realizată aplicația **Analizor Dimensiuni (AD)**.

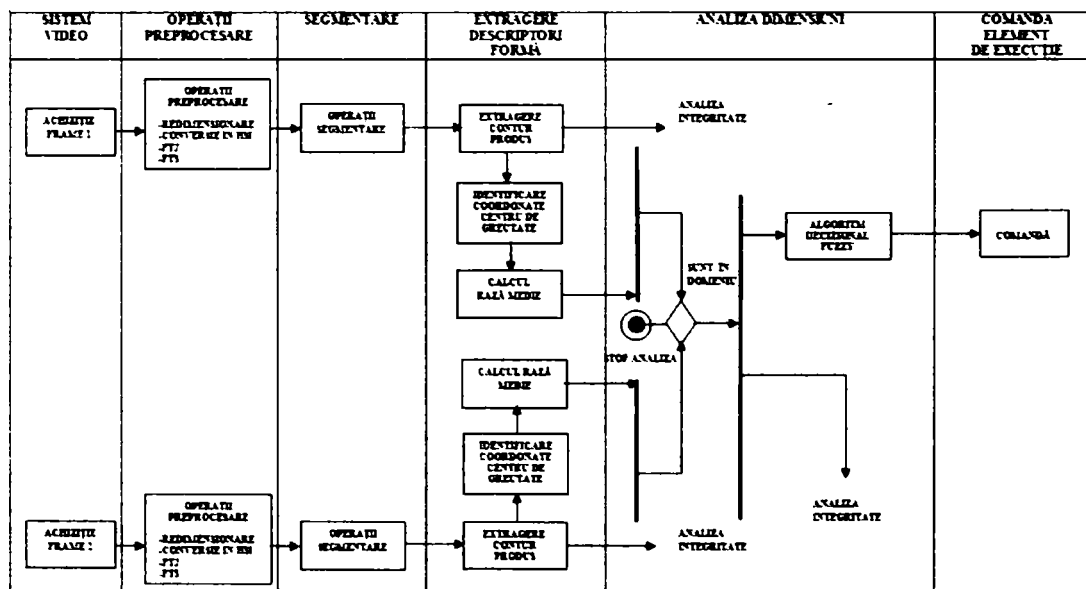


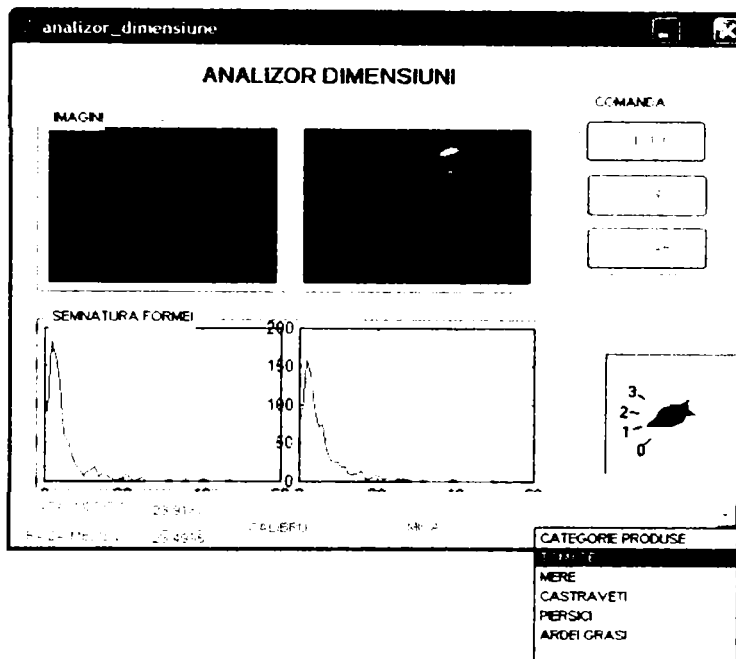
Fig. 10.5.1. Diagrama UML pe culoare de activități pentru operația de clasificare dimensională

Diagrama prezintă doar operațiile ce urmăresc extragerea descriptorilor de formă și indică secvențele din timpul procesului, de unde se pot extrage descriptorii ce vor fi folosiți în timpul procesului de stabilire a integrității fructelor și legumelor analizate. Astfel, în procesul de calibrare dimensională va fi utilizată doar raza medie normalizată notată în cadrul aplicației  $R_m$ , în timp ce SF și descriptorii de formă sunt utilizați în stabilirea gradului de sănătate.

După obținerea  $R_m$  pentru fiecare din cele patru imagini achiziționate ale aceluiași produs, acestea sunt comparate și dacă variază într-o limită de maxim  $\pm 0,5$  cm, produsele sunt considerate valide și procesul de clasificare are loc. În caz contrar produsul analizat este considerat sub-standard și va fi eliminat. Diferența între razele medii de  $\pm 0,5$  cm a fost stabilită prin experiențe și depinde de produsele supuse analizei, fiind valabilă doar pentru mere și tomate cu factor de formă cât mai aproape de 1. Pentru produse cu forme cât mai neregulate diferența dintre raze poate să crească, iar pentru stabilirea cu precizie a domeniului de variație a acestora trebuie realizate experiențe suplimentare.

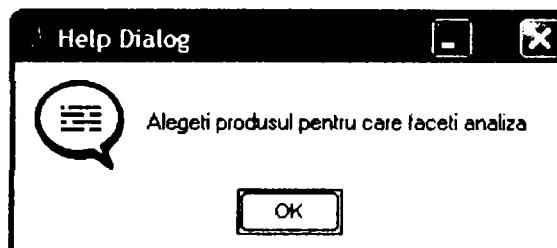
Pe baza diagramei din figura 10.5.1. a fost dezvoltată aplicația AD, aplicație ce permite observarea în timp real a unui număr mare de parametri ce sunt folosiți

În procesul decizional de stabilire a calibrelor. Interfața aplicației împreună cu principalele sale elemente este prezentată în figura 10.5.2.



**Fig. 10.5.2.** Interfața aplicației AD

Înainte de începerea operației de calibrare, utilizatorul este obligat să aleagă categoria de produse supuse analizei și apoi să pornească procesul de achiziție a imaginilor. În acest sens, utilizatorul va fi informat printr-o casetă de dialog să aleagă una din categoriile de produse, figura 10.5.3.



**Fig. 10.5.3.** Casetă de informare a utilizatorului

Prin alegerea categoriei se setează și limitele de variație a dimensiunilor pentru fiecare clasă de produse. De asemenea, setarea acestor valori se poate face foarte rapid și prin modificarea direct în codul sursă al aplicației, în funcția „Categorie”.

Tot aici utilizatorul poate să adauge și alte valori ale limitelor dimensionale pentru alte fructe și legume ce nu au mai fost analizate. Ca și în cazul celorlalte aplicații și aici operatorul are posibilitatea de a opri procesul de analiză și poate salva imaginile acelor produse asupra cărora are dubii în ceea ce privește apartenența la o clasă sau la alta, imagini ce pot fi ulterior folosite în procesul de antrenament și de stabilire a domeniilor dimensionale pentru fiecare calibru.

Operatorul are acces în timp real și la diagrama SF pentru fiecare produs vizualizat, precum și la valorile nominale ale razelor medii normalizate.

De asemenea, clasa corespunzătoare calibrului va fi afișată în partea de jos a aplicației iar elementul grafic indică execuția comenzilor în consecință de către elementele de execuție mecanice.

În cazul modificării structurii instalației pentru a face față altor solicitări, toate setările se pot realiza cu ușurință în codul sursă în cadrul funcției „Comandă”. Tot aici se pot face rapid modificări asupra regimurilor de lucru ale motoarelor pas cu pas ce antrenează elementele mecanice. Implicit, motoarele sunt setate pe regimul de lucru *Comandă întreagă* dar pot fi setate rapid pe regimul *Micro-pășire* unde se asigură un control mai fin.

Pentru analiza dimensională a produselor biologice cu forme alungite, al căror factor de formă este mult diferit de 1, aplicația poate fi adaptată rapid prin adăugarea de noi elemente grafice care să surprindă cele două diametre ale fiecărei imagini vizualizate.

## 10.6. Concluzii

În urma testării aplicațiilor soft proiectate și realizate se pot extrage o serie de concluzii precum:

- aplicațiile au un grad mare de aplicabilitate putând fi folosite fructe și legume cu un factor de formă mult diferit de 1;
- prin intermediul interfețelor grafice, aplicațiile realizate pun la dispoziția utilizatorului un număr mare de parametri și grafice, ce permit acestuia urmărirea rapidă a evoluției acestora;
- aplicația ADO poate fi folosită cu succes în fazele de pregătire pentru lucru, în antrenarea rețelei neuronale a algoritmilor decizionali sau în identificarea domeniilor de variație a culorilor și dimensiunilor pentru fiecare clasă;
- toate aplicațiile permit oprirea procesului de clasificare atunci când operatorul are îndoeli asupra corectitudinii algoritmului și de asemenea, permit memorarea imaginilor considerate „suspecte”;
- algoritmi din cadrul aplicațiilor lucrează la viteze foarte mari, sub o secundă pe fruct, iar precizia asigurată este foarte ridicată, de aproximativ 100%;
- chiar dacă aplicațiile AC și AD au la bază aplicația AI, ele permit urmărirea unui număr mult mai mare de parametri față de aceasta;
- toate aplicațiile realizate au interfețe simple, ceea ce le face foarte ușor de utilizat;
- toate aplicațiile realizate sunt construite modular fapt ce permite intervenția rapidă și eficientă în vederea adaptării la diferite cerințe ale procesului de clasificare.



PARTEA A TREIA

CERCETĂRI EXPERIMENTALE

## CAPITOLUL 11

### Experimentarea sistemului de clasificare folosind inspecția video

#### 11.1. Metodica experimentală

În baza faptului că algoritmi propuși pentru stabilirea gradului de sănătate, a culorii și dimensiunilor produselor supuse analizei au etape comune, testarea și validarea fiecăruia dintre aceștia s-a realizat într-o primă etapă separat.

Produsul analizat este deja „*etichetat*” atunci când iese din zona de inspecție video, atât în ceea ce privește starea de sănătate, dimensiune și culoare, urmând ca SCC, prin intermediul elementelor de execuție să stabilească traseul acestuia în cadrul instalației de clasificare.

Validarea separată a fiecărui algoritm de analiză permite o apreciere mai corectă a performanțelor acestora, dar și o reducere substanțială a dimensiunilor standului experimental.

Pentru validarea fiecărui algoritm proiectat și realizat s-au utilizat mai multe seturi de mere și tomate, parcurgându-se trei etape.

În prima etapă, din setul de produse ce urmează a fi clasificate, se alege un număr reprezentativ din punct de vedere al culorii, mărimii dar și a gradului de sănătate, care sunt utilizate în antrenarea algoritmilor decizionali dar și pentru identificarea domeniilor pentru cele trei clase de culori și dimensiuni. Valorile astfel obținute sunt apoi folosite în setarea parametrilor BP și a BAI prin intermediul aplicației AI, așa cum a fost prezentat pe larg în capitolele 7 și 9.

În a doua etapă, produsele ce urmează a fi clasificate sunt apreciate de un operator uman care stabilește apartenența lor la una din clasele considerate, fiecare produs fiind *etichetat* din punct de vedere al culorii, dimensiunii și gradului de sănătate.

Etapa a treia presupune testarea efectivă a algoritmilor dezvoltați prin plasarea produselor cu mâna pe transportorul cu rulouri. Primul algoritm validat este cel de analiză a culorii, urmat de analiza dimensiunilor și apoi de analiza gradului de sănătate. Deși aplicația AI a fost proiectată să realizeze analiza produselor începând cu aprecierea gradului de sănătate totuși, pentru o mai bună apreciere a rezultatelor obținute, ordinea testării a fost stabilită în acest mod deoarece, algoritmi proiectați au multe etape comune și astfel se pot realiza o serie de aprecieri mult mai eleocvente asupra performanțelor obținute.

În timpul testelor pentru fiecare algoritm s-a urmărit: viteza transportorului, timpul scurs dintre achiziția a două cadre ale aceluiași produs, precizia clasificării, dimensiunea setului de antrenament, precizia antrenării, eroarea impusă, numărul de etape de antrenament, structura rețelei neuronale a algoritmului decizional

folosit în procesul de clasificare, precum și domeniul corespunzător fiecărei culori și dimensiuni.

Pe lângă precizia algoritmilor dezvoltăți s-a testat și modul de funcționare al celorlalte sistemelor ce alcătuiesc instalația de clasificare realizată și anume:

- sistemul de iluminare;
- sistemul de vizualizare;
- sistemul mecanic;
- Sistemul de comandă și control.

Pentru experimente s-a utilizat un stand experimental, realizat pe baza cerințelor impuse în cadrul paragrafului 5.1. și care este prezentat în figura 11.1.1.

**Fig. 11.1.1.** Vedere de ansamblu a standului utilizat pentru testarea algoritmilor de clasificare dezvoltăți



Structura standului

experimental, performanțele și caracteristicile fiecărei componente a acestuia au fost determinate prin studii și teste ce au fost prezentate detaliat în partea a doua a acestei teze.

Merele și tomatele testate ce au fost au fost plasate cu mâna pe rolele transportorului din figura 11.1.2., care le-a condus în zona de inspecție video, unde au fost analizate și SCC a comandat elementele de execuție în consecință pentru a asigura deplasarea acestora către clasa corespunzătoare.



**Fig. 11.1.2.** Vedere laterală a transportorului cu role și a mecanismului de antrenare a acestuia

Performanțele obținute au fost centralizate atent în tabele și diagrame și au fost comparate cu performanțele altor instalații de clasificare, obținându-se o serie de concluzii ce pot sta la baza unor cercetări ulterioare.

## 11.2. Experimentarea sortării după culoare

În scopul stabilirii performanțelor algoritmilor realizați în vederea sortării după culoare, a performanțelor SI și SV, dar și a performanțelor SCC, în timpul testelor s-au utilizat tomate.

Astfel, tomatele testate au fost achiziționate de la un magazin local în număr de 30 din același soi cu cele utilizate în timpul stagiului de stabilire a domeniului de variație a fiecărei clase de produse, având diametrul cuprins între 40-87. Cele 30 de tomate au fost clasificate inițial de un operator în trei clase: tomate coapte - roșii, tomate coapte parțial - roz și tomate necoapte - verzi.

În timpul testelor, tomatele au fost plasate cu mâna pe transportorul cu role și SV a extras din fluxul video furnizat de cele două camere digitale câte două imagini ale aceleiași tomate, la interval de 1 secundă, imagini ce au fost direcționate către SCC.

Principalii parametri urmăriți au fost: precizia clasificării în raport cu viteza transportorului, viteza algoritmilor de clasificare și prezența erorilor. În acest scop a fost realizat programul **Analizor Imagini** în aplicația Matlab, a cărui mod de funcționare a fost prezentat detaliat în cadrul paragrafului 10.2. și cu ajutorul căruia s-au putut face aprecierii asupra parametrilor urmăriți. În ceea ce privește precizia clasificării, datele obținute în urma testelor au fost centralizate în tabelul cu numărul 11.1.

*Așa cum se poate observa din datele din tabelul nr. 11.1., algoritmul de clasificare propus pentru aprecierea culorii asigură o precizie de 100% pentru clasele tomatelor coapte și necoapte și 90% pentru tomatele din clasa coapte intermediar. Aceste rezultate asigură o precizie totală pe lotul de produse testate de 96,7%.*

Diferențele relativ mici obținute în timpul clasificării se datorează diferențelor mici între vitezele de lucru ale transportorului, dar și numărului mic de sorturi în care se va realiza clasificarea, numai 3 sorturi.

**Tabelul 11.1.** Rezultatele clasificării tomatelor după culoare

Viteza transportorului [m/s]	Clasa	Nr. tomate testate	Nr. tomate corect testate	Acuratețea clasificării
0,05	Tomate coapte	10	10	100%
	Tomate coapte intermediar	10	9	90%
	Tomate necoapte	10	10	100%
0,07	Tomate coapte	10	10	100%
	Tomate coapte intermediar	10	9	90%
	Tomate necoapte	10	10	100%
0,09	Tomate coapte	10	10	100%
	Tomate coapte intermediar	10	9	90%

Viteza transportorului [m/s]	Clasa	Nr. tomate testate	Nr. tomate corect testate	Acuratețea clasificării
0,1	Tomate necoapte	10	10	100%
	Tomate coapte	10	10	100%
	Tomate coapte intermediar	10	9	90%
	Tomate necoapte	10	10	100%

În diagrama din figura 11.2.1. este prezentat modul de variație a preciziei de clasificare pentru fiecare clasă de tomate în raport cu viteza transportorului așa cum reiese din datele centralizate în tabelul 11.1.

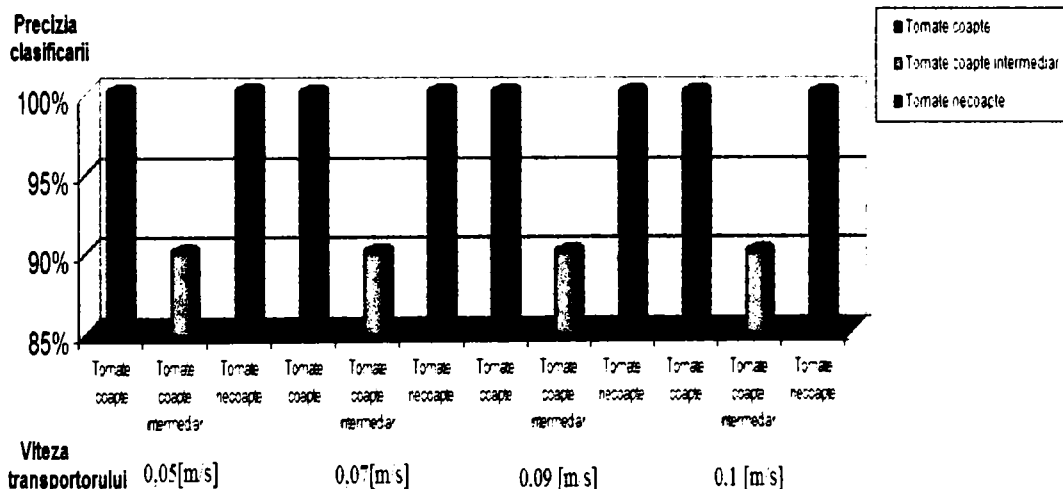


Fig. 11.2.1. Variația preciziei clasificării după culoare în raport cu viteza transportorului

În diagramele din figurile 11.2.2. și 11.2.3. sunt prezentate grafic evoluția numărului de tomate corect identificate din punct de vedere al culorii în raport cu numărul acestora, precum și evoluția preciziei clasificării pe întreg lotul de 30 de tomate testate în raport cu viteza transportorului.

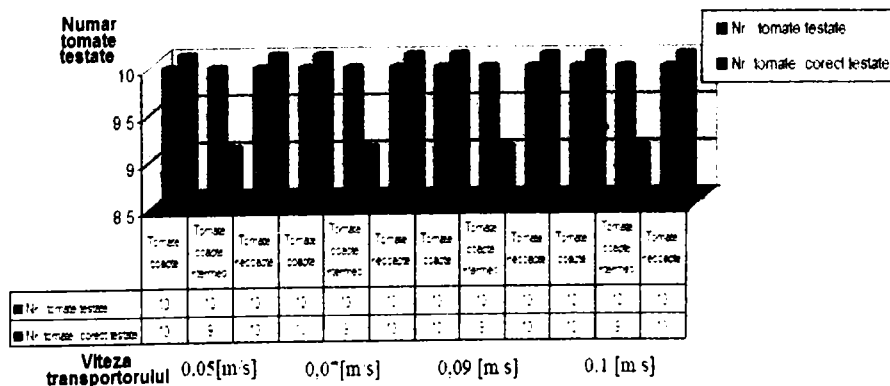


Fig.11.2.2. Variația raportului numărului tomatelor testate și a tomatelor corect identificate în raport cu viteza transportorului

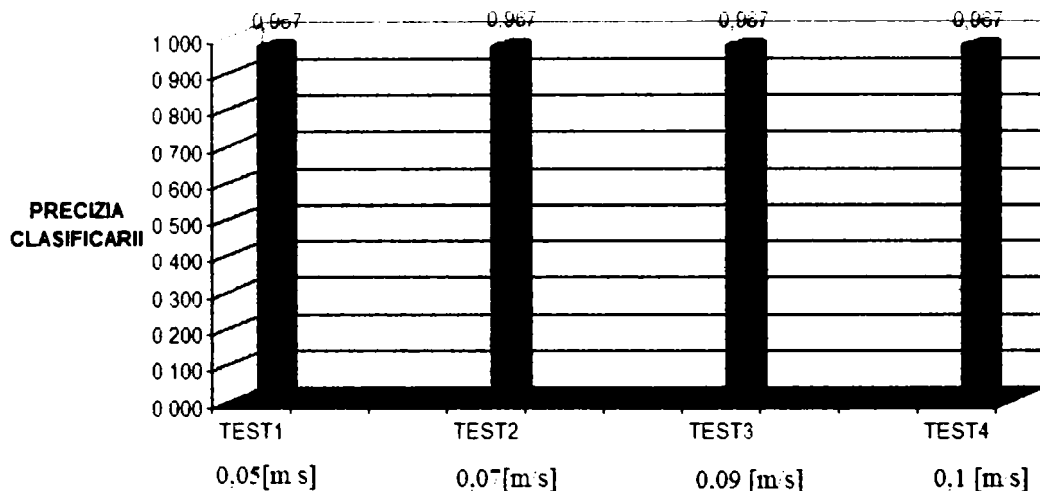


Fig.11.2.3. Variația preciziei clasificării pe fiecare test în raport cu viteza transportorului

În urma analizei rezultatelor obținute se apreciază că procentul de 90% obținut în cazul tomatelor coapte intermediar se datorează în principal unei erori în alegerea setului de antrenament pentru stabilirea domeniului culorii pentru fiecare clasă. Aceasta poate fi eliminată sau cel puțin minimizată prin creșterea numărului de produse în setul de antrenament și prin alegerea mai atentă a acestor produse, în special a acelor din partea de tranziție de la o clasă la alta.

Așa cum se poate observa din figurile 11.2.4., 11.2.5. și 11.2.6., histogramele culorii pentru tomatele din fiecare clasă se încadrează perfect în domeniul ales în timpul perioadei de antrenament.

Fig. 11.2.4. Evidențierea concordanței dintre culoarea tomatei și domeniul ales al tomatelor coapte - roșii

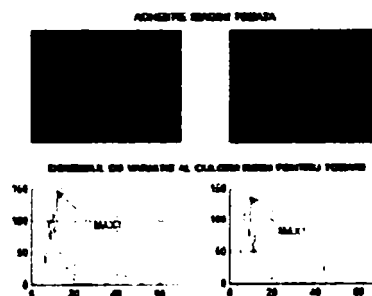
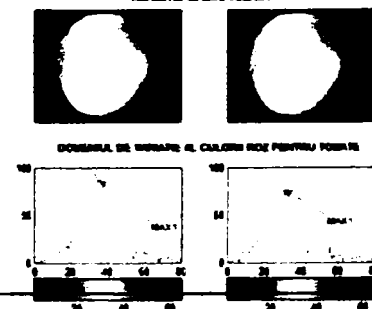


Fig. 11.2.5. Evidențierea concordanței dintre culoarea tomatei și domeniul ales al tomatelor coapte intermediar - roz

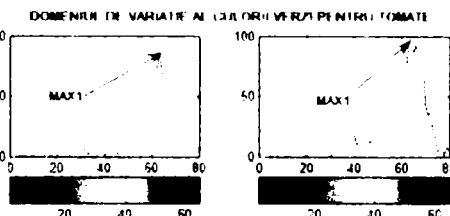


**Fig. 11.2.6.** Evidențierea concordanței dintre culoarea tomatei și domeniul ales al tomatelor necoapte - verzi

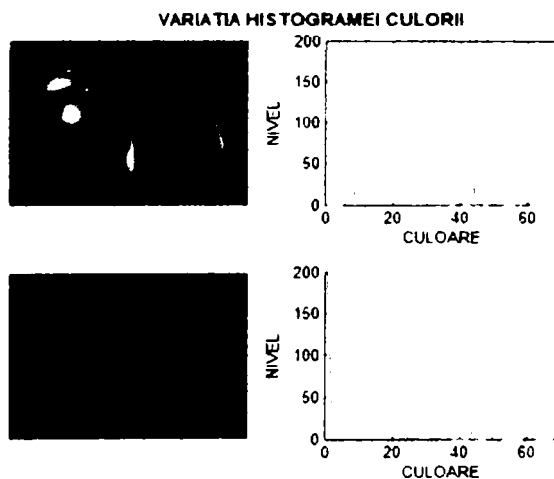


În timpul experimentelor efectuate s-a urmărit și modul de funcționare și răspuns al algoritmilor la variații ale iluminării, sau apariția unor străluciri datorate prezenței unor particule de apă pe suprafața tomatelor.

*Astfel, chiar dacă din punct de vedere t or tic utilizar a m ului HSI p rmi decuplarea intensității componentelor de informații despre culoare, iar valoarea nuanței devine invariantă la modificările intensității luminoase, experimentele realizate au indicat faptul că odată cu modificarea intensității de iluminare au loc ușoare modificări ale nuanței. (fig.11.2.7.)*



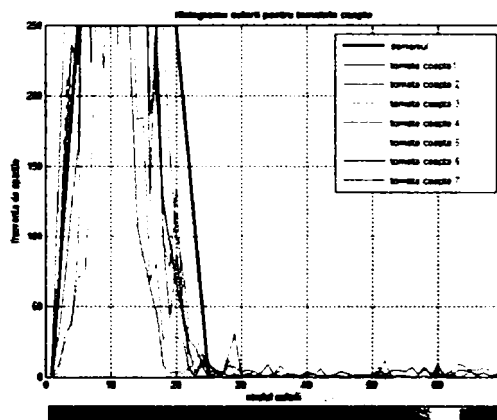
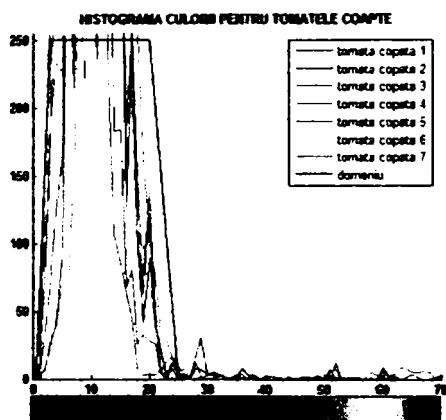
**Fig. 11.2.7.** Modificarea histogramei culorii la variații ale iluminării



*Astfel, s-a observat că odată cu creșterea nivelului de iluminare nuanțele fructelor și legumelor analizate sau deplasat către culoarea roz pentru fructele și legumele roșii și respectiv către verde pentru fructele și legumele roz. În cazul scăderii nivelului de iluminare nuanțele fructelor și legumelor analizate s-au deplasat către culoarea roșie pentru fructele și legumele roz și respectiv către culoarea roz pentru fructele și legumele verzi. [18]*

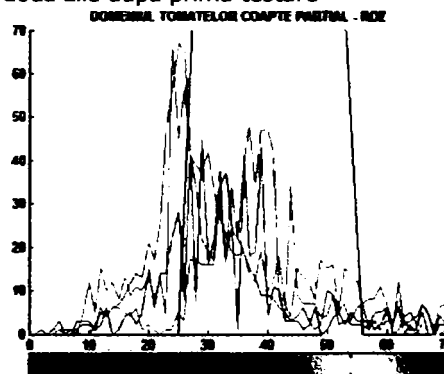
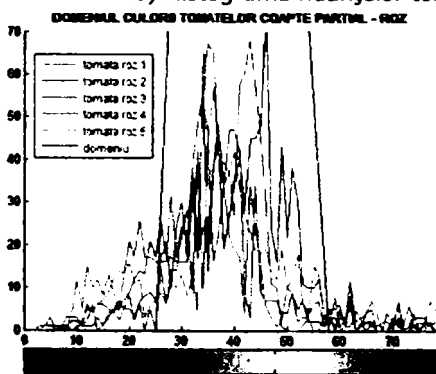
Așa cum se observă și din figura 11.2.7. variațiile nuanței sunt relativ mici și nu împiedică algoritmul dezvoltat în identificarea corectă a culorii fructelor și legumelor analizate, însă apar probleme în stabilirea integrității sau defectelor acestora. Din acest motiv este imperios necesar ca înainte de fiecare proces de clasificare a fructelor și legumelor să se analizeze variațiile domeniului culorilor și să se realizeze o ajustare a acestora.

De asemenea, teste efectuate cu aceleași tomate, dar după două zile de la prima testare, au condus la variații ale nuanțelor de roz și roșu spre culoarea roșu întunecat, așa cum se poate observa și din figura 11.2.8 și spre culoarea roșu deschis și roz pentru produsele roz și verzi, (fig. 11.2.9., fig. 11.2.10.)



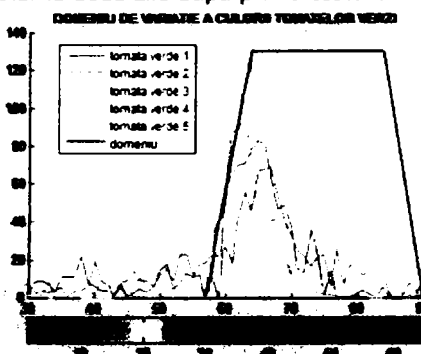
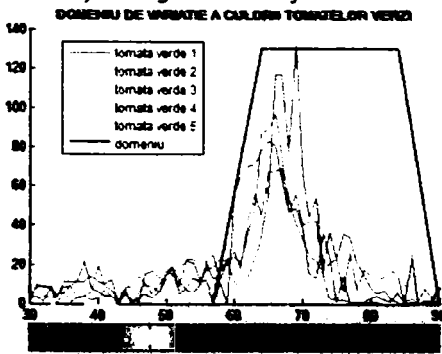
a) b)  
**Fig. 11.2.8.** Variația histogramelor pentru tomatele coapte

a) Histograma nuanțelor tomatelor coapte după prima testare  
 b) Histograma nuanțelor tomatelor coapte la două zile după prima testare



a) b)  
**Fig. 11.2.9.** Variația histogramelor pentru tomatele coapte intermediare

a) Histograma nuanțelor tomatelor coapte intermediare după prima testare  
 b) Histograma nuanțelor tomatelor coapte intermediare la două zile după prima testare

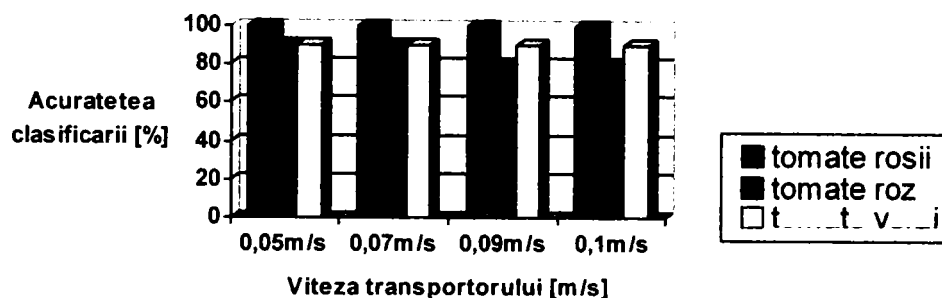


a) b)  
**Fig. 11.2.10.** Variația histogramelor pentru tomatele necoapte

a) Histograma nuanțelor tomatelor necoapte după prima testare  
 b) Histograma nuanțelor tomatelor necoapte la două zile după prima testare



Astfel, reluând procesul de clasificare folosind tomatele ce au fost stocate două zile, precizia clasificării scade la 93,3% și respectiv la 90% în funcție de viteza transportorului așa cum se poate observa în figura 11.2.11.



**Fig. 11.2.11.** Variația preciziei clasificării tomatelor la două zile de la prima testare

*Din acest motiv, se impune ca în cazul stocării produselor, înainte de clasificarea după culoare a acestora să se realizeze o restabilire a limitelor domeniului de variație a valorilor nuanțelor pentru fiecare clasă.*

### 11.3. Experimentarea sortării dimensionale

Pentru testarea algoritmilor dezvoltați în vederea sortării dimensionale a legumelor și fructelor s-au utilizat aceleași exemplare de tomate și mere care au fost folosite la testarea după culoare.

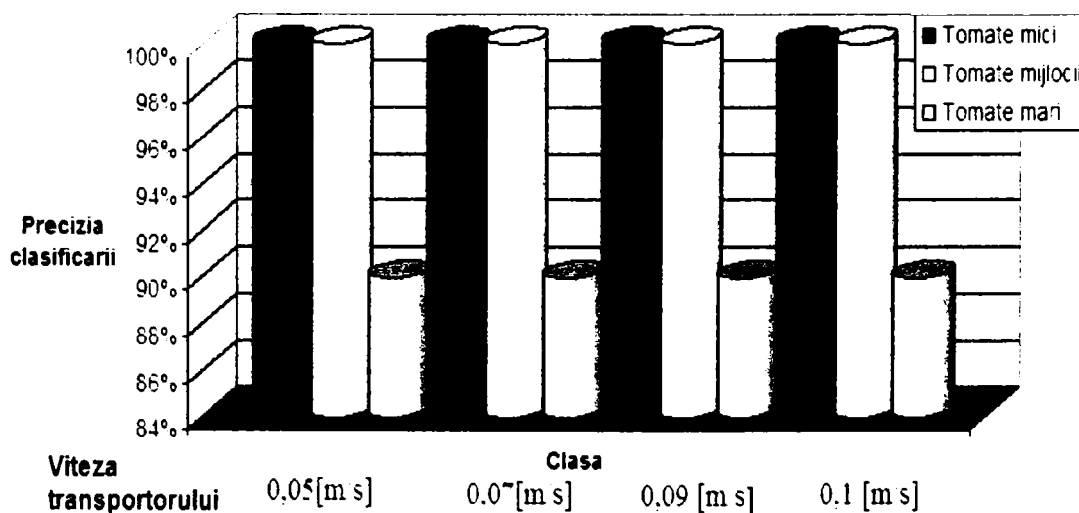
Astfel, în cadrul experimentelor s-au utilizat limitele dimensionale determinate și prezentate în paragraful 10.4. cu ajutorul aplicației **Analizor Dimensiuni** (AD) dezvoltată în programul Matlab și a cărei funcționare a fost prezentată pe larg în secțiunea 10.3.

Pentru testarea algoritmilor dezvoltați au fost achiziționate și utilizate 30 de tomate din soiul Productiva și 30 de mere din soiul Delicious Auriu, aceleași ce au fost utilizate în timpul proceselor de identificare a domeniilor dimensionale. Apartenența fiecăruia dintre cele 30 de mere și tomate la câte o clasă a fost stabilită în prealabil de un operator uman, după care au fost plasate cu mâna pe transportorul cu role. În timpul testelor s-au urmărit precizia clasificării, timpii necesari etichetării fructelor și legumelor la clasa potrivită și tipurile de erori ce pot apărea în timpul clasificării. Pentru tomatele utilizate datele obținute în urma testelor au fost centralizate în tabelul 11.2.

**Tabelul 11.2.** Rezultatele clasificării tomatelor după dimensiuni conform tabelului 9.3.

Viteza transportorului [m/s]	Clasa	Nr. tomate testate	Nr. tomate corect testate	Acuratețea clasificării
0,05	Tomate mici	10	10	100%
	Tomate mijlocii	10	10	100%
	Tomate mari	10	9	90%
0,07	Tomate mici	10	10	100%
	Tomate mijlocii	10	10	100%
	Tomate mari	10	9	90%
0,09	Tomate mici	10	10	100%
	Tomate mijlocii	10	10	100%
	Tomate mari	10	9	90%
0,1	Tomate mici	10	10	100%
	Tomate mijlocii	10	10	100%
	Tomate mari	10	9	90%

În diagrama din figura 11.3.1. sunt prezentate grafic evoluțiile preciziei de clasificare pentru fiecare clasă dimensională în raport cu viteza transportorului



**Fig. 11.3.1** Variația preciziei clasificării dimensionale în raport cu viteza transportorului

În diagramele din figurile 11.3.2. și 11.3.3. sunt prezentate variația numărului de tomate a căror dimensiune a fost corect apreciată în raport cu numărul tomatelor testate și cu viteza transportorului, precum și variația preciziei procesului de clasificare pe tot lotul de produse testate.

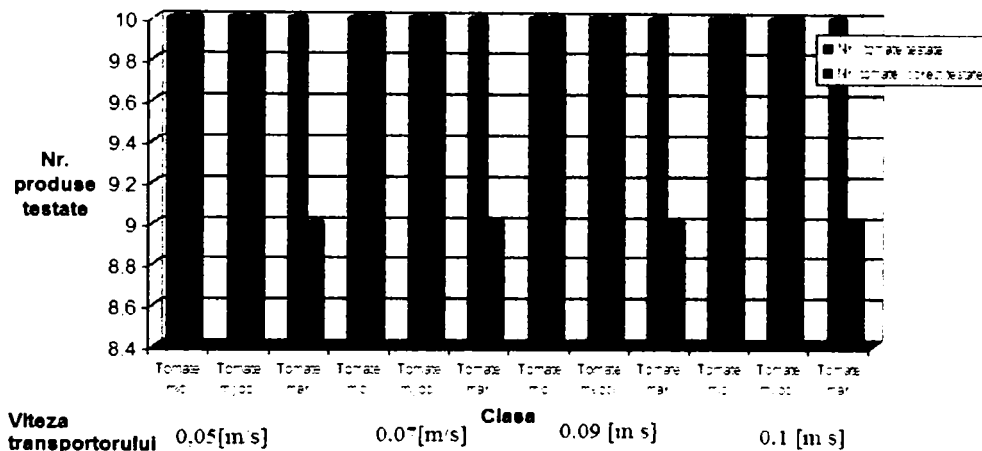


Fig. 11.3.2. Variația numărului tomatelor testate și a celor corect identificate din punct de vedere dimensional în raport cu viteza transportorului

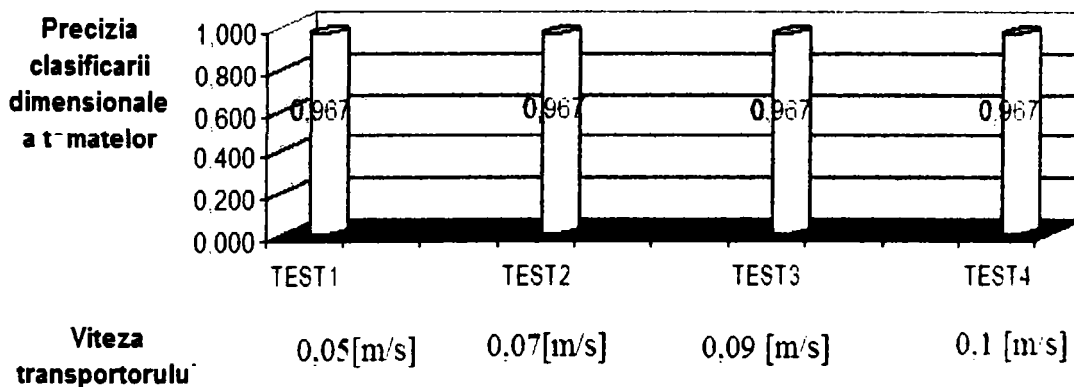


Fig. 11.3.3. Variația preciziei clasificării pe fiecare test în raport cu viteza transportorului

În tabelul 11.3. sunt centralizate rezultatele obținute în urma testelor efectuate cu cele 30 de mere selecționate, la diferite viteze ale transportorului.

Tabelul 11.3. Rezultatele clasificării merelor după dimensiuni conform tabelului 9.3.

Viteza transportorului [m/s]	Clasa	Nr. tomate testate	Nr. tomate corect testate	Acuratețea clasificării
0,05	Mere mici	10	10	100%
	Mere mijlocii	10	10	100%
	Mere mari	10	10	100%
0,07	Mere mici	10	10	100%

Viteza transportorului [m/s]	Clasa	Nr. tomate testate	Nr. tomate corect testate	Acuratețea clasificării
	Mere mijlocii	10	10	100%
	Mere mari	10	10	100%
0,09	Mere mici	10	10	100%
	Mere mijlocii	10	10	100%
	Mere mari	10	10	100%
0,1	Mere mici	10	10	100%
	Mere mijlocii	10	10	100%
	Mere mari	10	90	90%

Așa cum se observă și din diagramele din figurile 11.3.4, 11.3.5. și 11.3.6, rezultatele obținute sunt asemănătoare cu cele obținute în cazul tomatelor cu un ușor plus pentru mere.

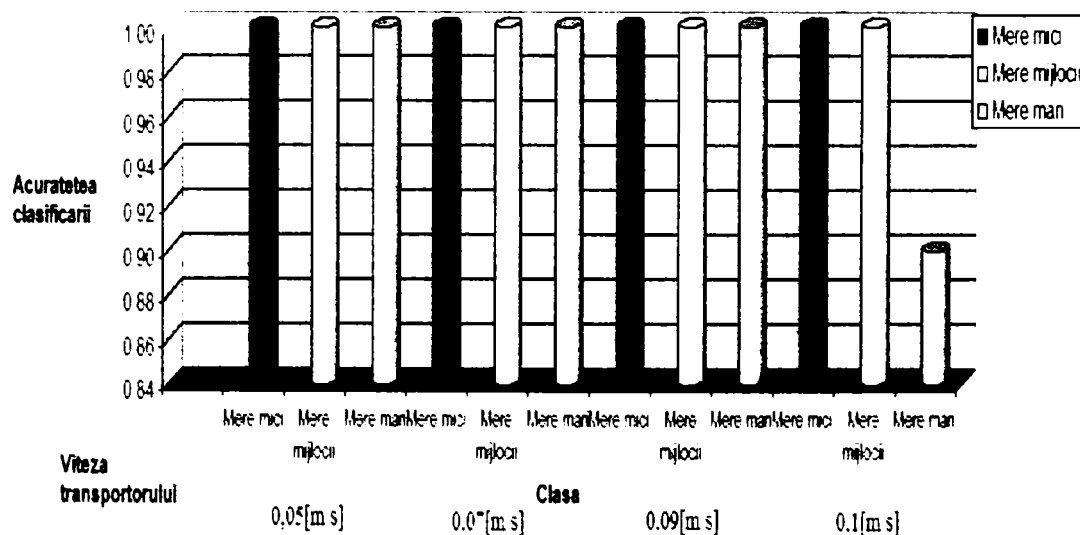


Fig.11.3.4. Variația preciziei clasificării dimensionale a merelor în raport cu viteza transportorului

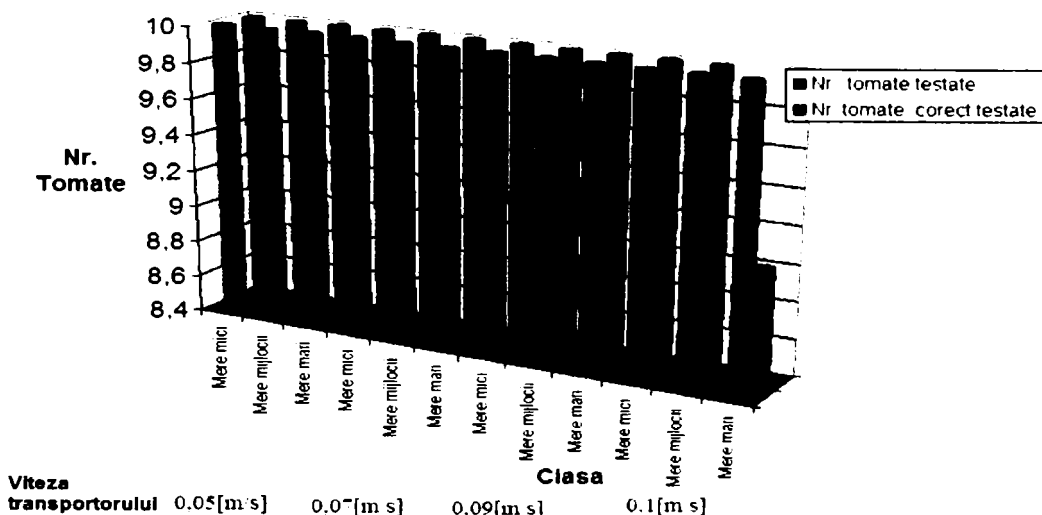


Fig. 1.3.5. Variația raportului numărului merelor testate și a celor corect identificate din punct de vedere dimensional în raport cu viteza transportorului

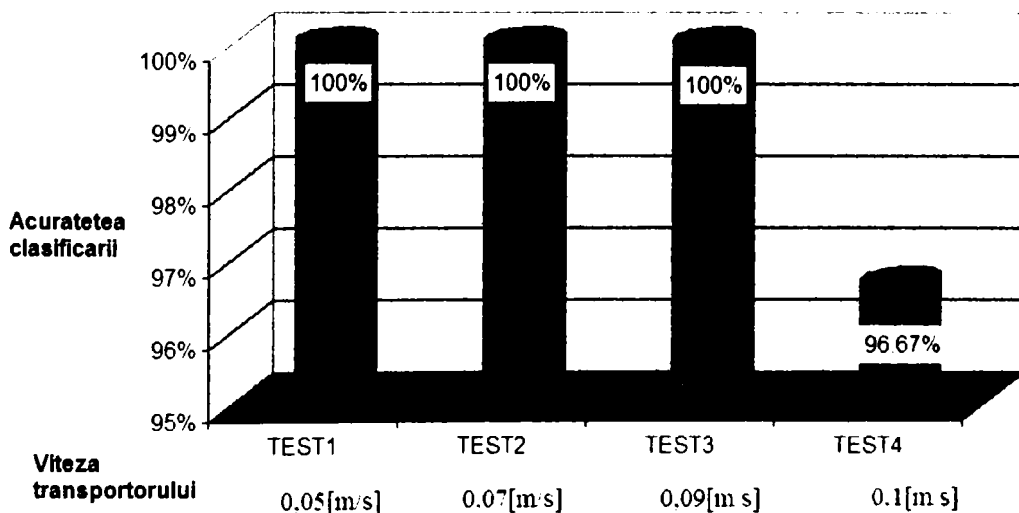


Fig. 11.3.6. Variația preciziei clasificării merelor pe fiecare test în raport cu viteza transportorului

Așa cum observă din datele prezentate în tabelul 11.2, algoritmul de clasificare propus asigură o precizie de 100% pentru clasele tomatelor mici și mijlocii și 90% pentru tomatelor din clasa mare. Aceste rezultate confirmă o precizie totală pe lotul de produse testate de 96,7%. Procentul de 90% obținut pentru clasa tomatelor mari se datorează zonei codiței, pe care algoritmul o interpretează ca fiind un obiect distinct, lucru ce poate introduce o eroare conceptuală relativ mică în procesul de determinare a SF și deci și a Rm.

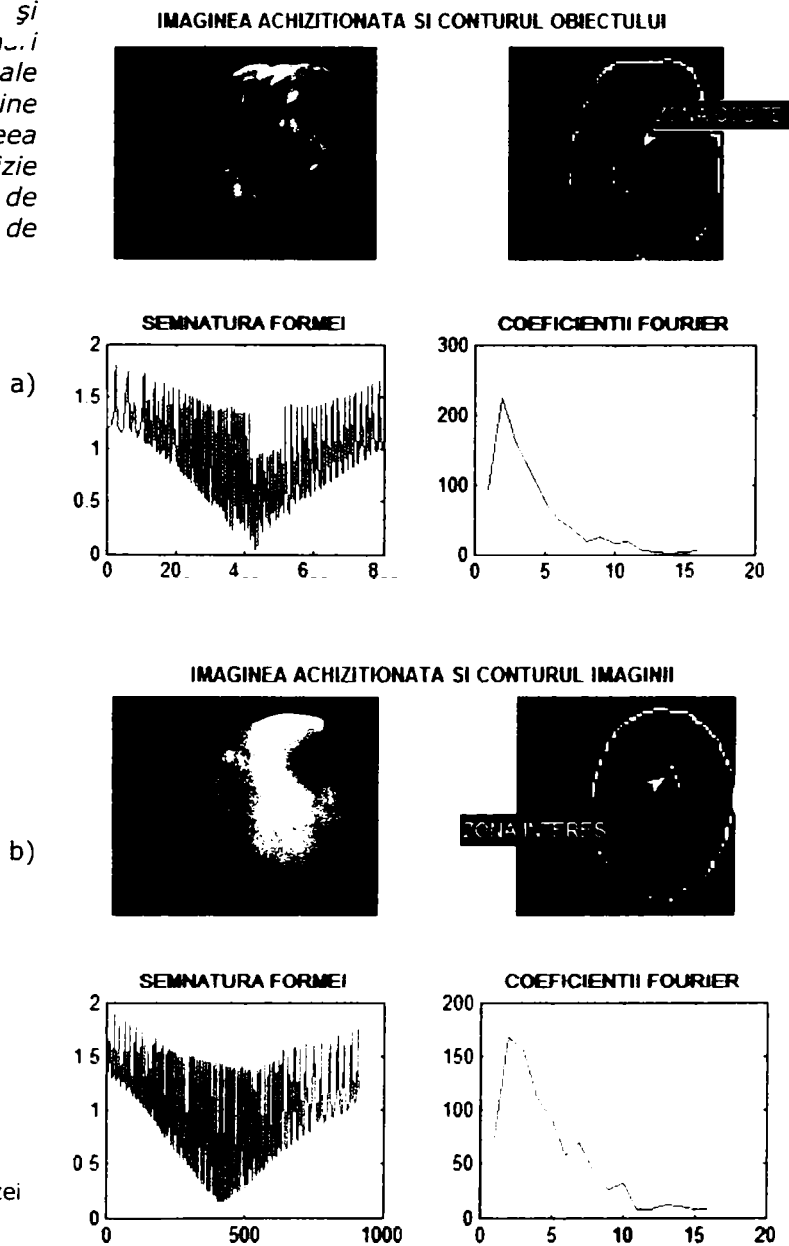
Din acest motiv pentru produsele care din punct de vedere dimensional se găsesc la limita dintre cele două domenii, mare și mijlociu, există riscul ca acestea să fie etichetate ca aparținând unui domeniu greșit.

Experimentele ulterioare cu tomate din soiuri la care zona codiței este mică au condus la valori al preciziei clasificării mult mai mari.

Creșterea preciziei de clasificare se poate realiza prin creșterea numărului de produse utilizate în timpul procesului de antrenament în vederea stabilirii domeniului dimensional pentru fiecare clasă, dar și prin stabilirea unor limite de separare a domeniilor mult mai stricte.

Din tabelul 11.3 și din figura 11.7.1.b, se observă că pentru mere algoritmul este mult mai sigur, deoarece zona din jurul codiței are o altă configurație față de tomate.

*Astfel, algoritmul proiectat confirmă o precizie de clasificare după dimensiuni a merelor de 100% și doar pentru merele mici și la viteze ridicate ale transportorului, se obține o precizie de 90%, ceea ce conduce la o precizie totală pe întreg lotul de produse testate de 96,7%..*



**Fig. 11.3.7.** Stabilirea razei medii la  
a) tomate; b) mere

Complicarea procesului de clasificare dimensională, prin adăugarea unui algoritm de identificare și eliminare a zonei corespunzătoare codiței din imagine, este contraproductivă, datorită creșterii semnificative a numărului de calcule și deci și a timpului de lucru, iar în plus stabilirea mai eficientă a domeniilor de variație a fiecărei clase poate diminua major acest neajuns.

De asemenea, în urma experimentelor realizate se poate aprecia că precizia algoritmilor dezvoltați în scopul calibrării este independentă de viteza transportorului.

#### 11.4. Experimentarea stabilirii integrității și gradului de sănătate

Testarea algoritmilor propuși pentru stabilirea integrității și gradului de sănătate a urmărit pe de-o parte, identificarea fructelor și legumelor vătămate în timpul culesului, fie în timpul transportului sau al operațiilor de curățire și pe de altă parte, identificarea fructelor și legumelor vătămate de boli, dăunători sau de condițiile atmosferice s-a realizat cu ajutorul aplicației ADE.

În acest sens s-au ales 20 de tomate și 20 de mere din aceleași soiuri ca și cele folosite în timpul perioadei de antrenament sau de stabilire a domeniilor de variație a culorilor, 10 dintre ele fiind în stare bună și 10 prezentând vătămări mecanice și pete datorate bolilor și dăunătorilor.

Apartenența acestora la cele două clase: sănătoase și vătămate, a fost stabilită în prealabil de un operator uman, după care au fost plasate cu mâna pe transportorul cu role.

În timpul testelor s-au urmărit precizia clasificării, precum și tipurile de erori ce pot apărea în timpul procesului și de asemenea, s-a încercat identificarea unor metode de excludere sau minimizare a acestor erori.

Pentru tomate, în ceea ce privește precizia clasificării, datele obținute în urma testelor au fost centralizate în tabelul nr. 11.4, iar pentru mere în tabelul 11.5.

**Tabelul 11.4.** Stabilirea gradului de sănătate la tomate

Viteza transp. [m/s]	Nr. tomate sănătoase testate	Nr. tomate vătămate testate	Nr. tomate sănătoase corect clasificate	Nr. tomate vătămate corect clasificate	Acuratețea clasificării tomatoanelor sănătoase	Acuratețea clasificării tomatoanelor vătămate
0,05	10	10	10	8	100%	80%
0,07	10	10	10	8	100%	80%
0,09	10	10	10	8	100%	80%
0,1	10	10	10	8	100%	80%

Pe baza datelor din tabelul 11.4. au fost realizate diagramele din figurile 11.4.1., 11.4.2. și 11.4.3. prin intermediul cărora se evidențiază modul de variație a preciziei procesului de apreciere a gradului de sănătate pentru fiecare sort de tomate în raport cu viteza transportorului.

Astfel, în diagrama din figura 11.4.1. este analizată precizia procesului de identificare corectă a gradului de sănătate a tomatoanelor care au fost declarate inițial de operatorul uman ca aparținând clasei produselor sănătoase.

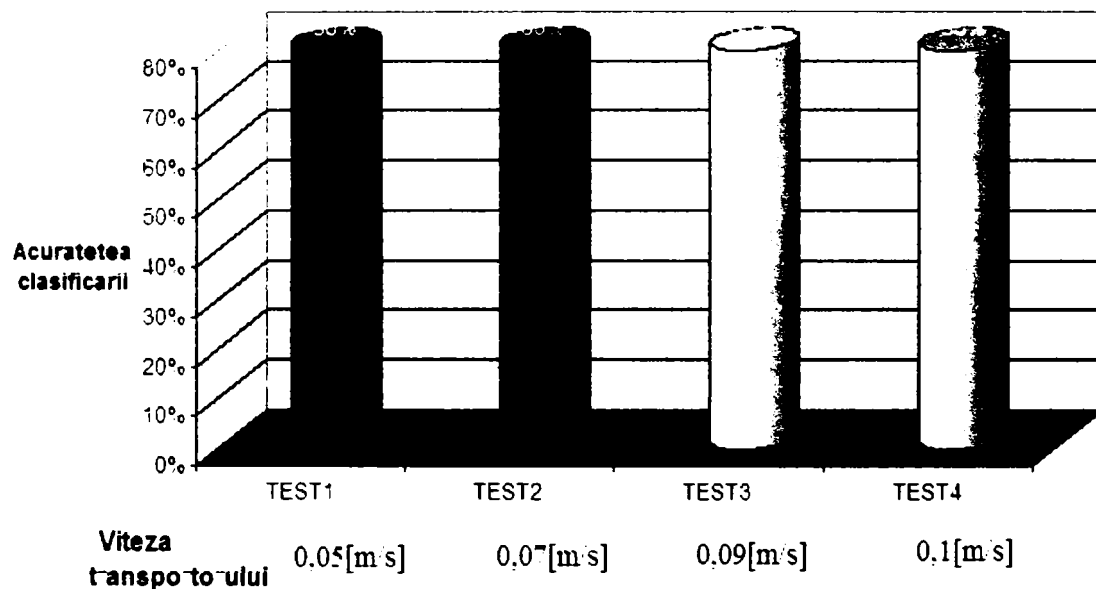


Fig. 11.4.1. Variația preciziei identificării tomatelor sănătoase în raport cu viteza transportorului

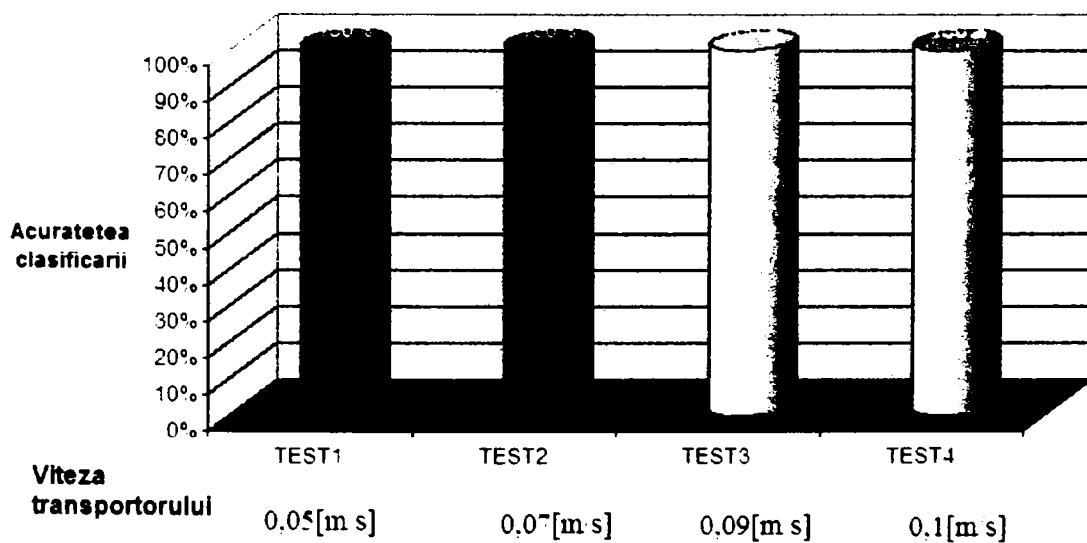
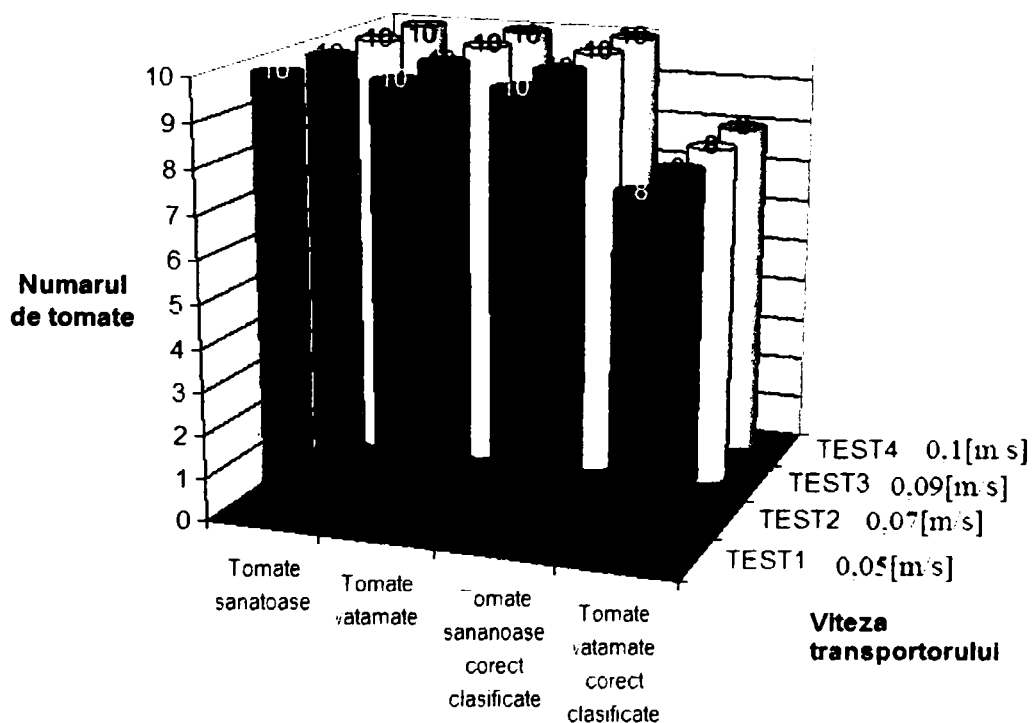


Fig. 11.4.2. Variația preciziei identificării tomatelor vătămate în raport cu viteza transportorului





**Fig. 11.4.3.** Variația numărului tomatelor sănătoase și vătămăte corect identificate din punct de vedere al gradului de sănătate în raport cu viteza transportorului

**Tabelul 11.5.** Stabilirea gradului de sănătate la mere

Viteza transp. [m/s]	Nr. mere sănătoase testate	Nr. mere vătămăte testate	Nr. mere sănătoase corect clasificate	Nr. mere vătămăte corect clasificate	Acuratețea clasificării merelor sănătoase	Acuratețea clasificării merelor vătămăte
0,05	10	10	10	7	100%	70%
0,07	10	10	10	7	100%	70%
0,09	10	10	10	7	100%	70%
0,1	10	10	10	7	100%	70%

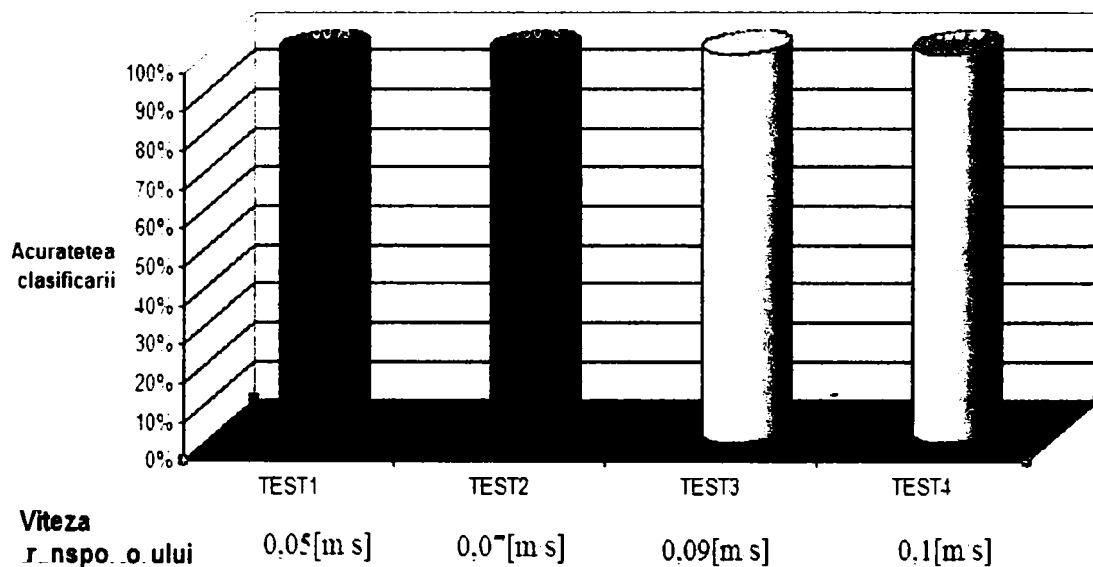


Fig. 11.4.4. Variația preciziei identificării merelor sănătoase în raport cu viteza transportorului

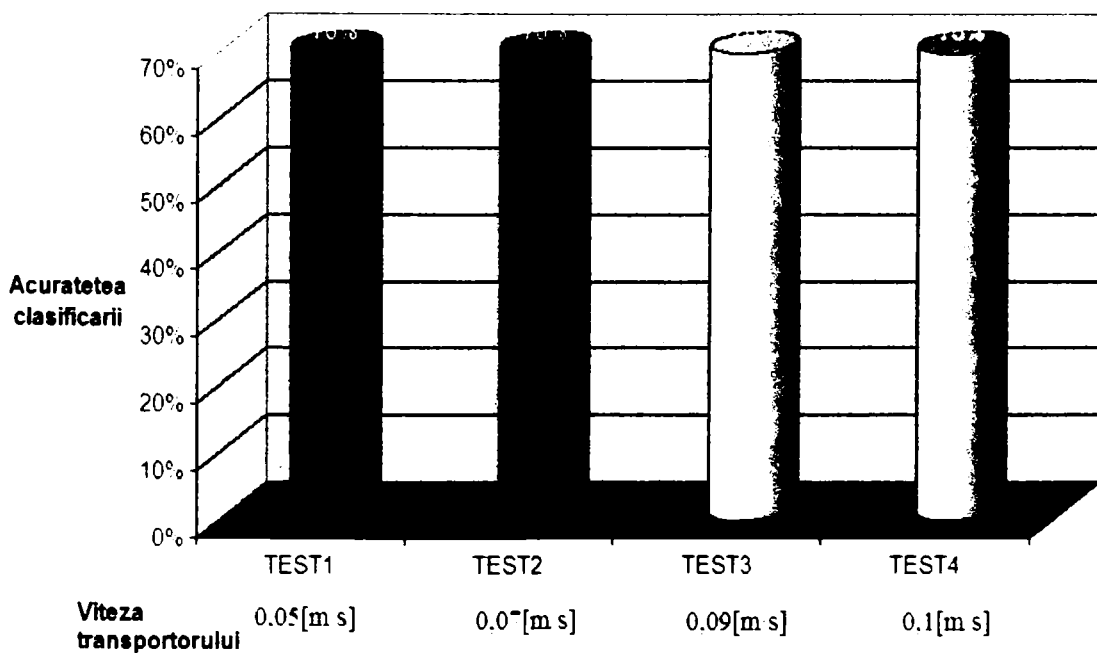
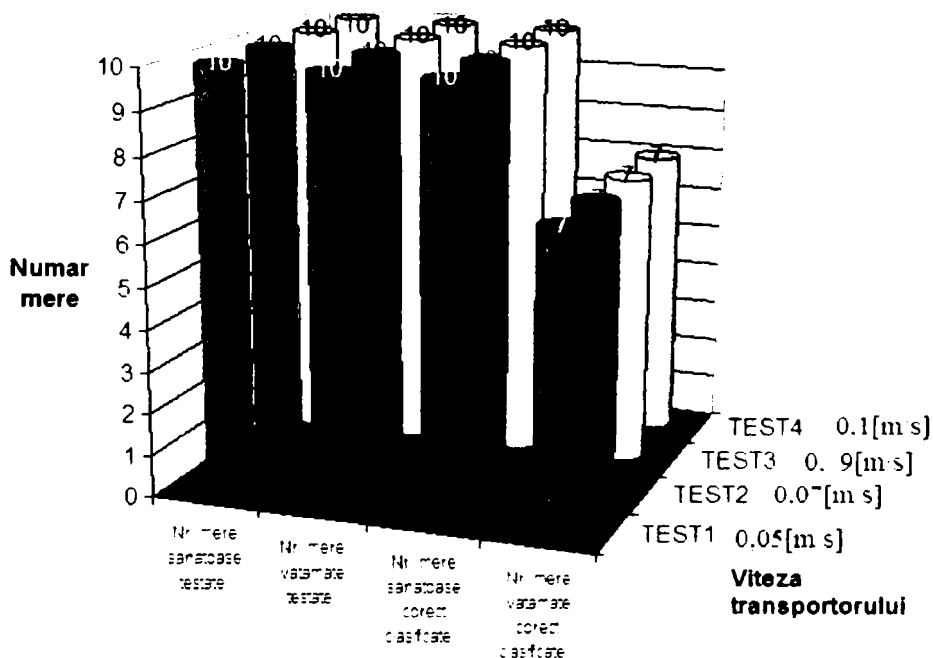


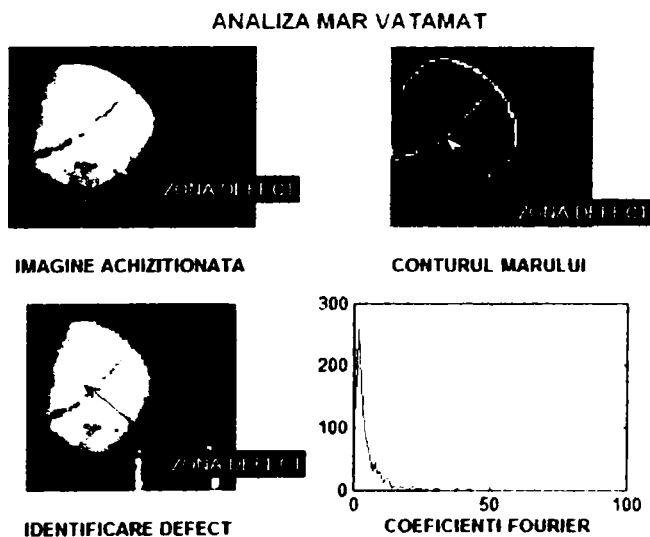
Fig. 11.4.5. Variația preciziei identificării merelor vătămate în raport cu viteza transportorului



**Fig. 11.4.6.** Variația numărului de mere sănătoase și vătămate corect identificate din punct de vedere al gradului de sănătate în raport cu viteza transportorului

Așa cum se observă din analiza datelor din cele două tabele, precizia procesului de identificare a gradului de vătămare pentru tomate este de 90% și de 85% pentru mere. De asemenea, se observă că tomatele și merele sănătoase sunt interpretate corect de algoritmi decizionali dezvoltati, în schimb 2 tomate și 3 mere vătămate au fost atribuite greșit clasei merelor și tomatelor sănătoase.

Analiza ulterioară a testelor realizate doar cu tomatele și merele vătămate, au scos în evidență faptul că produsele interpretate greșit sunt cele recent vătămate mecanic și care în zona de impact nu și-au schimbat culoarea. În cazul în care vătămarea este pe o porțiune mai mare a mărului ea va fi identificată, algoritmul semnalizând prezența unui nou contur înscris în conturul mărului după cum se reliefează în figura 11.4.7.

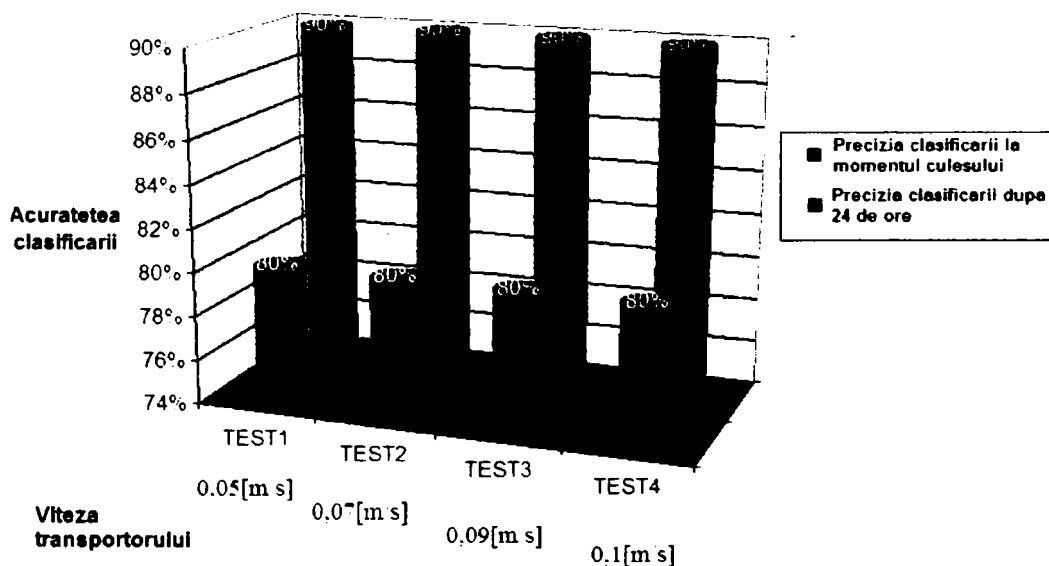


**Fig. 11.4.7.** Rezultatele analizei merelor vătămate proaspăt

Reluarea testelor după 24 de ore, timp în care tomatele și merele au fost ținute la temperatură constantă de 18-22 de grade au furnizat rezultatele centralizate în tabelele 11.6. și 11.7.

**Tabelul 11.6.** Stabilirea gradului de sănătate la tomate după 24 de ore

Viteza transp. [m/s]	Nr. tomate sănătoase testate	Nr. tomate vătămate testate	Nr. tomate sănătoase corect clasificate	Nr. tomate vătămate corect clasificate	Acuratețea clasificării tomatoelor sănătoase	Acuratețea clasificării tomatoelor vătămate
0,05	10	10	10	9	100%	90%
0,07	10	10	10	9	100%	90%
0,09	10	10	10	9	100%	90%
0,1	10	10	10	9	100%	90%



**Fig. 11.4.8.** Variația preciziei identificării tomatoelor în raport cu gradul de sănătate după 24 de ore

**Tabelul 11.7.** Stabilirea gradului de sănătate la mere după 24 de ore

Viteza transp. [m/s]	Nr. mere sănătoase testate	Nr. mere vătămate testate	Nr. mere sănătoase corect clasificate	Nr. mere vătămate corect clasificate	Acuratețea clasificării merelor sănătoase	Acuratețea clasificării merelor vătămate
0,05	10	10	10	9	100%	90%
0,07	10	10	10	9	100%	90%
0,09	10	10	10	9	100%	90%
0,1	10	10	10	9	100%	90%

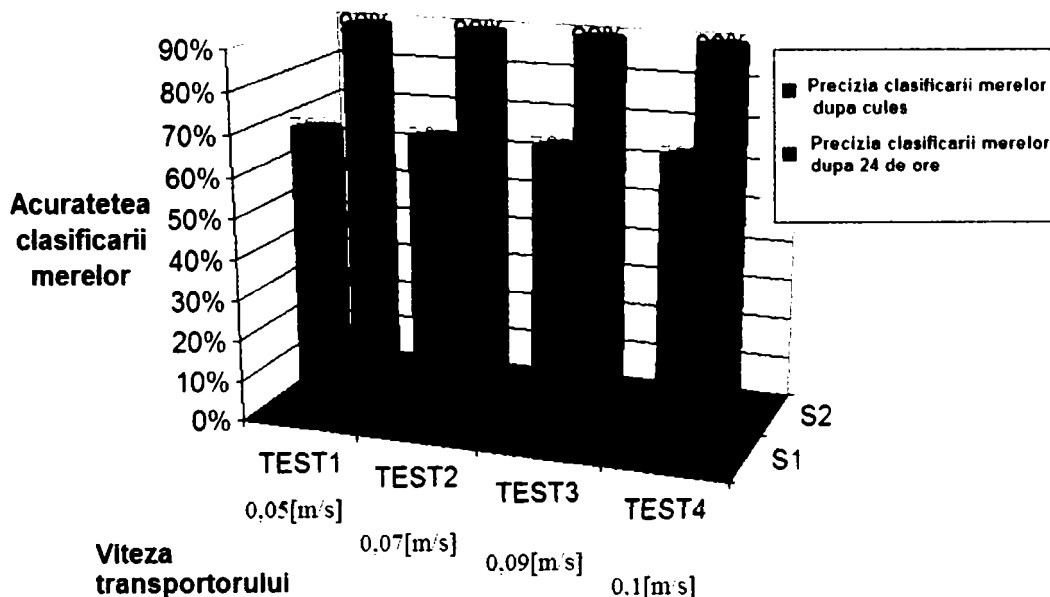


Fig. 11.4.9. Variația preciziei identificării merelor în raport cu gradul de sănătate după 24 de ore

În urma reluării experimentelor s-a observat creșterea preciziei de identificare a produselor vătămate cu până la 95% atât pentru tomate cât și pentru mere. Astfel, în baza datelor obținute putem enunța **două** concluzii:

1. *Clasificarea produselor vegetale din punct de vedere al gradului de sănătate trebuie realizată la o anumită perioadă de timp de la cules în raport cu caracteristicile organoleptice și fermo-structurale ale fiecărei categorii în parte, pentru a surprinde vătămrile vizibile și nevizibile produse din cauze mecanice (fig. 11.4.10. și fig. 11.4.11.)*

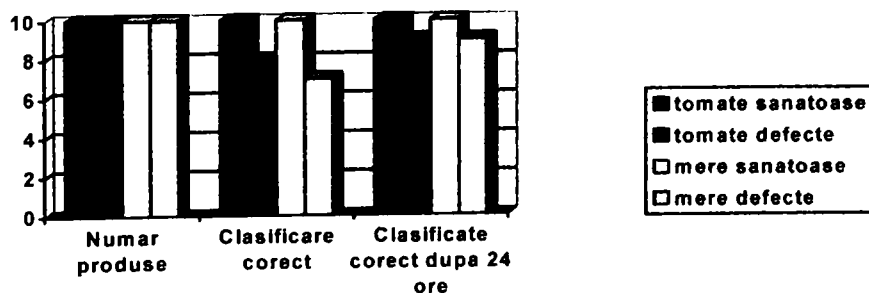
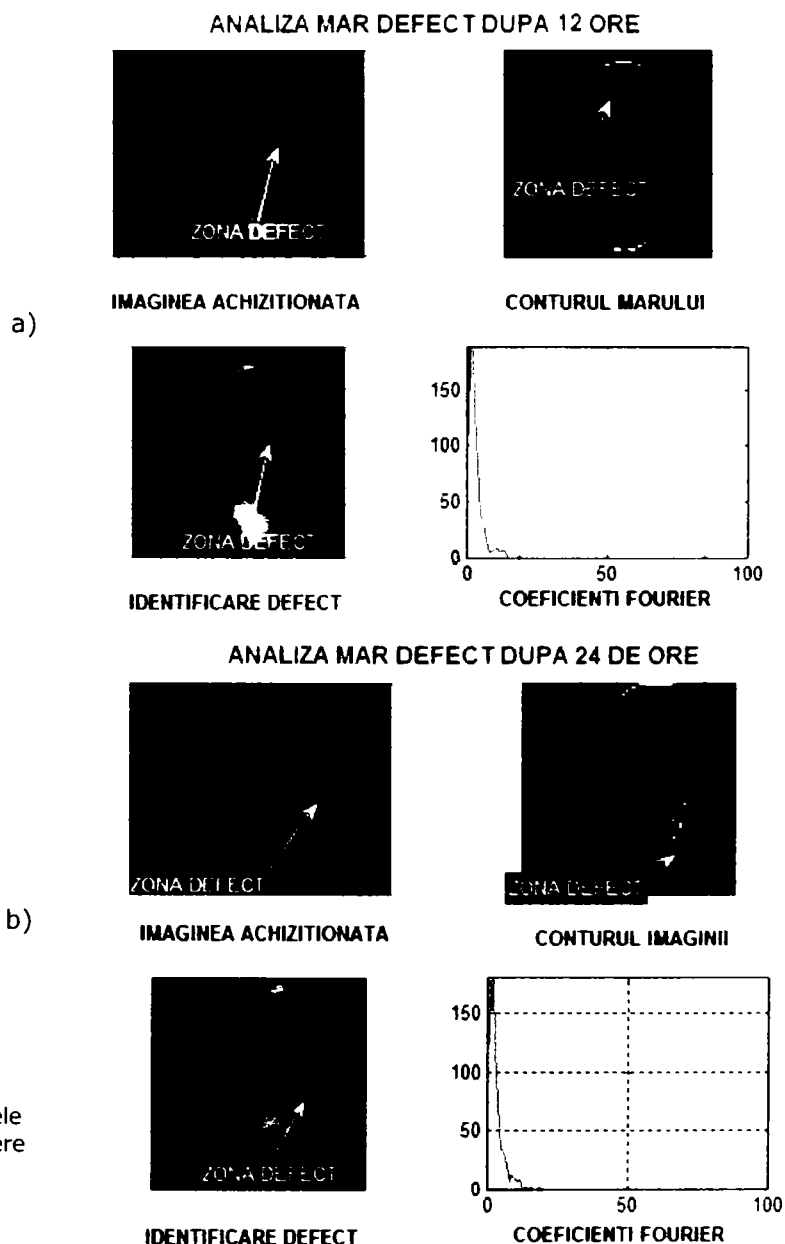


Fig. 11.4.10. Diagrama preciziei de clasificare a tomatelor și merelor la momentul experimentului și la repetarea acestuia după 24 de ore



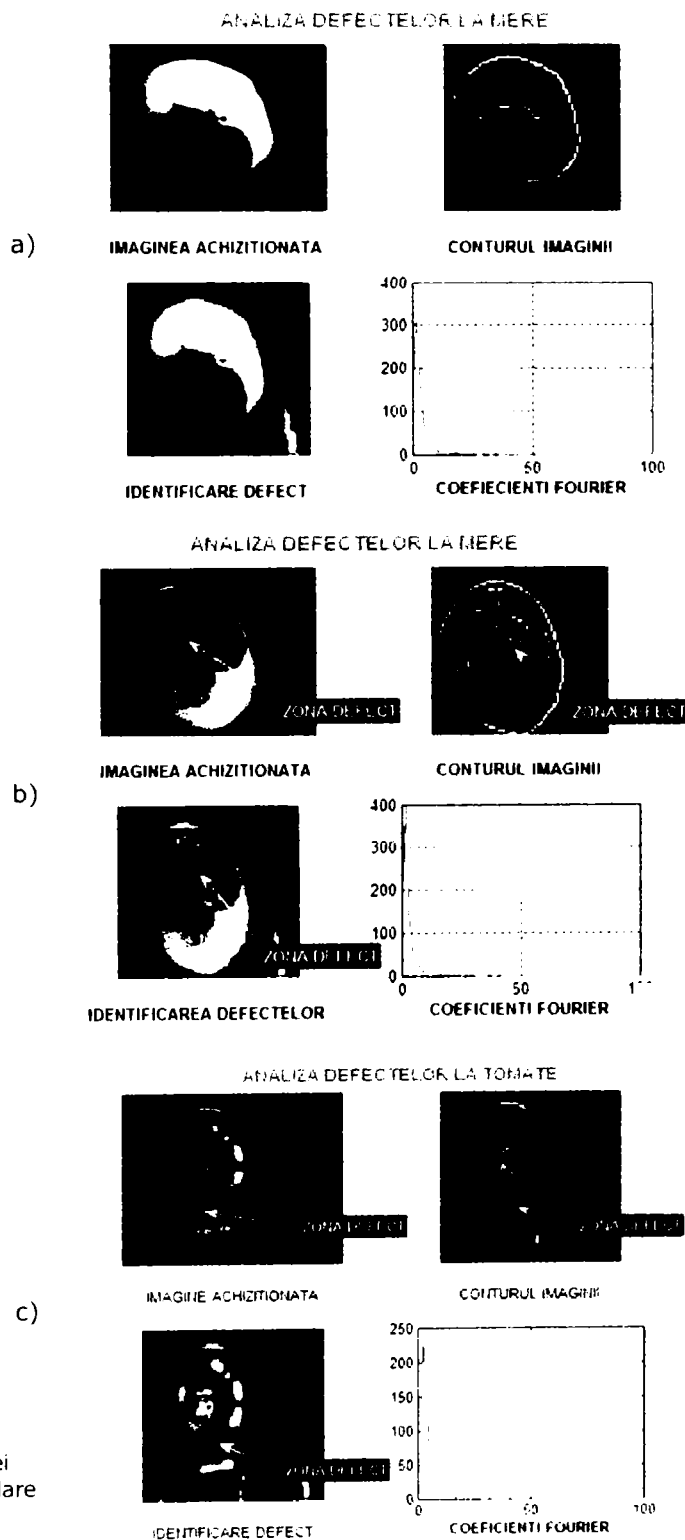
**Fig. 11.4.11.** Rezultatele analizei defectelor la mere după

- a) după 12 ore;
- b) după 24 ore;

**2. Produsele vătămate (bolnave) utilizate în scopul stabilirii domeniului de variație al nuanțelor corespunzătoare zonelor bolnave trebuie să fie într-un număr suficient, astfel încât să nu existe riscul să fie întâlnite produse cu defecte care să nu fi fost analizate și care în timpul clasificării să fie interpretate eronat.**

Din acest motiv se recomandă ca înaintea analizei unei noi șarje de produse din altă specie și soi cu cele precedente, trebuie realizată în mod obligatoriu o etapă de identificare a posibilelor defecte provocate de boli sau dăunători, dar și a vătămărilor provocate în timpul culesului sau transportului.

În figura 11.4.12. sunt prezentate câteva cazuri particulare de vătămări atât la mere cât și la tomate:



**Fig. 11.4.12.** Rezultatele analizei  
 a) și b) la mere; c) la tomate.

Din figura 11.4.12 a și b rezultă că cu cât gradul de vătămare a produselor este mai mare cu atât algoritmul este mai eficient în sesizarea acestora. Experimentele realizate au indicat faptul ca în toate cazurile testate, atât la tomate cât și la mere, zona codiței nu a fost interpretată ca fiind un posibil defect (fig. 11.4.12.c), asta deoarece algoritmul propus pentru identificarea defectelor folosește pe lângă descriptorii formei și caracteristicile de culoare. Cum pixelii identificați în zona codiței sunt mult diferiți ca valoare față de pixelii proveniți din zona defectelor a asigurat o precizie foarte ridicată algoritmului proiectat.

Totuși, pentru ca algoritmi să fie perfect funcționali, adică **eroarea conceptuală** să fie cât mică, se recomandă ca înainte de clasificarea unei categorii de produse, să aibă loc o perioadă de identificarea a posibilelor defecte ce afectează soiul sau cultura respectivă. Realizarea unei baze de date cu imagini conținând produse vătămate biologic de boli, dăunători sau de condițiile atmosferice pe fiecare soi în parte ar putea conduce la performanțe foarte ridicate în timpul procesului de analiză.

În urma analizei rezultatelor obținute în timpul experimentelor putem concluziona că procentul foarte ridicat obținut se datorează și numărului relativ mic de produse testate. Totuși, performanțele algoritmilor de apreciere a gradului de sănătate, proiectați și dezvoltați sunt foarte ridicate și în plus pot fi permanent îmbunătățite.



## CAPITOLUL 12

### Concluzii finale și contribuții personale

#### 12.1. Concluzii finale

În baza studiilor teoretice asupra stadiul de rezolvare a problematicii acestei teze, cât și a rezultatelor testării sistemelor de conducere automată în condiții concrete pe standul experimental, se pot formula următoarele concluzii finale:

- Prelucrarea primară a legumelor și fructelor folosind metode automate constituie în momentul de față o etapă obligatorie înainte de valorificarea lor pe piață, în scopul creșterii calității și a reducerii costurilor.
- Deoarece, aceste instalații trebuie să facă față unor cerințe de calitate tot mai ridicate, ele trebuie să crească în complexitate tehnologică, și totodată trebuie asigurată o interdependență tot mai pronunțată între secțiile funcționale implicate.
- Analiza critică efectuată asupra principiilor mecanice, dar și a celor electronice utilizate în prezent în țara noastră, a constituit un suport util în conceperea cerințelor impuse pentru noile instalații de prelucrare primară.
- Principiile și metodele electronice, ce utilizează și tehnica de calcul, recent introdusă în procesele de prelucrare primară, vin în sprijinul agenților economici, încercând să facă față cerințelor de calitate și randament impuse de concurența acerbă din domeniu.
- În acest scop, exemplificările din capitolele 2, 3 și 4 au fost astfel alese și sistematizate încât, să constituie un punct de plecare în proiectarea și dezvoltarea unor instalații de prelucrare primară, care să valorifice noile cuceriri în domeniul inspecției video și ale inteligenței artificiale.
- Conceperea și dezvoltarea unei instalații de prelucrare primară a legumelor și fructelor, care să valorifice avantajele noilor cuceriri din domeniul tehnicii de calcul, inteligenței artificiale sau ale inspecției video, necesită cunoștințe și experiență complexă în domenii multiple. De aceea, considerăm că rezolvarea cu succes a tuturor problemelor ridicate de un asemenea proiect pot fi asigurate numai de contribuția comună a unor colective multidisciplinare.
- Ținând cont de unicitatea fructelor și legumelor, cunoașterea caracteristicilor produselor utilizate și domeniile de variație a acestora, precum și integrarea unui model conceptual bine structurat, va reprezenta o bază deosebit de necesară pentru dezvoltarea unei instalații de prelucrare primară.
- Capitolele 5, 6, 7, 8 și 9, transpun în mod gradual rezultatele și concluziile capitolelor precedente în domeniul aplicativ, sintetizând conceperea, dezvoltarea și implementarea unei instalații de prelucrare primară a legumelor și fructelor cu factor de formă cât mai aproape de 1, folosind inspecția video și tehnica de calcul.

- Instalația realizată integrează în mod unitar cele patru sisteme: mecanic, de iluminare, de vizualizare și sistemul de conducere al procesului. La proiectarea fiecăruia dintre acestea s-a ținut cont de concluziile sintetizate în prima parte. Sunt prezentați mai mulți algoritmi proprii ce permit evaluarea unor caracteristici ale fructelor și legumelor pe baza cărora se poate realiza concomitent analiza gradului de sănătate, clasificarea după culoare și clasificarea dimensională. Pentru interpretarea parametrilor fructelor și legumelor au fost dezvoltat algoritmi proprii utilizând tehnici din domeniul inteligenței artificiale: rețele neuronale, reguli Fuzzy.
- Testarea fiecărui algoritm a fost realizată cu ajutorul unor aplicații concepute de autor și realizate în Matlab: Analizor Dimensiuni, Analizor Calitate Filtre, Analizor Imagini, Analizor Culoare și Analizor Defecte ce evaluează pe lângă calitatea fiecărui algoritm și probabilitatea de încadrare în timpul planificat, sincronizarea evoluției celor trei algoritmi (de analiză a gradului de sănătate, clasificare după culoare și calibrare dimensională), supervizarea activităților conform duratelor stabilite și ajustarea evoluției activităților în timp real.
- Aplicațiile au interfețe prietenoase cu multe căsuțe de dialog, care ghidează utilizatorul pe parcursul etapelor de pregătire pentru lucru (antrenament) și de stabilire a domeniilor de variație a culorilor și a dimensiunilor pentru fiecare specie și soi analizat în parte, cu avertizări, sugestii de ajustare în timp real și analize diagnostic pentru fiecare activitate, argumentând cauzele care au generat ajustările sau modificările duratei unei activități. Caracteristicile furnizate de aceste aplicații au permis efectuarea ajustărilor necesare sistemului de vizualizare, sistemului de iluminare, algoritmilor de preprocesare dar și algoritmilor de clasificare, prin stabilirea limitelor pentru fiecare clasă de produse.
- În urma implementării și testării algoritmilor pentru mere și tomate s-a obținut o optimizare a procesului de prelucrare primară evidențiată prin:
  - Principiile introduse au permis ca la ieșirea produselor analizate din zona de vizualizare, acestea să fie deja etichetate după gradul de sănătate, culoare și dimensiuni, realizându-se astfel scurtarea duratei de execuție a procesului de prelucrare primară și eliminarea necesității utilizării muncii manuale.
  - S-a creat o bază de cunoștințe utilă în cazul proiectării sistemelor de clasificare a produselor vegetale folosind inspecția video, care vine în întâmpinarea situațiilor în care limitele de variație a anumitor caracteristici de interes ale acestora nu pot fi prevăzute încă din momentul proiectării și estimărilor inițiale.
  - S-a obținut creșterea preciziei de clasificare, creșterea calității produselor obținute prin valorificarea sortării după gradul de sănătate și după culoare, creșterea productivității prin creșterea vitezei de lucru și scăderea costurilor de producție, eliminarea dependenței de operatorii umani, reducerea vătămărilor, prin reducerea traseului parcurs de produsele analizate.
  - Statisticile efectuate în urma analizei performanțelor fiecărui algoritm susțin performanțele generale ale instalației.

- În cazul testării performanțelor sistemului de video-inspecție proiectat, a algoritmilor de clasificare, dar și a aplicațiilor de comandă și control realizate, cu mere și tomate din soiul Delicious Auriu, respectiv Productiva, folosind standul experimental proiectat și realizat, s-au obținut rezultate foarte bune, dintre care cele mai semnificative sunt:
  - Stabilirea clară a limitelor de variație pentru cele trei culori aferente claselor: coapte, coapte-intermediar și necoapte, dar și pentru dimensiunile aferente claselor: mare, mijlociu și mic.
  - Recunoașterea de către algoritmi de clasificare bazați pe rețelele neuronale, a unor forme de tomate și mere ai căror parametri nu au fost folosiți în perioada de pregătire pentru lucru (antrenament).
  - Creșterea vitezei procesului de prelucrare primară a tomatelor și merelor prin eliminarea dependenței de operatorii umani, pentru clasificarea după culoare și pentru aprecierea gradului de sănătate.
  - Creșterea preciziei fazelor de prelucrare primară, respectiv, reducerea gradului de vătămare, datorită reducerii numărului de operații.
  - Instalația de prelucrare primară realizată are un grad mare de aplicabilitate, ea putând fi utilizată și pentru alte fructe și legume cu factor de formă apropiat de 1, dar și pentru alte categorii de produse cu factor de formă mult diferit de 1. În acest caz instalația nu mai permite obținerea unor performanțe maxime.
  - Instalația poate fi adaptată rapid pentru o largă categorie de produse, permite o montare rapidă și nu necesită pentru întreținere personal specializat.
  - În urma scăderii costurilor necesare pentru remunerarea muncii manuale, prin reducerea drastică a numărului operatorilor umani, dar și prin creșterea calității produselor distribuite, se asigură un beneficiu mai mare, precum și posibilitatea de reducere a prețului de vânzare, acesta fiind un factor important în competiția de pe piața legumelor și fructelor.
  - Se reduce semnificativ numărul produselor vătămăte prin reducerea drumului procesul de clasificare, ca o consecință a reducerii dimensiunilor instalației.
  - Deoarece instalația realizează concomitent identificarea defectelor, calibrarea dimensională și sortarea după culoare, timpul de clasificare se reduce foarte mult. Astfel, timpul necesar analizei unui singur produs a fost de 0,4 secunde, iar timpul necesar repartizării pe sorturi a depins de numărul de sorturi impus.
  - Principiile și algoritmi proiectați și utilizați în cadrul instalației, nu sunt mari consumatori de resurse, ceea ce permite utilizarea unor echipamente hard cu aproximativ 25% mai ieftine decât majoritatea echipamentelor electronice existente în cadrul altor instalații.
  - Precizia de clasificare pe întreaga instalație poate ajunge la peste 97%, în condițiile în care limitele domeniilor de variație a

culorilor și dimensiunilor au fost corect identificate, iar rețeaua neuronală a algoritmului de clasificare corect pregătită.

- Efectuarea în continuare a unor cercetări aprofundate pe această temă, este de o necesitate stringentă pentru țara noastră. Bibliografia consultată cu ocazia întocmirii acestor studii și cercetări, reflectă o puternică tendință de adaptare rapidă a agenților economici din profil, la toate procesele de schimbare și modernizare a acestei categorii de instalații. Numai în acest fel ei pot face față ritmurilor tot mai accelerate de introducere și folosire a progresului tehnic, contracarând efectele nedorite determinate de concurența acerbă din domeniu.

## 12.2. Contribuții personale și recomandări

Efectuarea unei cercetări pe o temă atât de pretențioasă a reprezentat pentru autor un gest deosebit de îndrăzneț, în contextul în care nu a avut șansa ca să beneficieze de posibilitatea de a se documenta în prezența unei instalații moderne cu o astfel de destinație, iar articolele științifice de înalt nivel ale unor autori români pe această temă, au lipsit cu desăvârșire.

Pentru instalațiile mecanice și mecano-electronice folosite în țara noastră, literatura de specialitate este deosebit de bogată, însă date concrete în legătură cu soluțiile tehnice moderne implementate în construcția și funcționarea automată a acestei categorii de utilaje, nu au putut fi găsite nici în bibliotecile specializate ale institutelor de cercetări din domeniu.

Totuși, posibilitatea ce mi s-a oferit pentru efectuarea unei documentări complete referitor la stadiul și nivelul tehnic atins în țara noastră pentru rezolvarea problemelor specifice din domeniu, mi-a permis să sintetizez foarte clar direcțiile de cercetare ale acestei teze de doctorat și să-mi aduc un număr important de contribuții personale, atât sub aspect teoretic cât și pentru validarea practică a exactității conceptului fizico-matematic aplicat la fiecare din sistemele proiectate și experimentate.

În concordanță cu aceste contribuții a fost realizat și experimentat pentru prima dată în țara noastră, un stand experimental ce poate juca rol de stație-pilot, în cadrul căruia s-au implementat și experimentat soluții tehnice moderne din domeniul conducerii automate a celor mai pretențioase faze din tehnologia de prelucrare primară a legumelor și fructelor folosind inspecția video.

În acest sens, în baza unei documentări aprofundate efectuate asupra tuturor tipurilor de instalații mecanice și mecano-electronice folosite în domeniu, s-au putut evidenția clar, pe de o parte principalele neajunsuri ale acestora, iar pe de alta, s-au putut formula cerințele pe care trebuie să le îndeplinească o instalație automată destinată să sorteze legumele și fructele pe baza inspecției video, după gradul de maturitate și stare de sănătate, respectiv, să le sorteze după dimensiuni și culoare.

Pentru conceperea, realizarea și experimentarea unei astfel de instalații, autorul și-a adus contribuții personale și originale în următoarele direcții:

- proiectarea structurii și a configurației organologice a standului experimental, precum și a echipamentelor de lucru și de comandă ale acesteia;

- proiectarea și implementarea algoritmilor ce stau la baza funcționării blocului de procesare, a algoritmilor ce asigură extragerea caracteristicilor de interes din imaginile achiziționate, precum și a algoritmilor de clasificare;
- realizarea programelor de conducere a sistemelor de comandă și control, respectiv, implementarea și testarea lor pentru sortarea merelor și a tomatelor, al căror factor de formă  $\Psi \approx 1$ .

În cadrul acestor direcții, de o deosebită importanță sunt contribuțiile referitoare la:

- proiectarea și realizarea unui sistem de vedere artificială în scopul clasificării legumelor și fructelor;
- dezvoltarea unui program care să permită testarea performanțelor sistemului de vizualizare proiectat și realizat;
- stabilirea structurii Sistemului de comandă și control în raport cu cerințele aplicației;
- Analiza structurii Blocului de preprocesare a sistemului de vedere artificială, în scopul identificării posibilelor surse de erori ce pot afecta procesul, dar și a indicatorilor de performanță ce pot fi utilizați pentru aprecierea imaginilor achiziționate îmbunătățite.
- Sinteza și analiza operațiilor fundamentale de preprocesare a imaginilor și dezvoltarea arhitecturii sistemului de analiză a imaginilor pe baza diagramelor UML aplicate unui model conceptual obținut din constrângerile și cerințele impuse de aplicație.
- Conceperea și elaborarea structurii modulare a sistemelor de apreciere a calității imaginilor;
- Conceperea și prezentarea interfeței grafice a sistemelor de apreciere a calității imaginilor;
- Sinteza și analiza comparativă a principalelor tehnici de preprocesare a imaginilor în scopul stabilirii acelor operații care pot conduce la îmbunătățirea calității imaginilor achiziționate a legumelor și fructelor precum: operații de filtrare trece sus sau trece jos, în domeniul spațial sau în domeniul frecvenței și alegerea modelului de culori optim
- Analiza și sinteza caracteristicilor fructelor și legumelor analizate prin inspecția video și identificarea acelor parametri din imaginile achiziționate ce pot fi valorificați pentru clasificarea dimensională, după culoare sau de stabilire a gradului de sănătate.
- Conceperea și elaborarea unui algoritm de segmentare nou, modern și eficient atât ca performanțe cât și ca timp de execuție, care, să permită extragerea imaginii fructelor și legumelor din fundal.
- Conceperea și elaborarea unui algoritm de identificare și extragere a descriptorilor formei pe baza semnăturii razelor și a tehnicilor Fourier potrivit caracteristicilor fructelor și legumelor.
- Conceperea și elaborarea unui algoritm de identificare și extragere a descriptorilor culorii pe baza pe baza valorii mediei histogramei.
- Conceperea și elaborarea unui algoritm de identificare a defectelor fructelor și legumelor pe baza descriptorilor de formă prin utilizarea rețelelor neuronale. Prezentarea modului de antrenare a rețelei în raport cu o precizie impusă și stabilirea structurii acesteia.
- Conceperea și elaborarea unui algoritm de analiză a fructelor și legumelor pe baza caracteristicilor de culoare prin utilizarea sistemelor

Fuzzy și stabilirea domeniilor de variație a culorilor pentru cele trei sorturi impuse.

- Conceperea și elaborarea unui algoritm de clasificare dimensională a fructelor și legumelor pe baza razei medii prin utilizarea sistemelor Fuzzy și stabilirea domeniilor de variație a dimensiunilor pentru cele trei calibre impuse;
- Conceperea și elaborarea unui sistem propriu de antrenare și identificare a domeniilor de variație pentru fiecare parametru urmărit și realizarea diagramelor de activități UML;
- Conceperea arhitecturii aplicației Analizor Domenii pe baza diagramelor UML și explicarea funcțiilor și procedurilor ce îl compun;
- Conceperea arhitecturii aplicației Analizor Culoare pe baza diagramelor UML și explicarea funcțiilor și procedurilor ce îl compun, în scopul validării performanțelor algoritmilor propuși;
- Conceperea arhitecturii aplicației Analizor Dimensiune pe baza diagramelor UML și explicarea funcțiilor și procedurilor ce o compun, în scopul validării performanțelor algoritmilor propuși;
- Stabilirea modalității de realizare a experimentelor în scopul aprecierii algoritmilor și a instalației proiectate, dar și de interpretare a rezultatelor obținute;
- Evaluarea generală a rezultatelor obținute în urma experimentelor realizate și sintetizarea unor direcții viitoare de cercetare.

În încheiere, recomandăm celor ce doresc să continue cercetările pe această temă, să-și îndrepte eforturile spre direcțiile de cercetare care au în vedere îmbunătățirea performanțelor algoritmilor de identificare a defectelor, a algoritmilor decizionali, dezvoltarea unor standarde de calitate valabile pentru o largă categorie de produse, îmbunătățirea stagiilor de antrenament și a etapelor de identificare a domeniilor de variație a parametrilor urmăriți, precum și creșterea eficienței și a siguranței în exploatare a echipamentelor mecanice utilizate în etapele de transport și clasificare.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] H.C Andrews, Digital Image Processing, Computer design,1981;
- [2] American Society of Agricultural Engineers, Automated Agriculture for the 21 century 16-17 December 1991 Chicago, Illinois;
- [3] M.O. Balaban, D.A. Luzuriaga, Color machine vision: an alternative for color measurement, ASAE 2002;
- [4] I.F.Batiev, Separator fotoelectric a cartofilor din amestec, Mecanizarea și electrificarea agriculturii nr. 9/1969, Moscova;
- [5] M.Berindei, N. Bria, Mecanizarea lucrărilor în producția de cartofi, Editura Ceres, București, 1982.
- [6] B.S. Brand, Cercetări experimentale asupra organelor de calibrare a fructelor, Tractoare și mașini agricole nr. 5/1969 Moscova;
- [7] F.I. Borodin and al, Automatizarea sortării merelor, rev. Mecanizarea și electrificarea agriculturii nr. 4/1986, Moscova;
- [8] G.K. Brown and al., Near-infrared reflectance of bruised apples, Trans of ASAE 1997;
- [9] D.M. Bulalon, T. Kataoka și col., Optimal Thresholding for the automatic recognition of apple fruits, ASAE 2001;
- [10] I. Burzo, Îndrumător tehnic pentru dirijarea factorilor de păstrare în depozitele de legume și fructe. Editura Tehnica, București, 1984 ;
- [11] M. Buzera, Studii asupra procedeelelor actuale de prelucrare primară în vederea valorificării în stare proaspătă a fructelor. Critica procedeelelor. Referat nr.1. Timișoara 2003;
- [12] M. Buzera, Contribuții teoretice la implementarea unor tehnici moderne de conducere a desfășurării în flux automat a fazelor de prelucrare primară a fructelor proaspete. Referat nr.2. Timișoara 2004;
- [13] M. Buzera, Cercetări experimentale parțiale privind performanțele obținute la executarea în flux automat a fazelor procesului de prelucrare primară a fructelor proaspete, Referat nr.3. Timișoara 2005;
- [14] M. Buzera and C. Stefan, Detecting the integrity of the shape of vegetal products by using non-destructive techniques, Proceedings of the International Conference, Bulgarian National Society of Agricultural Engineers, Lozenec 2007, Vol.2 (2007) 252-256;
- [15] M. Buzera, G. Proștean, L. Popa, G. Belgiu, Filtration Techniques used in the processus of automatic classification of the products, Transaction of Mechanics, Timișoara, 2007;
- [16] M. Buzera, G. Proștean, G. Belgiu, L. Popa, Detecting the integrity of the shape of vegetal products by using non-destructive techniques, Transaction of Mechanics, Timișoara, 2007;
- [17] M. Buzera, Z. Rebedea, Proiectare asistată de calculator. AutoCAD., Editura Universitaria, Craiova, 2007;
- [18] M. Buzera, G. Voicu, G. Proștean, O. Proștean, Techniques of Analysing the Colour of Produces for Automatic Classification, 12th IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems, Miami, Florida, USA, 2008, 209-214;
- [19] M. Buzera, V. Balas, C. Ștefan, New Techniques of Products Analysis on the Basis of Colour and Shape, Advances in Intelligent Systems and Technologies

- Proceedings ECIT2008 – 5<sup>th</sup> European Conference on Intelligent Systems and Technologies Iasi, Romania, 2008;
- [20] M. Buzera, G. Prosteian, C. Stefan, Assesment techniques of the products on the basis of shape analysis , The 19th International DAAAM Symposium, Viena 2008;
- [21] M. Buzera, Non-distructive techniques of automatic classification of vegetal products, International Symposium Research and Education in an Innovation Era 2nd Edition, Arad, November 2008;
- [22] M. Buzera, L.Gal, Z. Rebedea, The phases of automatic classification of vegetal products through Machine Vison techniques, International Symposium Research and Education in an Innovation Era 2nd Edition, Arad, November 2008;
- [23] V. Buzuloiu, Prelucrarea Imaginilor.Note de curs., Universitatea "Politehnică" Bucuresti, 1998;
- [24] A. Carling, Introducing Neural Networks, Ed. Sigma Press,Wilmslow, UK,1992;
- [25] K.R. Castelman, Digital Image Processing, Englewood Cliffs, 1996;
- [26] K. Choi, G. Lee and al. Tomato maturity evaluation using color image analysis , Trans. of ASAE 1995;
- [27] T.G. Crowe, M.J. Delwiche, Real time defect detection in fruit, Trans. of ASAE 1996;
- [28] P.E. Cruvinel, E.R. Minotel, Image processing in automated pattern classification of oranges, Trans. of ASAE 2002;
- [29] A.Csulak, G. Bâlc, Utilaje pentru prelucrarea primară și păstrarea produselor agricole I.P. Cluj-Napoca, Îndrumar laborator, 1986 ;
- [30] R. Cunnigham, Segmenting Binary Images, Robotics Age, 1981;
- [31] K. Das, M.D. Evans, Detecting Fertility of Hatching eggs ussing machine vision, Trans. of ASAE, 1992;
- [32] S.H. Deck, Evaluations of semi-autometed vegetable sorting concept, Trans. of ASAE 1994;
- [33] M. Delwiche and al., A nondestructive firmness sorting system for pears, Trans. of ASAE 1992;
- [34] N.Din, M. Dumitrescu, A.Gherghi și col., Probleme ale valorificării legumelor și fructelor în stare proaspătă, Red. Rev. Agricole, București 1973;
- [35] W. Don, W. Lake, Hight Speed, Hight Resolution TDI Based Image Acquisition, Sunnyvale, California, 1992;
- [36] R.O. Duda, Pattern Classification and scene analzis, New York, 1983;
- [37] Duncan Tehnologies, Multispectral imaging in food and agriculture, 1999;
- [38] A. Gherghi and al., Recoltarea, condiționarea, transportul și păstrarea fructelor sâmburoase Red. Rev. Agr. București 1970;
- [39] A.Gherghi, C. Iordănescu, Depozite pentru legume și fructe, Editura Ceres, București, 1972;
- [40] A. Gherghi and al., Păstrarea și valorificarea fructelor și legumelor, Editura Ceres București 1973;
- [41] A. Gherghi, C. Iordăchescu, I. Burzo, Menținerea calității legumelor și fructelor în stare proaspătă. Editura tehnică București 1979.
- [42] T. Ghinea, S. Popescu, Automatizarea mașinilor și instalațiilor folosite în agricultură, Ed. Scrisul Românesc, Craiova 1986;
- [43] M. Ghinea, V. Fireșteanu, Matlab – calcul numeric, grafică și aplicații, editura Teora 1995 București;
- [44] J. Gui, Y. Ying, Fruit Shape Detection Based on Multi-scale Level Set Framework, Trans. of ASAE, 2006;
- [45] P.H. Heineann and al., An autoated inspection station for machine vision grading of potatoes, ASAE 1996;



- [46] M. Karbo, Camerele digitale, Ed. Egmont București 2002;
- [47] I. Kavdir, D.E. Guyer, Apple sorting using artificial neural networks and spectral imaging, Transactions of the ASAE, Vol. 45(6), pp 1995–2005;
- [48] A. Kelemen, M. Crivii, Motoare electrice pas cu pas, Ed. Tehnică, București,1975;
- [49] A.V. Krasnichenko, Manualul constructorului de mașini agricole, Editura Tehnică București 1964;
- [50] B.C. Kuo, A. Kelemen, M. Crivii, V. Trifa, Sisteme de comandă și reglare incrementală a poziției. Ed. Tehnică, București,1982;
- [51] S. Laykin, Y Edan R. Regev, F. Gross, Development of a quality sorting machine using machine vision and impact sensor, ASSE 2000;
- [52] S. Laykin, Y Edan, Image Processing Algorithms for tomato classification, ASAE 2002;
- [53] W.S. Lee, D.C. Slaughter, D.K. Giles, Robotic weed control system for tomatoes, Precision Agriculture – Olanda, 1999.
- [54] A. Liameneov , Particularitățile constructive ale mașinii pentru prelucrarea complexă după recoltare a cartofilor și legumelor, rev. Tractoare și mașini agricole nr. 9/90 Moscova;
- [55] T. Lin, H. Chang, K. Wu, J. Jiang, C. Ouyang An Adaptive Image Segmentation Algorithm for X-Ray Quarantine Inspection of Selected Fruits, Trans. of ASAE, 2005;
- [56] .S. Loncaric, M. Sercer, Automated visual inspection of plastic products, Technical raport, University of Zagreb 2002;
- [57] D.A. Luzuriaga, M.O. Balaban, Color machine vision system : An alternative for color measurement, ASAE 2002,
- [58] M. Recce, J. Taylor, Hight Speed vision based quality grading of oranges, Transactions of ASAE 1999;
- [59] J. A. Marchant, Machine Vision in the Agricultural Context, ASAE, pp. 259-272;
- [60] B. Martinkauppi, Face colour under varying illumination analysis and applications, University of Oulu 2002;
- [61] P. Mănișor, N. Bria, C. Ruxandru, C. Florescu, Mașini și instalații pentru uscarea și condiționarea produselor agricole, Editura Agro-Silvică, București 1967;
- [62] J.E. McClure, C.T. Morrow, Computer vision sorting of potatoes, Trans. of ASAE 1989;
- [63] G. Mihalca and al., Transportul și manipularea legumelor și fructelor, Editura Ceres București, 1976;
- [64] B.K. Miller, M.J. Delwich, Color vision System for peach grading, Trans. of ASAE 1989;
- [65] S. Moini, O'Brien, Tomato color measureent vesus maturity, Trans. of ASAE 1978;
- [66] S. Moini, O'Brien, P. Chen, Spectral properties of mold and defects of processing tomatoes, Trans. of ASAE 1980;
- [67] C.T. Morrow and al., Automated inspection of potatoes, apples and mushrooms, Trans. of ASAE 1990;
- [68] A. Muhammad Shahin și col. Lentil seed size distribution with machine vision, Trans. of ASAE 2001;
- [69] N.N.Nastenکو, L.A. Borosok, Bazele automatizării proceselor de productie din agricultura. Ed. Ceres, 1970;
- [70] C. Neagu, Utilaje pentru prelucrarea primară și păstrarea produselor agricole I.P. Iași 1987;
- [71] J.C. Noordam, A. Otten, , B. Timmermans, High speed potato grading and quality inspection based on a color vision system, AGENG 2000.

- [72] O. Olaru, Teza de doctorat, Contribuții privind analiza și sinteza sistemelor de reglare cu motor pas cu pas cu aplicații în minerit, Universitatea Petroșani, 1996;
- [73] K. Omasa, Precision Agriculture, ASAE, pp. 217-231;
- [74] B. Panneton, M. Brouillard, Assessing color representation methods for segmentation of vegetation in color photographs, Trans. of ASAE, 2008;
- [75] A. Petrescu, L. Ionescu, Transportul și manipularea legumelor și fructelor proaspete, Editura Ceres, București, 1971;
- [76] D. Poole, A. Mackworth, R. Goebel, Computational Intelligence, Ed. Oxford University Press, 1998;
- [77] R. Popa, M. Trifan, M. Ciomaga, Prelucrarea Imaginilor, Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iași, 2002;
- [78] C. Popescu, Procesarea Imaginilor. Note de curs. Univ. Politehnică, Timișoara, 2002;
- [79] V. Popescu, Wireless data communication in agricultural engineering trends and practical experiments, Proceedings of the International Conference, Bulgarian National Society of Agricultural Engineers, 2007;
- [80] S. Popescu, Automatizarea mașinilor și instalațiilor agricole, Îndrumar de lucrări practice, Universitatea din Brașov, 1983;
- [81] I. Potec, and al. Tehnologia păstrării și industrializării produselor horticole, Ed. Didactica și Pedagogica, București, 1983;
- [82] Prospect, Culegătorul de tomate Button Johnson model 2026, 1996;
- [83] L.I. Qingyhong, A machine vision system for apple surface defect detection, Journal of image and graphics China 2002;
- [84] I.F. Radu, A. Gherghi, Păstrarea și prelucrarea produselor horticole, Ed. Agrosilvica, București, 1967;
- [85] I.F. Radu, Tehnologia deshidratării fructelor și legumelor și folosirea lor Red.rev.agr. București 1972;
- [86] I.F. Radu, Tratat de tehnologie a fructelor și legumelor Ed. Scrisul Romanesc, Craiova. 1985;
- [87] B.D. Ripley, Pattern Recognition and Neural Networks, Ed. Cambridge University Press, 1996;
- [88] A. L. Ryall and al., Handling Transportation, and Storage of Fruits and Vegetables, The AVI publishing Company, Inc. 1972;
- [89] C. Ruxandu, Gh. Stan, Mecanizarea lucrărilor în pomicultură, Ed. Ceres, București, 1979;
- [90] N. Sarker, R.R. Wolfe, Computer vision based system for quality separation of fresh market tomatoes, Trans of ASAE 1985;
- [91] M.A. Scerbacov, Tehnologia determinării prin mijloace de televiziune a calității fructelor, Rev. Mecanizarea și Electricizarea agriculturii, Moscova 1990;
- [92] G. Scutaru and al., Tehnologia și mecanizarea proceselor de valorificare a legumelor și fructelor Red.rev.agr.Buc.1977;
- [93] A.S. Simeoes, A.H. Reali Costa, A. R. Hirakawa, A. Saraiawa, Applying neural Networks to automated visual fruit sorting, Iguacu Falls, Brazil, 2002;
- [94] S. Shrestha, B. L. Steward, An object-oriented architecture for field data acquisition, processing and information extraction, Trans. of ASAE 2003;
- [95] A. Spătaru, Teoria transmisiunii informației, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1984;
- [96] R. I. Stoienu, Prelucrarea și recunoașterea imaginilor Timișoara, 1996;
- [97] C. Studman, L. Boyd, Measurement of firmness in fruits and vegetables, Trans. of ASAE 1994;

- [98] R. P. Sudhakara, A. Gopal, R. Revathy, K. Meenakshi, Colour analysis of fruits using machine vision system for automatic sorting and grading, J. Instrum. India, 2000;
- [99] R. Sudhakara and al., Colour analysis of fruits using machine vision system for automatic sorting and grading, J. Instrum. Soc. India, 2003.
- [100] E. Șofron, N. Bizon, S. Ioniță, R. Răducu, Sisteme de control Fuzzy. Modelare și proiectare asistată de calculator, Editura All, București, 1998;
- [101] C. Ștefan, D. Iancului, Utilaje pentru prelucrarea primară și păstrarea produselor agricole I.P. Traian Vuia Timișoara 1980 ;
- [102] C. Ștefan, Utilaje pentru prelucrarea primara și păstrarea produselor agricole I.P. Traian Vuia Timișoara 1985 ;
- [103] Y. Tao, Z. Wen, An adaptive spherical image transform for high speed fruit defect detection, Trans. of ASAE 1999;
- [104] J.A. Throop and al. Apple orientation on automatic sorting equipment, Northeast regional agricultural engineering service 1997;
- [105] D.Toma , Mașini și instalații agricole E.D.P. București 1975;
- [106] M.F. Vaida, C. Porumb, R. Fotea, L. Lazăr, Java 2 Enterprise Edition (J2EE), Editura Alabastră, Cluj Napoca, 2002;
- [107] M. Vînătoru, O. Olaru, Sisteme automate, Editura Spicon, Tg-Jiu, 1997;
- [108] M. Ushada, and al., Non Destructive Method for Measuring Moss Water Status using Texture Analysis and Artificial Neural Network Model, Transactions of the ASAE, paper 061109, 2006;
- [109] Q. Yang, Finding stalk and calyx of apples using structured lighting Comput. Electron. Agric. 1993;
- [110] Y. Ying, H. Jing, Y. Tao, N. Zhan, Detecting stem and shape of pears using fourier transformation and artificial neural network, Trans. of ASAE 2003;
- [111] Y. Wen, Y. Tao, Dual camera NIR/MIR imaging for stem-end/calyx identification in apple defect sorting, Trans. of ASAE 2000;
- [112] R.R. Wolfe, W.E. Sandler An algorithm for stem detection using digital image procesing, Trans of ASAE 1985;
- [113] R.R. Wolfe, Building a rule-based machine vision system for defect inspection on apple sorting and picking lines, Expert System with Applications USA 1999;
- [114] \*\*\*\*\* M.A.S., Lucrări științifice, Vol.I ,Editura Ceres, I.C.P.P.V.L.F. București, 1970;
- [115] \*\*\*\*\* M.A.I.A.S.A., Lucrări științifice, Vol.II Red.rev.agr.,I.C.P.P.V.L.F București 1971;
- [116] \*\*\*\*\* M.A.I.A., Lucrări științifice, Vol.III Redacția revistelor agricole, I.S.C.P.P.V.L.F. București 1972;
- [117] \*\*\*\*\* M.A.I.A., Probleme ale valorificării legumelor și fructelor în stare proaspătă Red.rev.agr. I.S.C.P.C.H., Bucuresti 1973;
- [118] \*\*\*\*\* M.A.I.A., Probleme tehnice și economice al preambalării legumelor și fructelor, I.S.C.P.C.H., Bucuresti 1973;
- [119] \*\*\*\*\* M.A.I.A., Lucrări științifice, Vol.IV Red.rev.agr., I.S.C.P.C.H. București 1973;
- [120] \*\*\*\*\* M.A.I.A. Lucrări științifice, Vol.V Redacția revistelor agrigole, I.S.C.P.C.H. București 1974;
- [121] \*\*\*\*\* M.A.I.A., Lucrări științifice, Vol.VI Redacția materialelor de propag.agr. I.C.V.L.F.,București 1975;
- [122] Masinostroiene, Mașini pentru recoltat legume și fructe, (Lb. rusă), Moscova, 1964;

- [123] <http://www.-imc.imag.fr> - Institut d'Informatique et Mathematiques appliquees de Grenoble;
- [124] <http://www.cognex.com> - Machine vision industry applications;
- [125] <http://www-iri.upc.es> - Institutul de robotică și informatică industrială;
- [126] <http://www.math.mtu.edu> - A practical introduction to matlab;
- [127] <http://www.automationmag.com> - Automation magazin.
- [128] <http://www.asabe.org> - The society for engineering in agricultural, food, and biological system;
- [129] <http://www.ieee.org> - Institut of electrical and electronics engineers.
- [130] <http://www.mathworks.com> - site-ul firmei Matlab;
- [131] <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=126187> - Neural-Network-based Fuzzy Logic Control and Decision System;
- [132] <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=126187> - Neural-Network-based Fuzzy Logic Control and Decision System;
- [133] [http://www.pcai.com/web/issues/pcai\\_13\\_3\\_toc.html](http://www.pcai.com/web/issues/pcai_13_3_toc.html) - *Neural Networks & Fuzzy Logic*
- [134] <http://argouml.tigris.org/> - A UML design tool with cognitive support;
- [135] <http://www.smartdraw.com/exp/sof/> - Support for create software diagrams.

## **Titluri recent publicate în colecția „TEZE DE DOCTORAT” seria 9: Inginerie Mecanică**

---

1. **Daniela Gherghel** – *Contribuții privind recuperarea, prin protezare, a funcțiilor mecanice ale membrului superior uman, ISBN 978-973-625-686-8, (2008);*
  2. **Gavrilă Trif-Tordai** – *Cercetări privind arderea combinată a biomasei cu cărbune, ISBN 978-973-625-713-1, (2008);*
  3. **Adrian-Iulian Țenchea** – *Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei, ISBN 978-973-625-712-4, (2008);*
  4. **Radu Ioan Tărcăet** – *Cercetări privind realizarea precurățirii și preuscării semințelor de cereale prin fluidizare cu aer la temperatura ambiantă, ISBN 978-973-625-717-9, (2008);*
  5. **Ioan Marcel Indre** – *Cercetări asupra factorilor care influențează capacitatea de aspirație a ventilatorului transversal, ISBN 978-973-625-718-6, (2008);*
  6. **Dan Ioan Stoia** – *Modelarea, dezvoltarea și testarea implanturilor pentru coloana vertebrală, ISBN 978-973-625-697-4, (2008);*
  7. **Andreea Anca Șimon** – *Considerații teoretice și experimentale privind realizarea computerizată a tiparelor, cu ajutorul manechinelor virtuale pentru design vestimentar, ISBN 978-973-625-728-5, (2008);*
  8. **Amalia-Virginia Țirdea** – *Metode și echipamente de izolare autovibratorie a pieselor mecanice, ISBN 978-973-625-740-7, (2008);*
  9. **Diana Silaghi** – *Cercetări teoretice și experimentale privind posibilitățile de verificare a energiei solare ca sursă nepoluantă, ISBN 978-973-625-743-8, (2008);*
  10. **Liliana Drăgan** – *Contribuții privind acționarea pneumatică a dispozitivelor de protezare și susținere a scheletului uman, ISBN 978-973-625-506-9, (2008).*
- 



EDITURA POLITEHNICA