

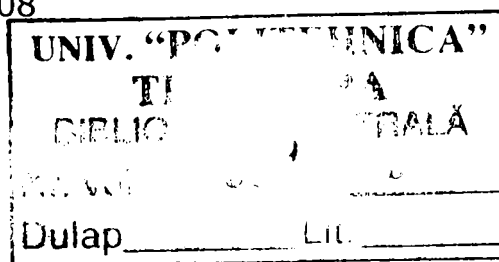
# CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA SISTEMELOR TEHNOLOGICE DE USCARE A PRODUSELOR CEREALIERE

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea "Politehnica" din Timișoara  
în domeniul INGINERIE INDUSTRIALĂ  
de către

**Ing. Laurențiu Călin**

Conducător științific: Prof. dr. Mihai Jădăneanț  
Referenți științifici: Prof. asoc. dr. ing. Nicolae BRIA  
Prof. univ. dr. ing. Marin BICĂ  
Prof. univ. dr. ing. habil Ioana IONEL

Ziua susținerii tezei: 30.10.2008



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

Problematica abordată în cadrul acestei lucrări cu privire la **optimizarea procesului tehnologic de uscare a produselor cerealiere**, completează literatura de specialitate cu noi cercetări efectuate între anii 2005 – 2008, perioadă în care am activat ca doctorand cu frecvență în cadrul catedrei de Termotehnică, Mașini Termice și Autovehicule Rutiere a Universității „ Politehnica „, din Timișoara.

La elaborarea tezei de doctorat am primit un sprijin din partea multor persoane și instituții, cărora le aduc respectuoase mulțumiri.

În primul rând îmi exprim recunoștința față de conducătorul științific Domnul prof. dr. ing. **Mihai JADĂNEANȚ**, care m-a îndrumat în toate etapele doctoranturii, de la elaborarea studiilor legate de temă, organizarea experimentărilor, interpretarea rezultatelor până la elaborarea tezei de doctorat. Îmi exprim întreaga considerație și mulțumire față de membrii comisiei de doctorat, domnul președinte al comisiei prof. dr. ing. **Dumitru ȚUCU**, prodecanul Facultății de Mecanică din Timișoara, și domnii prof. onor. **Nicolae BRIA**, de la Academia de Științe Agricole și Silvicultură „Gheorghe Ionescu – Șisești”, București, Prof. dr. ing. **Marin BICĂ**, de la Universitatea din Craiova, Prof. dr. ing. habil **Ioana IONEL** Universitatea „Politehnica” din Timișoara, pentru onoarea care mi-au făcut-o acceptând să facă parte din comisia de analiză a tezei, precum și pentru observațiile deosebit de valoroase și interesante.

Mulțumesc de asemenea doamnei Prof. dr. ing. habil **Ioana IONEL**, în calitate de șef „Laborator de Analize de Combustibili investigații ecologice și dispersia noxelor” precum și domnului s.l.dr.ing. **Francisc POPESCU**, responsabil calitate în cadrul laboratorului mai sus amintit pentru sprijinul acordat în vederea efectuării măsurătorilor de noxe la instalația de uscare.

Folosesc acest prilej pentru a mulțumi conducerii S.C. Comcereal SA - Timiș, în special Domnului Director, dr. ing. **Fănel TARJOC**, care mi-a asigurat baza materială în vederea realizării și efectuarea cercetărilor experimentale, la Baza de recepție Biled, județul Timiș.

Totodată aduc cuvenitele mulțumiri colectivului din cadrul Institutului Național de Mașini Agricole și Utilaj Tehnologic pentru Industria Alimentară – Filiala Timișoara, domnului dr. ing. **Augustin POP**, pentru prețioasele sfaturi, acordate pe tot parcursul elaborării tezei, privind acuratețea formulării rezultatelor științifice prezentate în lucrare.

Îmi exprim gratitudinea familiei mele pentru răbdarea, înțelegerea și susținerea morală pe care mi le-a acordat în toată perioada de studiu în cadrul pregătirii pentru doctorat și elaborarea tezei. În semn de omagiu dedic această lucrare tatălui meu care a dorit mult să ajungă azi dar din păcate nu mai este printre noi.

Timișoara, octombrie 2008

Ing. Laurențiu Călin

Familiei și prietenilor mei,

Tuturor colaboratorilor pentru sprijinul acordat.

Călin, Laurențiu

**Contribuții la optimizarea sistemelor tehnologice de uscare a produselor cerealiere**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 8, Nr. 10, Editura Politehnica, 2008, 252 pagini, 169 figuri, 49 tabele.

ISSN: 1842-8967

ISBN: 978-973-625-534-2

Cuvinte cheie:

Uscătoare, Transfer de căldură și masă, Gradient de temperatură, Temperatură, Umiditate, Temperatura agentului de uscare, Randamentul procesului de uscare, Optimizarea procesului, Surse regenerabile de energie.

Rezumat,

Oportunitatea realizării tezei este pusă în evidență de faptul că însemnate cantități de cereale pot fi salvate de la distrugere, prin adoptarea unor metode moderne de uscare, în condițiile existenței controlului asupra procesului tehnologic de uscare, cu respectarea normelor de siguranță și securitate alimentară, precum și cu posibilitatea utilizării unor noi surse de energie. Valorificarea superioară a cerealelor reprezintă o activitate complexă, care constă, în primul rând, într-o condiționare corespunzătoare, prin care sunt asigurate caracteristicile fizico-chimice și tehnologice produselor cerealiere, care să asigure premisele păstrării în bune condiții a recoltei, până în momentul prelucrării.

Obiectivul uscării este scăderea umidității masei de cereale până la cea de echilibru, la care păstrarea se poate face timp îndelungat, fără pierderi majore. Datorită complexității proceselor care au loc în timpul uscării, este foarte dificilă determinarea variației în timp a temperaturii produsului, chiar în condițiile menținerii constante a temperaturii agentului de uscare.

Cercetările efectuate asupra unei instalații de uscare a cerealelor de tip convectiv, pentru mai multe sorturi de cereale, iar rezultatele au permis optimizarea procesului de uscare în funcție de tipul și destinația semințelor.

Cunoașterea și controlul proceselor din interiorul camerei de uscare, a temperaturii produsului, poate conduce la îmbunătățirea caracteristicilor tehnologice și de asemenea poate reduce durata uscării, cu consecințe favorabile asupra consumului de combustibil.

# CUPRINS

Lista figurilor  
Lista tabelelor  
Abrevieri

## **1. Oportunitatea și obiectivele tezei de doctorat**

1.1. Generalități	9
1.2. Obiectivele tezei de doctorat	14
1.3. Oportunitatea și scopul tezei de doctorat	16

## **2. Conservarea produselor cerealiere**

2.1. Considerații generale	21
2.2. Scurtă prezentare a semințelor de cereale cultivate în România	22
2.2.1. Elemente privind aprecierea calității cerealelor	26
2.2.2. Determinarea utilului de înregistrare în funcție de calitatea cerealelor	38
2.3. Tehnologia conservării cerealelor	39
2.3.1. Procese care au loc în vederea depozitării cerealelor	39
2.3.1.1. Curățirea cerealelor	44
2.3.1.2. Aerarea cerealelor	47
2.3.1.3. Depozitarea cerealelor	52
2.3.1.4. Transportul cerealelor pe timpul depozitării	56
2.3.2. Uscarea cerealelor	61
2.3.2.1. Principiul uscării cerealelor	61
2.3.2.2. Procedee privind uscarea cerealelor	68

## **3. Stadiul actual în construcția uscătoarelor de cereale**

3.1. Considerații generale	71
3.2. Structura generală a unei instalații de uscare a cerealelor	76
3.3. Elemente constructive specifice uscătoarelor de cereale	80
3.4. Stadiul actual al dezvoltării instalațiilor de uscare a cerealelor	86
3.5. Concluzii	97

## **4. Stadiul actual privind cercetările teoretice și experimentale în domeniul uscării cerealelor**

4.1. Stadiul actual privind cercetarea teoretică a uscării cerealelor	100
4.1.1. Considerații generale	100

4.1.2. Proprietățile amestecurilor de aer și gaze de ardere	101
4.1.3. Statica uscării	102
4.1.4. Transferul de căldură și masă în procesele de uscare	112
4.1.4.1. Clasificarea materialelor umede. Forme ale legăturii umidității cu materialele supuse uscării	112
4.1.4.2. Mecanismul transferului de umiditate în interiorul și la suprafața corpurilor umede	114
4.1.4.3. Difuzia vaporilor de apă în procesul de uscare	118
4.1.5. Cinetica uscării	122
4.2. Stadiul actual privind cercetarea experimentală a procesului de uscare a cerealelor	132
4.2.1. Instalații experimentale pentru uscarea cerealelor	132
4.2.2. Caracteristici termodinamice ale cerealelor determinate experimental	148
4.2.3. Ecuații criteriale determinate experimental, utilizate pentru studiul procesului de uscare a cerealelor	150
4.3. Concluzii	153
<b>5. Contribuții privind cercetarea teoretică a proceselor de uscare a cerealelor</b>	
5.1. Considerații generale	155
5.2. Influența temperaturii și umidității aerului ambiant asupra consumului de combustibil în instalațiile de uscare a cerealelor	157
5.3. Variația debitului de combustibil în funcție de umiditatea și temperatura cerealelor la intrarea în uscător	161
5.4. Calculul temperaturii maxime a agentului de uscare în funcție de umiditatea și de destinația cerealelor	165
5.4.1. Aspecte teoretice privind modelarea matematică a proceselor tehnologice	165
5.4.2. Modelarea matematică a procesului de uscare a cerealelor	168
5.5. Concluzii	185
<b>6. Cercetarea experimentală a proceselor de uscare a cerealelor</b>	
6.1. Obiectul cercetărilor experimentale	187
6.2. Metodica și aparatura folosită la investigația experimentală	197
6.2.1. Structura sistemului de achiziție și reglare automată folosit la cercetarea experimentală	201
6.2.2. Aparatura utilizată pentru măsurarea temperaturii cerealelor	204
6.2.3. Aparatura utilizată pentru măsurarea umidității cerealelor	207
6.2.4. Aparatura utilizată pentru reglarea debitului de combustibil	208
6.3. Prelucrarea, analiza și interpretarea rezultatelor experimentale	210
6.3.1. Prelucrarea datelor experimentale	210

6.3.2. Analiza și interpretarea datelor experimentale	210
6.4. Măsurarea concentrațiilor emisiilor poluante din gazele de ardere ale agentului de uscare	220
6.4.1. Analizorul de gaze TESTO 350 M/XL. Măsurarea emisiilor poluante	221
6.4.2. Prelucrarea și interpretarea rezultatelor experimentale	224
6.5. Optimizarea sistemelor tehnologice de uscare a produselor cerealiere	229
6.5.1. Proiectarea experimentelor neliniare de tip răspuns-suprafață	229
6.5.2. Optimizarea procesului de uscare a produselor cerealiere	233
6.6. Concluzii privind cercetarea experimentală	237
<b>7. Concluzii</b>	
7.1. Concluzii privind mijloacele și tehnologiile de uscare a semințelor de cereale	239
7.2. Concluzii privind cercetările teoretice și experimentale	241
7.3. Contribuții personale	243
<b>Bibliografie</b>	245
<b>Anexe</b>	252

# Lista figurilor

- Figura 1.1. Dinamica suprafețelor semănite cu grâu și porumb.
- Figura 1.2. Evoluția suprafețelor semănite cu orz, floarea soarelui și soia.
- Figura 1.3. Evoluția producției medii de grâu și porumb.
- Figura 1.4. Evoluția producției medii de orz, floarea soarelui și soia.
- Figura 1.5. Evoluția producției totale de grâu și porumb.
- Figura 1.6. Evoluția producției totale de orz, floarea soarelui și soia.
- Figura 1.7. Conținutul maxim de umiditate [%], pentru păstrarea cerealelor.
- Figura 2.1. Secțiuni prin bobul de grâu.
- Figura 2.2. Secțiuni prin bobul de porumb.
- Figura 2.3. Variația intensității respirației a boabelor de grâu în perioada de post – maturare în funcție de umiditatea acestora.
- Figura 2.4. Variația intensității de respirație a grâului în funcție de umiditate și temperatură.
- Figura 2.5. Scăderea germinației pe timpul depozitării cerealelor.
- Figura 2.6. Scăderea germinației pe timpul depozitării cerealelor.
- Figura 2.7. Curățitor centrifugal de cereale.
- Figura 2.8. Schema unui siloz metalic.
- Figura 2.9. Schema unui siloz din beton armat.
- Figura 2.10. Schema unui siloz metalic.
- Figura 2.11. Transportoare pneumatice, tip WALINGA.
- Figura 2.12. Izoterme de absorbție ale porumbului.
- Figura 2.13. Izoterme de absorbție ale grâului.
- Figura 2.14. Viteza de uscare a porumbului.
- Figura 2.15. Dispunerea punctelor critice în funcție de umiditatea bobului pentru diferite temperaturi ale agentului de uscare în cazul uscării porumbului.
- Figura 2.16. Vătămarea bobului de porumb în funcție de temperatura și viteza agentului de uscare.
- Figura 2.17. Principiul de funcționare al unui uscător de cereale cu deplasare forțată a produsului prin intermediul unor arbori elicoidali.
- Figura 2.18. Principiul de funcționare al unui uscător turn.
- Figura 3.1. Schema unui uscător cu aer cald– Firma GSI.
- Figura 3.2. Principiul de funcționare al unui uscător tip „ SIROKKO „, cu benzi perforate.
- Figura 3.3. Ansamblul unei instalații de uscare cu șicane, tip KSC – 20.



Figura 3.4. Structura generală a unei instalații de uscare.

Figura 3.5. Principalele tipuri de camere de uscare.

Figura 3.6. Uscarea cu aer cald și gaze de ardere.

Figura 3.7. Preîncălzirea prin conducție a cerealelor.

Figura 3.8. Sisteme de intensificare a transferului de căldură și masă în uscătoarele tip coloană.

Figura 3.9. Plasarea canalelor de circulație a aerului în uscătoarele tip coloană.

Figura 3.10. Instalație de uscare ITUB-12,5 G.

Figura 3.11. Uscător RIELA model GUT – Localitatea Pecica, Arad.

Figura 3.12. Uscător BONFANTI - Silosistem Timișoara.

Figura 3.13. Uscător de cereale cu abur și vid de tip BUHLER.

Figura 3.14. Uscător de cereale în strat fluidizat.

Figura 3.15. Fluxul activităților efectuate de către uscătoarele mobile.

Figura 3.16. Uscător mobil, firma ZAFFRANI.

Figura 3.17. Uscător mobil, firma AGREX.

Figura 3.18. Uscător mobil, firma GT.

Figura 3.19. Uscător mobil, firma GSI.

Figura 3.20. Uscător mobil, firma Farm Fans, model H 500.

Figura 4.1. Schema generală a unei instalații de uscare prin convecție.

Figura 4.2. Reprezentarea procesului de uscare de uscare în diagrama  $i_{1+x} - x$ , pentru cazul când  $\Delta q > 0$ .

Figura 4.3. Reprezentarea procesului de uscare de uscare în diagrama  $i_{1+x} - x$ , pentru cazul când  $\Delta q < 0$ .

Figura 4.4. Schema generală a unei instalații de uscare cu recirculare.

Figura 4.5. Reprezentarea procesului de uscare cu recirculare în diagrama  $i_{1+x} - x$ .

Figura 4.6. Schema uscătorului cu încălzire intermediară a aerului.

Figura 4.7. Schema uscătorului cu recirculare și încălzire intermediară.

Figura 4.8. Schema uscătorului cu circuit închis.

Figura 4.9. Variația presiunilor la suprafața de evaporare a unui lichid.

Figura 4.10. Evaporarea apei dintr-un cilindru deschis.

Figura 4.11. Diagrama uscării în timp.

Figura 4.12. Instalație experimentală pentru studiul uscării în pat fluidizat.

Figura 4.13. Schema termometrului electronic.

Figura 4.14. Instalație experimentală pentru studiul uscării în pat fluidizat.

Figura 4.15. Instalație experimentală de laborator pentru uscarea în pat fluidizat.

Figura 4.16. Instalație pentru uscarea fructelor și legumelor.

Figura 4.17. Instalație experimentală de laborator pentru uscarea în suspensie.

Figura 4.18. Instalație de testare a migrării umidității în masa de cereale.

Figura 4.19. Efectul duratei de depozitare asupra temperaturii cerealelor cu 13 % umiditate.

Figura 4.20. Efectul duratei de depozitare asupra temperaturii cerealelor cu 16 % umiditate.

Figura 4.21. Efectul duratei de depozitare asupra temperaturii cerealelor cu 18 % umiditate.

Figura 4.22. Uscător experimental cu curgere amestecată.

Figura 4.23. Locația uscării centrale în jurul conductelor de aspirație și evacuare a aerului la diferite momente de uscare într-un uscător cu curgere amestecată.

Figura 4.24. Conținutul experimental de umiditate la pozițiile I, II, III, IV .

Figura 4.25. Temperaturile experimentale ale aerului la poz. I, II, III, IV .

Figura 4.26. Temperatura cerealelor de-a lungul liniilor de curent ale curgerii.

Figura 4.27. Umiditate al cerealelor de-a lungul liniilor de curent ale curgerii.

Figura 4.28. Diferențele dintre conținutul de umiditate și temperatura cerealelor între părțile corespunzătoare aspirației și evacuării aerului.

Figura 4.29. Difuzivitatea termică a grâului.

Figura 4.30. Difuzivitatea termică a porumbului.

Figura 5.1. Schema bilanțului termic al unui uscător de cereale.

Figura 5.2. Modificarea necesarului de combustibil în funcție de temperatura mediului.

Figura 5.3. Modificarea necesarului de combustibil în funcție de umiditatea mediului ambiant.

Figura 5.4. Modificarea necesarului de combustibil în funcție de umiditatea cerealelor

Figura 5.5. Modificarea necesarului de combustibil în funcție de temperatura cerealelor la intrarea în uscător.

Figura 5.6. Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de umiditatea semințelor de grâu destinate consumului.

Figura 5.7. Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de durata procesului de uscare și umiditatea semințelor de grâu destinate consumului.

Figura 5.8. Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de umiditatea semințelor de porumb destinate consumului.

Figura 5.9. Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de durata procesului de uscare și umiditatea semințelor de porumb destinate consumului.

Figura 5.10. Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de umiditatea semințelor de floarea soarelui destinate consumului.

Figura 5.11. Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de durata procesului de uscare și umiditatea semințelor de floarea soarelui destinate consumului.

Figura 5.12. Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de umiditatea semințelor de soia destinate consumului.

Figura 5.13. Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de durata procesului de uscare și umiditatea semințelor de floarea soarelui pentru consum.

Figura 5.14. Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de umiditatea semințelor de grâu pentru sămânță.

Figura 5.15. Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de durata procesului de uscare și umiditatea semințelor de grâu pentru sămânță.

Figura 5.16. Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de umiditatea porumbului, pentru sămânță.

Figura 5.17. Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de durata procesului de uscare și umiditatea semințelor de porumb pentru sămânță.

Figura 5.18. Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de umiditatea semințelor de floarea soarelui pentru sămânță.

Figura 5.19. Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de durata procesului de uscare și umiditatea semințelor de floarea soarelui pentru sămânță.

Figura 5.20. Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de umiditatea semințelor de soia pentru sămânță.

Figura 5.21. Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de durata procesului de uscare și umiditatea semințelor de soia pentru sămânță.

Figura 5.22. Comparație între nivelele maxime ale temperaturi agentului de uscare pentru semințele de porumb destinate consumului, respectiv pentru sămânță.

Figura 5.23. Comparație între nivelele maxime ale temperaturi agentului de uscare pentru semințele de grâu pentru consum, respectiv pentru sămânță.

Figura 5.24. Comparație între nivelele maxime ale temperaturi agentului de uscare pentru semințele de floarea soarelui pentru consum, respectiv sămânță.

Figura 5.25. Comparație între nivelele maxime ale temperaturi agentului de uscare pentru semințele de soia destinate consumului, respectiv pentru sămânță.

Figura 5.26. Studiu comparativ între temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de tipul semințelor destinate consumului.

Figura 5.27. Studiu comparativ între temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de tipul semințelor pentru sămânță.

Figura 6.1. Construcția uscătorului de cereale GSI, model 1226.

Figura 6.2. Alimentarea uscătorului de cereale GSI, model 1226.

Figura 6.3. Alimentarea cu combustibil a uscătorului de cereale GSI, model 1226.

Figura 6.4. Alimentarea uscătorului de cereale GSI, model 1226.

Figura 6.5. Arzătorul uscătorului de cereale GSI, model 1226.

Figura 6.6. Bandă transportoare de la uscător la depozit.

Figura 6.7. Sistem evacuare produse uscate pentru încărcarea mijloacelor auto.

Figura 6.8. Sistem arzător – ventilator.

Figura 6.9. Sistem de alimentare a arzătorului cu GPL.

Figura 6.10. Dispozitiv de introducere a temperaturii agentului de uscare.

Figura 6.11. Uscător tip GSI, model 1226, S.C. Comcereal S.A. Biled.

Figura 6.12. Panoul de comandă al instalației de uscare utilizată la cercetarea experimentală.

Figura 6.13. Schema panoului de comandă al instalației de uscare utilizată la cercetarea experimentală.

Figura 6.14. Metodica generală a cercetărilor experimentale.

Figura 6.15. Metodica cercetării experimentale de determinare a temperaturii agentului de uscare în regimul treaptă.

Figura 6.16. Metodica cercetării experimentale de determinare a temperaturii agentului de uscare în regimul controlat.

Figura 6.17. Schema de amplasare a traductoarelor și a circuitelor pentru efectuarea cercetărilor experimentale.

Figura 6.18. Structura sistemului inițial de reglare automată a instalației de uscare.

Figura 6.19. Variația temperaturii cerealelor pe timpul procesului de uscare utilizând temperatura constantă a agentului de uscare.

Figura 6.20. Structura sistemului de reglare automată a instalației de uscare.

Figura 6.21. Variația temperaturii cerealelor pe timpul procesului de uscare utilizând temperatura variabilă a agentului de uscare.

Figura 6.22. Caracteristica termorezistențelor de Pt utilizate la cercetarea experimentală.

Figura 6.23. Construcția senzorilor de temperatură.

Figura 6.24. Schema de principiu a unui dispozitiv de măsurare a temperaturii cu termorezistență.

Figura 6.25. Traductoare de temperatură amplasate în interiorul camerei de uscare.

Figura 6.26. Umidometru electronic T1.

Figura 6.27. Arzătorul generatorului de aer cald.

Figura 6.28. Elemente ale instalației de reglare a debitului de combustibil.

Figura 6.29. Robinet de reglare a debitului de combustibil.

Figura 6.30. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 1.

Figura 6.31. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 2.

Figura 6.32. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 3.

Figura 6.33. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 4.

Figura 6.34. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 5.

Figura 6.35. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 6.

Figura 6.36. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 7.

Figura 6.37. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 8.

Figura 6.38. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 9.  
Figura 6.39. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 10  
Figura 6.40. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 11  
Figura 6.41. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 12  
Figura 6.42. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 13  
Figura 6.43. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 14  
Figura 6.44. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 15  
Figura 6.45. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 16  
Figura 6.46. Variația repartiției umidității înainte și după uscare.  
Figura 6.47. Repartiția consumului specific de combustibil.  
Figura 6.48. Unitatea de analiză.  
Figura 6.49. Unitatea de analiză.  
Figura 6.50. Unitatea de control.  
Figura 6.51. Sistem de măsurare și achiziție și prelucrare date.  
Figura 6.52. Diagrama de variație a CO, la uscarea porumbului cu GSI 1226.  
Figura 6.53. Diagrama de variație a NO și H<sub>2</sub>S la uscarea porumbului cu GSI 1226.  
Figura 6.54. Diagrama de variație a NO<sub>x</sub> și H<sub>2</sub> la uscarea porumbului cu GSI 1226.  
Figura 6.55. Diagrama de variație a NO<sub>x</sub> și H<sub>2</sub> la uscarea porumbului cu GSI 1226.  
Figura 6.56. Diagrama de variație a CO, la uscarea porumbului cu GSI 1226.  
Figura 6.57. Diagrama de variație a NO și H<sub>2</sub>S la uscarea porumbului cu GSI 1226.  
Figura 6.58. Diagrama de variație a NO<sub>x</sub> și H<sub>2</sub> la uscarea porumbului cu GSI 1226.  
Figura 6.59. Diagrama de variație a NO<sub>x</sub> și H<sub>2</sub> la uscarea porumbului cu GSI 1226.  
Figura 6.60. Achiziția valorilor emisiilor poluante din gazele de ardere la uscarea porumbului cu GSI 1226.  
Figura 6.61. Variația umidității finale a cerealelor în funcție de temperatura agentului de uscare și durata procesului.  
Figura 6.62. Conturul suprafeței umidității finale în funcție de temperatura de uscare  
Figura 6.63. Suprafața temperaturii finale a cerealelor în funcție de temperatura agentului de uscare și durata procesului.  
Figura 6.64. Conturul suprafeței temperaturii finale a cerealelor în funcție de temperatura agentului de uscare și durata procesului.  
Figura 6.65. Conturul suprafeței umidității cerealelor și temperaturii acestora în funcție de temperatura agentului de uscare și durata procesului.  
Figura 6.66. Diagrama valorilor optime ale parametrilor de uscare a porumbului.  
Figura 6.67 Optimizarea procesului de uscare a porumbului de consum la umiditatea de 13.8 % și durată de uscare 70 minute.  
Figura 6.68 Optimizarea procesului de uscare a porumbului de consum pentru temperatura de 14 °C și durată de uscare 70 minute.  
Figura 6.69. Distribuția probabilității normale a procesului de uscare.

# Lista tabelelor

- Tabelul 2.1. Producția mondială de cereale 1979 – 2004.
- Tabelul 2.2. Compoziția chimică a bobului de grâu.
- Tabelul 2.3. Compoziția chimică a bobului de porumb.
- Tabelul 2.4. Clasificarea cerealelor funcție de conținutul de umiditate [%].
- Tabelul 2.5. Indicii fizici ai principalelor cereale.
- Tabelul 2.6. Dimensiunile medii ale principalelor cereale.
- Tabelul 2.7. Planul de gradare pentru grâul din clasele A și B.
- Tabelul 2.8. Limitele de variație a unghiului de taluz pentru principalele cereale.
- Tabelul 2.9. Viteza de plutire a principalelor cereale.
- Tabelul 2.10. Valorile densității și porozității pentru principalele cereale.
- Tabelul 2.11. Valoarea coeficienților A și n pentru principalele cereale.
- Tabelul 2.12. Rezistența stratului de boabe pentru diferite cereale și viteze ale aerului.
- Tabelul 2.13. Umiditatea de echilibru pentru unele cereale.
- Tabelul 2.14. Conductivitatea termică a diferitelor culturi de cereale.
- Tabelul 2.15. Difuzivitatea termică  $a$ , pentru diferite cereale.
- Tabelul 2.16. Capacitatea termică pentru principalele culturi de cereale.
- Tabelul 2.17. Valorile suprafeței specifice pentru principalele culturi de cereale.
- Tabelul 2.18. Indici calitativi de bază.
- Tabelul 2.19. Indici calitativi de recepție a produselor cerealiere.
- Tabelul 2.20. Pierderi normate, datorate respirației masei de boabe pentru  $\tau = 30$  zile.
- Tabelul 2.21. Caracteristicile tehnice ale separatorului – aspirator SA.
- Tabelul 2.22. Debitul specific de aer necesar aerării active a cerealelor.
- Tabelul 2.23. Porozitatea medie și densitatea în vrac pentru cereale.
- Tabelul 2.24. Scăderea medie orară a temperaturii masei de cereale funcție de debitul specific de aer insuflat la o diferență de 1 0C între temperatura produselor și cea a aerului.
- Tabelul 2.25. Înălțimea de refulare a ventilatoarelor și viteza aerului la aerarea cerealelor.
- Tabelul 2.26. Debitul de aer în funcție de umiditate.
- Tabelul 2.27. Înălțimea de depozitare a cerealelor în funcție de umiditatea acestora.
- Tabelul 2.28. Particularitățile uscării grâului.
- Tabelul 2.29. Caracteristicile uscării în două trepte.

Tabelul 2.30. Caracteristicile uscării cerealelor de sămânță.

Tabelul 3.1. Clasificarea metodelor de realizare a uscării.

Tabelul 3.2. Presiunea de vapori a gheții.

Tabelul 3.3. Caracteristici tehnico – funcționale ale uscătoarelor RIELA tip GUT.

Tabelul 3.4. Caracteristici tehnico – funcționale ale uscătorului FF, seria H.

Tabelul 4.1. Condițiile de uscare pentru uscătorul experimental cu curent amestecat.

Tabelul 4.2. Caracteristici termodinamice ale semințelor de porumb.

Tabelul 4.3. Caracteristici termodinamice ale semințelor de grâu.

Tabelul 5.1. Modele matematice ale diferitelor tipuri de uscătoare.

Tabelul 5.2. Ecuațiile  $T(\tau, U)$ , de uscare ale cerealelor pentru sămânță.

Tabelul 5.3. Ecuațiile  $T(\tau, U)$ , de uscare ale cerealelor pentru consum.

Tabelul 6.1. Caracteristicile constructive și funcționale ale uscătorului GSI – 1226.

Tabelul 6.2. Intervalele de temperatură în care pot fi utilizate termometrele cu rezistență.

Tabelul 6.3. Corecția de umiditate datorită temperaturii produselor cerealiere.

Tabelul 6.4. Sinteza măsurătorilor efectuate pe timpul experimentelor la uscarea semințelor de grâu și porumb cu uscătorul GSI 1226.

Tabelul 6.5. Tabel cu valorile experimentului central – compus, pentru uscarea porumbului.

Tabelul 6.6. Coeficienții de regresie la uscarea porumbului, MINITAB.

Tabelul 6.7. Analiza variației pentru umiditatea finală.

Tabelul 6.8. Tabel cu valori obținute în programul MINITAB.

Tabelul 6.9. Analiza variației pentru temperatura finală.

Tabelul 6.10 Parametrii obținuți în urma procesului de uscare a porumbului pentru consum.

# ABREVIERI

a	[m <sup>2</sup> /s]	- difuzivitatea termică;
A,S	[m <sup>2</sup> ]	- aria, suprafața;
$\dot{C}$	[W/K]	- fluxul capacității termice;
c <sub>M</sub>	[J/kmolK]	- capacitate termică molară;
c	[J/kgK]	- capacitate termică masică;
c <sub>p</sub>	[J/kgK]	- capacitatea termică masică la presiune constantă;
c <sub>v</sub>	[J/kgK]	- capacitatea termică masică la volum constant;
D, d	[m]	- diametru;
d <sub>e</sub>	[m]	- diametru echivalent;
D	[m <sup>2</sup> /s]	- coeficientul de difuziune;
e	[J/kg]	- energie masică;
E	[J]	- energie;
F	[N]	- forța;
H <sub>i</sub>	[kJ/kg]	- puterea calorică inferioară a combustibilului;
g	[m/s <sup>2</sup> ]	- accelerația gravitațională;
i	[J/kg]	- entalpia masică;
I	[J]	- entalpia;
k	[W/m <sup>2</sup> K]	- coeficientul de transfer termic total;
l,L	[m]	- lungimea, dimensiunea caracteristică;
l	[J/kg]	- lucru mecanic masic;
L	[J]	- lucru mecanic;
M <sub>h</sub>	[kg/hl]	- masa hectolitrică;
M <sub>1000</sub>	[g]	- masa relativă a 1000 de boabe;
M <sub>s</sub>	[g/cm <sup>3</sup> ]	- masa specifică;
m	[kg]	- masa;
$\dot{M}_{a1}, \dot{M}_{a2}$	[kg/s]	- debitele masice de aer uscat la intrarea, ieșirea din camera de uscare;



$\dot{M}_{m1}, \dot{M}_{m2}$	[kg/s]	- debitele masice de material la intrarea, ieșirea din camera de uscare;
P	[%]	- indicele de porozitate al lotului de cereale;
p	[N/m <sup>2</sup> ]	- presiunea;
p <sub>b</sub>	[N/m <sup>2</sup> ]	- presiunea barometrică;
p <sub>d</sub>	[N/m <sup>2</sup> ]	- presiunea dinamică;
$\dot{q}$	[W/m <sup>2</sup> ]	- densitatea fluxului termic;
R <sub>M</sub> sau R	[J/molK]	- constanta generală a gazelor;
R	[J/kgK]	- constanta caracteristică a gazului real;
Q	[J]	- energia termică;
$\dot{Q}$	[W]	- fluxul termic;
S	[J/K]	- entropie;
s	[J/kgK]	- entropie masică;
S	[m <sup>2</sup> ]	- secțiunea;
t	[°C]	- temperatura (în grade Celsius);
t <sub>c</sub>	[°C]	- temperatura combustibilului;
T	[K]	- temperatura absolută;
U	[%]	- umiditatea materialului într-un punct oarecare
U <sub>i</sub>	[%]	- umiditatea materialului la intrarea în uscător;
U <sub>f</sub>	[%]	- umiditatea materialului la ieșirea din uscător;
U <sub>c</sub>	[%]	- umiditatea critică principală raportată la substanța uscată;
U <sub>e</sub>	[%]	- umiditatea de echilibru;
v	[m <sup>3</sup> /kg]	- volum masic;
V	[m <sup>3</sup> ]	- volum;
V <sub>LMIN</sub>	[m <sup>3</sup> ]	- volumul de aer minim necesar pentru arderea combustibilului;
V <sub>ga</sub>	[Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup> ]	- volumul gazelor de ardere;
$\dot{V}_{ga}$	[m <sup>3</sup> /s]	- debitul gazelor de ardere;
w	[m/s]	- viteza;

$x_1, x_2$	[kg umid/kg aer uscat]	- conținutul de umiditate al aerului la intrarea, ieșirea din camera de uscare;
$\alpha$	[W/m <sup>2</sup> K]	- coeficientul de transfer termic;
$\alpha$	[°]	- unghiul de taluz al cerealelor depozitate vrac;
$\beta$	[1/K]	- coeficientul de dilatare liniară
$\delta$	[m]	- grosimea;
$\gamma$	[1/K]	- coeficientul de dilatare volumică;
$\varepsilon$	[-]	- coeficient de emisie;
$\varphi$	[%]	- umiditatea relativă a aerului;
$\eta$	[kg/ms]	- vâscozitate dinamică;
$\eta_t$	[-]	- randament termic;
$\eta_f$	[-]	- randamentul arderii în focar;
$\lambda$	[W/mK]	- conductivitatea termică;
$\lambda$	[-]	- coeficientul de exces de aer la arderea combustibilului;
$\mu$	[-]	- factorul de rezistență la difuzie;
$\nu$	[m <sup>2</sup> /s]	- vâscozitate cinematică;
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	- masa specifică;
$\tau$	[s]	- timpul;
$\chi$	[-]	- exponent adiabatic;

# Capitolul 1

## OPORTUNITATEA ȘI OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

### 1.1 Generalități

Din cele mai vechi timpuri, cerealele au avut o importanță deosebită pentru hrana omului. Încă din era paleolitică, o parte din hrană se asigura prin culegerea accidentală de fructe, rădăcini și semințele unor plante, ce erau consumate ca atare, neprelucrate. Între timp, oamenii au constatat că semințele unor plante sunt foarte hrănitoare, se pot păstra pe durate mari de timp și se pot prelucra în diferite moduri, pentru diversificarea hranei. Legăturile ce s-au stabilit între anumite populații au constat și din schimburi de asemenea materiale, astfel încât cele mai valoroase plante s-au extins la scară globală, au fost ameliorate în permanență, reprezentând un element de bază pentru dezvoltarea speciei umane.

Săpăturile arheologice au scos la iveală o serie de dovezi care atestă preocuparea omului pentru păstrarea și prelucrarea cerealelor în vederea obținerii făinii și fabricarea din aceasta a pâinii. Popoarele din Orientul Mijlociu (asirienii, evreii, egiptenii), încă în perioada 2500 – 2000 î.e.n. preparau un aluat de consistență redusă, frământat în cuve mari de pământ, uscat sub formă de turte la soare, sau copt în cuptoare.

Cultivarea cerealelor era o ocupație veche a geto-dacilor, mărturie în acest sens fiind descrierile făcute cu prilejul expediției lui Alexandru Macedon din anul 335 î.e.n. împotriva geților de la Dunărea de Jos. Se vorbește de faptul că ostașii macedoneni, trecuți pe malul stâng al fluviului, au fost nevoiți să culce grâul ca să poată înainta.

Săpăturile efectuate în Dobrogea au scos la iveală monede vechi, pe care figurează spice de grâu, dovadă că acestea constituiau una din importanțele bogății dobrogene, iar existența unor cetăți aici este legată mai mult de comerțul cu cereale ce se făcea pe mare.

Din „Papyrusul lui Hunt,, (British Museum – Londra), reiese că odată cu transformarea Daciei în provincie romană, aceasta a devenit în același timp un

grâнар de bază al Imperiului Roman, pentru alimentarea trupelor din regiunile răsăritene.

Grecii au perfecționat tehnologiile de prelucrare a cerealelor prin îmbunătățirea calității și gamei sortimentale (în izvoarele istorice se cunosc peste 72 sortimente – pâine din secară, ovăz, fasole pentru populația săracă, pâine dietetică fabricată cu adaos de miere, lapte și ulei, pentru cei bogați), de unde s-au transmis la romani, care au îmbunătățit și mai mult tehnologia de fabricație a pâinii din cereale.

Apariția industrializării, a așezărilor suprapopulate, creșterea nevoilor de consum, dar și nevoia asigurării pe o perioadă mai îndelungată a necesarului de cereale, au impus apariția de noi tehnologii prind cultivarea, recoltarea, condiționarea și păstrarea cerealelor.

Cerealele, semințele de leguminoase și oleaginoase destinate consumului alimentar, furajer, industrial sau pentru însămânțare, sunt organisme vii în care au loc procese biologice a căror intensitate este influențată atât de factori interni dar și de condițiile din mediul ambiant[2, 7, 8, 71].

Dacă în țările dezvoltate s-au produs cereale în cantități mai mult decât suficiente, pentru a asigura consumul uman mediu, iar cantități considerabile au fost folosite la furajarea animalelor și pentru prelucrare industrială, în țările cu o economie mai puțin dezvoltată au rămas multe resurse neexploatate, existând astfel condiții prin care se pot îmbunătăți producțiile de cereale.

Acest decalaj se datorează în special diferenței de dotare tehnico-materială, calității materialului biologic, neutilizarea tehnologiilor de vârf, precum și lipsei unor politici agricole coerente care să permită luarea acelor măsurilor în conformitate cu politicile agricole europene actuale. Contrar unor previziuni pesimiste, realitatea din ultimele două decenii a dovedit că pe plan mondial a fost posibilă realizarea unor producții de cereale care să satisfacă nevoile unei populații în continuă creștere.

O impresionantă cantitate de cereale se pierde în mod constant datorită condițiilor inadecvate de recoltare, transport, depozitare și prelucrare[104, 120].

În multe țări în curs de dezvoltare și mediu dezvoltate, pierderile după recoltare sunt estimate între 5% și 30% din recoltă. Pe baza estimărilor Organizației pentru Agricultură și Alimentație a Organizației Națiunilor Unite, în perioada 1995 ÷ 2004 s-au pierdut pe plan mondial cca. 10 % din cantitatea totală de cereale recoltate. Cantitatea pierdută, cu o valoare de 20 miliarde dolari, era suficientă pentru a asigura hrana la 900 milioane de oameni [117, 118, 119, 120].

În afară de pierderile cantitative, s-a înregistrat și o scădere a calității cerealelor, materializată prin diminuarea calităților organoleptice și sanitare.

La cele mai multe specii de semințe, după recoltare are loc un proces de cocere ulterioară numit **maturizare fiziologică**, sau **postmaturizare**.

Procesele de sinteză din faza de postmaturare sunt însoțite de eliminarea unor cantități de apă care provoacă umezirea suprafeței boabelor. Acest proces, nedorit în practica conservării produselor agricole, se produce chiar și atunci când conținutul în apă al semințelor este mic, ducând la degradarea acestora dacă nu se iau măsuri de îndepărtare a acumulării vaporilor de apă.

Pentru ca aceste obiective să devină realizabile, este necesară o reevaluare a unor indicatori din agricultură, fapt ce ar permite o cunoaștere mai bună a potențialului agricol pe care România îl deține.

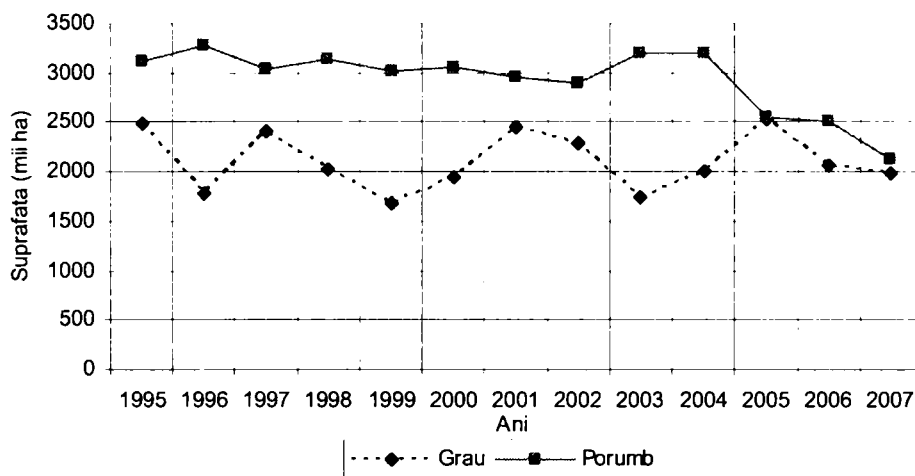


Fig. 1.1 Dinamica suprafețelor semănate cu grâu și porumb.

În acest context, o analiză a unor indicatori, obținuți din baza de date de la Institutul Național de Statistică [124], privind dinamica producțiilor și suprafețelor cultivate cu grâu, porumb, orz, floarea soarelui și soia este prezentată în figurile.1.1 ÷ 1.6. În figurile 1. 1 și 1.2 este prezentată dinamica suprafețelor însămânțate la nivel național între 1995 – 2007.

Aceasta scoate în evidență pentru porumb, menținerea unei „suprafețe relativ constante,, însămânțate de  $3.000 \cdot 10^3$  ha până în 2004.

După acest an, constatăm o reducere a suprafeței însămânțate până la cca.  $2000 \times 10^3$  ha, fapt ce se va regăsi și într-o producție totală mult mai redusă pentru perioada 2005÷2007.

Cu privire la suprafețele cultivate cu grâu, acestea au fluctuat între  $1.550 \div 2.500 \times 10^3$  ha, iar trendul, a fost de reducere a suprafețelor, după un vârf în 2005 . Suprafețele semănate cu orz au fost menținute între  $330 \div 630 \times 10^3$  ha, iar pentru ultimii ani suprafețele sunt în scădere, ajungând la cca.  $354 \times 10^3$  ha.

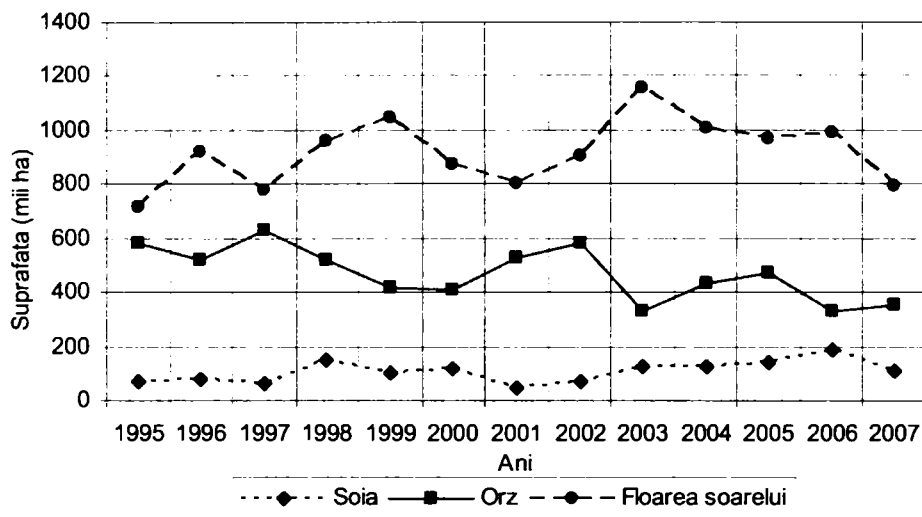


Fig. 1.2 Evoluția suprafețelor semănată cu orz, floarea soarelui și soia.

Floarea soarelui a fost semănată pe o suprafață relativ constantă, între  $715 \div 1150 \times 10^3$  ha, realizând asemenea celorlalte culturi o scădere a suprafeței însămânțate pentru 2005-2007. Suprafețele cultivate cu soia, s-au situat la valori foarte reduse, între  $50 \div 190 \times 10^3$  ha [124].

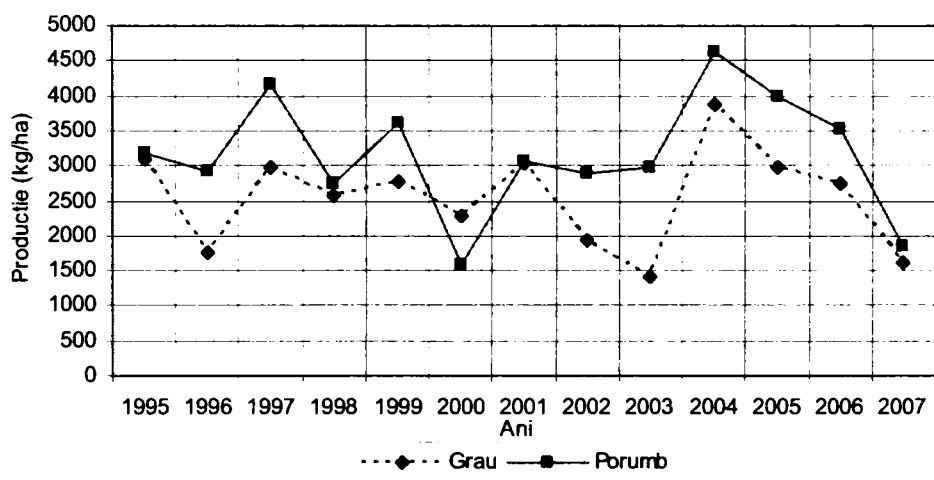


Fig.1.3 Evoluția producției medii de grâu și porumb.

Dacă la grâu au fost ani când s-au obținut cca. 4.000 kg/ha (2004), au existat perioade când producția s-a situat cu mult sub această medie, ajungând la  $1500 \div 2000$  kg/ha. Producția medie la ha pentru porumb a manifestat de asemenea oscilații  $4.000 \div 4.500$  kg/ha pentru 1997 și 2004 dar au fost și ani cu

producții de 2.500 kg/ha. Evoluția producțiilor medii de grâu și porumb sunt prezentate în figura 1.3, iar pentru culturile de orz, floarea soarelui și soia în figura 1.4. [124].

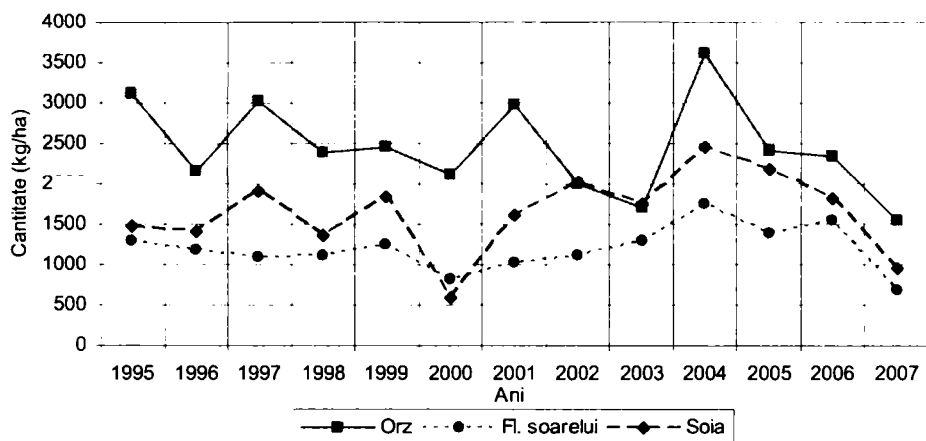


Fig.1.4 Evoluția producției medii de orz, floarea soarelui și soia.

De asemenea evoluția producției totale de grâu și porumb sunt prezentate în figura 1.5 și figura 1.6, pentru orz, floarea soarelui și soia.

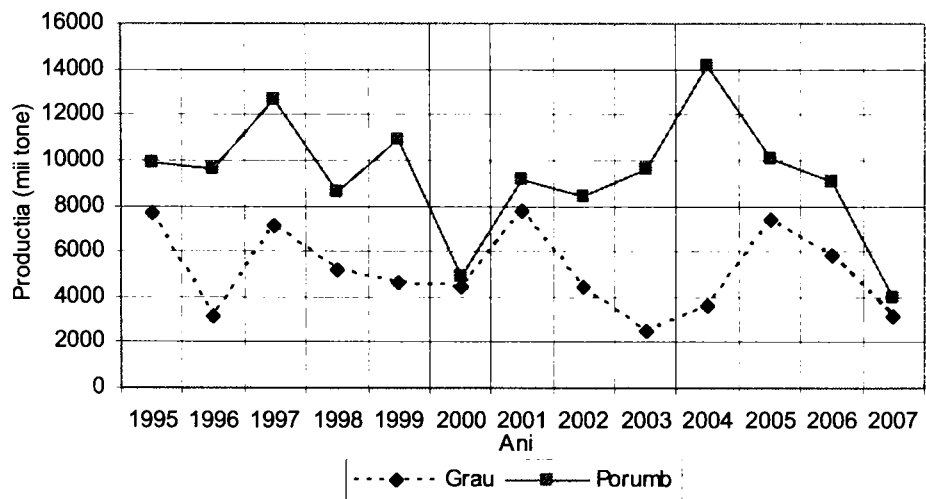


Fig.1.5 Evoluția producției totale de grâu și porumb.

Se observă că în condițiile menținerii unor suprafețe relativ constante apar diferențe semnificative ale producțiilor medii la hectar și totale în sensul scăderii producțiilor pentru toate tipurile de cultură, având de referință anul 2004, astfel:

- grâu și porumb, producțiile medii la hectar, s-au redus cu 58 % și 55 %.
- orz, floarea soarelui și soia, producțiile medii la hectar, s-au redus cu 57,5 %, 62,5 %, 61 %.

În aceste condiții, de reducere drastică a producțiilor de cereale la nivel național, dar și pe plan internațional, pe fondul unei cereri crescânde, atât pentru consumul uman, furajer, industria alimentară în general, industria chimică, iar în ultimii 4-5 ani se observă o atenție deosebită acordată produselor cerealiere în vederea obținerii de biocombustibili[44, 46].

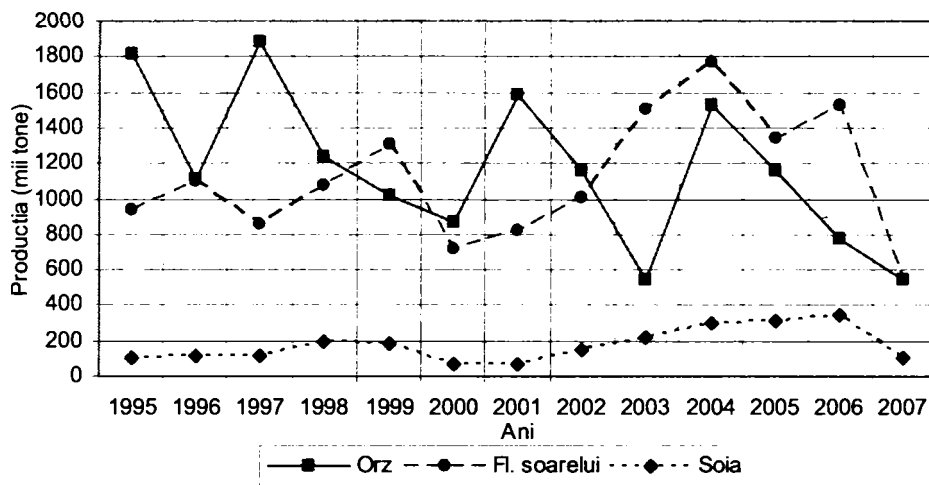


Fig.1.6 Evoluția producției totale de orz, floarea soarelui și soia.

Datorită acestor situații, dar nu numai, consider că studierea temeinică a fenomenelor legate de procesul uscării cerealelor, a transferului de căldură și substanță, merită cu prisosință o abordare responsabilă, continuă și cu alocarea unor eforturi pe măsura așteptărilor, în condițiile în care, la nivelul cunoașterii sunt încă destule probleme insuficient cunoscute.

## 1.2 Obiectivele tezei de doctorat

Progresul radical al cercetării din ultimele decenii ale secolului al XX -lea, a contribuit la dezvoltarea cunoașterii fenomenelor de uscare, la crearea de tehnici moderne de uscare, a făcut posibilă producerea de noi materii prime importante, de prelungire a duratei de păstrare a multor produse alimentare.

Unul dintre obiectivele strategice actuale al dezvoltării României este realizarea unei economii de piață reale, în condițiile în care din 2007 suntem membri



cu drepturi depline ai U. E., iar în prezent constatăm un declin al majorității ramurilor productive din agricultură.

Cele mai importante ramuri ale industriei alimentare sunt: morăritul și panificația, industria cărnii, industria uleiurilor și industria laptelui.

Atingerea acestui obiectiv presupune retehnologizarea aproape integrală a capacităților de producție, în toate ramurile economice, inclusiv în agricultură și zootehnie, prin dotarea lor cu echipamente moderne, performante, cu grad înalt de mecanizare și automatizare, cu productivități ridicate și consumuri specifice reduse.

În contextul actual, acela în care se dorește tot mai mult consumarea de către populație a alimentelor **bio**, cunoașterea și stăpânirea proceselor de uscare a produselor agricole termolabile, problemă deosebit de complexă care depinde de o serie de factori (distribuția coeficientului de difuzie a apei, construcția camerei de uscare, parametrii agentului de uscare, condiții pedoclimatice), toate acestea necesită studiul detaliat al fenomenelor, utilizând tehnicile de simulare moderne precum și o temeinică documentare în domeniul cunoașterii actuale [46, 72, 73].

Oportunitatea realizării tezei este pusă în evidență de faptul că însemnate cantități de cereale pot fi salvate de la distrugere, prin adoptarea metodelor moderne de uscare oferite de instalațiile de uscare, în condițiile existenței controlului asupra procesului tehnologic de uscare, cu respectarea normelor de siguranță și securitate alimentară precum și posibilitatea folosirea de noi surse de energie.

Prin folosirea materiilor prime agroalimentare, industria alimentară are rolul de a produce alimente de calitate superioară sub aspectul inocuității, valorii nutritive, însușirilor senzoriale și estetice. Starea de sănătate a populației este asigurată dacă aceasta consumă în primul rând alimente salubre, libere de acei factori care ar produce îmbolnăvirea.

Pericolul ca un aliment să devină potențial dăunător [7, 71] pentru om rezultă din contaminarea sau poluarea acestuia cu organisme sau substanțe chimice care produc infecții (*Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi A,B*), intoxicații (*Clostridium botulinium*, *staphylococcus aureus*, *clostridium perfringens*) și prezintă un mare pericol pentru consumatori.

Majoritatea produselor alimentare reprezintă un substrat ideal pentru dezvoltarea microorganismelor, în special atunci când acestea sunt păstrate perioade îndelungate la temperatura mediului ambiant [71].

Pentru produsele alimentare, în special de origine vegetală, o importanță deosebită trebuie acordată recoltării, depozitării și transportului acestora, deoarece pot fi infectate cu mucegaiuri toxicogenice, care prin micotoxinele elaborate în aliment pot produce modificări teratogenice, mutagenice și cancerigenice [71, 119, 120].

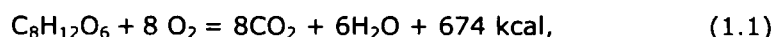
### 1.3 Oportunitatea și scopul temei de doctorat

**Oportunitatea tezei de doctorat:** Valorificarea superioară a cerealelor reprezintă o activitate complexă, care constă, în primul rând, într-o condiționare corespunzătoare, care să asigure premisele păstrării în bune condiții a recoltei, până în momentul prelucrării [2, 3, 7, 8].

Cele mai multe fenomene care au loc datorită proceselor fiziologice ce se desfășoară cu intensități diferite pe timpul depozitării cerealelor, în majoritate nedorite și cu consecințe deosebit de grave, se datorează umidității acestora, valoare ce depășește limita maximă admisă pentru depozitare [85, 86].

Există numeroase sisteme de păstrare a cerealelor, dar păstrarea în stare uscată constituie în prezent sistemul cel mai larg utilizat, indiferent de destinație, întrucât în aceste condiții procesele fiziologice decurg cu intensitate deosebit de mică, microorganismele nu depășesc condițiile de dezvoltare, fiind deci eficient economic.

Obiectivul uscării este scăderea umidității masei de cereale până la cea de echilibru, la care păstrarea se poate face timp îndelungat, fără pierderi [80, 81, 82]. Valorile umidității de echilibru variază de la o specie la alta și sunt prezentate în figura 1.7. Creșterea umidității cu numai 2÷3 % peste aceste limite intensifică respirația de 10÷20 de ori și asigură condiții pentru dezvoltarea microorganismelor. Totodată au loc pierderi de amidon, degajându-se căldură, bioxid de carbon și apă, conform relației 1.1:



În urma creșterii temperaturii, respirația crește și mai mult, accentuându-se procesul degenerativ. Prin condensarea apei pe suprafața produselor are loc o autoîncălzire, mirosul neplăcut devenind din ce în ce mai persistent. În cadrul lucrării a fost precizat faptul că semințele sunt produse perisabile, care își mențin activitatea fiziologică chiar și după recoltare [4, 5, 7].

Procesul tehnologic de uscare a cerealelor, reprezintă o etapă esențială a obiectivului urmărit de orice societate comercială, care dorește să depoziteze pe durată cât mai mare produsele recepționate.

Procesul de uscare în sine este un mare consumator de energie și poate influența într-o mare măsură calitatea produselor. Așadar se impune o dirijare riguroasă a regimului termic în instalația de uscare în scopul obținerii următoarelor rezultate:

- ♦ calitate ridicată a produsului, în funcție de destinație (pentru consum sau pentru sămânță),

- ◆ consum redus de combustibil,
- ◆ capacitate de lucru ridicată (durată redusă a procesului de uscare).

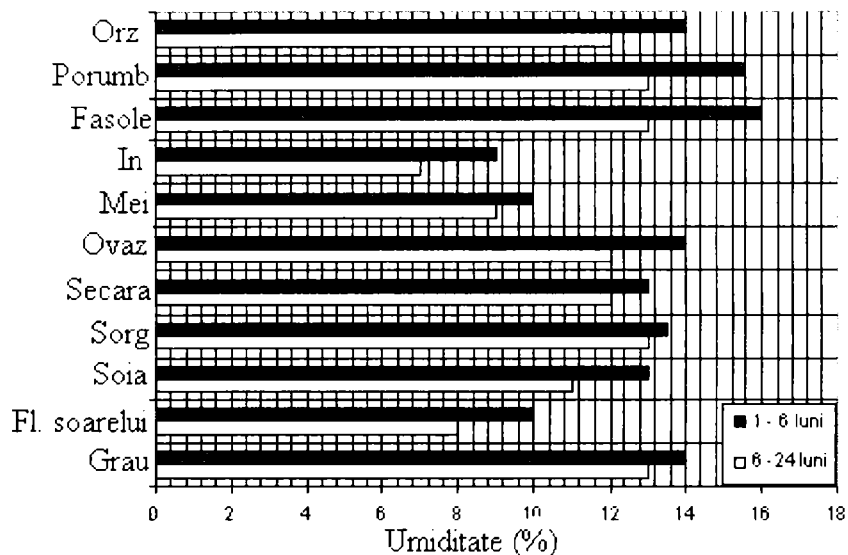


Fig. 1.7 Conținutul maxim de umiditate [%], pentru păstrarea cerealelor.

Aceste deziderate se pot atinge prin introducerea unui sistem automat de control și reglare a parametrilor ce influențează procesul de uscare.

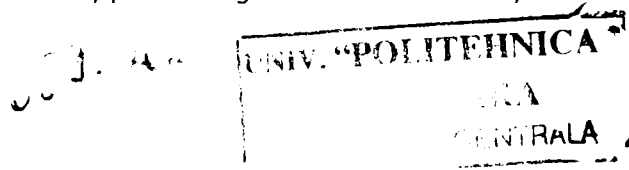
Această investiție necesită instalarea unor senzori de temperatură și umiditate în interiorul uscătorului, a unui calculator de proces, a elementelor de execuție și a unui sistem de achiziție a datelor, astfel încât să se poată efectua controlul și conducerea corectă a procesului de uscare.

Datorită complexității proceselor care au loc în timpul uscării, este foarte dificilă determinarea variației în timp a temperaturii produsului, chiar în condițiile menținerii constante a temperaturii agentului de uscare.

Cunoașterea și controlul proceselor din interiorul camerei de uscare, a temperaturii produsului, poate conduce la îmbunătățirea germinației și de asemenea poate reduce durata uscării, cu consecințe favorabile asupra consumului de combustibil [40, 52, 53].

Cercetările în domeniul uscării s-au axat în special pe recomandarea unor regimuri termice constante, în două sau trei trepte, corelate cu umiditatea inițială a semințelor și destinația acestora, fără a se ține seama de următoarele fenomene:

- ◆ variația temperaturii și umidității cerealelor la intrarea în uscător,
- ◆ variația temperaturii și umidității aerului ambiant, care în condițiile funcționării în mod continuu, timp de 24 de ore, poate atinge valori semnificative,



- ◆ evoluția în timp a umidității cerealelor supuse uscării,
- ◆ modul specific de transfer de căldură și masă al fiecărui tip de instalație.

Acesta este și motivul pentru care, în literatura de specialitate apar diferențe mari în ceea ce privește acest tip de recomandări.

Cum în majoritatea cazurilor, intensitatea proceselor de uscare este determinată de viteza de migrare a umidității din straturile centrale spre cele exterioare, acest proces este determinat de structura materialului, de formele de legătură a umidității cu materialul, etc.

La dezvoltarea și fundamentarea științifică a metodelor moderne de uscare au contribuit școlile conduse de A.V. Lîkov, I.A. Rogov, P.D. Lebedev, D. M. Bruce, F. W. Bakerr-Arkema, T.L. Thompson, precum și cercetările efectuate de R.P. Jmakin, F. Courtois, V.T. Musteață, N. Banu, Qiang Liu, J. Pacheco, M. Arocho, A.N. Chandran, Gaceu L., J. Montenegro, K.K. Khankari și alții [2, 3, 7, 10].

Cercetătorii amintiți mai sus, studiind procesul de uscare cu folosirea metodelor electrofizice, au aprobat legile de bază privind transferul de căldură și masă în diferite produse, inclusiv alimentare, stabilind avantajele acestei metode, printre care:

- încălzirea uniformă a produsului, datorită distribuției uniforme a temperaturii, cu evitarea supraîncălzirii (deteriorării) suprafeței exterioare a produselor;
- deshidratarea cu viteză mărită, care înlesnește migrarea umidității din interiorul produsului către suprafață datorită coincidenței gradientului de temperatură și a celui de umiditate;
- posibilitatea de a obține produse sterile comercial, datorită efectului de sterilizare;
- îmbunătățirea condițiilor igienico – sanitare în procesul de producție;

**Scopul tezei**, constă în analiza teoretică și experimentală a procesului de uscare a cerealelor pentru consum și pentru sămânță, obținerea rezultatelor optime în condițiile utilizării raționale a combustibililor, cu respectarea normelor de siguranță alimentară și a regulilor de bune practici privind păstrarea și depozitarea cerealelor.

Pornind de la considerentele expuse anterior, s-a stabilit **obiectivul principal** al lucrării de doctorat, care constă în: *Cercetarea posibilităților de optimizare a regimului de uscare a cerealelor prin reglarea automată a procesului de lucru, în funcție de temperatura, umiditatea și tipul cerealelor, cu reducerea consumului de combustibil și a duratei de uscare.*

**Cercetările teoretice** urmăresc realizarea următoarelor obiective:

- Efectuarea unei sinteze privind caracteristicile principalelor tipuri de cereale ce pot fi supuse procesului de uscare;
- Structura și stadiul actual al cunoașterii în domeniul instalațiilor de uscare;
- Stadiul actual al cunoașterii privind cercetarea teoretică a instalațiilor de uscare și a procesului de uscare;
- Determinarea variației optime a temperaturii agentului de uscare în funcție de umiditatea semințelor, pentru conservarea germinației și a unui consum minim de energie;
- Influența parametrilor mediului ambiant și a materialului asupra consumului de combustibil;
- Determinarea gradientului de temperatură în interiorul camerei de uscare;
- Conceperea unui model matematic de simulare a evoluției umidității cerealelor pe timpul procesului de uscare;
- Simularea pe calculator a unui sistem de reglare automată a uscării cerealelor;
- Studiarea influenței procedurii procesului de uscare asupra calității cerealelor în vederea obținerii de produse sănătoase, nealterate în urma procesului de uscare.
- Studiarea influenței agentului de uscare în vederea obținerii de procedurii nealterate, sănătoase, în conformitate cu normele privind siguranța alimentară.

**Cercetările experimentale** urmăresc realizarea următoarelor obiective:

- Determinarea nivelului maxim al temperaturii agentului de uscare pentru conservarea cerealelor;
- Determinarea capacității germinative a cerealelor înainte și după uscare;
- Analiza factorilor constructivi, funcționali și de lucru ai instalației de uscare;
- Determinarea consumului specific de combustibil pentru 1 kg de apă evaporată;
- Determinarea influenței temperaturii și umidității mediului asupra consumului de GPL;
- Determinarea directă, prin măsurare în timpul procesului de uscare a parametrilor termodinamici ai cerealelor, agentului de uscare și ai mediului ambiant;
- Determinarea concentrației emisiilor poluante din gazele de ardere ale agentului de uscare;

- Determinarea optimului pentru procesul de uscare, utilizând programului MINITAB;

- Verificarea modelelor matematice elaborate în cercetarea teoretică;

Direcții de cercetare se vor desfășura în paralel, pentru a putea realiza diverse corelații și a da posibilitatea formulării unor concluzii pertinente, în condiții cât mai variate, cu scopul perfecționării procesului de lucru în uscătoarele de cereale.

Implementarea noilor tehnologii trebuie să asigure:

- economisirea resurselor energetice existente,
- limitarea (excluderea) producerii deșeurilor,
- crearea unor produse, cât mai variate care să satisfacă cerințele tot mai diverse contemporane;

- urmărirea atingerii obiectivelor normelor raționale de alimentație pentru populație.

Soluționarea problemelor legate de domeniul tehnologiei și tehnicii de prelucrare termică a cerealelor depinde de:

- Studiarea și aprofundarea ideilor privind esența fizică a proceselor de transfer de căldură și masă, în diferite procese de tratare termică;

- Cercetarea și studiarea indicilor de calitate al produselor ca obiect al proceselor termice;

- Folosirea celor mai moderne metode fizice și chimice de cercetare și argumentarea mecanismelor de transfer al umidității în interiorul materialului în procesul de uscare;

- Elaborarea schemei tehnologice privind uscarea cerealelor, în concordanță cu destinația acestora, cu satisfacerea calității produsului finit;

- Identificarea de noi metode și tehnologii care să răspundă cerințelor tot mai exigente ale populației, precum și unei game sortimentale tot mai diversificate;

- Studiarea posibilității utilizării uscătoarelor în situații optime, atât din punct de vedere al calității produselor supuse procesului de uscare, cât mai ales, identificării unor noi resurse energetice, nepoluante, ieftine și ușor de utilizat.

# Capitolul 2

## CONSERVAREA PRODUSELOR CEREALIERE

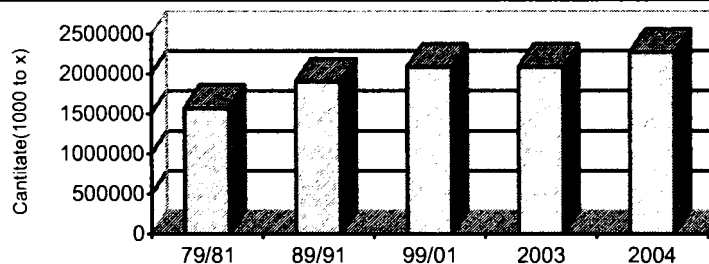
### 2.1 Considerații generale.

Cerealele au o importanță deosebită în hrana oamenilor, furajarea animalelor, constituie o materie primă de bază pentru multe subramuri ale industriei alimentare, iar astăzi, reprezintă și o importantă sursă energetică privind obținerea de biocombustibili, în condițiile reducerii drastice a zăcămintelor combustibililor fosili [6, 46].

Producția mondială de cereale 1979 - 2004

Tabelul 2.1

1979/1981	1989/1991	1999/2001	2003	2004
1.573.227	1.9003.961	2.084.615	2.087.774	2.270.360



Conform estimărilor făcute de specialiști, precum și din statisticile FAO (tabelul 2.1), se observă o stagnare a producției de cereale la nivel mondial, în contextul creșterii consumurilor, fapt datorat în primul rând condițiilor meteo nefavorabile, precum și condițiilor improprii privind depozitarea și păstrarea cerealelor [120, 121]. Cerealele sunt plante cu însușiri fiziologice comune, făcând parte din familia *Gramineae*.

Fructul cerealelor, care în mod curent se numește sămânță sau bob, este din punct de vedere botanic o cariopsă. La unele specii de cereale, boabele sunt acoperite cu pleve, care persistă după treierare, în care caz se numesc boabe îmbrăcate (ovăz, orez, orz), iar la alte specii plevele se desprind de pe semințe în timpul treieratului, caz în care se numesc golașe.

Majoritatea semințelor de cereale au caracteristici anatomice asemănătoare, principalele structuri ale acestora fiind: *învelișul*, *endospermul* și *embrionul*.

## 2.2 Scurtă prezentare a semințelor de cereale cultivate în România

Principalele cereale cultivate pe glob sunt: *grâul*, *porumbul*, *secara*, *orzul*, *orezul*, *ovăzul*, *meiul* și *sorgul*.

**Grâul**, este o plantă din familia *Gramineae*, genul *Triticum*. Boabele diferitelor soiuri de grâu se deosebesc prin formă, culoare și aspectul suprafeței lor. Forma poate fi alungită, eliptică, ovală sau rotunjită. Culoarea variază de la alb-gălbui, galben până la roșu de diferite nuanțe. Suprafața bobului poate fi netedă, aspră sau zbârcită pe porțiuni mai mult sau mai puțin întinse. La partea superioară bobul de grâu prezintă un smoc de perișori scurți (barba), iar la partea inferioară se află embrionul (germenul). Sămânța de grâu (figura 2.1,a) este formată din: învelișul fructului sau pericarpul 1, stratul aleuronic 2, embrionul 3, barba 4, și corpul făinos sau endospermul 5. Pericarpul este format din trei straturi suprapuse (figura 2.1,b): epicarpul, mezocarpul, endocarpul.

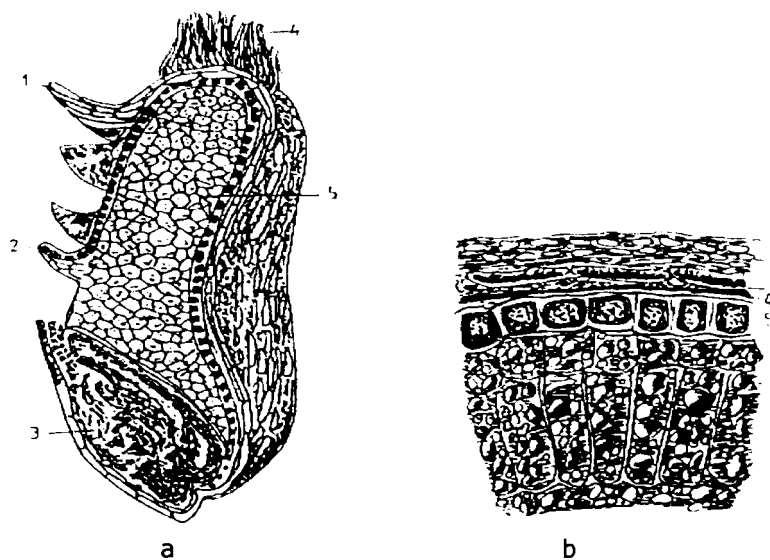


Fig. 2.1. Secțiuni prin bobul de grâu.

a - secțiune longitudinală prin bobul de grâu: 1- pericarp; 2 - stratul aleuronic; 3 - embrion; 4 - perii ( barba bobului ); 5 - endosperm;

b - secțiune transversală prin bobul de grâu: 1- epicarp; 2 - mezocarp; 3 - endocarp; 4 - spermoderma; 5 - stratul aleuronic; 6 - endosperm.

Epicarpul este foarte subțire, fiind format dintr-un singur rând de celule care au o membrană celulozică rezistentă, în timp ce mezocarpul este mai gros și format



din celule alungite, iar endocarpul este format dintr-un strat de celule foarte alungite, sub care se află un alt strat de celule, de formă cilindrică, așezate perpendicular pe primele, astfel încât să mărească rezistența endocarpului.

Sub endocarp și lipit de acesta se află învelișul seminței sau spermoderma 4 (figura 2.1,b). Acest înveliș este format din stratul brun și stratul hialin. Stratul aleuronic 2 (figura 2.1,a), 5 (figura 2.1,b) este format din celule mari, pereți groși și secțiune aproape pătrată.

Endospermul sau corpul făinos 5 (figura 2.1,a), 6 (figura 2.1,b) cuprinde cea mai mare parte a bobului (cca. 84%), reprezentând sursa principală de materii nutritive pentru dezvoltarea embrionului. În centrul endospermului se găsesc granule mari de amidon. Embrionul 3 (figura 2.1,a) conține organele viitoarei plante (rădăcina, tulpinița, mugurele terminal), acesta este protejat în partea endospermului de cotiledonul seminței și este îmbrăcat numai de pericarp, nefiind protejat de tegumentul seminal și de stratul aleuronic.

Compoziția chimică a bobului de grâu, sub aspect calitativ, este, în general aceeași, dar proprietățile diferă foarte mult, în raport cu o serie de factori: specia, soiul, solul, îngrășămintele folosite, starea timpului în perioada de recoltare (ploios sau uscat), perioada de recoltare, modul de conservare după recoltare, gradul de maturitate a boabelor, etc. În literatura de specialitate se dau valorile medii ale conținutului de substanțe chimice pentru diferite specii sub forma unor tabele [108].

În tabelul 2.2 este prezentat conținutul mediu de substanță chimică repartizat pe părți componente (anatomice), pentru două soiuri de grâu. Însușirile de panificație sunt influențate determinant de conținutul în proteine (gluten – o pastă elasto – vâscoasă, rezultată dintr-o combinație de substanțe proteice existente în făina de la măcinarea endospermului și apă) și o anumită cantitate de apă [108, 109].

*Compoziția chimică a bobului de grâu*

*Tabelul 2.2*

<i>Soiul de grâu</i>	<i>Părți anatomice</i>	<i>Componentele %</i>					
		<i>Proteine</i>	<i>Amidon</i>	<i>Zaharuri</i>	<i>Celuloză</i>	<i>Grăsimi</i>	<i>Substanțe minerale</i>
<i>Lutescens 062</i>	Endosperm	14,03	78,87	2,96	0,11	0,75	0,48
	Embrion	39,48	-	25,02	2,36	13,69	6,97
	Înveliș + strat aleuronic	33,55	-	6,46	14,82	8,40	8,00
<i>Melanopus 062</i>	Endosperm	13,64	81,31	3,60	0,17	0,47	0,44
	Embrion	36,34	-	25,36	2,26	16,48	4,97
	Înveliș + strat aleuronic	24,19	-	2,15	16,53	7,29	10,21

Substanțele proteice predominante din combinația glutenului sunt:

- gliadină = 70 %
- gluteină = 30 %

Conținutul de gluten variază la grâu, spre exemplu, între 18 – 20 % la grâul comun pentru panificație și 25 – 40 % la grâul tare [114].

**Porumbul**, face parte din familia *Gramineae*, genul *Zea*, cu trei specii ( *Zea Mays*, *Zea Mexicana*, *Zea Perennis* ). După aspect, bobul de porumb se deosebește de cel al celorlalte cereale, și poate avea formă: prismatică, rotund – comprimată, alungit – comprimată, etc.

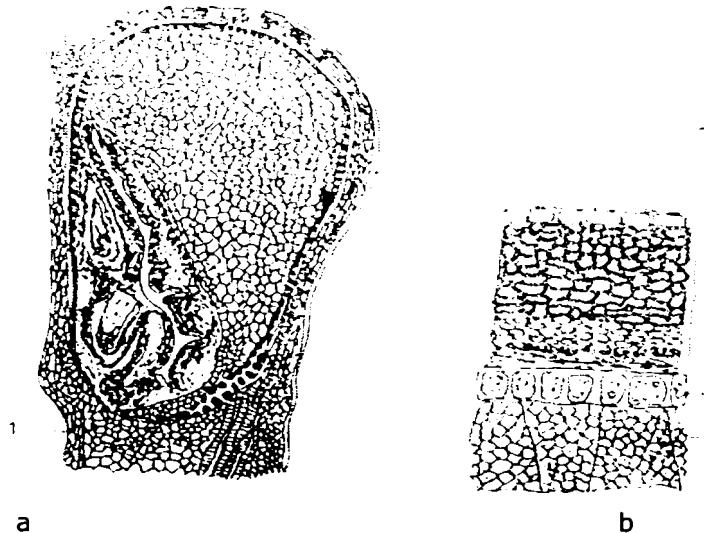


Fig. 2.2. Secțiuni prin bobul de porumb.

*a* – secțiune longitudinală prin bobul de porumb: 1- vârful bobului; 2 - pericarp; 3 – strat aleuronic; 4 - endosperm; 5 - embrion;

*b* – secțiune transversală prin bobul de porumb: a - epidermă; b – straturi ale epicarpului; c - testa; d – stratul aleuronic; e – endosperm.

Mărimea și forma boabelor nu sunt uniforme pe întreaga lungime a știuletelui. Boabele de la vârf sunt mai mici și mai scurte. Culoarea acestora poate fi: albă, galbenă, portocalie, violetă, roșie de diferite nuanțe etc.

Suprafața boabelor este la unele varietăți netedă, iar la altele mai zbârcită. În figura 2.2 este prezentată o secțiune longitudinală (a), respectiv una transversală (b), prin bobul de porumb. Învelișurile seminței sunt compacte și strâns legate de stratul aleuronic.

Stratul aleuronic este constituit dintr-un rând de celule mari, dreptunghiulare, care se micșorează foarte mult în zona embrionului.

Endospermul cuprinde 2/3 din masa bobului și este format din celule poliedrice mai mici decât ale bobului și este format din celule poliedrice mai mici decât ale bobului de grâu. Embrionul este situat pe una din fețele laterale ale bobului, spre partea ascuțită a acestuia, este mai mare decât la grâu, ocupând 8 -10 % din masa acestuia. Componentele chimice și distribuția în diferitele părți anatomice ale bobului, sunt prezentate în tabelul 2.3.

Compoziția chimică a bobului de porumb

Tabelul 2.3

Părțile componente ale bobului	Proporție %	Substanță uscată (%)				
		Proteină brută	Grăsimi brută	Substanțe neazotate	Celuloză brută	Cenușă
Bob întreg	100	12,6	4,3	79,4	2,0	1,7
Endosperm	84	12,2	1,5	85,0	0,6	0,7
Embrion	10	21,7	29,6	34,7	2,9	11,1
Înveliș, strat aleuronic	6	6,6	1,6	74,1	16,4	1,3

După forma și mărimea bobului, starea tegumentului acestuia și a aspectului în secțiune a seminței, precum și în funcție de caracteristicile știuletelui, se deosebesc următoarele varietăți de porumb: *Zea mays indurata*, *Zea mays everta*, *Zea mays saccharata*, *Zea mays tunicata*, *Zea mays amylycea*, etc.

**Secara.** (*Secale cereale L.*) este a doua cereală panificabilă după grâu, boabele având valoare nutritivă asemănătoare celor de grâu. Din cauza că proteinele din seară nu conțin gluten, deși gustoasă, este inferioară celei de grâu. Faina de seară are proprietăți diferite de făina din grâu la coacere, aceasta se explică prin faptul că moleculele de gluten, prin prezența de pentosan nu se produce efectul lipicios ca făina de grâu pentru a reține gazele din aluat.

Datorită prezenței substanțelor mucilaginoase din seară, se produce prin coacere o crustă brună aromată, pâinea de seară fiind mai densă în comparație cu pâinea de grâu. Se pot întâlni la unele recolte de seară prezența unor amilaze care descompun amidonul, degradând calitatea făinii [114].

Secara se adaptează mai bine decât grâul, în zonele cu climă răcoroasă și uscată. Pe glob seara se cultivă pe 15,3 milioane ha, cele mai mari suprafețe întâlnindu-se în fosta URSS, Polonia, Germania, Canada. În țara noastră, suprafețele de seară au scăzut an de an, atingând astăzi circa 30 000 ha.

**Orzul**, (*Hordeum L.*) se cultivă pentru boabele sale, care se utilizează în principal ca furaj și pentru fabricarea berii. În anumite zone ale globului, cum ar fi regiunile înalte din Asia și nordul Africii, boabele se utilizează pentru alimentația oamenilor.

Boabele de orz se mai folosesc pentru obținerea surrogatului de cafea și arpacașului. După datele FAO, pe glob, în ultimii ani suprafețele cu orz se situau la circa 85 milioane ha, cele mai întinse suprafețe fiind în fosta URSS (33 mil. ha), China, Canada, Germania, SUA [109, 110].

În țara noastră, suprafețele semănate cu orz au oscilat între 350.000 și 450.000 ha. În ce privește diferențierea orz – orzoaică, aceasta prezintă importanță mai ales din punct de vedere al compoziției chimice a boabelor.

Astfel, orzul este mai bogat în proteine decât orzoaica, dar mai sărac în amidon. Spre deosebire de grâu, boabele de orzoaică conțin o cantitate mare de fermenți ( $\alpha$  și  $\beta$  – amilază, maltoză), care favorizează fermentația lactică [7, 8].

**Ovăzul**, (*Avena L.*), prezintă importanță foarte mare pentru furajarea animalelor. În alimentația oamenilor, se utilizează sub formă de grisuri, făină, fulgi, mai ales în alimentația copiilor și adulților cu regim dietetic.

Pe glob se cultivă pe aproximativ 28 milioane ha, cele mai mari cultivatoare de ovăz fiind fosta URSS, SUA, Canada și Polonia. În țara noastră se cultivă pe aproape 60-70 mii ha, iar din acestea mai bine de 70% se găsesc în Transilvania, vestul țării și nordul Moldovei.

**Orezul**, (*Oryza sativa ssp. communis*), este una dintre cele mai importante plante în alimentația omului, constituind hrana de bază pentru circa 2,5 miliarde de locuitori ai planetei. Pentru restul locuitorilor globului este un aliment de completare, cu o valoare nutritivă ridicată. În afară de boabe, se folosesc paietele, pentru obținerea hârtiei, cartonului și pentru diverse împletituri. Pe glob se cultivă aproape 145 milioane ha, cele mai mari suprafețe sunt în Asia, SUA, Africa.

Cele mai mari suprafețe sunt concentrate în India, China (40, respectiv 38 milioane ha). În România suprafețele semănate cu orez, circa 20.000 ha sunt concentrate de-a lungul Dunării.

### **2.2.1 Elemente privind aprecierea calității cerealelor**

Etapă importantă în tehnologia recepționării, depozitării, conservării și livrării, conexată conceptelor de calitate și trasabilitate, aprecierea calității cerealelor se face conform „Manualului de gradare pentru semințe de consum”. Documentul a

fost elaborat în 2003 de Comisia Națională de Gradare a Semințelor de consum [114].

Operațiunea de gradare (clasificare), presupune identificarea și separarea loturilor de cereale, leguminoase și oleaginoase după aspect și starea lor fizică sau luând în considerare una dintre caracteristicile specifice ale acestora (chimică, tehnologică), **SR ISO 5527:2002** „Cereale. Terminologie”.

Gradele împart semințele de consum pe grupe, fiecare grup sau grad întrunind anumite condiții de calitate. Noul sistem oferă posibilitatea stabilirii calității reale a semințelor de consum. Cea mai importantă operație în procesul de gradare este obținerea unui eșantion reprezentativ, ceea ce va alocarea unui grad final real lotului respectiv.

*Eșantionarea*, reprezintă operația de obținere a unui eșantion, care reflectă, cât mai fidel posibil, compoziția unui lot de produs, rezultând un eșantion reprezentativ. Eșantionarea se efectuează conform următoarelor standarde:

- **SR ISO 13690 : 2001** „Cereale, leguminoase și produse de măciniș – Eșantionare pentru loturi statice” [125].

- **SR ISO 6644:2002** „Cereale și produse măcinate din cereale – Eșantionarea automată cu mijloace mecanice” [126].

- **SR EN ISO 542:2001** „Semințe oleaginoase – Eșantionare” [127].

- **SR EN ISO 664:2001** „Semințe oleaginoase – Reducerea eșantionului pentru laborator la eșantionul pentru analiză” [128].

În afara tipurilor de eșantioane prezentate în standardele de mai sus, în activitatea de gradare se mai folosește un tip de eșantion și anume:

*Eșantionul mediu*, reprezintă rezultatul prin unificarea și omogenizarea a minim 50 grame produs reținut din fiecare eșantion de laborator, pentru fiecare clasă, tip și grad. Eșantioanele medii se folosesc la urmărirea procesului de gradare, examinarea parametrilor fizici medii la toate livrările de același grad pe o perioadă predeterminată și pentru efectuarea determinărilor suplimentare. Înainte de alocarea gradelor (clasificarea) se determină obligatoriu umiditatea și gradul de infestare.

*Determinarea umidității*, a cărei importanță este dată de faptul că nivelul umidității reflectă printr-o relație de inversă proporționalitate conținutul de substanță utilă. Cu cât umiditatea este mai mare, cu atât conținutul de substanță utilă este mai mic [80, 81, 129].

S-a constatat că apa pătrunde cel mai rapid prin embrion, apoi prin înveliș și foarte greu prin endosperm. Cerealele care conțin un procent de umiditate mai mare de 14 % și nu se întreprind acțiuni tehnologice de reducere a acesteia, calitatea cerealelor se degradează prin auto-încingere, mucegăire sau încolțirea boabelor [8].

În raport cu conținutul de umiditate al cerealelor (%), acestea pot fi conform tabelului 2.4. Umiditatea optimă pentru păstrarea cerealelor este între 10 ÷ 13 %, când cerealele pot fi păstrate un timp îndelungat, iar ulterior, când sunt supuse prelucrării, acestea se comportă corespunzător. Determinarea practică a umidității se realizează conform metodei prevăzute în standardul în vigoare, **SR ISO 712:1999** – „Cereale și produse cerealiere. Determinarea umidității. Metode de referință practică”, standard care înlocuiește **STAS 6124:1-73**.

Clasificarea cerealelor funcție de conținutul de umiditate [%]

Tabelul 2.4

Cereale	Uscate [%]	Semiuscate [%]	Umede [%]	Foarte umede [%]
Grâu	12-14	14,1-15,5	15,6-17,0	peste 17,0
Secară	12-14	14,1-15,5	15,6-17,0	peste 17,0
Orz	12-14	14,1-15,5	15,6-17,0	peste 17,0
Ovăz	12-14	14,1-16,0	16,0-18,0	peste 18,0
Orez	12-14	14,1-15,5	15,6-17,0	peste 17,0
Porumb	12-14	14,1-17,0	17,1-20,0	peste 20,0

Pentru determinarea umidității se utilizează aparate pentru determinări rapide, avizate metrologic, conform **SR ISO 7700 - 1: 2002**.

Determinarea infestării, se efectuează prin control vizual, sau în cazul infestărilor ascunse conform **SR ISO 6639:1996**.

Scopul identificării fiind acela de a semnaliza prezența/absența acestora din produsul recepționat/livrat, precum stabilirea măsurilor de combatere a dăunătorilor din masa de produs. Pagubele produse de dăunătorii animalii pot fi rezumate la următoarele:

- consumă din conținutul boabelor, ducând la scăderea în greutate a masei de cereale;
- diminuează sau reduc complet facultatea germinativă a cerealelor;
- provoacă ridicarea temperaturii și umidității produselor ca urmare a activității biologice a insectelor și favorizează dezvoltarea mușcărilor și bacteriilor în masa de boabe;
- degradează calitatea produselor prin impurificarea acestora cu excrementele eliminate, cadavrele insectelor;
- produc mirosuri specifice neplăcute în masa de boabe.

Pentru efectuarea planului de gradare, specific fiecărui tip de produs, în vederea aprecierii acestora se face după următoarele criterii:

- *Criterii chimice,*
- *Criterii fizice*
- *Criterii tehnologice.*

**Criteriile chimice**, sunt oferite, în ansamblu prin analiza compoziției chimice care oferă informații legate de valoarea alimentară a produsului, referindu-se la:

- *Determinarea proteinei și a calității acesteia*
- *Determinarea acidității*
- *Determinarea grăsimii*

Determinarea proteinei și a calității acesteia, aflate într-o relație de directă proporționalitate cu calitatea cerealelor.

Metodele pentru determinarea practică sunt prevăzute în **STAS 6283/1-83** „Semințe agricole de consum. Grâu. determinarea conținutului de gluten și a indicelui de deformare a glutenului, calculul indicelui glutenic” respectiv **STAS 6283/4-84** „Cereale. Determinarea conținutului de proteină brută” [130, 131].

Determinarea acidității, oferă indicii asupra stării de sănătate a cerealelor, timpul de păstrare, modului de conservare, etc. Practic se efectuează conform **STAS 6282/3-76** „Semințe agricole. Grâu pentru consum. Determinarea acidității”.

Determinarea grăsimii, se aplică, cu precădere, în cazul porumbului ce urmează a fi degerminat.

**Criteriile fizice**, constituie un ansamblu de determinări însumate în cea mai răspândită metodă de aprecierea calității, incluzând următoarele determinări (tabelul 2. 5):

- Masa hectolitrică
- Masa a 1.000 de boabe,
- Masa absolută,
- Masa specifică,
- Mărimea, forma și uniformitatea boabelor,
- Culoarea boabelor,
- Prospețimea cerealelor,
- Maturizarea cerealelor
- Gradul de sănătate a cerealelor.

Masa hectolitrică, reprezintă greutatea, în kg. a unui volum de boabe de  $0,1\text{m}^3$  (100 litri), este influențată de conținutul în umiditate, cantitatea de corpuri străine și natura acestora, forma boabelor, greutatea specifică. Se determină conform **STAS SR ISO 7971 – 2 : 2002**. Masa hectolitrică prezintă importanță deoarece:

- servește la estimarea cantităților de produs prin cubaj,
- servește ca bază de calcul la dimensionarea calculelor de siloz,
- reprezintă un parametru important la stabilirea prețului cerealelor,
- reprezintă un parametru important de extracție a făinii.

Masa a 1.000 boabe în funcție de modul de raportare poate fi: relativă și absolută.

Masa absolută reprezintă greutatea a 1.000 boabe exprimată în grame, raportată la substanța uscată.

Masa relativă a 1.000 boabe reprezintă masa a 1.000 de semințe exprimată în grame la umiditatea pe care o conțin în momentul determinării.

Masa specifică reprezintă raportul dintre masa a 1.000 de boabe (g) și volumul acestora ( $\text{cm}^3$ ). Este influențată de compoziția chimică, compactitatea, structura anatomică, maturizarea și mărimea boabelor.

Indicii fizici ai principalelor cereale

Tabelul 2.5

Cereale	Masa hectolitrică (kg/hl)	Masa relativă a 1.000 boabe (g)	Masa absolută (g)	Masa specifică ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
Grâu	68-85	30-40	30-35	1,2-1,5
Porumb	74-82	130-380	110-320	1,3-1,4
Secară	65-78	28-30	24-26	1,2-1,5
Orz	55-65	38-42	29-37	1,3-1,4
Orez	50-65	30-40	26-35	1,1-1,2

Mărimea, forma și uniformitatea boabelor, reprezintă un criteriu important de apreciere a calității cerealelor. Forma boabelor poate fi: sferică, plată, ovală, aciculară, etc., depinzând de o serie de factori, dintre care cei mai importanți sunt natura cerealelor și dimensiunea lor.

Mărimea bobului se poate exprima prin diametrul de sită, diametrul nominal sau diametrul mediu. Diametrul de sită, este exprimat prin dimensiunea ochiului circular de sită, standardizat, prin care trece bobul, cu condiția ca bobul să rămână pe sita cu diametrul inferior următor standardizat.

Diametrul nominal (echivalent),  $d_e$  (mm), se definește ca valoare a diametrului unei sfere de volum  $V$ , egal numeric cu volumul bobului considerat, conform relației:

$$d_e = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} = 1,24\sqrt[3]{V}, \quad (\text{mm}) \quad [2.1]$$

iar dacă se cunoaște densitatea bobului,  $\rho$ , atunci:

$$d_e = 1,24\sqrt[3]{\frac{M}{\rho}}, \quad (\text{mm}) \quad [2.2]$$



Diametrul mediu  $d_m$  (mm), este valoarea determinată ca medie aritmetică a diametrelor boabelor dintr-un eșantion oarecare.

Dacă  $l$ ,  $b$ ,  $h$ , sunt dimensiunile măsurate ale bobului după trei axe rectangulare cu proprietatea că  $l > b > h$ , iar forma bobului este neregulată, se pot utiliza următoarele relații pentru determinarea diametrului mediu:

$$d_m = b, d_m = \frac{l+b}{2}, d_m = \frac{l+b+h}{3}, d_m = \sqrt{lb}, d_m = \sqrt[3]{lbh}, (\text{mm}), \quad [2.3]$$

respectiv:

$$d_m = \sqrt{\frac{lb+bh+hl}{3}}, d_m = \frac{3lbh}{lb+bh+hl}, (\text{mm}) \quad [2.4]$$

Valorile considerate uzual pentru dimensiunile medii ale boabelor de cereale sunt prezentate în tabelul 2.6.

Dimensiunile medii ale principalelor cereale

Tabelul 2.6

Cereale	Grâu toamnă	Grâu primăvară	Secară	Porumb	Orz	Ovăz	Orez
Lățimea (mm)	4,8 - 8	4-8,6	5-9,8	5,5-3,5	7-14,6	8-18,6	5-7
Lungimea, (mm)	1,8-4	1,6-3,6	1,4-3,4	5-11,5	2-5	1,4-4	2,5-2,8
Înălțimea, (mm)	1,6-3,6	1,4-3,8	1-3,4	2,5-8	1,2-4,5	1,4-4	2-2,5

Culoarea boabelor, poate evidenția vechimea, componentele masei, starea de sănătate a boabelor. Aprecierea se face prin comparație cu culoarea normală folosind aparate speciale sau experiența unor persoane special calificate.

Maturizarea cerealelor, caracterizează o stare de finalizare post-recoltare a proceselor biochimice din bob, care îl fac propriu pentru procesele de prelucrare ulterioare. Maturizarea influențează foarte mult calitățile de panificație ale grâului.

Gradul de sănătate al cerealelor. Masa de cereale are în general o compoziție eterogenă, fiind formată, în cea mai mare parte, circa 95%, din boabele cerealei de bază, puține boabe din alte culturi (2.÷3 %) și impurități de natură organică și minerală.

Conținutul de corpuri străine (CS), pentru grâului de consum, clasele A și B, sunt conform tabelului 2.7

Planul de gradare pentru grâul din clasele A și B Tabelul 2.7

Factori de gradare	Grad 1	Grad 2	Grad 3
1. Caracteristici organoleptice, sanitare	Specifice produsului sănătos		
2. Masa hectolitrică, kg/hl (minim)	77,0	75,0	70,0
3. Impurități, %max, compuse din:			
- boabe sparte, % max	3,0 <sup>1)</sup>	5,0 <sup>1)</sup>	7,0 <sup>1)</sup>
- boabe șiștave, % max	2,0 <sup>1)</sup>	5,0 <sup>1)</sup>	8,0 <sup>1)</sup>
- boabe avariate, % max	0,5 <sup>1)</sup>	1,0 <sup>1)</sup>	1,0 <sup>1)</sup>
- boabe atacate % max	0,5 <sup>1)</sup>	1,0 <sup>1)</sup>	2,0 <sup>1)</sup>
- boabe încolțite, % max	0,5	1,0	1,0
- boabe atacate cu Fusarium, % max	0,5	1,0	1,0
- alte cereale, % max	1,0 <sup>1)</sup>	2,0 <sup>1)</sup>	3,0 <sup>1)</sup>
- corpuri străine, %max, din care:	1,0	1,5	2,0
- anorganice, % max	0,5	0,5	0,5
- semințe dăunătoare și/sau toxice, cu mălură, cornul secarei, % din care:	0,3	0,4	0,5
- fiecare dintre semințele toxice, %max	0,05	0,05	0,05
- cornul secare, % max	0,05	0,05	0,05
<sup>1)</sup> Conținutul max de boabe sparte, șiștave, avariate, atacate de dăunători și de alte cereale nu trebuie să depășească 6% în total ptr. gradul 1; 10% ptr. gradul 2; 15% ptr. gradul 3			

**Prospețimea cerealelor**, spre deosebire de alte materii prime alimentare, are o perioadă mai lungă și este determinată de absența unor schimbări esențiale în compoziția chimică și aspectul exterior sub acțiunea propriei activități sau a microorganismelor și dăunătorilor specifici depozitelor de cereale.

Stabilirea prospețimii cerealelor pe lângă determinarea organoleptică a culorii, aspectului, luciului, mirosului specific, presupune și determinarea acidității, care este mai crescută la cerealele vechi.

**Criterii tehnologice**, includ un ansamblu de însușiri fizice care participă sau înlănesc unele operații de transport, depozitate și prelucrare:

a) Criterii ce se manifestă în vehicularea internă (capacitatea de curgere, autosortarea, capacitatea de plutire)

b) Criterii ce se manifestă la depozitare (densitatea și porozitatea masei de boabe, rezistența aerodinamică a stratului, proprietăți termofizice, sorbțiunea boabelor de cereale)

**Capacitatea de curgere**, este definită de deplasarea în stare liberă a masei de boabe. Aceasta, este influențată de: forma, dimensiunile boabelor, starea suprafeței acestora, conținutul în umiditate, corpuri străine, forma și natura materialului pe care se deplasează.

Se caracterizează prin: unghiul taluzului natural  $\alpha$  și unghiul de frecare  $\varphi$ .

Condiția de curgere este ca înclinarea pantei pe care sunt dirijate cerealele,  $\alpha$ , să fie mai mare decât unghiul de frecare al boabelor în repaos, în raport cu suprafața plană,  $\varphi$ , conform relației:

$$\alpha > \varphi \quad [2.5]$$

Unghiul de taluz natural este condiționat de frecarea boabelor între ele și egal cu unghiul de frecare dintre acestea.

Deoarece stă la baza transportului gravitațional, unghiul de taluz natural fiind un element de calcul esențial pentru stabilirea înclinării conductelor, în tabelul 2.8 sunt prezentate valorile acestuia pentru câteva cereale [7, 8].

*Limitele de variație a unghiului de taluz pentru principalele cereale Tabelul 2.8*

<b>Cereale</b>	<b>Unghiul taluzului natural, (<math>\varphi^\circ</math>)</b>
Grâu	24 - 38
Porumb	31 - 40
Orz	27 - 45
Orez	37 - 45

Autosortarea, este însușirea masei de boabe aflate în cădere de a se așeza în straturi succesive, care se diferențiază în funcție de calitatea boabelor. În timpul căderii libere autosortarea este determinată de capacitatea de plutire a boabelor.

Se pune în evidență la încărcarea celulelor de siloz, când boabele mari cu de plutire redusă, cad vertical aproape de axa celulei, iar boabele mici zbârcite, semințele de buruieni și pleava, cu capacitate mare de plutire, se așează spre pereții celulei de siloz.

La încărcarea și descărcarea celulelor de siloz are loc autosortarea boabelor, aceasta depinde de forma celulei, de raportul dintre înălțimea celulei și secțiunea transversală, de amplasarea gurilor de alimentare și evacuare ale celulei de siloz.

Capacitatea de plutire a boabelor, este definită de viteza de mișcare a aerului, pentru care boabele aflate într-o conductă verticală se găsesc în stare echilibru (plutesc).

Capacitatea de plutire este deosebit de importantă pentru separarea pe baza diferenței de proprietăți aerodinamice, caracteristică foarte importantă pentru echipamentele de curățare a cerealelor.

În tabelul 2.9, sunt trecute vitezele de plutire pentru principalele cereale.

*Viteza de plutire a principalelor cereale**Tabelul 2.9*

<b>Cereale</b>	<b>Viteza de plutire ( m/s), pentru temperatura ( 20°C)</b>
Grâu	8,5-10,5
Porumb	12,5-14,0
Secară	8,5-10,0
Orz	8,5-10,5

Viteza de plutire la o temperatură de  $t \neq 20^\circ \text{C}$  se calculează cu relația:

$$V_p = V_{20} \times \sqrt{\frac{\rho_{20}}{\rho_t}}, \quad [\text{m/s}] \quad [2.6]$$

în care:

$V_p$  = viteza de plutire la temperatura  $t$ , [m / s],

$V_{20}$  = viteza de plutire la temperatura  $20^\circ\text{C}$ , [m / s],

$\rho_{20}$ ,  $\rho_t$  = densitatea aerului la  $20^\circ\text{C}$  și la  $t^\circ \text{C}$ , [ $\text{kg} / \text{m}^3$ ].

Densitatea și porozitatea masei de boabe, sunt parametrii importanți ce trebuie luați în considerare la depozitarea și condiționarea cerealelor, pentru câteva în tabelul 2.10 sunt trecute valorile densității și porozității determinate experimental. Densitatea masei de boabe se determină cu relația:

$$d = \frac{v}{V} 100, \quad [\%] \quad [2.7]$$

iar porozitatea, cu relația:

$$P = \frac{V - v}{V} 100, \quad [\%] \quad [2.8]$$

unde,

$v$  – volumul propriu –zis ocupat de boabe și impurități,

$V$ - volumul total ocupat de masa de boabe.

*Valorile densității și porozității pentru principalele cereale**Tabelul 2.10*

<b>Cereale</b>	<b>Densitatea (<math>\text{kg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Porozitatea (%)</b>
Grâu	730-850	35-46
Porumb	680-820	35-55
Secară	680-750	35-45
Orz	580-700	45-55
Orez	470-550	51-65

Porozitatea depinde de: forma și dimensiunile boabelor, umiditatea acestora și dimensiunile spațiului de depozitare. Densitatea crește după o păstrare îndelungată, deoarece boabele se usucă și are loc tasarea masei de boabe.

Rezistența stratului masei de boabe la trecerea aerului sau a gazelor, este o proprietate ce interesează în mod special procesele de aerare, gazare, uscare. Rezistența totală a stratului de material granular, la trecerea aerului sau gazelor se calculează cu relația:

$$S = Ah - v^n \text{ [mmH}_2\text{O]} \quad [2.9]$$

S - rezistența totală a stratului la trecerea aerului, gazelor tabelul 3.7, [ mm H<sub>2</sub>O ]  
 h- înălțimea (grosimea) stratului de material, [m],  
 v -viteza aerului (gazelor) raportată la întreaga secțiune a stratului de boabe [ m/s],  
 A, n - coeficienți ce depind de caracteristicile boabelor, determinați experimental, tabelul 2.11

*Valoarea coeficienților A și n pentru principalele cereale* Tabelul 2.11

Cereale	Diametrul boabelor (mm)	Valoarea coeficienților		Observații
		A	n	
Grâu	3,48	1,43	1,41	Grosimea stratului a variat între 0,05 și 0,5 [m]
Porumb	7,37	1,55	0,67	
Secară	3,82	1,41	1,76	
Orz	3,50	1,43	1,44	
Orez	3,73	1,41	1,76	

În funcție de viteza curentului de aer, la o grosime a stratului de 10 mm, în tabelul 2.12, sunt prezentate valorile rezistenței aerodinamice pentru diferite cereale.

*Rezistența stratului de boabe pentru diferite cereale și viteze ale aerului* Tabelul 2.12

Cereale	Valoarea coeficienților		Rezistența stratului de boabe R [mm H <sub>2</sub> O], la h = 10[mm], pentru o viteză a aerului, v [m/s],					
	A	n	v = 0,1	v = 0,2	v = 0,3	v = 0,4	v = 0,5	v = 1
Grâu	1,41	1,43	0,52	1,41	2,53	3,81	5,23	14,1
Porumb	0,67	1,53	0,19	0,55	1,04	1,62	2,28	6,7
Secară	1,76	1,41	0,68	1,81	3,22	4,84	6,62	17,6
Orz	1,44	1,43	0,53	1,44	2,58	3,89	5,35	14,4
Orez	1,76	1,41	0,68	1,81	3,22	4,84	6,62	17,6

Capacitatea de sorbțiune a boabelor de cereale, prezintă interes la transportul, păstrarea și tratamentul cerealelor(ventilare, uscare, gazare).

Capacitatea de sorbție a boabelor este oferită de spațiului intergranular și structura coloidal capilar-poroasă a bobului. Formele de manifestare ale sorbțiunii sunt: adsorbția, absorbția, condensarea capilară și chemosorbția.

Higroscopicitatea cerealelor, reprezintă capacitatea boabelor de a absorbi apa din aerul umed și de a o ceda acestuia când este uscat (tabelul 2.13).

*Umiditatea de echilibru pentru unele cereale* Tabelul 2.13

Cereale	Temperatura [°C]	Umiditatea relativă a aerului, $\phi$ [%]							
		20	30	40	50	60	70	80	90
Grâu	0	8,7	10,1	11,2	12,4	13,5	15,0	16,7	21,3
	20	7,8	9,2	10,7	11,8	13,1	14,3	16,0	20,0
	30	7,4	8,8	10,2	11,4	12,5	14,0	15,7	19,3
Porumb	0	9,4	10,5	11,6	12,7	13,8	15,6	17,6	20,1
	20	8,2	9,4	10,7	11,9	13,2	14,9	16,9	19,2
	30	7,9	9,0	10,1	11,2	12,4	13,9	15,9	18,3
Secară	0	8,9	10,4	11,6	12,7	13,9	15,8	18,3	21,9
	20	8,3	9,5	10,9	12,2	13,5	15,2	17,4	20,8
	30	7,8	9,0	10,4	11,5	12,8	14,3	16,5	20,3

Umiditatea stabilizată în bob, sub regimul parametrilor aerului, se numește umiditate de echilibru și reprezintă un factor important al procesul de uscare.

Conductivitatea și difuzia termică a masei de boabe, este proprietatea corpurilor din masa de cereale de a-și ceda căldură datorită diferențelor de temperatură dintre ele (tabelul 2.14). Conductivitatea termică a masei de boabe depinde de:

- structura materialului,
- densitatea materialului,
- umiditatea materialului,
- temperatura materialului.

*Conductivitatea termică a diferitelor culturi de cereale* Tabelul 2.14

Cereale	Umiditatea (%)	Densitatea masei de boabe (kg /m <sup>3</sup> )	Relația de calcul pentru $\lambda$ , (W/ m. K)	Conductivitatea termică ( $\lambda$ ) (W / m. K)
Grâu	10-20	692	0,070+0,00230 u	0,104
	11-27	756	0,129+0,00147 u	0,151
	6-16	821	0,130+0,00250 u	0,167
Secară	11,5	674	-	0,09
	11,1	724	-	
Orz	12,5-15,0	-	-	0,11-0,14
	13,0	629	-	0,09

Difuzivitatea termică a masei de boabe,  $a$  ( $m^2/s$ ) se definește prin inerția termică a acestora și variază funcție de umiditatea și densitatea acestora (Tabel 2.15).

Difuzivitatea termică  $a$ , pentru diferite cereale

Tabelul 2.15

Cereale	Umiditatea (%)	Densitatea ( $kg/m^3$ )	Relația de calcul a difuzivității	Difuzivitatea termică, $a$ , $10^8$ ( $m^2/s$ )
Grâu	8-16	821	11,6-0,062 u	10,7
	15-28	750	9,6-0,046 u	8,7
	10-22	720	9,4-0,079 u	8,2
Secară	11,5	674	-	8,6
	11,1	-	-	9,3
Orz	12,5-15	-	-	8,2-9,1
	13	629	-	8,8

Capacitatea termică a masei de boabe, este influențată de umiditatea și temperatura cerealelor. În tabelul 2.16 sunt trecute valorile determinate experimental pentru câteva tipuri cereale.

Capacitatea termică pentru principalele culturi de cereale

Tabelul 2.16

Cereale	Umiditatea (%)	Temperatura ( $^{\circ}C$ )	Relația de calcul $C_p$ , ( $J/kg K$ )	Capacitate termică $C_p$ , ( $J/kg.K$ )
Grâu	6-17	20	1299+47,5 u	1126-1450
	10-20	20	1025+41,9 u	1465-1540
	8-30	20	1100+29,1 u	1286
Porumb	10-30	20	1172+42,9 u	1601
Secară	13,3-21,7	10	1277+23,8 u	-
Orz	10,4-19,8	10	1173+32,0 u	-

Suprafața specifică a boabelor (Tabel 2.17), reprezintă raportul dintre suprafața tuturor boabelor conținute într-un kg și volumul ocupat de aceste boabe și interesează în mod deosebit procesele de uscare, aerare și gazare.

Valorile suprafeței specifice pentru principalele culturi de cereale

Tabelul 2.17

Denumirea culturii	Caracteristicile unui kg de boabe			Suprafața specifică ( $dm^2/dm^3$ )
	Nr. boabelor	Suprafața boabelor ( $dm^2$ )	Volumul boabelor ( $dm^3$ )	
Grâu	34.500	131	0,758	173
Porumb	3.800	65	0,798	82

### 2.2.2 Determinarea utilului de înregistrare în funcție de calitatea cerealelor.

La recepția cerealelor în vederea conservării sau industrializării, cantitatea produselor recepționate, sau utilul de înregistrare, se determină prin calcularea diferenței procentuale dintre indicii calitativi de bază la livrare. Indicii calitativi de bază sunt indici de referință: masa hectolitrică, corpuri străine și umiditatea (Tabelul 2.18).

Calculul utilului de înregistrare se efectuează conform relației:

$$G_r = G_i + G_i \times \Delta_i, \quad [\text{kg}], \quad [2.10]$$

$G_r$  - utilul de înregistrare, [kg.]

$G_i$  - greutatea efectivă primită, [kg.]

$\Delta_i$  - diferențe calitative, [%]

*Indici calitativi de bază*

*Tabelul 2.18*

Denumirea culturii	Indicii calitativi de bază		
	Masa hectolitrică	Corpuri străine	Umiditatea
	kg	%	%
Grâu	75	3	14
Porumb	-	3	16
Secară	70	4	15
Orz	58	5	14
Orez	50	3	14

În practică se întâlnesc situații diferite a indicilor calitativi de recepție ai produsului în comparație cu valorile STAS.

*Indici calitativi de recepție a produselor cerealiere*

*Tabelul 2.19*

Calitatea de bază	Fizic	Util	Indicii calitativi de bază		
			Mh = 75	C <sub>s</sub> = 3	U = 14
	kg	kg	kg	%	%
Calitatea efectivă 1	30.000	30.000	75	3	14
$\Delta_1$			0	0	0
Calitatea efectivă 2	30.000	31.200	76	2	12
$\Delta_2$			+1	+1	+2
Calitatea efectivă 3	30.000	29.100	74	4	15
$\Delta_3$			-1	-1	-1
Calitatea efectivă 4	30.000	29.700	77	4	16
$\Delta_4$			+2	-1	-2



În aceste condiții utilul de înregistrare, poate fi: *echivalent* cu cantitatea efectiv primită, *sub* cantitatea efectiv primită, *superior* cantității efectiv primită, conform exemplului de mai jos (Tabelul 2.19).

Cazul 1  $\Delta_1 = 0,$   $\rightarrow G_r = G_i, 30.000 \text{ kg} = 30.000 \text{ kg}$

Cazul 2  $\Delta_1 = 4,$   $\rightarrow G_r = 30.000 + 30.000 (4/100) = 31.200 \text{ kg}$

Cazul 3  $\Delta_1 = - 3,$   $\rightarrow G_r = 30.000 - 30.000 (3/100) = 29.100 \text{ kg}$

Cazul 4  $\Delta_1 = -1,$   $\rightarrow G_r = 30.000 - 30.000 (1/100) = 29.700 \text{ kg}$

Calculul valorii de plată se face în funcție de prețul de recepționare prin înmulțirea utilului de înregistrare ,  $G_r$  cu prețul unitar.

## 2.3. Tehnologia conservării cerealelor

Componentele vii ale masei de boabe supuse conservării își manifestă viabilitatea sub forma proceselor de respirație, nutriție și înmulțire. În ultimii ani, diferiți factori au contribuit la nevoia de a depozita produse cu un conținut de umiditate mai mare decât cel considerat admisibil pentru depozitare (ex.: grâu peste 14%, porumb - peste 15 %, etc).

Datorită activității fiziologice intense a componentelor masei de boabe, în timpul depozitării rezultă pierderi în greutate și degradarea calitativă a acestora.

### 2.3.1 Procese care au loc în vederea depozitării cerealelor

Procesele fiziologice care au loc în masa de boabe au o acțiune complexă asupra stării acestora, putând duce la degradarea parțială sau totală. Principalele procese care au loc în masa de boabe la conservare sunt:

- maturizarea după recoltare,
- respirația,
- încingerea,
- germinarea.

**Maturizarea după recoltare**, reprezintă complexul de procese care au loc în masa de cereale pe timpul conservării, care conduc la îmbunătățirea însușirilor tehnologice și seminale. Studiile efectuate au arătat că, pe măsura finalizării procesului de maturizare, activitatea enzimatică și intensitatea respirației scad, cerealele devin mature din punct de vedere fiziologic și intră în starea de repaus. În faza recoltării, cerealele nu sunt ajunse la maturitate deplină, nefiind terminate procesele sintezei secundare, motiv pentru care însușirile tehnologice și seminale sunt scăzute [125, 126].

În prima etapă a depozitării cerealelor, în condiții favorabile de conservare, crește capacitatea de germinație și se îmbunătățesc însușirile tehnologice ale acestora. Pe măsura finalizării procesului de maturizare, activitatea enzimatică și intensitatea respirației scad, cerealele devin mature fiziologic și intră în stare de repaus. Factorii care influențează maturizarea după recoltare sunt: *umiditatea* și *temperatura*. Maturizarea după recoltare are loc numai atunci când procesele sintetice din masa de boabe predomină în fața proceselor hidrolitice, fapt ce devine posibil numai atunci când umiditatea boabelor este scăzută. Pe acest considerent, pentru a obține efectele scontate ale maturizării după recoltare, cerealele trebuie să aibă o umiditate sub umiditatea critică, situație în care procesele de sinteză predomină asupra proceselor hidrolitice și maturizarea se încheie prin apariția stării de repaus. Al doilea factor care influențează asupra procesului de maturizare după recoltare este temperatura. Cerealele ajung la maturitate deplină numai la temperaturi pozitive și mult mai repede la temperaturi de  $15 \div 30$  °C.

**Respirația masei de boabe.** Prin procesul de respirație, cerealele primesc energie prin dezasimilarea substanțelor organice de rezervă și în primul rând a zaharurilor. Dezasimilarea zaharurilor se poate produce în mediu aerob sau în mediu anaerob. În condiții de respirație aerobă se adăunează oxigen și ca produși finali se obțin  $\text{CO}_2$  și  $\text{H}_2\text{O}$ . Respirația anaerobă include procese de fermentație, care au loc cu ajutorul microorganismelor, produsele finale fiind  $\text{CO}_2$ , alcool etilic și acizi: acetic, formic, propionic și oxalic. Procesul de respirație al masei de boabe este influențat de umiditate, temperatură și aerare.

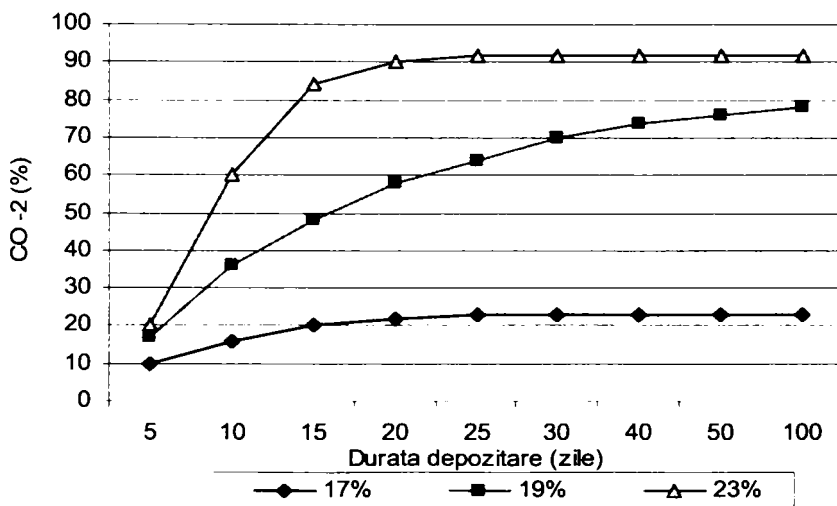


Fig. 2.3 Variația intensității respirației a boabelor de grâu în perioada de post-maturare în funcție de umiditatea acestora.

La o umiditate relativă de peste 70%, care corespunde unui conținut de umiditate a cerealelor de circa 14%, microorganismele care se află pe boabe la recoltare pot consuma oxigenul intergranular din aerul intergranular, producând o cantitate corespunzătoare de bioxid de carbon. În figura 2.3, este prezentată intensitatea de respirație, în timpul maturizării grâului cu umidități de 17%, 19% și 23%. Umiditatea cerealelor influențează în mare măsură procesul de respirație. Creșterea intensității de respirație a boabelor se pune în evidență atunci când acestea ajung la umiditatea de echilibru, corespunzătoare unei umidități a aerului intergranular de 75 %. În figura 2.4, este prezentată variația intensității de respirație a grâului în funcție de umiditate și temperatură [114].

Consecințele respirației masei de boabe se materializează prin:

- pierderi în greutatea substanței uscate din boabe,
- creșterea umidității higroscopice și a umidității relative a aerului intergranular,
- modificarea compoziției aerului din spațiul intergranular,
- formarea căldurii în masa de boabe.

Hexozele oxidate și descompuse reprezintă o pierdere nerecuperabilă a unei însemnate cantități din substanța uscată. Mărimea acestor pierderi depinde de umiditatea, temperatura, și de durata conservării masei de boabe.

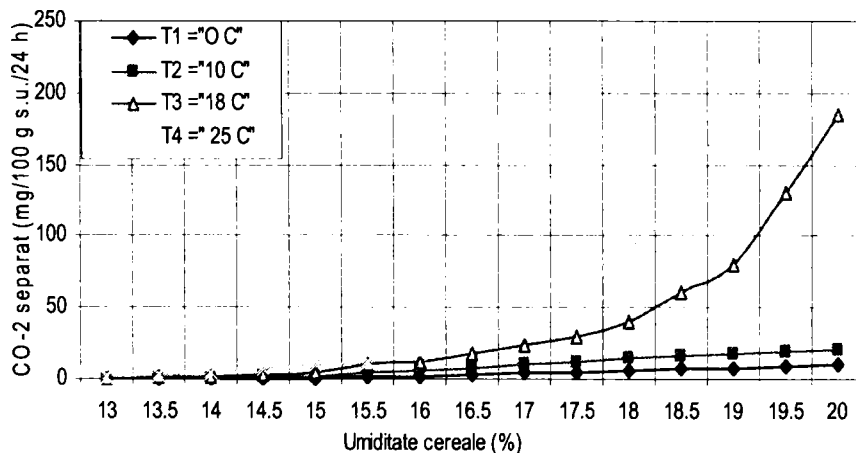


Fig. 2.4 Variația intensității de respirație a grâului în funcție de umiditate și temperatură.

Normele de pierderi datorită proceselor de respirație se aplică în funcție de numărul zilelor de păstrare, luându-se ca bază perisabilitatea stabilită pentru 30 de zile. Pentru câteva cereale aceste valori determinate experimental se regăsesc în tabelul 2.20.

*Pierderi normate, datorate respirației masei de boabe pentru,  $\tau = 30$  zile Tabelul 2.20*

Cereale	Umiditatea (%)	Pierderi normate la diferite temperaturi (g/1.000 kg)		
		(15°C)	(25°C)	(35°C)
Grâu	15	135	298	501
	17	201	409	775
	19	351	534	1271
Porumb boabe	16	1399	2489	3535
	20	2915	4812	6803
	24	5464	8218	10682
Orz	15	166	398	790
	17	295	596	1148
	19	532	839	1586
Orez	15	744	1141	1832
	17	964	1720	2651
	20	1746	2720	4143

Așa cum reiese din tabel, precum și rezultatele obținute în laborator (J. Ekstrom ș.a., H. Burmeister ș.a., J. Dexter ș.a.), pierderile de substanță uscată sunt mici pentru cereale cu un conținut de umiditate sub 18% [3, 4, 12].

La umiditatea de 22 – 25%, pierderile rămân în general sub 1%, dar, creșteri apreciable sunt constatate în cazul boabelor cu umiditate de 30 – 35%, unde pierderile de substanță uscată se pot ridica până la 3 – 4% .

**Încingerea masei de boabe**, reprezintă creșterea temperaturii masei de boabe fără intervenție exterioară. Procesele fiziologice din masa de boabe sunt însoțite de degajări de căldură care, cumulate cu conductivitatea și difuzivitatea termică scăzute, duc la acumularea căldurii și la producerea încingerii [52, 53, 54].

În timpul procesului de încingere, temperatura masei de boabe crește,ajungând până la 55 ÷ 65 °C, iar în unele cazuri până la 70 ÷ 75 °C, astfel că în masa încălzită au loc modificări profunde, care duc la pierderea însușirilor tehnologice, seminale și la transformarea acesteia într-un monolit de culoare închisă. Variația temperaturii masei de boabe în timpul procesului nu este constantă, în prima etapă viteza de creștere este mai mică, după care aceasta se accelerează.

Creșterea relativ lentă a vitezei de încălzire a masei de boabe în faza inițială este datorată procesului de respirație, iar pe măsura creșterii temperaturii în masa de boabe, cantitatea de căldură formată depășește cantitatea de căldură cedată în spațiul înconjurător ducând la apariția focarelor de încingere [55, 56].

Căldura acumulată se transmite în porțiunile vecine vracului, contribuind la activitatea proceselor fiziologice și la apariția de noi focare de încingere , până la

generalizarea acestuia. În practică, privind conservarea cerealelor în magazii și silozuri, se pun în evidență trei tipuri de încingere: încingere în cuiburi, încingere în straturi, încingere generală.

Datorită posibilității apariției procesului de încingere în orice masă de boabe depozitată și datorită efectului negativ pe care îl are acesta asupra calității cerealelor, este obligatoriu menținerea sub observație a tuturor loturilor de cereale supuse conservării, fapt realizat prin verificarea periodică a temperaturii masei de boabe, factor hotărâtor în apariția procesului de încingere [8, 59, 60].

**Germinarea (încolțirea) boabelor**, în timpul conservării este un fenomen întâlnit destul de des, rezultat al unei conservări neraționale. Pentru umidități de peste 20%, există riscul ca germinația să se reducă la zero, fapt ce conduce la concluzia că pentru cerealele cu o umiditate mai mare decât cea prevăzută în manualul de gradare, destinate însămânțării sau malțifierii, nu este recomandat să fie depozitate în spații etanșe (figurile 2.5 și 2.6).

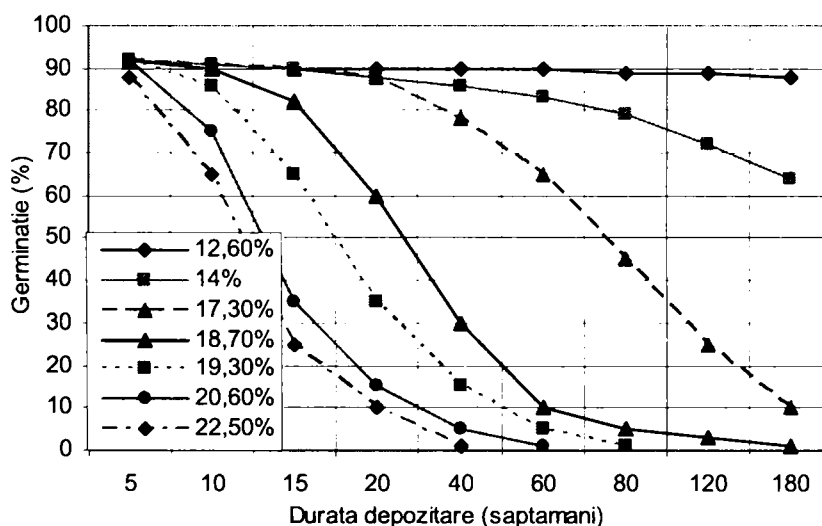


Fig 2.5 Scăderea germinației pe timpul depozitării cerealelor ( $T= 15^{\circ}\text{C}$ ).

Probleme deosebite sunt și atunci când datorită unor condiții necorespunzătoare privind depozitarea cerealelor se degradează germinația, conducând la pierderea viabilității produsului respectiv.

În condițiile lipsei de oxigen care se realizează în timpul depozitării etanșe (silozuri metalice, ș.a.), germinația boabelor este afectată.

Gradul de înrăutățire depinde de temperatură și de conținutul de umiditate, al boabelor.

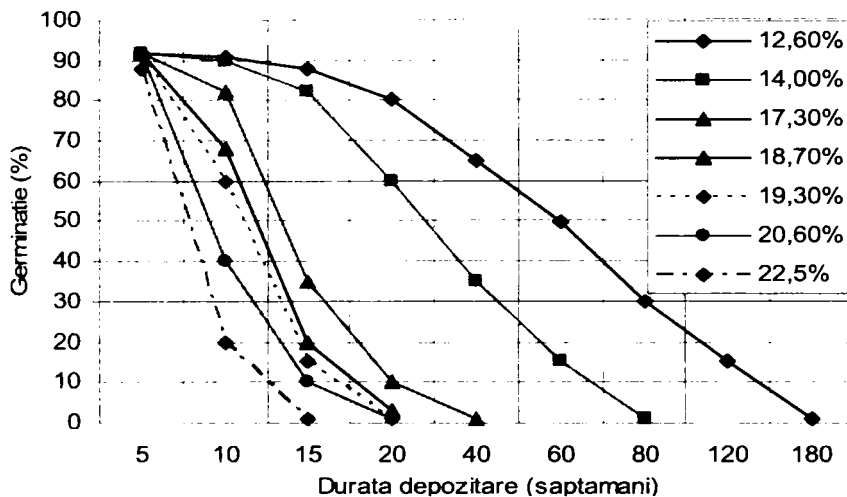


Fig 2.6 Scăderea germinației pe timpul depozitării cerealelor ( $T=25^{\circ}C$ ).

Declanșarea procesului are loc în condițiile prezenței unei cantități mari de apă, mult mai mare decât cea care poate fi absorbită sub formă de vapori. Prin absorbția capilară de apă, se permite boabelor să treacă procesul de îmbibare cu apă și să înceapă să germineze.

### 2.3.1.1 Curățirea cerealelor.

Indiferent de tipul constructiv al silozului, principalele operații care se efectuează în scopul recepționării, depozitării, conservării, transportului și livrării în bune condiții a cerealelor, sunt aceleași și în principiu constau în:

- recepția calitativă, la laborator, cu ajutorul probelor reprezentative,
- recepția cantitativă, de către cântare (bascule), pentru mijloacele auto sau C.F.,
- curățirea brută, cu ajutorul trioarelor,
- curățirea fină, cu ajutorul bateriilor de trioare,
- uscarea cerealelor, atunci când este cazul,
- depozitarea produselor, în celule, magazii, platforme de depozitare
- livrarea cerealelor, cu ajutorul mijloacelor de transport auto sau C.F.

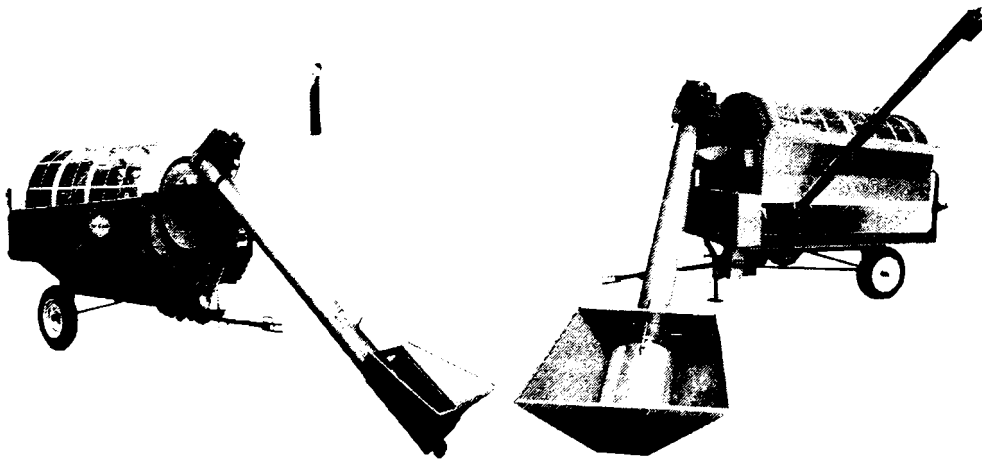
Majoritatea loturilor de cereale recepționate la magazii și silozuri, conțin în amestec corpuri străine formate din: semințe de buruieni, impurități minerale (praf, pământ, pietriș, etc.), impurități organice (paie, ariste, coji, insecte moarte, etc.), semințe de alte boabe de cultură, spărturi ale produsului de bază și alte plante de cultură [50, 51, 83, 84].

Existența în masa de boabe a corpurilor străine exercită o influență negativă asupra conservării, ducând la diminuarea însușirilor seminale și tehnologice ale acestora. Pentru realizarea unor loturi de produse cu un conținut redus de corpuri străine și omogene din punct de vedere al uniformității boabelor, se face curățirea și sortarea acestora [88, 89].

Datorită progreselor importante făcute de agricultura unor țări în ceea ce privește obținerea unor recolte de cereale care, după recoltarea cu combina să prezinte un grad de puritate ridicat, problema precurățirii produsului înaintea uscării primește o altă dimensiune.

Acest lucru a determinat ca instalațiile tehnologice de uscare a cerealelor oferite pe plan mondial, să fie prevăzute cu precurățitoare centrifugale, de mare capacitate dar cu un efect mai redus de curățire. În unele situații utilajul de precurățire a produsului înaintea uscării este chiar omis din componența instalației.

Curățitoarele centrifugale de cereale (fig.2.7) se caracterizează, pe lângă capacitatea de lucru mare, prin simplitate constructivă, dimensiuni de gabarit și masă reduse, mobilitate.



*Fig. 2.7 Curățitor centrifugal de cereale.*

Subansamblurile principale ce intră în componența unui curățitor centrifugal de cereale sunt:

- scheletul prevăzut, de obicei, cu două roți de rulare,
- cuvă de alimentare, cu dispozitiv de reglare a debitului de produs,
- transportor elicoidal tubular de alimentare a sitelor,
- echipament de două site coaxiale, rotative, din țesătură de sârmă,

- jgheab pentru evacuarea impurităților mărunte, cu melc,
- pâlnie de evacuare a impurităților mari,
- transportor elicoidal tubular de evacuare a produsului curățat,
- motoare electrice de acționare și instalația electrică.

Acest lucru a determinat ca instalațiile tehnologice de uscare a cerealelor oferite pe plan mondial, să fie prevăzute cu precurătoare centrifugale, de mare capacitate dar cu un efect mai redus de curățire.

În unele situații utilajul de precurățire a produsului înaintea uscării este chiar omis din componența instalației. Precurătoarele centrifugale sunt prevăzute cu sitele din țesătură de sârmă, iar principala calitate a utilajelor de acest tip este aceea că, în pofida gabariturii lor reduse, au capacitatea de lucru mare.

Dezavantajul că durata de viață a siteilor din țesătură de sârmă este mai mic decât a celor din tablă perforată, poate fi diminuat prin utilizarea unor sârme din materiale rezistente la uzură și prin asigurarea posibilității schimbării operative a siteilor. Curățirea constă în separarea din masa de boabe a corpurilor străine, iar sortarea reprezintă ansamblul de operații care se fac în scopul separării produselor din cultura de bază pe categorii de dimensiuni și forme. Principalele caracteristici și proprietăți ce stau la baza curățirii și sortării masei de boabe sunt:

- dimensiunile semințelor culturii de boabe și ale corpurilor străine,
- proprietățile aerodinamice ale componentelor lotului,
- forma și dimensiunile componentelor,
- starea suprafeței semințelor și impurităților,
- greutatea specifică a componentelor lotului, elasticitatea, rezistența mecanică și proprietățile feromagnetice ale acestora.

Separarea impurităților, pe baza diferenței de mărime, prin cernere pe site și ciururi și separarea, pe baza diferenței de proprietăți aerodinamice, în separatoarele cascade are o utilizare relativ redusă. Separarea combinată, pe baza diferenței de mărime și a proprietăților aerodinamice, stă la baza construcției principalelor utilaje folosite în curățătoria silozurilor și magaziiilor [73, 89].

În acest scop, se folosesc diferite tipuri constructive de tarare și separatoare aspiratoare (SA-1210, SA-1212, ș.a.), conform tabelului 2.21.

*Caracteristicile tehnice ale separatorului – aspirator SA [50] Tabelul 2.21*

Tipul constructiv	Capacitatea (t/h)	Suprafața de cernere, (m <sup>2</sup> )	Debit de aer necesar (m <sup>3</sup> /min)
SA-612	24	1,8	40-50
SA-812	34	2,4	50-65
SA-1212	48	3,6	80-95



### **2.3.1.2 Aerarea cerealelor**

Asigurarea unei conservări corespunzătoare a cerealelor și împiedicarea declanșării proceselor vitale din masa de produs, sunt obiective ce pot fi atinse în cele mai multe cazuri reducând umiditatea acestora.

În situațiile când acest lucru este limitat de capacitatea instalațiilor de uscare, care din considerente economice se dimensionează pentru o funcționare de 4 – 6 luni anual, conservarea cerealelor umede, în condiții bune, până când acestea vor putea fi livrate cu un conținut de umiditate mai mare decât limita critică de conservare, se pot obține prin folosirea temperaturilor scăzute. Scăderea temperaturii produselor agricole prin folosirea aerului atmosferic rece se poate face prin:

- ◆ depozitarea produselor în strat subțire, pentru a facilita contactul cu aerul rece,
- ◆ manipularea produselor într-un curent de aer rece,
- ◆ insuflarea aerului rece printre produsele depozitate cu ajutorul ventilatoarelor.

Aerarea naturală și activă la care sunt supuse cerealele în timpul conservării are drept scop reducerea temperaturii masei de boabe și preîntâmpinarea autoîncingerii și degradării acestora. Procesul de autoîncălzire (încingere) are loc în trei faze:

- ◆ *faza incipientă*, când temperatura produsului este de aproximativ 30°C, procesele predominante fiind respirația și fermentația,
- ◆ *faza de încingere*, temperatura urcând de la 35 până la 45°C, atacul microbian se intensifică, produsul dezvoltă un miros specific și se închide la culoare,
- ◆ *faza de alterare*, temperatura în masa de produs ajunge de la 45 până la 50°C, are loc o schimbare pronunțată a culorii și a gustului, însoțită de apariția unui miros puternic și neplăcut.

Pentru prevenirea acestor fenomene, în procesul de condiționare al cerealelor este necesară introducerea operațiilor de aerare și uscare. În timpul aerării, între cereale și aer are loc un transfer de căldură și masă finalizat prin stabilirea unui echilibru higrometric. Din această cauză, temperatura și umiditatea relativă ale aerului folosit în procesele de aerare sunt parametrii deosebit de importanți.

Aerarea naturală se realizează cu ajutorul curenților naturali de aer și are aplicabilitate practică doar la conservarea cerealelor în magazine, depozite, silozuri (celule) metalice. Aerarea activă a cerealelor, se recomandă în situațiile în care temperatura aerului exterior este mai mică decât a cerealelor cu minim 5 °C, având umiditatea relativă sub 70 %. În scopul evitării condensării vaporilor de apă în masa

de cereale, se recomandă ca la ieșirea aerului din produsele supuse răcirii, umiditatea relativă a acestuia să nu depășească 80 % [103, 104].

Aerarea activă poate fi efectuată cu ajutorul unor instalații speciale, montate în silozuri sau în alte spații de depozitare, cu ajutorul cărora se introduce/extrage forțat aer în/din spațiile dintre boabele sau semințele condiționate, înlocuindu-se în acest fel aerul vechi, evitându-se astfel încingerea, dezvoltarea microbiană și condensarea apei atmosferice [103]. Principalele metode de aerare activă a cerealelor în silozuri și magazii sunt:

- ◆ aerare cu deplasarea curentului de aer pe verticală,
- ◆ aerare cu deplasarea curentului de aer orizontală.

*Metoda de aerare activă a cerealelor prin deplasarea aerului pe verticală*, constă, în introducerea acestuia uniform, pe la partea inferioară a celei (magaziei) și evacuarea pe la partea superioară a acestora după ce a străbătut spațiul intergranular din masa de boabe. Metoda este folosită și prin inversarea sensului de străbătere a curentului de aer, prin parcurgerea spațiului intergranular din masa de cereale de sus în jos. Metoda este recomandată în conservarea cerealelor cu umiditate relativ scăzută, sub 17%, care necesită un debit de aer redus și consumuri reduse de energie pentru ventilatoare [93, 94].

*Metoda de aerare activă a cerealelor prin deplasarea aerului pe orizontală*, se folosește în cazul depozitării cerealelor cu temperaturi și umiditate mare.

Cum scopul principal al acestei metode de conservare, constă în împiedicarea autoîncălzirii și încingerii semințelor cu conținut ridicat de apă, reducerea activităților vitale a produselor, împiedicarea dezvoltării microflorei acarienilor și insectelor, reducerea importantă a cheltuielilor de întreținere, micșorarea pierderilor în greutate și calitative a cerealelor depozitate, de o foarte mare importanță este activitatea de dimensionare corespunzătoare a echipamentului aferent și stabilirea corectă a momentului când aerarea activă se poate face. Parametrii care se iau în considerare la dimensionarea echipamentului aerării sunt:

- ◆ necesarul de aer,
- ◆ durata aerării,
- ◆ înălțimea de refulare a ventilatorului.

### ***Necesarul de aer***

În vederea stabilirii necesarului de aer circulat prin masa de boabe, se calculează alimentarea specifică și numărul schimburilor de aer.

Alimentarea specifică, reprezintă raportul dintre cantitatea de aer furnizat de electroventilator și greutatea lotului supus aerării, calculându-se cu relația[2.11]:

$$R = \frac{D}{G}, \quad [\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{t}], \quad [2.11]$$

D - debitul de aer furnizat de electroventilator,  $[\text{m}^3/\text{h}]$ ,

G - greutatea lotului de produse, [tone]

Debitul de aer necesar ventilării produselor variază în funcție de specie, de umiditatea și înălțimea de depozitare a acestora. În tabelul 2.22 este reprezentată variația necesarului de aer în funcție de umiditatea, specia și înălțimea maximă a vracului din magazie.

Debitul specific de aer necesar aerării active a cerealelor

Tabelul 2.22

Nr. crt.	Necesarul minim de aer, $\text{m}^3/\text{h}/\text{tonă}$ produs	Umiditate cereale, (%)	Înălțime max. de depozitare, (m)	
			Grâu, Secară, orz, Porumb	Floarea soarelui
1	30	16	3,5÷4,0	2,0
2	40	18	2,5÷3,0	2,0
3	60	20	2,0	1,8
4	80	22	2,0	1,6
5	120	24	2,0	1,5
6	160	26	2,0	1,5

Pentru calcularea schimburilor de aer este necesar să se cunoască porozitatea lotului de cereale. Indicele de porozitate P, al lotului este dat de relația [2.12]:

$$P = \frac{V - v}{V} \times 100 \quad [\%] \quad [2.12]$$

în care,

V- volumul total ocupat de masa de cereale,

v- volumul efectiv ocupat de cereale.

În tabelul 2.23 sunt redată valorile medii de porozitate și densității pentru diferite cereale. Relația de calcul pentru indicele de porozitate al grâului, în funcție de conținutul de umiditate U [%], este, conform relației [2.13]:

$$P = 28 + 0,45 U \quad [\%] \quad [2.13]$$

*Porozitatea medie și densitatea în vrac pentru cereale [58] Tabelul 2.23*

Produsul	Indice de porozitate, P, [%]	Densitatea în vrac, [Kg/m <sup>3</sup> ]
Grâu	40,2	730÷850
Secară	41,4	670÷780
Porumb	37,7	600÷850
Ovăz	44,4	300÷550
Orez	50,4÷65,0	470÷550
Orz	40,4	480÷680
Mei	-	460÷550

Numărul schimburilor de aer în 24 de ore,  $N$ , se calculează conform relației [2.14]:

$$N = \frac{D}{P} \times 24 \quad [2.14]$$

în care,

$D$ - debitul ventilatorului, [m<sup>3</sup> /h],

$P$ - porozitatea lotului de cereale, [%]

Pentru aerarea produselor agricole se recomandă un număr minim de schimburi de aer :

- ♦ pentru produse uscate, 1000 de schimburi/24h
- ♦ pentru produse umede, 1500 de schimburi/24h
- ♦ pentru produse neajunse la maturitate, 2000 de schimburi/24h

### **Durata aerării active**

Acest parametru al aerării active se modifică în funcție de debitul de aer asigurat și de diferența dintre temperatura aerului atmosferic și cea a produsului supus răcirii. În tabelul 2.24 este prezentată scăderea medie a temperaturii masei de boabe pentru fiecare grad diferență dintre temperatura produselor și cea a aerului insuflat, în funcție de alimentarea specifică [56, 59, 60].

*Scăderea medie orară a temperaturii masei de cereale funcție de debitul specific de aer insuflat la o diferență de 1 °C între temperatura produselor și cea a aerului Tabelul 2.24*

Scăderea medie orară a temp. sem. (° C)	0,008	0,012	0,016	0,020	0,024	0,028
Cantitate aer insuflat, m <sup>3</sup> /h/tona	20	30	40	50	60	70
Scăderea medie orară a temp. sem. (° C)	0,032	0,036	0,040	0,044	0,048	0,052
Cantitate aer insuflat, m <sup>3</sup> /h/tona	80	90	100	120	130	140

De regulă, aerarea activă se efectuează pe durata perioadelor reci până când temperatura produselor supuse răcirii a atins o asemenea valoare încât activitatea vitală a acestora este inhibată, asigurându-se o conservare corespunzătoare [80, 81, 84].

**Înălțimea de refulare, H**, a ventilatorului se calculează cu relația [2.15]:

$$H = \Delta p_1 + C_1 \times C_2 \times \Delta p_2 \quad [\text{mm col. H}_2\text{O}] \quad [2.15]$$

$\Delta p_1$  - căderile de presiune liniare și locale a aerului prin tubulatura instalației, [mm col. H<sub>2</sub>O],

$\Delta p_2$  - căderile de presiune a aerului la traversarea masei de cereale, [mm col. H<sub>2</sub>O],

$C_1$  - constantă, privind modul de introducere a aerului în masa de cereale ( $C_1 = 1,1 \div 1,2$ )

$C_2$  - constantă, privind umiditatea cerealelor ( $C_2 = 1,15 \div 1,25$ )

În tabelul 2.25, sunt prezentate valorile recomandabile ale înălțimilor de refulare a ventilatoarelor și vitezei aerului în cazul aerării active a cerealelor.

*Înălțimea de refulare a ventilatoarelor și viteza aerului la aerarea cerealelor Tabelul 2.25*

Cereale	Spațiu depozitare	Înălțime de refulare (mm. col. H <sub>2</sub> O)	Viteza curenului de aer prin masa de cereale, (m/s)
Grâu, secară, porumb, boabe, orz	Magazii (h = 3÷4m)	150	0,3
	Celule cilindrice, $\Phi = 6,5 \div 7,2$ m, capacitate 600÷1000 tone	350 ÷ 650	0,2 ÷ 0,3
Porumb știuleți	Pătule metalice	50÷70	0,3
	Șoproane, platforme	150	0,3

Înălțimea de refulare a ventilatorului trebuie astfel calculată încât aerul introdus în masa de semințe să traverseze stratul de produse fără a-și crea trasee de minimă rezistență sau să nu se distribuie neuniform.

Pentru cazul aerării active în magazii, debitul de aer necesar în funcție de umiditate este dat în tabelul 2.26.

*Debitul de aer în funcție de umiditate**Tabelul 2.26*

<b>Umiditatea cerealelor ce urmează să fie aerate [ %]</b>	16	18	20	22	24	26
<b>Consumul de aer pe tona de produs [m<sup>3</sup>/t.h]</b>	30	40	60	80	120	160

Înălțimea vracului de produse, supuse aerării în magazii depinde de umiditatea acestora și de modul în care se face aerarea. Interdependența dintre acești doi factori este prezentată în tabelul 2.27.

*Înălțimea de depozitare a cerealelor în funcție de umiditatea acestora Tabelul 2.27*

Umiditatea cerealelor, [%]	Înălțimea de depozitare a produsului în [ m ] la:	
	Aerare prin canale sub pardoseală	Aerare prin canale peste pardoseală
16	5,00	3,50
17	4,50	3,10
18	4,00	2,70
19	3,20	2,20
20	2,50	1,80
21	2,20	1,50

Durata aerării depinde de: caracteristicile cerealelor, diferența de temperatură dintre aer și produs, debitul de aer utilizat. Pentru aerarea cerealelor în magazii se folosesc instalații de aerare cu canale sub pardoseală, sau cu canale peste pardoseală.

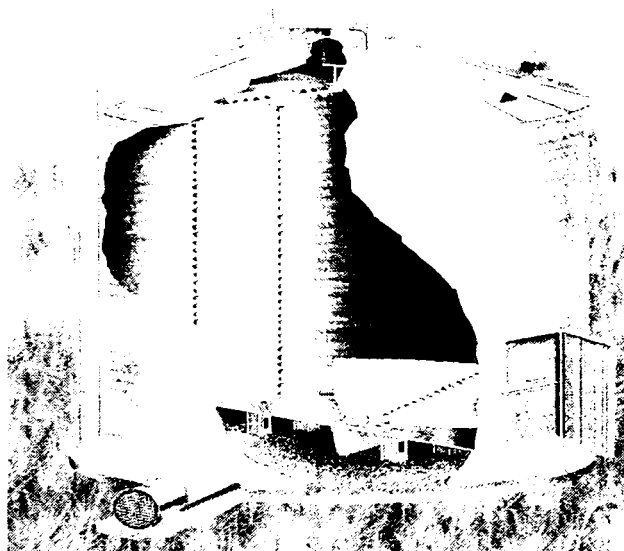
### 2.3.1.3 Depozitarea cerealelor

Pentru păstrarea cerealelor, în locuri și spații special amenajate, se găsesc o serie de echipamente și instalații care să permită desfășurarea activităților.

Sistemele de recepție pot consta dintr-un simplu buncăr de beton turnat în pământ, având pereții laterali înclinați, și fundul sub formă de jgheab. Ca buncăre tampon sunt utilizate cu precădere silozurile metalice, care se pot utiliza și ca spații de depozitare a cerealelor pe termen mai lung. Silozurile metalice, au forme cilindrice sau paralelipipedice și capacități de depozitare diverse (figura 2.8.).

Cu ajutorul unui melc, produsul este transferat din buncărul de recepție în sistemul de transport interfazic. Silozurile sunt fabricate din oțel galvanizat și au capacități de stocare de la ordinul zecilor până la mii de tone. Construcția este prevăzută cu ușă de vizitare, gură de alimentare, deschizături de aerisire, scară și podeț de acces. Podeaua este din tablă perforată și sunt prevăzute accesoriile pentru insuflarea aerului în masa de produs. Ele sunt echipate cu mecanisme pentru

uniformizarea și amestecarea stratului de produs, precum și cu mecanism de evacuare a cerealelor. Aceste mecanisme sunt, de obicei, arbori elicoidali orizontali, înclinați sau verticali, cu poziție fixă sau mobili, antrenați în mișcare de rotație [84].



*Fig. 2.8. Schema unui siloz metalic.*

Depozitarea cerealelor în bune condiții necesită asigurarea cu spații corespunzătoare, special destinate acestui scop, care să îndeplinească următoarele condiții:

- ◆ să fie ușor accesibile,
- ◆ să ofere un spațiu de depozitare uscat,
- ◆ să permită aerarea mecanică a produselor depozitate,
- ◆ să permită controlul produselor pe timpul depozitării.

În funcție de durata conservării, spațiile de depozitare se împart în două mari grupe:

- ◆ spații de păstrare de scurtă durată a cerealelor (platforme, șoproane),
- ◆ spații de păstrare îndelungată a cerealelor (magazii și silozuri).

Magaziile pentru depozitarea cerealelor, sunt de mai multe tipuri:

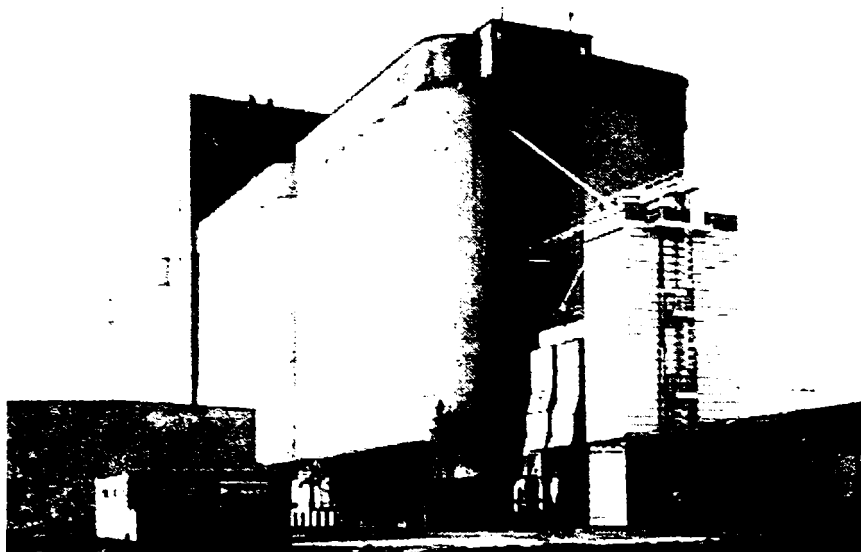
- ◆ magazii din lemn,  $\leq 3.000$  t,
- ◆ magazii din zidărie, capacitate  $1.500 \div 3.000$  t,
- ◆ magazii din panouri prefabricate, capacitate  $3.000, 5.000$  t, mecanizabile.

Magaziile sunt construite în general din cărămidă, depozitarea cerealelor se face pe orizontală, în straturi de o anumită grosime sau sub formă de grămadă. Acest tip de depozitare prezintă unele dezavantaje, cum ar fi:

- ◆ restricții la mecanizarea complexă a operațiilor de încărcare/descărcare, transport,
- ◆ nu se poate depozita o cantitate mare de produse pe unitatea de suprafață,
- ◆ condițiile de depozitare sunt neigienice,
- ◆ dificultăți majore privind depozitarea pe loturi din punct de vedere calitativ.

Silozurile de cereale, asigură cele mai bune condiții de conservare a cerealelor și asigură mecanizarea și automatizarea procesului tehnologic [86, 88].

Silozurile folosesc principiul de depozitare pe verticală, iar construcția lor este compartimentată celular și extinsă pe înălțime (până la 25 ÷ 30 m ). Silozurile pot fi construite din beton armat sau din profiluri de tablă și oțel. Silozurile din beton armat sunt cele mai utilizate în depozitarea cerealelor, figura 2.9.



*Fig. 2.9. Schema unui siloz din beton armat.*

După formă, se împart în:

- ◆ silozuri cu celule pătrate,
- ◆ silozuri cu celule hexagonale,
- ◆ silozuri cu celule rotunde.



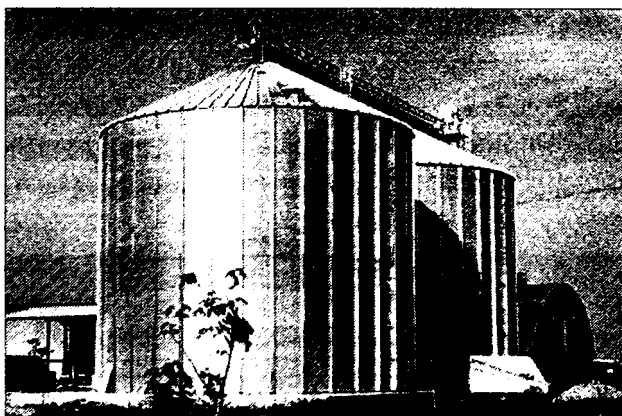
Silozurile metalice sunt construcții rezistente, perfect etanșe care asigură o bună conservare a cerealelor însă necesită un cost ridicat de achiziție, figura 2.10. După modul de amplasare și funcțiile pe care le au, silozurile pot fi:

- ◆ *silozuri regionale*, care au rolul de a recepționa, prelucra și depozita cerealele din zonele agricole,

- ◆ *silozuri terminale*, amplasate în centrele de consum și de comunicații importante, au rolul de funcția de colectare a cerealelor de la silozurile regionale precum și conservarea și dirijarea lor spre centrele de consum intern sau la export.

Din punct de vedere al destinației, silozurile de cereale pot fi împărțite astfel:

- ◆ silozuri colectoare,
- ◆ silozuri de tranzit,
- ◆ silozuri de producție,
- ◆ silozuri portuare.



*Fig. 2.10 Schema unui siloz metalic.*

Părțile componente ale unui siloz sunt următoarele:

- ◆ turnul mașinilor,
- ◆ corpul silozului,
- ◆ instalații de recepționare a cerealelor,
- ◆ instalații de livrare a cerealelor.

Avantajele folosirii silozurilor sunt următoarele:

- ◆ permite o mecanizare avansată a operațiilor de transport, încărcare și descărcare,
- ◆ se pot depozita cantități foarte mari de cereale pe unitatea de suprafață,
- ◆ condițiile de păstrare igienice pe timpul depozitării,
- ◆ asigură condiții foarte bune de conservare a cerealelor.

### **2.3.1.4 Transportul cerealelor pe timpul depozitării**

În cadrul instalațiilor de uscare, cerealele se deplasează în cadrul procesului tehnologic, de la zona de recepție până la zona de expediție, trecând succesiv prin utilajele componente ale liniilor tehnologice [86]. Transportul interfazic comportă preluarea produsului (încărcarea), deplasarea propriu-zisă a acesteia și depunerea într-un loc nou (descărcarea).

Alegerea celor mai potrivite mijloace de mecanizare a deplasării produsului, în raport cu condițiile reale de aplicare, reprezintă una din fazele cele mai importante și mai delicate în problema mecanizării, deoarece de aceasta depind în mare măsură rezultatele obținute. Criteriile generale care trebuie avute în vedere la această alegere țin de:

#### ***Elementele inițiale ce caracterizează situația în care va lucra utilajul:***

- natura produsului deplasat, forma de prezentare la transport, gradul de umiditate, puritatea, greutatea specifică, coeficientul de frecare, unghiul taluzului natural etc.
- condițiile existente în locurile de deplasare: spațiul disponibil de instalare a utilajelor sau de depozitare intermediară a produsului, situația căilor de transport (feroviar și rutier), lungimea, orientarea și diferența de nivel pe care se face deplasarea etc.
- cantitățile de deplasat pe un anumit interval de timp, determinarea acestor cantități trebuie să facă obiectul unui studiu amănunțit, determinând vârfurile zilnice sau chiar orare, legate de caracteristicile transportului rutier sau feroviar și cele ale ritmului de încărcare sau descărcare.

#### ***Caracteristicile tehnice și de exploatare ale diferitelor utilaje:***

- capacitatea de producție a utilajelor trebuie să corespundă cantității de deplasat, ținând seama de vârfurile fluxului tehnologic;
- utilajul ales trebuie să realizeze o mecanizare cât mai completă a întregului proces de deplasare a produsului;
- numărul sau tipul de utilaje trebuie determinate astfel încât să asigure o folosire cât mai completă a capacității lor;
- alegerea unor tipuri similare de transportoare în scopul ușurării utilizării și întreținerii lor;
- utilajele ce trebuie folosite în mai multe locuri să fie ușor transportabile;
- este preferabilă prevederea unor transportoare de capacitate mare în locul a mai multora care lucrează în paralel, de capacitate mică;

- motoarele de acționare electrică sunt preferate pentru instalațiile fixe și pentru cele mobile unde se pot adopta prize mobile sau cabluri de conexiune; în cazurile în care nu există surse de energie electrică se recurge la motoare termice; de asemenea se recurge la motoare electrice alimentate prin acumulatoare și pentru utilajul mobil în locurile unde motoarele termice nu sunt indicate (spații închise);

- sistemul de transportoare adoptat să nu dăuneze calității produsului, să nu producă deteriorarea acestuia.

Soluțiile posibile, determinate pe baza criteriilor de la punctele anterioare, trebuie comparate pe baza următorilor indicatori stabiliți prin calcule tehnico-economice:

- valoarea investițiilor;
- prețul de cost al manipulărilor în condițiile locale;
- durata operațiilor de descărcare sau de încărcare, respectiv de staționare a vehiculelor rutiere sau a vagoanelor de cale ferată;
- productivitatea muncii.

Pentru realizarea unui flux de transport interfazic rațional este important ca să se rezolve cât mai judicios problema amplasării utilajelor, astfel încât deplasarea produsului cât și a personalului să se facă pe distanțe cât mai mici. Orice mărire nejustificată a spațiului de lucru și în mod implicit, a distanțelor de transport, necesită cheltuieli suplimentare, ce scumpesc întregul proces de lucru. În instalațiile de uscare a cerealelor, cele mai adecvate utilaje pentru transportul interfazic sunt cele cu acțiune continuă. Acestea pot fi la rândul lor: cu organe de tracțiune, fără organe de tracțiune și, respectiv pneumatice.

### ***Instalații de transport cu acțiune continuă, cu organe de tracțiune***

Caracteristic pentru toate tipurile de transportoare cu organe de tracțiune este mișcarea solidară (cu aceeași viteză) a organelor de tracțiune și a sarcinilor transportate. Dintre utilajele de transport cu acțiune continuă, cu organe de tracțiune, cele mai folosite pentru cereale sunt: transportoarele cu bandă, transportoarele cu lanț și racleți (redlere) și elevatoarele cu bandă și cupe [86, 88].

### ***Transportoare cu bandă***

Transportoarele cu bandă pot fi utilizate pentru deplasarea produselor în vrac, cât și a sarcinilor în bucăți. Organele de tracțiune îl constituie benzile transportoare, confecționate în cele mai multe cazuri, din benzi textile cauciucate.

Forma benzilor transportoare destinate deplasării cerealelor poate fi de jgheab sau plată. Forma de jgheab a benzilor de transport contribuie la mărirea capacității de lucru și evitarea căderii produsului transportat peste marginile laterale ale benzii. După tipul construcției, transportoarele cu bandă pot fi staționare sau

mobile, iar după direcția de deplasare a sarcinilor - orizontale sau înclinate. Indiferent de tipul construcției - mobilă sau staționară - unghiul de înclinare al traseului de transport este limitat de aderența dintre banda de transport și produs. În cazul cerealelor, unghiul de înclinare nu poate depăși 18 - 20°. Din considerente de ordin economic și de rezistență a benzilor de transport, lungimea transportoarelor cu bandă se limitează la 250÷300 m.

### ***Transportoare cu lanț și raclete (redlere)***

Transportoarele cu raclete sunt folosite frecvent la transportul cerealelor, în special pe distanțe mari și cu capacitate mare. Principiul de funcționare al transportoarelor cu raclete este următorul: produsul este deplasat în interiorul unui jgheab, fiind antrenat pe fundul acestuia sub acțiunea racletelor fixate la distanțe egale pe organul de tracțiune, un lanț antrenat la rândul său de o roată de acționare. Alimentarea transportorului se face prin partea superioară a acestuia, în orice loc, prin pâlnii de alimentare fixate pe capac, iar descărcarea produsului se face prin deschideri practicate în tabla de fund a jgheabului.

Transportoarele cu raclete au o construcție simplă, reclamă cheltuieli de investiții reduse și permit încărcarea și descărcarea produsului în orice loc sau concomitent în mai multe locuri de pe traseul de transport.

Printre dezavantajele care limitează gradul de folosire a transportoarelor cu raclete, se evidențiază mărunțirea produsului în timpul transportului, uzura mare a jgheabului și a racletelor și valoarea relativ ridicată a puterii absorbite pentru acționare. Transportoarele cu raclete se construiesc cu lungimi până la 80 m. Traseul lor de transport poate fi orizontal, înclinat sau combinat, unghiul de înclinare neputând depăși 30°.

### ***Elevatoare cu cupe***

Elevatoarele cu cupe servesc la transportarea produselor în vrac pe direcția verticală sau pe o direcție apropiată de cea verticală.

Printre avantajele pe care le prezintă aceste utilaje se evidențiază: dimensiunile de gabarit reduse ale secțiunii transversale, posibilitatea acoperirii unor diferențe de nivel foarte mari (40÷50 m) și posibilitatea realizării, în funcție de sistemul constructiv adoptat, a unor capacități de transport cuprinse într-un domeniu foarte larg (5÷160 m<sup>3</sup>/h).

Concomitent, elevatoarele cu cupe necesită o alimentare continuă și uniformă, fiind foarte sensibile la eventuale suprasolicitări - ceea ce reprezintă un dezavantaj al acestor instalații de transport.

Ca organe de tracțiune se pot folosi benzi textile cauciucate sau lanțuri.

Benzile textile cauciucate se utilizează cu precădere la elevatoarele destinate transportării produselor cu greutate specifică mică (cazul cerealelor în vrac).

Mersul uniform și silențios al benzii permite utilizarea unor viteze de transport până la 3,5 m/s, în schimb rezistența relativ redusă a benzii limitează distanța de transport la maximum 35 m.

Lățimea benzilor utilizate la construcția elevatoarelor cu cupe variază între 150 și 500 mm, fiind cu 30÷50 mm mai mare decât lățimea cupelor. Lanțurile se folosesc, de obicei, în cazul în elevatoarelor care servesc la transportul produselor cu greutate specifică ridicată. Datorită eforturilor mari ce apar în lanțuri și a mersului neuniform și mai puțin silențios al acestora, viteza de transport nu depășește 1 m/s.

Rezistența mai mare a lanțurilor, comparativ cu cea a benzilor, permite utilizarea elevatoarelor echipate cu lanțuri pentru realizarea unor trasee de transport cu lungimea până la 50 m. Pentru transportul cerealelor în vrac, care fac parte din categoria produselor constituite din particule mici, se scurg ușor, sunt neabrazive, opun rezistență mică la săpare și au greutate specifică redusă, se recomandă utilizarea cu prioritate a elevatoarelor verticale, prevăzute cu benzi textile cauciucate și cupe rotunjite adânci, cu încărcarea cupelor prin săpare și descărcarea centrifugală sau mixtă a acestora.

### ***Instalații de transport cu acțiune continuă, fără organe de tracțiune***

Caracteristic pentru toate tipurile de transportoare fără organe de tracțiune este mișcarea locală a organelor active, care antrenează produsul, fără a se deplasa însă împreună cu acesta pe tot parcursul traseului de transport. Dintre utilajele de transport cu acțiune continuă, fără organe de tracțiune, cele mai folosite pentru cereale în vrac sunt transportoarele elicoidale, care sunt la rândul lor cu jgheab și tubulare.

### ***Transportoare elicoidale cu jgheab***

Transportoarele elicoidale sunt simple din punct de vedere constructiv, au secțiuni transversale reduse, pot asigura alimentarea și descărcarea în orice punct sau concomitent în mai multe puncte ale traseului de transport, pot fi închise ermetic, prezintă siguranță mare în funcționare și necesită cheltuieli de întreținere mici.

Dezavantajul principal al transportoarelor elicoidale îl constituie frecarea intensivă a melcului pe produs și a produsului pe pereții și fundul jgheabului, ceea ce duce la mărunțirea produsului transportat, consum sporit de energie și uzură pronunțată a jgheabului și melcului.

În esență, transportoarele elicoidale constau dintr-un jgheab în interiorul căruia se rotește un arbore cu melc, antrenat de un mecanism de acționare.

Produsul este introdus în jgheab prin deschizături practicate în capacul superior al jgheabului. În timpul transportului, produsul efectuează o mișcare de translație în lungul jgheabului, ocupând partea inferioară (semicirculară) a secțiunii transversale a acestuia. Forța gravitațională care acționează asupra produsului și forțele de frecare dintre produs și pereții jgheabului împiedică antrenarea produsului într-o mișcare de rotație.

Prin amplasarea mai multor deschideri practicate la partea superioară, respectiv inferioară a jgheabului se asigură posibilitatea încărcării și descărcării transportorului în orice punct al traseului de transport. Pentru a se putea adapta condițiilor de exploatare, gurile de încărcare și de descărcare vor fi prevăzute cu posibilități de obturare.

Transportoarele elicoidale cu jgheab pot fi orizontale și puțin înclinate (max. 20°), au lungimea până la 40 m și capacitatea de transport de cel mult 80 t/h.

### ***Transportoare elicoidale tubulare***

Transportoarele elicoidale tubulare sunt destinate pentru deplasarea în flux continuu a produselor în vrac, organul activ al acestora fiind un arbore cu melc.

Spre deosebire de transportoarele elicoidale prezentate la capitolul precedent, forma carcasi în care este amplasat melcul este tubulară, iar principiul după care se produce deplasarea produsului este diferit.

Produsul este introdus în carcasa tubulară prin intermediul unui cap de alimentare, fie prin cufundarea gurii acestuia - prevăzută cu grătar - direct în produsul vrac.

Arborele cu melc, prin rotația sa, antrenează produsul într-o mișcare elicoidală în carcasa transportorului, deplasându-l axial spre gura de descărcare, pe unde se realizează evacuarea. Transportoarele elicoidale tubulare pot fi executate într-o mare diversitate de variante constructive, ușor adaptabile la diferite condiții de lucru.

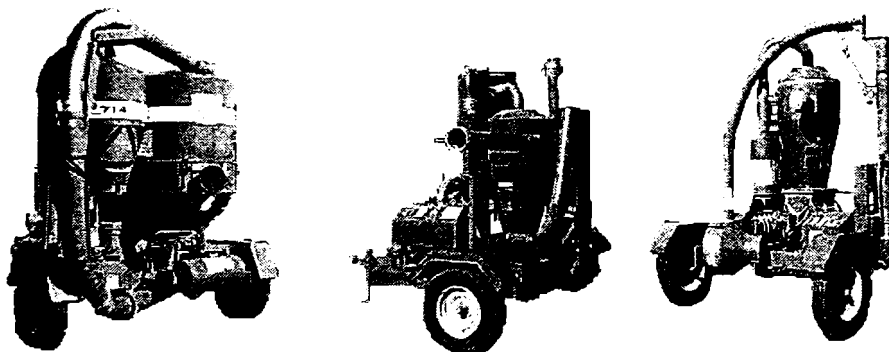
### ***Instalații de transport pneumatic***

Instalațiile de transport pneumatic sunt bazate în principiu pe un curent de aer de aspirație sau de refulare, care antrenând particulele produsului vehiculat, curge prin conducte special destinate acestui scop (figura 2.11)

*Avantajele* care au permis răspândirea acestui sistem de transport sunt:

- volumul mai redus al investițiilor ocazionate de construirea instalațiilor, în comparație cu instalațiile de transport mecanic și realizarea unor cheltuieli de întreținere, de asemenea, mai reduse;

- elasticitatea traseului de transport și adaptabilitatea instalației la condițiile locale, tubulatura putând fi dispusă orizontal, vertical sau înclinat cu posibilitatea ocolirii obstacolelor, străbaterii pereților etc.;
- asigurarea unor condiții igienice optime și a unui procent foarte redus de pierderi, prin efectuarea transportului în spații închise și etanșe;
- posibilitatea transferului de produs de la mai multe locuri de încărcare, la mai multe locuri de descărcare;
- posibilitatea automatizării transportului și implicit eliminarea unui mare volum de muncă manuală.



*Fig. 2.11. Transportoare pneumatice, tip WALINGA.*

Principalele *dezavantaje* ale acestor instalații de transport constau în:

- cheltuielile de exploatare ridicate, datorită în special consumului sporit de energie electrică, în comparație cu instalațiile de transport mecanic;
- deformarea și mărunțirea particulelor de produs în timpul transportului, datorită lovirii acestora de pereții conductelor și separatoarelor sau a trecerii prin ventilator;
- funcționarea nesilențioasă, datorită zgomotului creat de ventilator și de materialul care se deplasează în interiorul conductelor

## **2.3.2 Uscarea cerealelor**

### **2.3.2.1. Principiul uscării cerealelor**

**Principiul uscării.** În timpul desfășurării operațiilor de uscare, în structura produsului au loc modificări de bază fizice și biochimice, care îi conferă acestuia proprietăți superioare pentru depozitare în scopul conservării sau pentru prelucrare.

Printre modificările de bază de natură fizică, cele mai importante sunt reducerea umidității și modificarea distribuției acesteia. Importanța modificărilor de

bază biochimice se regăsește în îmbunătățirea caracteristicilor de utilizare și în îmbunătățirea calității unor componente chimice [81, 82].

Se poate afirma că uscarea este o operație de îmbunătățire a calității produsului fără prelucrarea acestuia. Ca rezultat al modificărilor fizice de stare, reducerea umidității cerealelor și a altor produse agricole, constituie o condiție obligatorie pentru păstrarea pe termen îndelungat a acestora.

Principala importanță de ordin economic a uscării constă în posibilitatea de a stoca produsele cerealiere, păstrându-și calitățile nealterate.

Acest lucru este esențial, pentru că perioadele de recoltare și cea de prelucrare în vederea consumului nu coincid.

Uscarea este procesul de reducere a umidității produsului prin transfer de la un strat la altul și în final la mediul înconjurător, pe baza diferenței de umiditate, transferul de substanță are loc atât prin difuzia lichidului și vaporilor din diferitele forme de legare a umidității cât și prin deplasarea capilară a lichidului în interiorul straturilor de produs [2, 3, 4].

Apa este legată de produsele vegetale prin următoarele forme:

- ◆ legarea chimică, se datorează forțelor moleculare, nu poate fi eliminată decât prin calcinare;
- ◆ legarea fizico - chimică, se datorează forțelor ce se dezvoltă în microcapilarele produsului precum și în spațiile intramoleculare ale acestuia;
- ◆ legarea fizică, se referă la apa reținută mecanic în macrocapilarele produsului;

Datorită structurii lor coloidal - capilar - poroase, cerealele au însușirea de a capta apa din mediul înconjurător, în următoarele moduri:

- adsorbție, reprezentând însușirea de a reține apa la suprafața vaselor capilare, fără a intra în reacție chimică,
- absorbție osmotică, pătrunderea apei lichide sau gazoase în celulele produselor datorită procesului de osmoză, producând umflarea particulelor,
- absorbția capilară, posibilă din cauza forțelor ce dezvoltă în vasele capilare ale produsului.
- aderența, adică reținerea apei la nivelul porilor și a suprafeței exterioare a produsului datorită forțelor superficiale,
- chemosorbție, respectiv producerea de reacții chimice în urma absorbției de vapori de apă.

**Principiile de bază ale uscării cerealelor.** După recoltare, datorită condițiilor diferite existente în timpul dezvoltării și a secerișului, cerealele pot avea umiditatea cu diverse valori. Dacă recoltarea are loc pe vreme uscată, umiditatea boabelor total



dezvoltate este de cca.  $11 \div 14$  %, tot atunci boabele recoltate dimineața, pot avea umiditatea cu  $3 \div 5$  % mai mare, datorită umidității relative mai mari a aerului din timpul nopții. Dacă recoltarea are loc pe ceață sau ploaie, umiditatea boabelor poate crește până la  $21 \div 24$  %.

Umiditatea cerealelor poate diferi chiar și datorită unor condiții locale, cum ar fi neuniformitatea calității solului sau a permeabilității acestuia. Cu cât cerealele au temperatura și umiditatea mai ridicate, cu atât procesul de respirație a boabelor este mai intens și cu atât mai mari sunt pierderile de consistență și de masă.

La cerealele recoltate în stare necoaptă, procesele de transformare enzimatică și biochimică nefiind încheiate, se pot produce în timpul uscării fenomene ce duc la îmbătrânirea prematură a miezului boabelor. Făina obținută din aceste cereale este de culoare cenușie și de calitate inferioară.

Cerealele recoltate cu umiditate mare, la depozitare se încălzesc în scurt timp și se alterează. Spre deosebire de acestea, cerealele complet coapte, chiar dacă umiditatea lor este ulterior mai ridicată datorită umidității aerului, încep să se deprecieze abia după câteva zile. Dacă cerealele se află în aer cu un conținut ridicat de umiditate, pe suprafața boabelor se înmulțesc ciupercile, care accelerează respirația și conduce la deprecierea acestora.

Condițiile de dezvoltare a cerealelor influențează foarte mult viteza de uscare, astfel, boabele ce au o umiditate mai mare de 17 %, se usucă mai încet, pentru că rezistența opusă de coajă la înaintarea apei dinspre miez spre exterior este mai mare, decât cel care a fost adus la aceeași umiditate, după ce în prealabil a avut o umiditate mai redusă [43, 54, 55].

În cursul cedării umidității, boabele se contractă și se întăresc. Una din cele mai importante caracteristici ale produselor cerealiere din punct de vedere al uscării, este capacitatea de preluare și cedare a apei. Aceasta înseamnă că după un anumit interval de timp se creează un echilibru între umiditatea produsului și cea a aerului înconjurător.

Există o legătură strânsă între cantitatea de apă totală conținută în produs și parametrii de stare a aerului. Din curbele de absorbție ale fiecărui produs rezultă atât viteza de evaporare în timpul procesului de uscare, cât și umiditatea finală.

Aceste curbe reprezintă variația cantității de apă din produs,  $U$ , în funcție de umiditatea relativă a aerului,  $\varphi$ , la temperatură constantă:  $U = f(\varphi)$  [%].

Diferența dintre umiditatea produsului și umiditatea de echilibru reprezintă umiditatea liberă care poate fi eliminată prin uscare. În figura 2.12 sunt redată izotermele de absorbție pentru porumb, iar în figura 2.13 izotermele de absorbție pentru grâu, la diferite temperaturi [78, 79].

Din aceste grafice se poate deduce higroscopicitatea produsului, proprietate esențială pentru stabilirea condițiilor de depozitare.

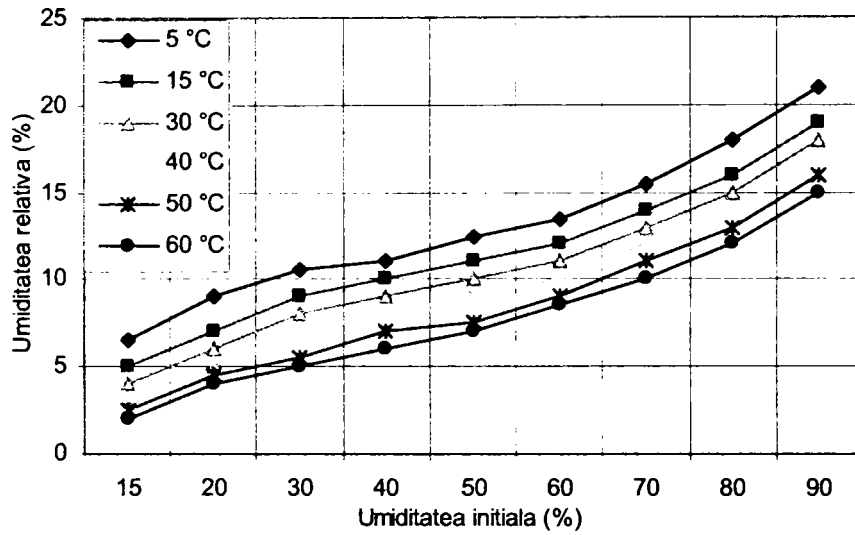


Fig. 2.12 Izoterme de absorbție ale porumbului.

Totodată, din aceste izoterme rezultă și cantitatea de apă pe care o poate prelua un produs din mediul înconjurător până la atingerea stării de echilibru, dar nu se poate evidenția viteza de desfășurare a procesului.

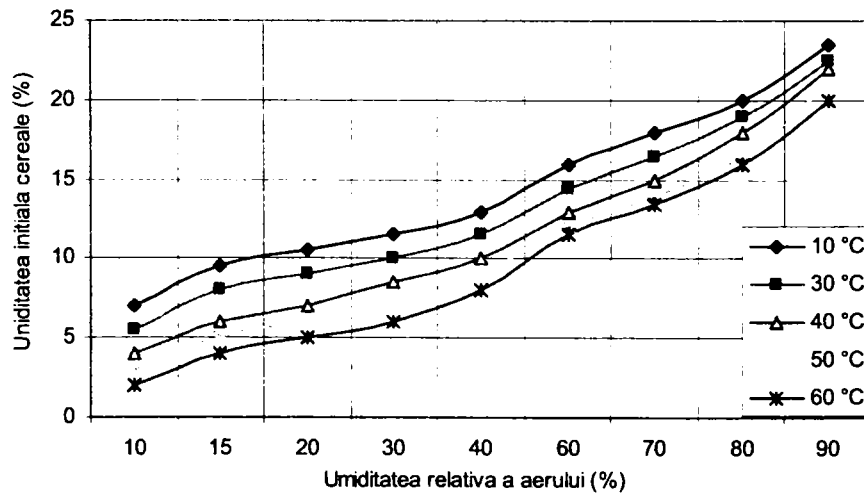


Fig. 2.13 Izoterme de absorbție ale grâului.

În timpul procesului de uscare, eliminarea apei din produs are loc datorită diferențelor dintre presiunea parțială a vaporilor din zona de contact dintre agentul de lucru și materialul supus uscării. Odată cu evaporarea unei anumite cantități de

apă de la suprafața produsului, umiditatea din această zonă scade, iar apa din interiorul produsului difuzează spre suprafață.

Eliminarea apei are loc atâta timp cât nu se atinge starea de echilibru între gradientul de umiditate ( $\Delta U$ ) al produsului, viteza de evaporare superficială și capacitatea agentului de uscare de preluare a apei.

**Stabilirea regimurilor de uscare**, caracterizează temperatura agentului de uscare la intrarea în camera de uscare și de temperatura finală a cerealelor.

La stabilirea regimului de uscare se are în vedere obiectivul esențial al conservării cerealelor, și anume menținerea însușirilor calitative ale acestora.

Optim, se poate considera acel regim care permite realizarea procesului de uscare într-un timp scurt, cu un consum energetic minim și cu menținerea intactă a proprietăților organoleptice a cerealelor, cu respectarea normelor de bune practici și siguranță alimentară, obținându-se produse cu o inocuitate acceptată de beneficiar și în deplin consens cu legislația existentă.

Regimul de uscare se stabilește în funcție de: *umiditatea inițială a cerealelor, tipul culturii, destinația cerealelor supuse uscării, tipul uscătorului.*

Întrucât termostabilitatea cerealelor este influențată de umiditatea inițială a acestora, la stabilirea regimului de uscare a cerealelor cu umiditate mare, agentul de uscare trebuie să aibă o temperatură mai mică, cu alte cuvinte în astfel de situații se recomandă uscarea în două trepte.

**Particularități uscării grâului.** Regimul de uscare se diferențiază în funcție de tipul culturii (tabelul 2.28). Corelația dintre temperatura agentul de uscare și temperatura maximă a produsului se realizează prin reglarea debitului de uscare.

Particularitățile uscării grâului

Tabelul 2.28

Caracteristicile glutenului	Umiditatea inițială (%)	Temperatura maximă a agentului de uscare			Temperatura boabelor în timpul uscării (°C)
		Instalații de uscare cu o treaptă (°C)	Instalații de uscare în două trepte		
			Treapta a I (°C)	Treapta a II (°C)	
Tare	< 20	120	110	130	45
	> 20	100	90	110	45
Normal	< 20	140	130	150	50
	> 20	120	110	130	50
Moale	< 20	150	140	160	60
	> 20	130	120	140	60

**Particularitățile uscării porumbului.** Boabele de porumb sunt mai mari decât ale altor cereale și din cauza stratului cornos, eliminarea apei se face mai încet.

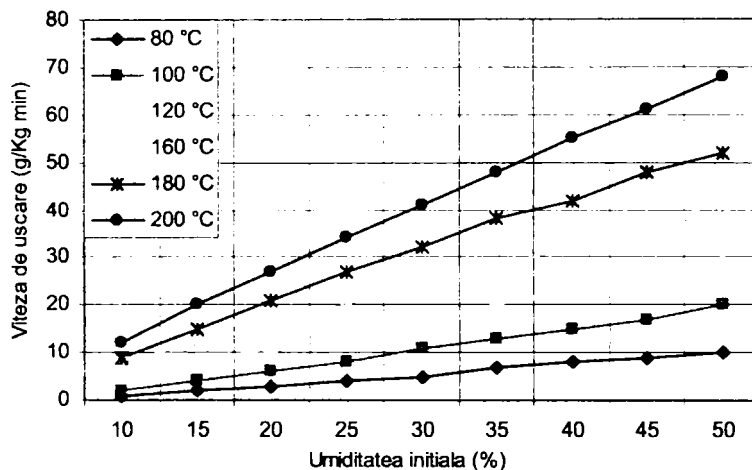


Fig. 2.14 Viteza de uscare a porumbului.

După introducerea produsului în uscător, acesta preia căldura de la agentul de lucru încălzindu-se în prima fază, apoi datorită gradientului de umiditate începe cedarea de apă. În figura 2.14, sunt reprezentate vitezele de uscare [g/kg.min] pentru porumb, în funcție de umiditatea inițială, la diferite temperaturi ale agentului de uscare. În figura 2.15, poziția punctelor de inflexiune indică sfârșitul fazei de uscare rapidă. Atât timp cât durează faza de evaporare intensă, temperatura bobelor se stabilizează la o valoare relativ scăzută.

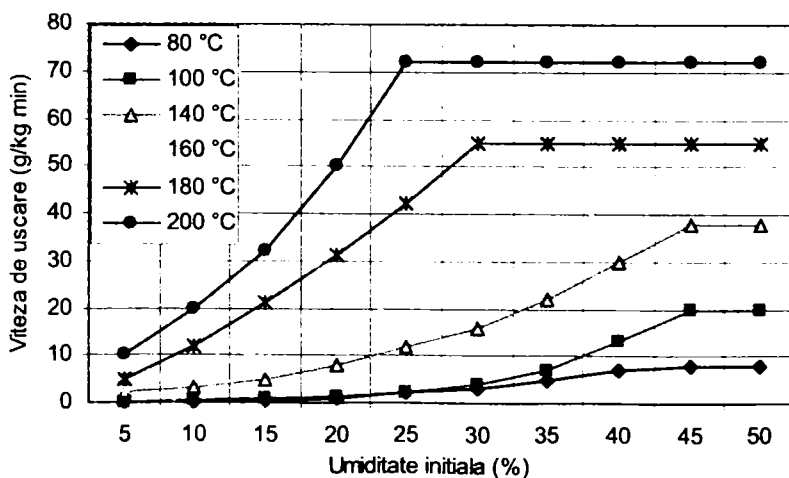


Fig. 2.15 Dispunerea punctelor critice în funcție de umiditatea bobului pentru diferite temperaturi ale agentului de uscare în cazul uscării porumbului.

Odată cu scăderea vitezei de uscare temperatura semințelor crește. Datorită temperaturilor mari, în interiorul bobului au loc o serie de procese fizico-chimice care duc la modificarea calității produsului. În special în faza a doua a uscării, cea caracterizată prin viteze de evaporare descrescânde, pot avea loc vătămări ale semințelor [30, 31, 40].

Cauza acestor fenomene este scăderea bruscă a cantității de apă din boabe, urmată de o ușoară contracție a epidermei care devine sticloasă și impermeabilă.

Caracteristicile uscării în două trepte

Tabelul 2.29

Destinația produsului	Umiditatea (%)	Temperatura maximă a agentului		Temperatura maximă a produsului (°C)
		Treapta I (°C)	Treapta a II-a (°C)	
Porumb pentru consum curent	< 18	110	130	50...60
	> 18	100	120	50...60
Porumb pentru păstrare îndelungată	Pentru orice umiditate	95	100	50...60

Cedarea apei în continuare se face exclusiv în zona embrionului. Ca urmare apar zone neomogene din punct de vedere al temperaturii și umidității și în urma tensiunilor interne iau naștere crăpături pe coaja bobului.).

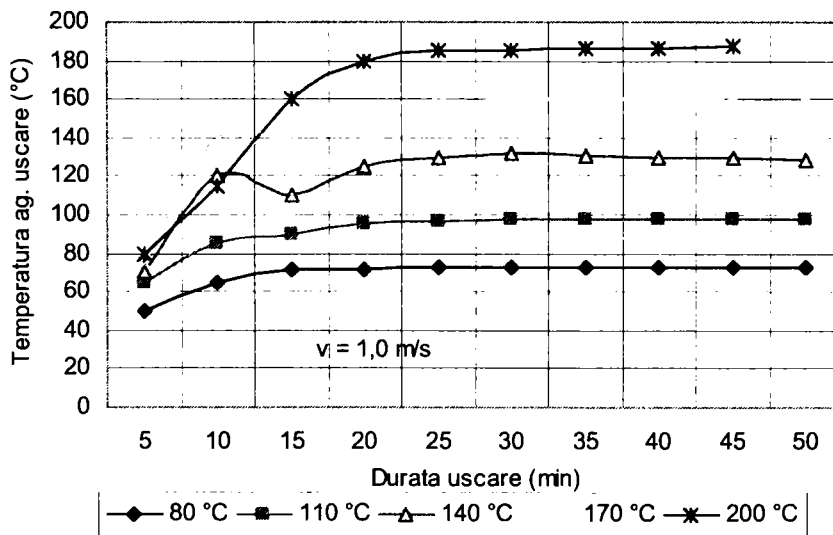


Fig. 2.16. Vătămarea bobului de porumb în funcție de temperatura și viteza agentului de uscare.

Utilizarea temperaturii ridicate pentru grăbirea procesului de uscare duce la apariția fisurilor profunde în structura boabelor și la sfărâmarea acestora în timpul prelucrării ulterioare, din aceasta cauză, se recurge la uscarea în două trepte (tabelul 2.29).

Acest fenomen nedorit se amplifică odată cu creșterea temperaturii și a vitezei agentului de uscare (figura 2.16). Creșterea vitezei de uscare, peste anumite limite, recomandate de producător, nu este recomandată, deoarece, pot avea loc procese ce vor influența negativ mărimea boabelor, fapt care duce la pierderi în procesul de măcinare.

**Particularitățile uscării cerealelor de sămânță.** Produsele destinate însămânțării se usucă la un regim termic mai moderat decât produsele destinate consumului curent sau furajer.

Caracteristicile uscării cerealelor de sămânță

Tabelul 2.30

Cereale	Umiditatea produsului, (%)	Temperatura maximă	
		a agentului de uscare, (°C)	a semințelor, (°C)
Grâu	< 20	75	40
	20-23	70	40
Secară	< 20	80	40
	20-23	70	40
Orz	< 20	80	40
	20-23	70	40

Cerealele de sămânță trebuie uscate la regimuri termice moderate (tabelul 2.30), caracterizate de o temperatură a agentului termic de  $70 \div 80$  °C și o temperatură maximă a produsului de 40 °C, motiv pentru care cerealele cu o umiditate mai mare sunt supuse procesului de uscare în 2 - 3 trepte, sau utilizând o altă metodă de uscare.

### 2.3.2.2 Procedee privind uscarea cerealelor

În momentul de față marea majoritate a utilajelor folosite la uscarea produselor cerealiere sunt de tip convectiv.

Acestea au o construcție relativ simplă, pot fi adaptate ușor pentru prelucrarea diferitelor sortimente de cereale și sunt caracterizate prin consumuri specifice reduse de energie termică. Principiul uscării convective constă în utilizarea pentru deshidratarea semințelor a entalpiei unui agent de lucru aflat în stare gazoasă.

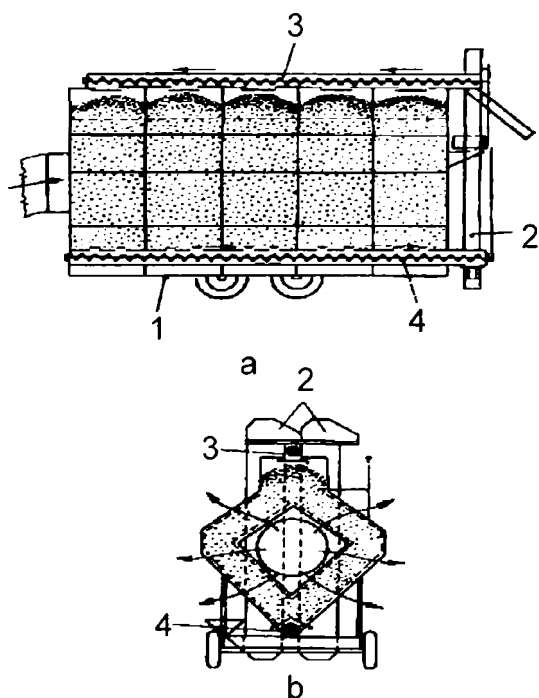
Agentul de lucru cedează energia termică către produs, preia apa evaporată de pe suprafața boabelor și o evacuează în exterior [79, 80].

Procedeele de uscare convective se pot clasifica în funcție de o serie de criterii, cum ar fi: temperatura utilizată, direcția mișcării agentului de lucru în raport cu produsul, natura combustibilului folosit, modul de deplasare al materiei prime, etc. Din punct de vedere al mișcării relative dintre produs și agentul de lucru, uscătoarele pot fi:

- ◆ cu circulație în echicurent;
- ◆ cu circulație în contracurent;
- ◆ cu circulație încrucișată.

După modul de deplasare al produsului în interiorul utilajului, uscătoarele pot fi:

- ◆ cu deplasare forțată (prin intermediul unor benzi transportoare, mese vibratoare, arbori elicoidali, etc.); în (figura 2.17) este prezentat modul de lucru al unui uscător mobil care folosește arbori elicoidali pentru deplasarea produsului.
- ◆ cu sistem gravitațional, prin cădere liberă (figura 2.18).



*Fig. 2.17. Principiul de funcționare al unui uscător de cereale cu deplasare forțată a produsului prin intermediul unor arbori elicoidali.*

- 1 - șasiu pe roți;
- 2 - elevador cu cupe;
- 3 - melc de alimentare;
- 4 - melc pentru evacuarea produsului din incinta de uscare

După modul de deplasare al produsului în interiorul utilajului, uscătoarele pot fi:

♦ cu deplasare forțată (prin intermediul unor benzi transportoare, mese vibratoare, arbori elicoidali, etc.); în (figura 2.17) este prezentat modul de lucru al unui uscător mobil care folosește arbori elicoidali pentru deplasarea produsului.

♦ cu sistem gravitațional, prin cădere liberă (figura 2.18).

În general există tendința din ce în ce mai accentuată de a se realiza uscătoare cu randamente termice cât mai mari, care duc implicit la consumuri specifice de energie reduse și capabile să folosească procese tehnologice adecvate, funcție de natura și de umiditatea inițială ale produsului, prin modificarea corespunzătoare a parametrilor agentului de uscare și a vitezei de deplasare a produsului.

La unele tipuri de uscătoare, pentru îmbunătățirea randamentului termic, respectiv recuperarea unei părți din energia termică consumată, se folosesc diferite scheme de recirculare a aerului, spre exemplu:

- aerul din zona de răcire este recirculat în focar, iar aerul din zona de uscare este dirijat în partea superioară a uscătorului (zona de preîncălzire);
- aerul din zona de răcire și parțial din zona de uscare, este dirijat spre focar, însă nu înainte de a fi filtrat înainte de ventilator, deoarece aerul din zona de uscare conține și diferite impurități. Fiecare din schemele de recirculare (recuperare a căldurii) au avantajate și dezavantaje.

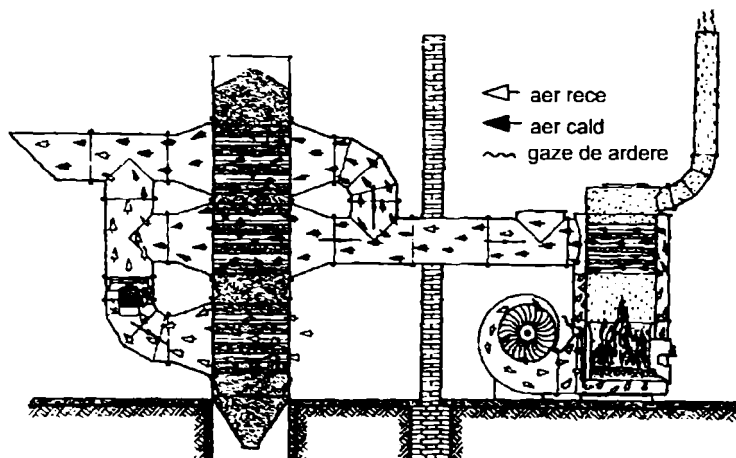


Fig. 2.18 Principiul de funcționare al unui uscător turn.

Astfel, prin dirijarea unei părți a agentului de lucru uzat înapoi la focar, instalația se complică deoarece este necesară utilizarea de filtre pentru impurități și sisteme de evacuare a surplusului de apă din agent. Dar, prin această metodă se recuperează o cantitate mare de energie termică, îmbunătățind în acest mod randamentul uscătorului.



# Capitolul 3

## STADIUL ACTUAL ÎN CONSTRUCȚIA USCĂTOARELOR DE CEREALE

### 3.1 Considerații generale

Uscarea, operație larg răspândită în industria alimentară, este una din metodele tradiționale de conservare a produselor alimentare, ce constă în eliminarea unei părți din apa conținută.

Diversitatea materialelor, cantitatea și umiditatea acestora, regimul continuu sau discontinuu de uscare, sensibilitatea față de temperatură, aspecte legate de protecția mediului, siguranța alimentară, precum și costul total al procesului de uscare determină existența a numeroase tipuri de uscătoare (tabelul 3.1).

Modificarea conținutului de umiditate, duce la schimbări structurale și la modificarea proprietăților corpului umed [7, 8]. La majoritatea uscătoarelor sunt comune funcțiile de încălzire a agentului de uscare (bateria de încălzire sau caloriferul), de asigurare a circulației agentului de uscare (ventilatorul), precum și cea de deplasare sau contactare a materialului supus uscării (rafturi, cărucioare, transportoare din benzi metalice, vagonete, etc.).

Deoarece, totuși, condiția de bază pentru efectuarea unui proces de uscare este transferul și consumul de energie pentru transformarea fizică a umidității conținute în material, metodele de uscare se clasifică, cel mai frecvent, în funcție de modul de transmitere a căldurii la material astfel:

**Uscătoare prin convecție**, acestea, transmit căldura necesară pentru vaporizarea apei din materialul supus uscării prin convecție, de la agentul de uscare către materialul din camera de uscare.

Uscarea convectivă continuă să rămână și în prezent cel mai cunoscut și răspândit procedeu de extragere a umidității din materiale, atât datorită simplității procesului, cât mai ales multiplelor posibilități de a obține, cu cheltuieli reduse, o calitate bună a uscării, într-un timp scurt.

Materialul umed vine în contact cu agentul de uscare – amestecul de aer și gazele de ardere – de la care primește, prin convecție, 80 ÷ 90 % din cantitatea totală de căldură necesară desfășurării procesului de uscare. Amestecul de aer cald

și gazele de ardere constituie atât agentul termic, cât și cel de antrenare a umidității evaporate din material [49, 53, 54].

Clasificarea metodelor de realizare a uscării

Tabelul 3.1

Nr. crt.	Metoda	Principiul metodei
<b>După modul de transmitere a căldurii pentru eliminarea umidității</b>		
1	Uscare convectivă	Transmiterea căldurii prin convecție de la aer sau alte gaze (ex. Gaze de ardere) la materialul supus uscării.
2	Uscare conductivă	Transmiterea căldurii prin conducție, prin intermediul unei suprafețe de transfer termic
3	Uscare radiantă	Transmiterea căldurii prin radiație
4	Uscare dielectrică	Încălzirea dielectrică a materialului în câmp de CIF (curenți de înaltă frecvență)
5	Metode combinate • uscarea convectiv - radiantă • uscarea conductiv - radiantă • uscarea convectiv - dielectrică	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Îmbină încălzirea convectivă cu cea radiantă, antrenarea umidității făcându-se cu agentul convectiv de uscarea.</li> </ul> Furnizarea căldurii necesare se face atât conductiv cât și radiant. Furnizarea căldurii se face prin încălzire dielectrică, iar antrenarea umidității evaporate convectiv.
<b>După presiunea la care se realizează uscarea</b>		
1	Uscarea la presiune atmosferică sau la valori apropiate de acestea	Cea mai comună modalitate de desfășurare a procesului de uscarea, întâlnită la uscarea convectivă, conductivă, radiantă, precum și la majoritatea metodelor combinate
2	Uscarea sub depresiune	Recomandată pentru produse termosensibile; cuprinde uscarea prin sublimare și uscarea moleculară
<b>După tehnica de uscarea</b>		
1	Uscare convectivă	Uscarea convectivă convențională (în diferite variante), Uscare în pat fluidizat, Uscare pneumatică (în suspensie), Uscare prin pulverizare, Uscarea cu pompă de căldură
2	Uscare conductivă și radiant -conductivă	Uscare conductivă Uscare conductivă sub depresiune (prin sublimare),
3	Uscare prin procedee speciale	Uscarea în câmp de CIF (dielectrică) Uscare în câmp sonor

Transferul de căldură și de masă în timpul uscării este condiționat de parametrii agentului de uscare (viteza, temperatura, umiditatea relativă, ) și de legătura umiditate – material [54, 55].

În timpul uscării, agentul își modifică temperatura, umiditatea relativă, viteza, iar materialul umed își modifică capacitatea termică masică, densitatea, conductivitatea termică, uneori dimensiunile și structura sau proprietățile mecanice.

Circulația produsului și agentului de uscare se poate face în echicurent, contracurent, sau în curent încrucișat. Aceste tipuri de uscătoare sunt larg răspândite în agricultură și industria alimentară datorită randamentelor energetice bune, consumului de căldură relativ mic pentru umiditatea extrasă, precum și datorită simplității constructive și funcționale.

Dezavantajele procedurii de uscare prin convecție constau în [81]:

- neuniformitatea procesului de uscare în zone diferite ale uscătorului,
- dificultăți în controlul procesului de uscare,
- pierderi de căldură pe timpul încălzirii și a descărcării,
- pierderi importante de aer care pot rezulta din lipsă de etanșeitate.

**Uscătoarele prin conducție (prin contact).** În cazul uscării conductive, materialul umed se găsește continuu în contact cu o suprafață caldă, fluxul termic și de masă transmis având același sens, de la suprafața caldă de încălzire spre suprafața stratului de material supus uscării. Pentru a putea realiza un transfer de căldură prin conducție, contactul între corpul umed și suprafața încălzită trebuie să fie cât mai perfect. Căldura este transmisă la materialul supus uscării printr-un perete având o conductibilitate termică ridicată. De asemenea și coeficientul de transfer termic de la agentul de încălzire la perete trebuie să aibă o valoare mare [81, 82, 83].

Vaporii de apă difuzează către suprafețele mai reci, realizându-se concomitent transferul termic și de masă între straturile materialului. Dacă suprafața liberă a materialului este mai rece decât suprafața caldă, vaporii de apă formați pot condensa în drumul lor spre partea mai rece a stratului, asigurând permanent distribuția umidității și temperaturii între straturile materialului. Primul punct critic al uscării se atinge când forțele capilare din material nu mai sunt capabile să transporte către suprafață cantitatea de umiditate evaporată.

Astfel, materialul din apropierea suprafeței calde ajunge în domeniul higroscopic sau devine complet uscat, temperatura sa putând depăși 100 °C.

În a doua fază a uscării, căldura care pătrunde în zona de evaporare (care se depărtează continuu de suprafața caldă) trebuie să învingă rezistența conductivă a stratului de material uscat, care este o rezistență suplimentară variabilă, fapt ce conduce la scăderea vitezei de uscare. Uscarea prin contact este tot mai puțin

folosită la uscarea cerealelor datorită consumului mare de combustibil, a duratei mari a procesului de uscare, precum și încălzirii neuniforme a semințelor.

**Uscarea cu radiații infraroșii.** În procesele de uscare realizate cu ajutorul gazelor calde, transferul de căldură către materialul supus uscării se realizează prin convecție și doar într-o mică măsură intervine și radiația termică. Încălzirea materialului se face cu ajutorul radiațiilor termice, cu lungimi de undă cuprinse între  $0,76 \div 400 \mu\text{m}$ , împărțit pe mai multe subdomenii:

- $0,75 \div 5 \mu\text{m}$ , reprezintă domeniul IR – apropiat,
- $5 \div 30 \mu\text{m}$ , reprezintă domeniul IR – mijlociu,
- $30 \div 800 \mu\text{m}$ , reprezintă domeniul IR îndepărtat.

Radiațiile IR pot fi produse cu ajutorul unor lămpi speciale sau de către corpuri radiante, asigurând încălzirea la temperaturi de  $500 \div 600 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Aceste radiații au efect termic remarcabil, pot acționa în interiorul materialului, valoarea maximă a adâncimii de pătrundere fiind determinată de lungimea de undă și caracteristicile termofizice ale materialului. Radiațiile cu lungime de undă mai mică au putere de penetrare mai mare. În același timp, prin mărirea lungimii de undă se produce scăderea temperaturii, ca o consecință a legii lui Wien ( $\lambda_{\text{max}} \times T = \text{const.}$ ) În domeniul uscării și a altor procese ce necesită încălzire se utilizează radiații din domeniul IR – apropiat.

**Uscarea cu ajutorul curenților de înaltă frecvență,** realizează încălzirea materialului într-un câmp electric de înaltă frecvență pe baza fenomenului polarizației.

Asigurarea căldurii în interiorul corpurilor supuse uscării se face cu dificultate, mai ales când dimensiunea granulelor sau anumitor bucăți din material este mare iar conductivitatea termică este redusă, ceea ce presupune mărirea gradientului de temperatură, cu efect nedorit, întrucât unele straturi de material pot atinge temperaturi ridicate ce conduc la degradarea termică.

Procedeul se bazează pe încălzirea unor materiale dielectrice sau semiconductoare, prin introducerea uniformă a căldurii în întregul volum al substanței procesate, ca efect al undelor electromagnetice ce se propagă în material și produc încălzirea. Avantajul vitezelor mari de încălzire, cu posibilitatea repartiției dorite a gradientilor de temperatură și umiditate în volumul materialului, este însoțit de dezavantajul unui consum energetic mai ridicat și a unor costuri de investiții pentru realizarea investiției. Soluțiile combinate, curenți de IF, cu sistemul convectiv, conduc la reduceri semnificative ale costurilor, astfel, energia câmpului IF se va consuma numai pentru realizarea gradientului intern de temperatură.

**Uscarea cu ultrasunete.** Uscarea combinată prin utilizarea câmpului sonor cu frecvențe ridicate ( $8 \div 20$  KHz) sau a ultrasunetelor ( $20 \div 500$  KHz), ceea ce corespunde cu lungimi de undă foarte mici, asigură intensificarea transferului de căldură și de masă caracteristic proceselor obișnuite de uscare. Intensitatea undelor sonore este proporțională cu pătratul frecvenței, energia transportată de ultrasunete este mult mai mare decât energia sunetelor de aceeași amplitudine.

Datorită frecvenței și a energiei mari pe care o transportă, undele sonore produc o serie de efecte fizico – chimice:

- încălzirea materialului străbătut,
- distrugerea stărilor labile de echilibru,
- distrugerea emulsiilor și sistemelor coagulate,
- influența potențialelor electrochimice,
- mărirea vitezelor de reacție.

Undele acustice pot să producă, atât în agentul de uscare cât și în materialul supus uscării o succesiune de zone cu presiune mai ridicată ce alternează cu zone în care presiunea este mai scăzută, ce determină creșterea diferenței între presiunea vaporilor de apă din material și faza gazoasă. Procesul de uscare cu ajutorul ultrasunetelor conduce la rezultate bune în cazul materialelor granulare sau pulverulente, a blocurilor din material cu porozitate internă, a fibrelor și țesăturilor. Generatoarele de undă sonoră sau ultrasunete, trebuie amplasate astfel încât să interacționeze cu agentul de uscare chiar în interiorul uscătorului (în camerele de uscare). Pentru producerea undelor sonore, sau a ultrasunetelor necesare în procesul de uscare, se pot utiliza emițătoare mecanoacustice (cu aer comprimat), sau electroacustice, respectiv generatoare piezoelectrice sau magnetostrictive.

**Uscarea în vid.** Majoritatea produselor din domeniul alimentar, al medicamentelor și biopreparatelor ce trebuie supuse uscării, impun luarea unor măsuri legate de stabilitatea termică și conservarea unor proprietăți specifice, fapt ce impune limitarea temperaturii agentului de uscare și ca o consecință firească reducerea vitezei procesului [61, 62].

Scăderea presiunii vaporilor în spațiul de uscare poate să conducă la creșterea vitezei de vaporizare și a posibilității de îndepărtare a vaporilor prin aspirarea continuă a acestora, pentru menținerea constantă a vidului realizat. Căldura necesară procesului, se va introduce în sistem prin conductivitate, utilizând suporturi încălzite, sau prin radiație și într-o mai mică măsură prin sistemul convectiv. Potențialul transferului de masă este dată de diferența dintre presiunea de saturație a vaporilor la nivelul suprafeței cu temperatura mai scăzută a materialului și a vaporilor din amestecul de gaz aflat la presiune scăzută.

**Uscarea prin sublimare** . Uscarea materialelor ce se găsesc la temperatură mai mică decât cea corespunzătoare punctului triplu, unde coexistă toate cele trei stări de agregare, deci la care și umiditatea se află în stare solidă, se numește sublimare. În acest punct, umiditatea trece din starea solidă, direct în starea de vapori, iar aceștia pot fi îndepărtați din sistem prin condensare – solidificare pe suprafețe reci și astfel umiditatea se evacuează sub formă de solid (gheață). Presiunea de vapori a gheții, corespunzător curbei ce delimitează domeniul solid de cel gazos, este dată în tabelul 3.2

Presiunea de vapori a gheții

Tabelul 3.2

Temperatura (°C)	Presiunea de vapori, (mmHg)	Temperatura, (°C)	Presiunea de vapori, (mmHg)
0	4,58	12	1,63
2	3,88	14	1,36
4	3,28	16	1,13
6	2,76	18	0,94
8	2,33	20	0,78
10	1,95	22	0,64

Presiunea în interiorul instalației de uscare este, în mod obișnuit, mai mică decât presiunea atmosferică. Principial o instalație de uscare prin sublimare se compune dintr-o incintă, în care are loc procesul de vaporizare a umidității și un spațiu pentru sistemul de condensare.

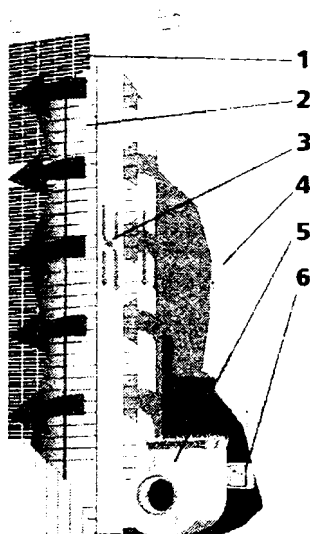
Uscarea prin procedeul caracterizat de aducerea în stare solidă (înghețată) a umidității se numește *uscare criogenică*, sau *liofilizare* și se utilizează pentru preparate biologice, produse farmaceutice, sucuri de fructe, cafea, întrucât conferă produsului uscat păstrarea calităților inițiale (organoleptice, biologice).

### 3.2 Structura generală a unei instalații de uscare a cerealelor.

În general toate uscătoarele de semințe existente în prezent în funcționare, au subsansambluri comune, cu funcțiuni precise, bine definite. Pentru a identifica aceste părți, sunt analizate în continuare câteva **tipuri reprezentative de uscătoare**. În figura 3.1 se prezintă principiul de funcționare al unui *uscător tip coloană*, realizat de firma GSI – SUA, la care deplasarea cerealelor se face gravitațional, în spațiul delimitat [93].

Încărcarea cerealelor se face pe la partea superioară 1, cu ajutorul unui transportor cu cupe, după care acestea, parcurg succesiv, zonele de uscare 3, apoi pe cea de răcire. Agentul de uscare produs de generatorul 6, este introdus forțat în masa de boabe prin intermediul ventilatorului 5. Uscătorul este echipat cu instalație

de automatizare, unde în funcție de valorile de intrare ale produsului (tip de cereale, umiditate, temperatură, destinație, ș.a. ) se efectuează setările programului de uscare (temperatura agentului de uscare, durata de uscare, durata de răcire, etc.).



*Fig. 3.1 Schema unui uscător cu aer cald- Firma GSI [93].*

1 – alimentare produs; 2 – evacuare aer umed; 3 – pereți metalici coloane uscare; 4 – baterii uscare; 5 – ventilator aer cald; 6 – generator de aer cald;

Uneori pentru a se realiza o uscare în trepte a materialului, în scopul îmbunătățirii calității acestuia, se folosesc **uscătoarele cu benzi perforate**.

Într-un astfel de uscător (figura 3.2), cerealele sunt alimentate printr-o gură de alimentare 1, distribuite într-un strat subțire și uniform cu ajutorul unui șibăr de reglare 2, pe o bandă transportoare perforată 3, situată în partea superioară, după care ele urmează un traseu sinuos prin mai multe camere de uscare 6, cu condiții termice diferite.

Agentul de uscare (aer cald sau gaze de ardere), trece prin perforațiile benzilor 3, străbate stratul de produs și este evacuat odată cu umiditatea evaporată cu ajutorul ventilatoarelor 7. În final, în partea inferioară a uscătorului, produsul este supus unui curent de aer rece pentru a fi răcit, urmând a fi evacuat 5 cu ajutorul transportorului melcat.

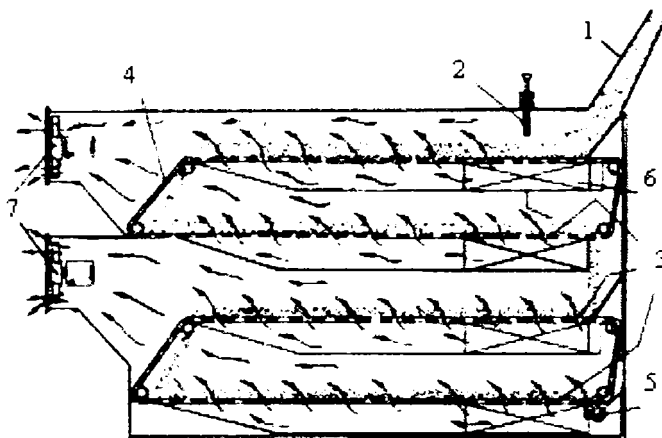


Fig. 3.2 Principiul de funcționare al unui uscător tip SIROKKO, cu benzi perforate.

1 - alimentare; 2 - dozator; 3 - bandă perforată; 4 - lanț;  
5 - evacuare; 6 - cameră de uscare; 7 - ventilator;

În figura 3.3, este prezentată imaginea de ansamblu a unui **uscător cu șicane**. Acesta este prevăzut cu trei zone de lucru: zonă de preîncălzire, zonă de uscare și zonă de răcire.

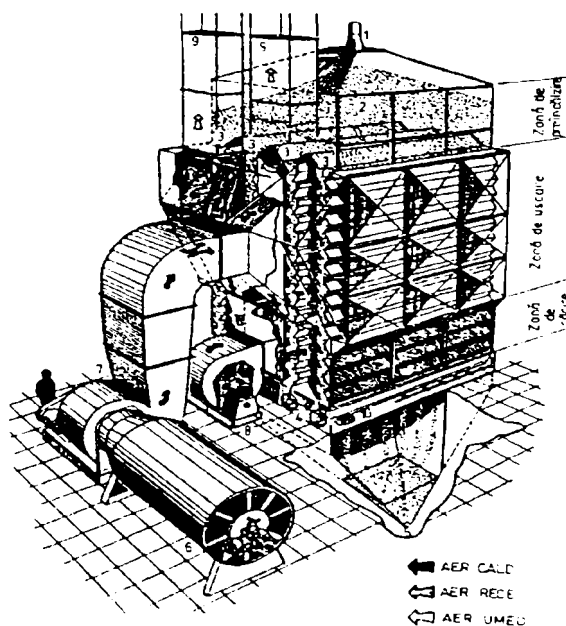


Fig. 3.3 Ansamblul unei instalații de uscare cu șicane, tip KSC - 20.

1- alimentare; 2 - dozator-distribuitor; 3 - pereți metalici coloane uscare; 4 - dozator evacuare produs; 5 - baterii uscare; 6 - generator de căldură; 7 - ventilator aer cald; 8 - ventilator aer rece; 9 - evacuare aer umed; 10 - evacuare produs uscat



Alimentarea uscătorului se face prin tubul de racord 1 și tremia superioară 2, care îndeplinește și funcția de distribuție prin împrăștiere uniformă a boabelor în coloanele zonei de uscare. În afara funcției de primire – distribuție și de creare a unei rezerve în vederea asigurării funcționării constante a instalației, respectiv a aprovizionării uniforme a coloanelor de uscare, în această tremie se efectuează și un tratament de preîncălzire a cerealelor, fapt ce conduce la o uscare mai bună.

Semințele circulă prin cădere liberă în zona de uscare printre pereții metalici ai celor patru coloane 3, care sunt perforați pentru a asigura circulația aerului cald. Pereții sunt prevăzuți cu șicane, care asigură o agitare continuă a boabelor în timpul deplasării, astfel ca ele să fie permanent expuse aerului cald, realizându-se astfel o uscare uniformă în masa de cereale.

Cu cât suprafața pereților este mai mare, respectiv durata de transport a produsului, este mai mare, cu atât crește mai mult gradul de extracție al umidității cerealelor. După ce boabele au străbătut coloanele de uscare, intră în zona de răcire, care asigură stabilizarea, atât din punct de vedere al temperaturii mediului ambiant, cât și a umidității. La partea inferioară a instalației, boabele sunt evacuate prin intermediul unui dozator, acționat de un motor electric. După evacuare, semințele sunt colectate în buncărul 5, de unde sunt dirijate spre spațiile de depozitare. Uscarea cerealelor este asigurată prin circulația unui curent bogat de aer și încălzit în generatorul de aer cald 6 și vehiculat cu ajutorul ventilatorului 7. Aerul încălzește boabele care cedează apa sub formă de vapori, după care acesta este colectat și evacuat în atmosferă prin secțiunea rectangulară 9. Pentru răcirea produselor după uscare, se insuflă aer rece pe la partea inferioară a zonei de răcire, cu ajutorul ventilatorului 8.

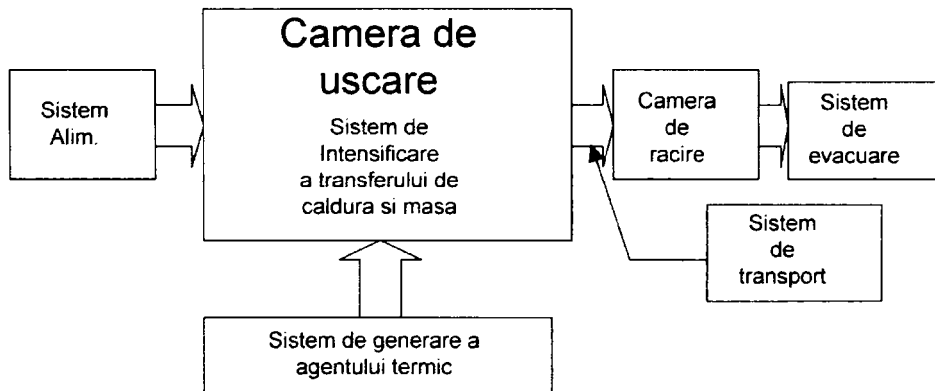


Fig. 3.4 Structura generală a unei instalații de uscare.

Din studiul instalației prezentate se poate structura construcția unui uscător, conform schemei generale din figura 3.4. [89].

### 3.3 Elemente constructive specifice uscătoarelor de cereale

Analizând structura generală a instalațiilor de uscare prezentată în figura 3.4, se poate constata că elementul principal al acestora îl constituie camera de uscare. În interiorul camerei de uscare se găsește, de obicei, un sistem care intensifică schimbul de căldură și masă dintre material și agentul de uscare.

Cerealele sunt aduse în camera de uscare printr-un sistem de alimentare, trecute apoi în camera de răcire cu ajutorul unui sistem de transport și evacuare, ce are rolul de a regla debitul materialului prin instalație. În continuare se vor analiza pe rând aspecte importante ale fiecărui element, din punct de vedere constructiv, precum și al posibilităților de funcționare ale acestora într-un tot unitar.

Construcția camerelor de uscare, este un factor important în desfășurarea procesului de eliminare a umidității din material, în special prin forma camerei și modul de distribuire a materialului, respectiv a agentului de uscare. În figura 3.5 sunt prezentate principalele tipuri de camere de uscare pentru cereale.

**Camerele de uscare cu cuvă** (figura 3.5 a, b, c), au, în general, înălțimi mari, iar secțiunea cuvei poate fi circulară sau dreptunghiulară. De regulă, ele sunt împărțite în două zone: în prima zonă umiditatea materialului este mai mare, se introduc gaze cu temperaturi mai mari, decât în zona a doua, unde cerealele sunt mai uscate. De obicei la aceste tipuri de uscătoare, tronsonul de răcire este identic cu cel de uscare, fiind situat la partea inferioară, la evacuarea cerealelor. Cele mai noi instalații de acest tip, beneficiază pentru ambele pasaje de uscare, de arzătoare separate, reușind în acest sens extragerea unui procent mare de umiditate, fără să afecteze caracteristicile bobului.

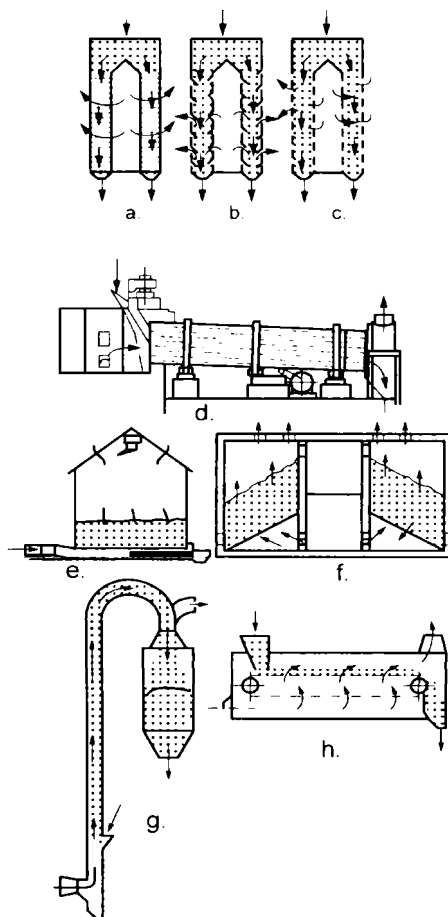
**Camerele de uscare cu tobă rotitoare** (figura 3.5 d), realizează uscarea în echicurent sau în contracurent, în funcție de modul de deplasare a semințelor. Toba este ușor înclinată, iar în interior se găsesc dispozitive metalice (șicane), care au rolul de a uniformiza distribuția materialului și de a mări suprafața de contact cu agentul de uscare. Toba poate fi umplută cu material până la 20% din volumul său. Pentru răcirea cerealelor este necesară o cameră separată.

**Camerele de uscare cu platformă** (figura 3.5 e, f), folosite mai des pentru uscarea porumbului și tiuleții, au o construcție simplă, dar necesită consumuri mari de căldură la încărcarea și descărcarea produsului.

**Camerele de uscare cu transportor pneumatic** (figura 3.5 g), realizează procente mari de extracție datorită contactului direct, dintre agentul de uscare și cereale. Prezintă dezavantajul unor consumuri energetice mari privind transportul produselor.

**Camerele de uscare cu benzi perforate** (figura 3.5 h), folosesc un transportor ce îndeplinește atât funcția de deplasare a produsului de la intrare către

evacuare, precum și funcția de grilă de distribuție a aerului cald printre semințe. Debitul de produs poate fi reglat, fie prin modificarea înălțimii stratului de material pe bandă, fie prin modificarea vitezei de deplasare a transportorului. Datorită diversității tipurilor de camere de uscare, sistemele de deplasare a materialului prin uscător prezintă particularități în concordanță cu forma camerei și modul de distribuție a agentului de uscare prin produs.



*Fig.3.5 Principalele tipuri de camere de uscare.*

Principala funcție a acestor sisteme este de a deplasa produsul prin camera de uscare (răcire), cu viteza impusă de tehnologia uscării. Cel mai economic mod de a deplasa cerealele prin uscător este cel **gravitațional**, în care materialul se deplasează sub acțiunea gravitației, luând forma unor coloane între pereții perforați ai uscătorului. În scopul creșterii gradului de extracție a umidității, sunt utilizate tot mai des coloane de transport în formă de zig-zag.

Deplasarea într-un strat subțire a materialului se poate face cu **transportoare orizontale**, cu **benzi perforate** sau cu **racleți**. Manevra suplimentară a produselor cerealiere pe timpul procesului de uscare la orice tip de uscător, înseamnă pentru beneficiar costuri suplimentare, dar și pericolul apariției deteriorării boabelor, datorită tensiunilor induse în bob datorită frecărilor ce au loc între materialul supus uscării și mijlocul de transport.

Fenomenul este evident la tipurile de uscătoare ce utilizează transportoare elicoidale pentru recircularea cerealelor pe timpul uscării.

**Sistemele de alimentare**, sunt în general, transportoare elicoidale, cu racleți, cu cupe sau cu bandă. Acestea au rolul de alimentare uniformă a camerei de uscare și de distribuire prin împrăștierea semințelor. În instalațiile de uscare automatizate, comanda motorului transportorului de alimentare se face cu ajutorul unui regulator automat, pe baza informațiilor primite de la doi senzori de nivel, fapt ce permite menținerea alimentării în limite prestabilite.

**Sistemele de evacuare**, preiau cerealele răcite și le conduc în locurile de depozitare. În unele cazuri sistemele de evacuare îndeplinesc și funcția de răcire a cerealelor, traseul fiind în acest caz mai lung, iar constructiv transportoarele sunt astfel executate încât să permită evacuarea căldurii din semințe către mediul exterior.

**Generarea agentului de uscare**, reprezintă problema principală ce trebuie rezolvată în construcția unui uscător, prin aportul cantitativ major în bilanțul energetic.

Crearea gradientului de temperatură necesar pentru vaporizarea apei din materialul supus uscării ridică probleme deosebite constructorilor ținând cont de următoarele restricții:

- ✦ se doresc consumuri energetice mici, în contextul utilizării combustibililor alții decât cei fosili (gaz natural, propan, butan, motorină, etc.),
- ✦ inocuitatea produsele cerealiere în urma procesul de uscare,
- ✦ realizarea de echipamente care să permită adaptarea facilă la diferiți combustibili,
- ✦ posibilitatea de deplasare (mobilitate),
- ✦ durată mare de utilizare,
- ✦ posibilitatea de a se utiliza pentru uscarea unui sortiment mare de cereale,
- ✦ grad ridicat de extracție de umiditate (%/tonă produs).

În funcție de aceste criterii, dar nu numai, se disting două mari categorii de generatoare de agent de uscare: generatoare de aer cald, sau amestec de aer și gaze de ardere, respectiv generatoare conductive.

Dacă în primul caz, existența contactului intim, direct, al agentului de uscare cu boabele de cereale supuse uscării permite obținerea unor grade de extracție foarte mari, cu consumuri energetice acceptabile, procesul de uscare pe durata a circa 1,5 – 2 ore, în cel de al doilea caz, duratele de uscare sunt mult mai mari și cresc foarte mult consumurile energetice.

În figura 3.6 este prezentată o soluție constructivă a unui uscător tip Petkus model T 685, care utilizează ambele modalități, atât cel prin convecție cât și cel prin conducție.

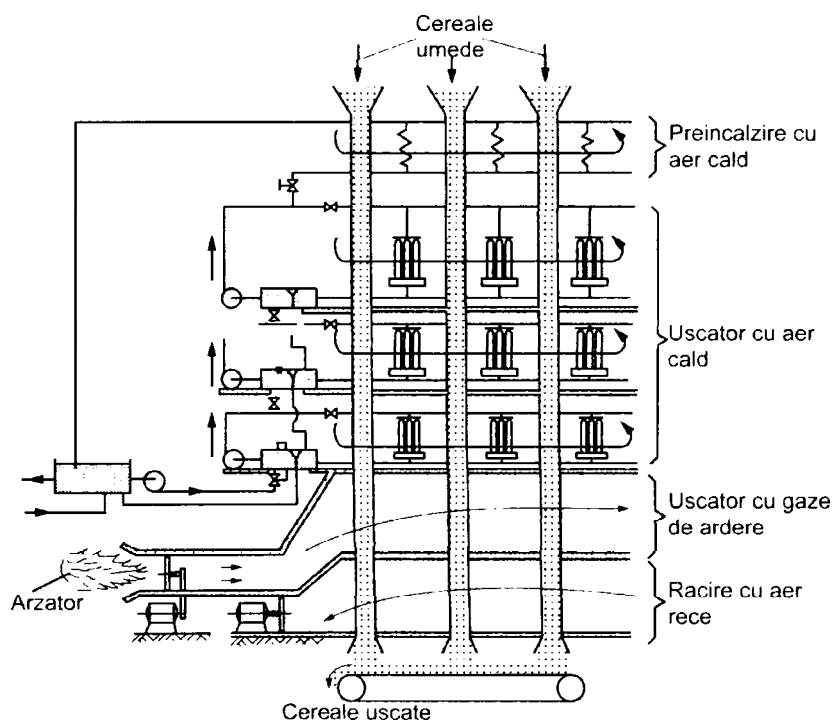


Fig. 3.6 Uscarea cu aer cald și gaze de ardere.

Cerealele sunt preîncălzite cu ajutorul aerului cald, obținut prin trecerea aerului atmosferic printre niște țevi prin care circulă apă caldă, după care urmează trecerea printr-o zonă de uscare cu regim termic mai ridicat, datorită încălzirii mai puternice a aerului la trecerea prin schimbătoarele de căldură. În continuare, cerealele, sunt uscate cu ajutorul unui amestec de aer și gaze de ardere, după care sunt răcite și evacuate.

Formarea agentului de uscare dintr-un amestec de gaze arse și aer este convenabilă energetic, dar poate introduce în masa de cereale particule de hidrocarburi, mirosuri urâte, compuși de sulf, etc.

Din acest motiv arderea se face cu un coeficient de exces de aer ridicat, iar amestecul gaze/aer se face în proporție  $1/20 \div 1/25$ .

Conform reglementărilor actuale, regulile de bune practici, regulile de siguranță alimentară, interzic utilizarea instalațiilor neconforme, ce utilizează ca agent de uscare amestecul de aer și gaze de ardere, în afara normelor impuse.

Unele uscătoare realizează preîncălzirea cerealelor prin conducție (figura 3.7), cu ajutorul unor radiatoare 1, prin care circulă apă caldă. Cerealele 2, sunt preîncălzite prin conducție în această zonă, uscarea propriu-zisă efectuându-se prin convecție.

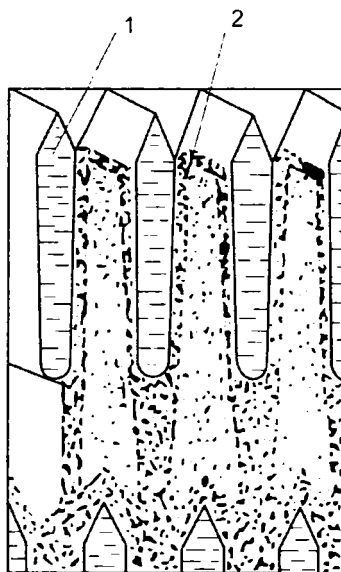


Fig 3.7. Preîncălzirea prin conducție a cerealelor.

1 – radiatoare, 2 - cereale

**Sisteme de intensificare a schimbului de căldură și umiditate.** În scopul măririi gradului de extracție din produsele supuse uscării și reducerii timpului de staționare a cerealelor în uscător, s-au realizat o multitudine de sisteme menite să ridice valoarea coeficientului de transfer termic.

În figura 3.8, sunt prezentate câteva soluții constructive, unde se observă că prin mărirea drumului parcurs de cereale  $1(b,c,d)$ , față de sensul de deplasare a curenților de aer cald 2, are loc o intensificare a transferului de căldură. De asemenea, unghiul de acces al curenților de aer cald în masa de cereale creează turbulențe în masa acestora, asigurând astfel o uscare mai bună.

O condiție esențială la uscarea cerealelor este aceea ca umiditatea la ieșire să fie constantă în toată masa de cereale. Datorită scăderii temperaturii la trecerea

aerului prin produs, la sistemele din figura 3.8 a, b, c, uscarea se face neuniform, mai ales dacă coloana de material are diametru mare.

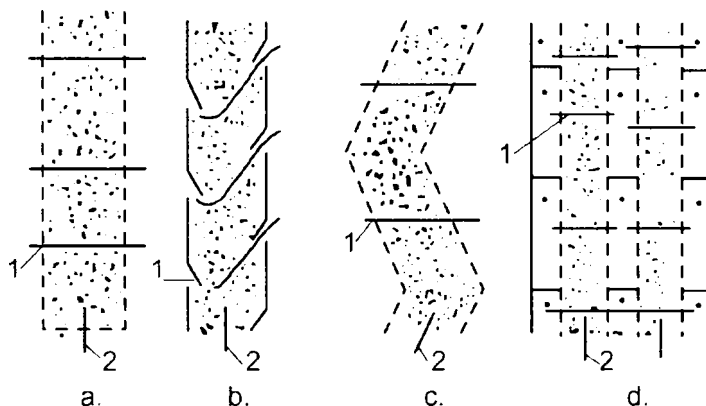


Fig. 3.8 Sisteme de intensificare a transferului de căldură și masă în uscătoarele tip coloană.

- a - soluția clasică, b - soluția cu jaluzele, c - coloană în zig-zag,
- d - sistem cu trecere alternantă

Sistemul prezentat în figura 3.9 d, elimină acest neajuns, prin circulația alternantă a aerului prin masa de cereale, ambele fețe ale stratului de cereale venind periodic în contact cu aerul cald. Acest procedeu nu generează turbulențe în masa de cereale, motiv pentru care s-au căutat soluții care să îmbine principiile din figura 3.8, b și d. Ca urmare s-au construit coloane de uscare în care materialul se deplasează pe verticală printre canale prin care circula aer, figura 3.9, în sensul dorit de constructor.

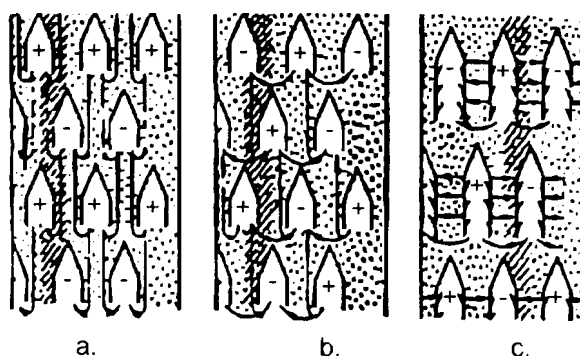


Fig. 3.9 Plasarea canalelor de circulație a aerului în uscătoarele tip coloană.  
 a - deplasare verticală, b - deplasare orizontală și verticală, c - deplasare pe orizontală

Canalele pot avea diverse forme, de obicei triunghi sau hexagon și pentru a realiza circulația alternantă a agentului de uscare ele sunt închise alternativ la unul din capete.

### **3.4 Stadiul actual al dezvoltării instalațiilor de uscarea a cerealelor.**

Așa cum s-a arătat în capitolul 2.1, datorită simplității procedurii, a investiției reduse și a consumului mic de energie comparativ cu alte procedee de uscare, în practica industrială mondială privind uscarea cerealelor, se folosesc mai ales uscătoarele convective, în diverse soluții constructive. Atenția specialiștilor din acest domeniu este orientată în prezent pe două mari direcții de cercetare:

- ✦ realizarea unor sisteme de comandă, automatizare și control al parametrilor de uscare în condițiile obținerii unor randamente de extracție bune, din masa de produs;

- ✦ realizarea unor generatoare, de agent termic de uscare, care să poată utiliza combustibili alternativi (biocombustibili, energia solară, energia geotermală, etc.)

Preocupările specialiștilor vizează în aceeași măsură și stabilirea unor reguli de bune practici privind activitatea de recoltare a produselor cerealiere. Condițiile climatice impuse pentru recoltarea produselor cerealiere, pot duce uneori la strângerea recoltei înainte ca semințele să ajungă la maturitate deplină, cu un conținut redus de umiditate, care să asigure o depozitare îndelungată, motiv pentru care se impune uscarea semințelor. În figura 3.10 este prezentată o instalație de uscare a cerealelor ITUB - 12,5 G (instalație turn de uscat boabe, capacitate de uscare = 12,5 t/h,).

Instalația turn de uscare, are o gamă foarte largă de utilizare pentru cerealele boabe (porumb, grâu, orz, ovăz, orez, floarea soarelui, etc.) putând fi folosită și la unele plante leguminoase ca : soia, fasole. Coloanele de uscare, sunt formate din cinci tipuri de tronsoane care însumează opt sectoare. Tronsoanele sunt formate din doi pereți laterali dubli, cu pereți interiori confecționați din tablă zincată, iar cei exteriori din tablă de aluminiu. Întreaga coloană de uscare este împărțită în cinci compartimente verticale, prin pereți intermediari.

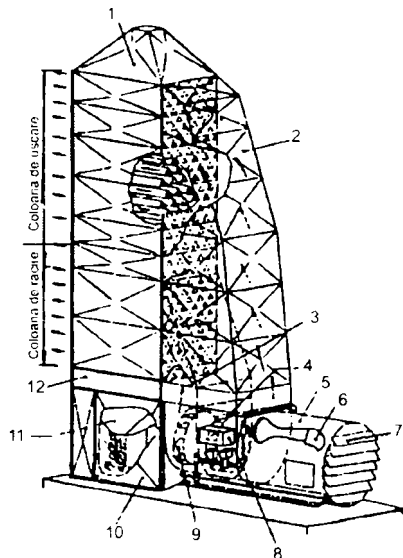
Partea superioară 1 este confecționată din tablă de aluminiu și este montată pe al cincilea tronson al coloanei de uscare. Instalația de conducte de aer, este formată dintr-un număr de șapte tronsoane confecționate din tablă de aluminiu.

Camera de ardere 5, este o construcție sudată, formată dintr-o manta de formă circulară din tablă de oțel. Camera ventilatoarelor este tot o construcție metalică sudată, formată dintr-o manta de tablă cu doi pereți laterali și un perete



despărțitor, care împarte camera ventilatoarelor în două părți, formând carcasa ventilatoarelor de aer cald și rece.

Ventilatorul are două rotoare cu palete înclinate, care prin peretele despărțitor formează carcasa ventilatorului de aer cald și rece. Accesul aerului la ventilatoare se face prin conuri de absorbție montate în pereții camerei ventilatoarelor. Alimentarea uscătorului se face dintr-o celulă a silozului, cu ajutorul unui elevator, prin intermediul unei conducte racordate la pâlnia superioară 1.



*Fig. 3.10 Instalație de uscare ITUB-12,5 G [8].*

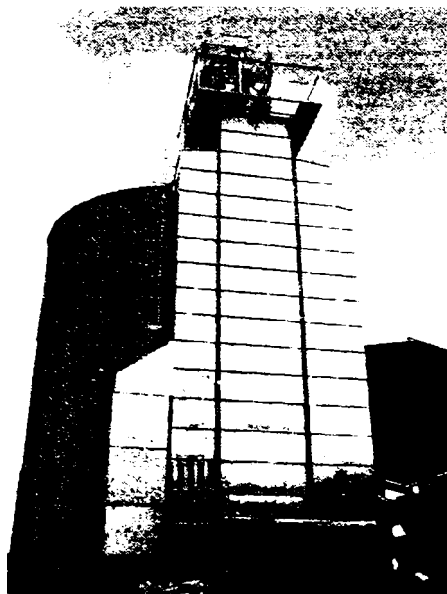
- 1- alimentare; 2 - conductă aer cald; 3 - conductă aer rece; 4 - ventilator aer cald;  
 5 - camera de ardere; 6 - arzător; 7 - jaluzele reglabile; 8 - instalație de control a temperaturii; 9 - ventilator aer rece; 10 - camera motoarelor, 11- colector,  
 12 - dispozitiv de golire

Instalația turn de uscare, are o gamă foarte largă de utilizare pentru cerealele boabe (porumb, grâu, orz, ovăz, orez, floarea soarelui, etc.) putând fi folosită și la unele plante leguminoase ca : soia, fasole. Coloanele de uscare, sunt formate din cinci tipuri de tronsoane care însumează opt sectoare. Tronsoanele sunt formate din doi pereți laterali dubli, cu pereți interiori confecționați din tablă zincată, iar cei exteriori din tablă de aluminiu. Întreaga coloană de uscare este împărțită în cinci compartimente verticale, prin pereți intermediari.

Partea superioară 1 este confecționată din tablă de aluminiu și este montată pe al cincilea tronson al coloanei de uscare. Instalația de conducte de aer, este formată dintr-un număr de șapte tronsoane confecționate din tablă de aluminiu.

Camera de ardere 5, este o construcție sudată, formată dintr-o manta de formă circulară din tablă de oțel. Camera ventilatoarelor este tot o construcție metalică sudată, formată dintr-o manta de tablă cu doi pereți laterali și un perete despărțitor, care împarte camera ventilatoarelor în două părți, formând carcasa ventilatoarelor de aer cald și rece. Ventilatorul are două rotoare cu palete înclinate, care prin peretele despărțitor formează carcasa ventilatorului de aer cald și rece. Accesul aerului la ventilatoare se face prin conuri de absorbție montate în pereții camerei ventilatoarelor.

Alimentarea uscătorului se face dintr-o celulă a silozului, cu ajutorul unui elevator, prin intermediul unei conducte racordate la pâlnia superioară 1. Procesul de uscare începe după umplerea completă a turnului. Prin punerea în funcțiune a instalației de ardere 6, aerul cald este refulat de către ventilatoarele de aer cald 4, ascendent, prin coloanele de aer cald 2 în masa de cereale, trecând astfel la rândul superior de celule și va ieși în atmosferă prin partea peretelui anterior. La pornirea instalației secția de răcire funcționează ca secție de uscare și numai după ce boabele aflate înăuntrul acesteia s-au uscat, începe să lucreze secția de răcire. Descărcarea cerealelor din uscător se efectuează prin pâlnia de la baza turnului, cu ajutorul instalației de golire care poate fi reglată pentru diferite viteze de descărcare. La întreruperea funcționării, se oprește fluxul de boabe și se mai lasă să lucreze arzătorul și ventilatorul câteva minute, după care se decuplează automat arzătorul, datorită termostatelor din turnul de uscare sau se închide arzătorul, lăsându-se ventilatorul să lucreze până la golirea completă a turnului de uscare.



*Fig. 3.11 Uscător RIELA model GUT – Localitatea Pecica, județul Arad [94].*

Gama uscătoarelor RIELA tip GUT, cu funcționare automată, sunt foarte asemănătoare cu cel prezentat anterior; în figura 3.11 este prezentat un asemenea uscător, iar în tabelul 3.3 sunt prezentate câteva caracteristici tehnice ale acestuia.

Caracteristici tehnico – funcționale ale uscătoarelor RIELA tip GUT Tabelul 3.3

Date /Tip	GUT 190/3/2	GUT 190/4/2	GUT 190/5/3	GUT 190/6/3	GUT 190/7/4
Productivitate (porumb) t/h	1,5	1,8	2,1	3,2	4,0
Putere calorică necesară	550000	700000	800000	1200000	1500000
Putere electrică absorbită KW	14	17,5	18,1	22,1	30,1
Debit necesar de aer (m <sup>3</sup> / h)	13500	18000	22500	30000	36000
Capacitate uscător (kg)	10200	11700	15200	16600	20200
Număr zone de uscare	3	4	5	6	7
Număr zone tampon	2	2	3	3	4
Înălțime totală (m)	5,9	6,6	7,9	8,5	9,8
Aria bazei turnului de uscare (m <sup>2</sup> )	3,2x2,4	3,2x2,4	3,2x2,4	3,2x2,4	3,2x2,4

Atunci când este necesară o capacitate mare de uscare, corelată cu un tratament blând al cerealelor este indicată folosirea unor uscătoare precum cel din figura 3.12.

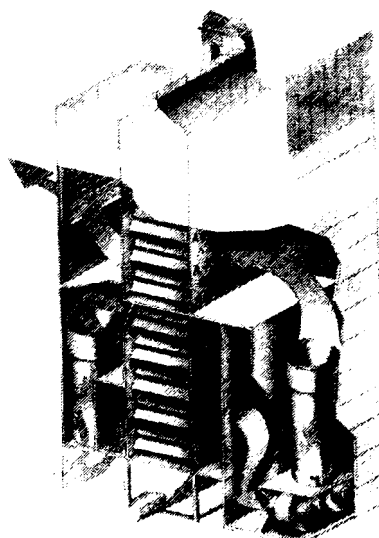


Fig. 3.12 Uscător BONFANTI - Silosistem Timișoara [101].

Specific acestui tip de uscător este faptul că cele două generatoare de aer cald, cu temperaturi diferite ale agentului de uscare (40 - 60 °C pentru bateria inferioară, respectiv 110 ÷ 120 °C pentru bateria superioară), funcționează cu recuperarea căldurii agentului de uscare, obținând randamente foarte mari.

Generatoarele de căldură, de mare randament, funcționează pe bază de aer/gaze de ardere, cu coeficient ridicat al excesului de aer.

Modelele de uscătoare realizate de firma Bonfanti, reușesc obținerea unor producții foarte bune, astfel, pentru uscarea porumbului:

- de la umiditate 28% la 14% = 120 ÷ 1450 tone/zi,
- de la umiditate 24% la 14% = 140 ÷ 1665 tone/zi.

Pentru uscarea loturilor de cereale la care se urmărește în mod prioritar menținerea caracteristicilor germinative în vederea utilizării acestora pentru semănat și orice depășire a temperaturii agentului de uscare poate compromite calitatea produsului, utilizarea vidului aduce avantaje atât în ceea ce privește reglarea cât și menținerea constantă a temperaturii de uscare. De asemenea scade consumul de agent de uscare, deoarece, de exemplu, pentru un vid de 85%, temperatura de evaporare scade la 33 °C.

Produsele supuse la această temperatură cedează în mod uniform umiditatea suplimentară din toate boabele, operația fiind influențată de condițiile atmosferice exterioare. Difuzia umidității din centrul boabelor spre suprafață se desfășoară în condiții favorabile, învelișurile nu se întăresc și nu se *cementează* la suprafață, obținându-se în final o uniformizare a temperaturii în toată masa de boabe.

Construcția cea mai frecventă a unui astfel de uscător, este de tip Buhler, folosit la uscare porumbului (figura 3.13), care utilizează abur de joasă presiune.

Instalația constă dintr-o coloană verticală înaltă de 14,5 m, având secțiunea rotundă pe toată lungimea, cu un diametru de 1815 mm. Coloana se compune din patru părți distincte, astfel:

- ♦ zona de recepție produs 1, în care se produce un vid redus,
- ♦ zona de uscare eșalonată 11, pe patru sectoare, unde se produce un vid avansat,
- ♦ zonă pregătitoare pentru evacuare, 7 unde vidul se reduce,
- ♦ zonă de răcire 12, înainte de evacuarea completă a masei de boabe.

Alimentarea se face pe la partea superioară, reglarea debitului coloanei făcându-se cu ajutorul unor valve conice 1 și 13, plasate atât la intrare, cât și la evacuare, acționate de un motor electric. Pe timpul deschiderii succesive a valvelor

intră în funcțiune și pompele de vid pentru restabilirea vidului atât în cele două zone, cât și în restul coloanei.

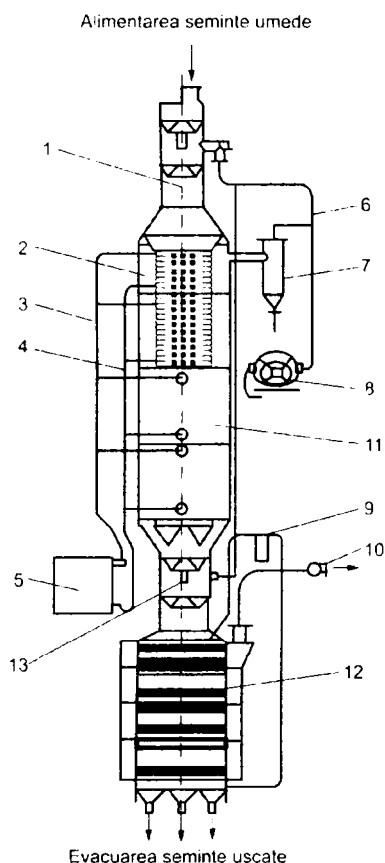


Fig.3.13 Uscător de cereale cu abur și vid de tip BUHLER.

Coloana verticală este construită dintr-o manta de tablă, fiind compusă din mai multe tronsoane îmbinate etanș și prevăzute cu elemente de încălzire. Zonele de uscare sunt formate din două coloane semicilindrice, în interiorul cărora se găsesc tuburile 2 cu secțiune ovală, prin care se introduce abur de joasă presiune. Alimentarea cu abur se face prin conductele exterioare 3, alimentate de la generatorul de abur saturat 5. Condensul format se evacuează prin conducta 4, acesta revenind la generatorul de abur pentru verificarea presiunii și repunerea în circuit.

Vidul este asigurat cu ajutorul pompei de vid 8, racordată la coloana de vid. În circuitul de vid – pompă, conductă, coloană – este intercalat recipientul tampon 7, pentru preluarea variațiilor de presiune în timpul funcționării. Răcirea masei de boabe în zona de evacuare se face prin vehicularea aerului rece cu ajutorul ventilatorului 10, instalația fiind completată și cu higrometrul 9. Acest tip de

uscător, poate realiza o capacitate de uscare de 5 t/h la o reducere a umidității porumbului de 5 %, în limitele 22 % ÷ 17 %, printr-o singură trecere prin coloană.

Deși realizează o uscare net superioară din punct de vedere calitativ, față de celelalte tipuri de uscătoare, uscătoarele sub vid necesită cheltuieli de investiții mari, întreținere dificilă și deservirea de personal calificat.

**Uscătoarele în pat fluidizat** (figura 3.14) au avantajul unei amestecări uniforme a materialului cu aerul și obținerea unei calități superioare a produsului finit. Cerealele sunt introduse în uscător pe la partea superioară și se deplasează în jos sub acțiunea greutateii proprii pe un grătar înclinat în trepte, în contracurent cu aerul cald.

Agentul de uscare este suflat printre treptele grătarului cu o viteză de 0,6÷0,8 m/s, menținând semințele în strat fluidizat. La ieșirea din camera de uscare, materialul intră în camera de răcire 2, care este prevăzută cu un grătar în trepte și în care se introduce aer la temperatura mediului ambiant.

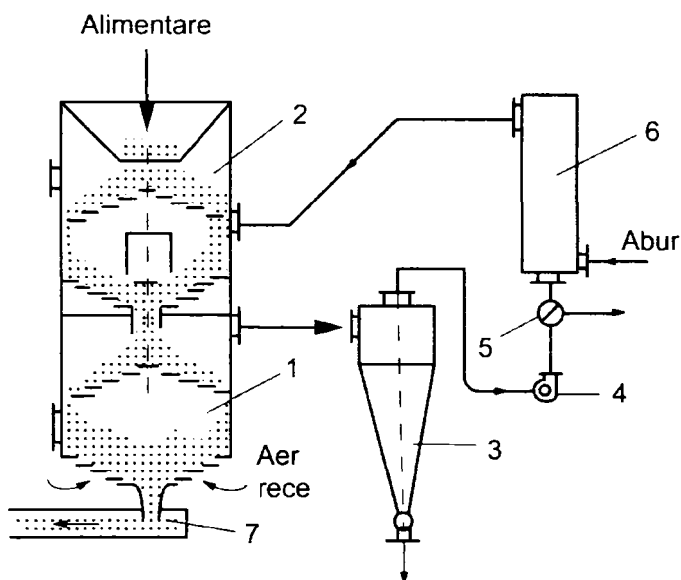


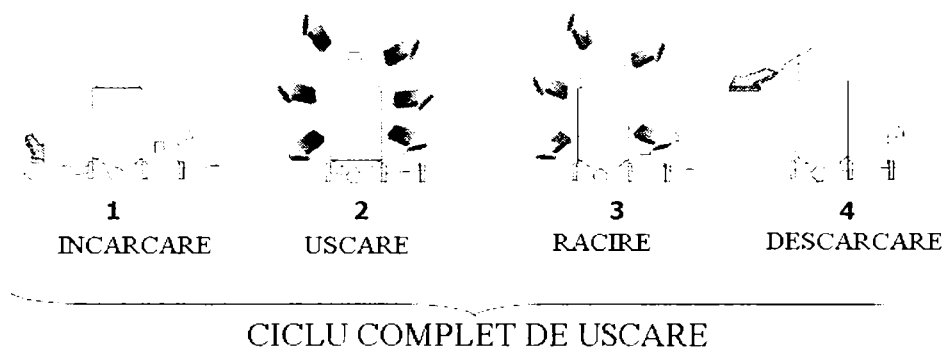
Fig.3.14 Uscător de cereale în strat fluidizat.

1- camera de uscare; 2 – camera de răcire; 3 – ciclon; 4 – exhaustor; 5 – clapetă de reglare; 6 – schimbător de căldură; 7- transportor

Aerul care iese din camera de răcire trece prin ciclonul 3, pentru a se îndepărta impuritățile antrenate din masa materialului și apoi este încălzit și introdus în camera de uscare. Pentru intervenția mai rapidă asupra unor loturi de cereale care reclamă reduceri de umiditate, loturile respective urmând să rămână mai

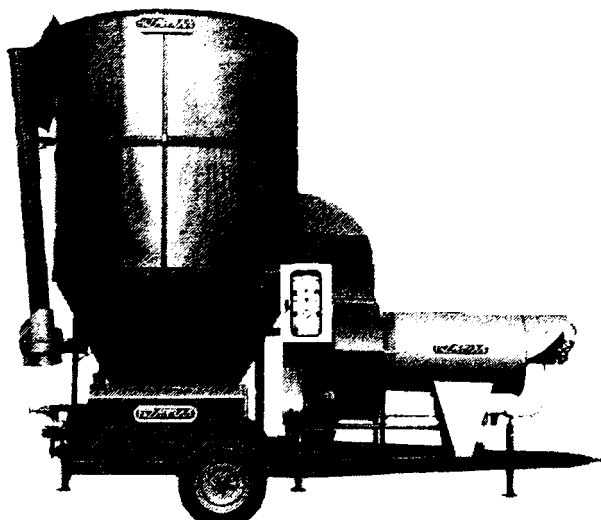
departe în depozitele în care se află, sistemul cel mai economic este folosirea unor uscătoare mobile, care se pot deplasa rapid și cu ușurință de la un depozit la altul.

Realizările actuale, ale ultimelor tipuri de uscătoare mobile, permit efectuarea automată sau mecanică a întregului ciclu de activități specifice având prevăzute sisteme de primire, umplere, recirculare și evacuare a produsului (figura 3.15)



*Fig. 3.15 Fluxul activităților efectuate de către uscătoarele mobile.*

Din rândul acestor uscătoare, menționez pe cele realizate de firmele Mecmar, Zaffrani (figura 3.16) din Italia, Agrex (figura 3.17), MEPU din Finlanda și GT din USA (figura 3.18).



*Fig. 3.16 Uscător mobil, firma ZAFFRANI.*

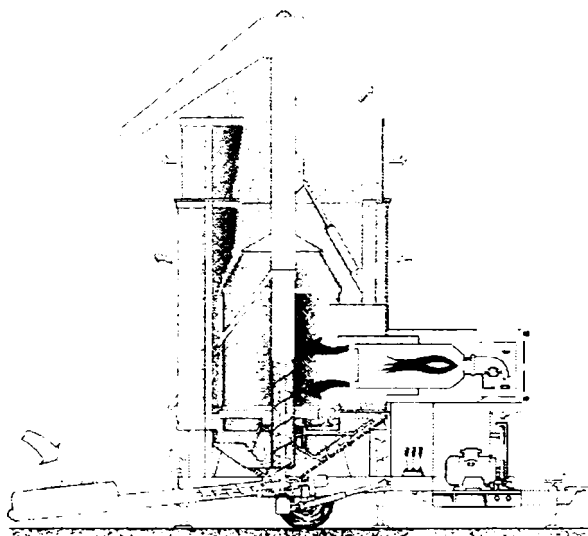


Fig. 3.17 Uscător mobil, firma AGREX.

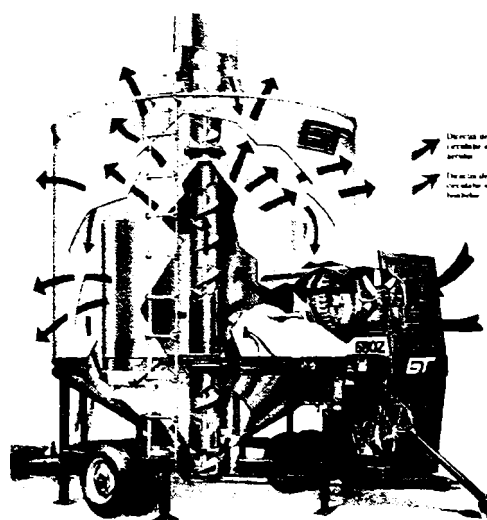


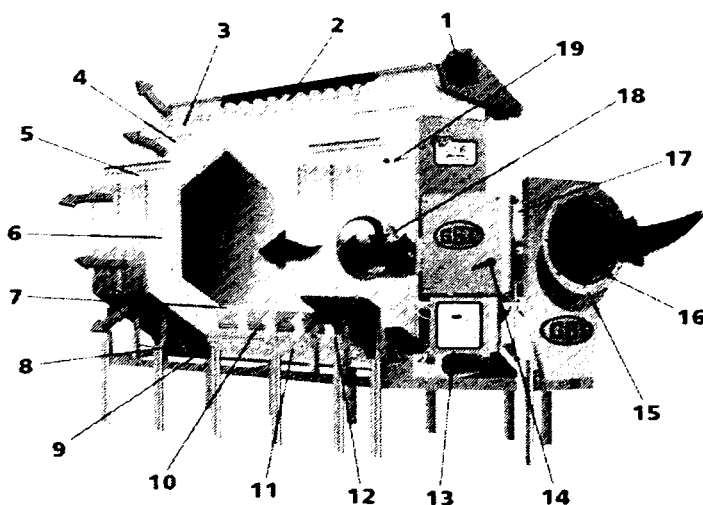
Fig. 3.18 Uscător mobil, firma GT.

Principial, uscătoarele mobile prezentate sunt compuse dintr-o cameră de uscare, aflată între două suprafețe cilindrice realizate din tablă perforată. Alimentarea se face prin partea inferioară, cu ajutorul unui transportor elicoidal, după care cerealele sunt preluate de un șnec de recirculare și ridicate în partea superioară a instalației. De aici, cerealele coboară printre cele două suprafețe perforate către partea inferioară, timp în care sunt ventilate ce aer cald de la interior către exterior.



Agentul de uscare poate fi: aerul cald obținut prin combustia propanului (motorină, gaz natural) într-un generator de aer cald sau amestecul de aer și gaze de ardere obținute într-un arzător și insuflăte în masa de cereale cu ajutorul unui ventilator. Soluția constructivă aleasă este în funcție de destinația cerealelor, pentru consumul uman folosindu-se acele uscătoare care folosesc ca agent de uscare aerul cald. După îndepărtarea cantității necesare de umiditate, produsul este evacuat pe la partea superioară cu ajutorul unui șnec de evacuare. Funcționarea uscătoarelor este controlată automat, momentul evacuării produsului final fiind dictat de scăderea sub o anumită valoare reglabilă a diferenței dintre temperatura agentului de uscare și cea a produsului.

Prin conceperea unei instalații de automatizare bazate pe programe de uscare foarte evoluat, implementate în automatul programabil, s-a ajuns la consumuri energetice mici. Aceste uscătoare sunt mobile sau staționare, într-o concepție modulată, cu posibilitatea varierii ușoare a capacității de prelucrare. Uscătoarele fără recuperarea căldurii GSI (figura 3.19) și FARM FANS (figura 3.20), din USA, atât cele staționare cât și cele mobile, se caracterizează prin faptul că deplasarea produsului în interiorul utilajului se face cu ajutorul unor arbori elicoidali, în plan orizontal și gravitațional, în plan vertical.



*Fig. 3.19 Uscător mobil, firma GSI [93].*

1- Antrenare șnec, 2- Șnec uniformizare, 3- Buncăr de preuscare, 4- Sită oțel galvanizat, 5- Perforații în sită, 6- Coloane de uscare, 7-Capac de acces la șnecul de descărcare, 8- Trapă acces coloanele de uscare, 9- Trape de golire, 10- Sibăre de descărcare, 11- Șnec evacuare, 12-Termostat, 13- Panou comandă, 14- Instalație electrică, 15-Arzător, 16- Ventilator, 17-Arzător, 18-Camera amestec aer încălzit, 19 - Instalație iluminare

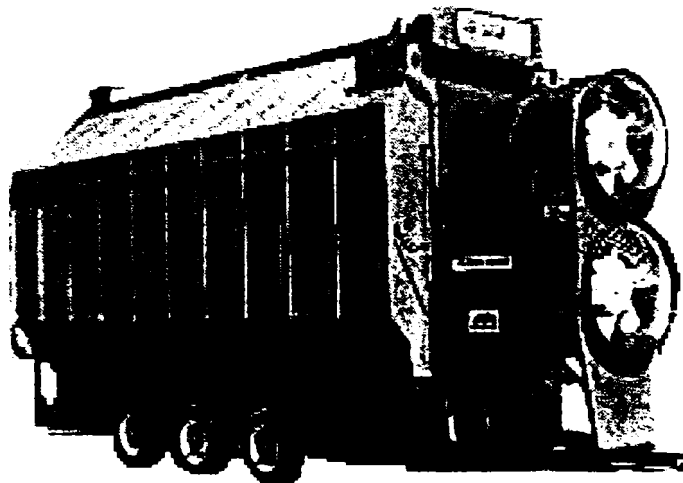
În figura 3.19, se prezintă funcționarea unui astfel de uscător. Alimentarea se efectuează pe la partea superioară, cerealele sunt apoi preluate de un șnec de uniformizare și distribuite în coloanele de uscare.

Cele două sitele din oțel galvanizat, de formă hexagonală, formează buncărul de preuscare, iar între cele două site, în coloanele de uscare se află produsul supus uscării.

În acest mod se formează un canal central de circulație a aerului care este forțat să străbată stratul de cereale aflat între cei doi pereți de tablă perforată. Forma și dimensiunile camerei de uscare sunt special proiectate pentru a se putea obține un flux uniform de aer cald prin stratul de cereale cu grosimea de 356 mm.

Ventilatoarele utilizate la aceste tipuri de uscătoare sunt axiale, de înaltă presiune. Arzătoarele utilizate, pot folosi atât gaze naturale cât și GPL, sunt prevăzute cu termostat de control a temperaturii înalte și joase de uscare, cu aprindere integrală electrică și cu sistem de comandă cu supravegherea flăcării.

Sistemul de control automat al umidității este echipat cu un microprocesor și traductoare de temperatură pe toată lungimea camerei de uscare, iar protecția este asigurată prin relee de suprasarcină, termostate de temperaturi înalte, protecție magnetică individuală a motoarelor, temporizator de întrerupere, care se activează automat atunci când buncărul de cereale este gol, precum și prin comandă dublă pentru arzătorul în două trepte.



*Fig. 3.20 Uscător mobil, firma Farm Fans, model H 500.*

Firmele GSI și Farm Fans Corp, liderii mondiali în construcția uscătoarelor de cereale, oferă zeci de tipuri de astfel de instalații, complet automatizate, modulare,

cu posibilitatea extinderii capacității de producție, manevrabilitate ușoară, concepute și perfecționate prin simulări și modelări ale proceselor ce au loc în timpul uscării.

Atât tipurile de uscătoare GSI cât și Farm Fans au executat și variante fixe ale acestor uscătoare. În tabelul 3.4. sunt prezentate câteva caracteristici ale uscătoarele Farm Fans seria H, fixe.

*Caracteristici tehnico – funcționale ale uscătorului FF, seria H Tabelul 3.4*

Caracteristici \ Tipuri	500 H	750 H	850 H	1000H	1500 H
Construcția de bază	1 modul 2 etaje	2module 3 etaje	2module 3 etaje	2module 3 etaje4	2module 6 etaje
Lungimea coloanei de cereale (m)	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09
Capacitate totală (tone)	15,1	25,4	25,4	27,9	40,4
Capacitate uscare porumb(tone /oră) încălzire totală 25-15 %	15,1	23,9	27,1	30,2	45,3
Capacitate uscare porumb(tone /oră) încălzire totală 20-15 %	25,6	40,3	44,3	51,1	76,7
Capacitate uscare porumb(tone /oră) uscare - răcire 25-15 %	9,5	15,2	15,2	20,3	30,9
Capacitate uscare porumb(tone /oră) uscare - răcire 20-15 %	13,2	23,6	26,4	28,3	42,4

Uscătoarele din seria H, au fost concepute pentru capacități mari de uscare, oferind utilizatorilor posibilitatea măririi capacității de producție cu investiții mici.

Astfel se poate achiziționa într-o primă fază un prim modul, urmând ca apoi, în funcție de necesități să se adauge pe verticală unul sau chiar două module, care pot lucra fie în paralel, fie în serie (realizând o uscare în mai multe trepte, de foarte bună calitate pentru cerealele termolabile sau cu destinații speciale).

### **3.5 Concluzii**

1. Dată fiind multitudinea de procedee folosite pentru transmiterea căldurii de la agentul termic la cerealele supuse uscării, precum și a diversității soluțiilor constructive, pentru analiza instalațiilor existente în funcționare la ora actuală , s-a structurat construcția generală a unui uscător prin schema bloc din figura 3.4.

2. Din studiul întreprins se constată că pentru o uscare economică și de calitate, soluția constructivă aleasă pentru fiecare component al instalației (cameră de uscare, sistem de transport, etc.) trebuie să catalizeze și să amplifice pe cât posibil, acțiunea sistemului de intensificare a transferului de căldură și masă.

3. Tendința actuală este ca instalațiile de uscare să prezinte unul sau mai mulți parametri reglabili, realizându-se astfel adaptabilitatea sistemului la modificarea condițiilor de mediu (temperatură, umiditate relativă), sau a caracteristicilor cerealelor (consum, germinație).

4. Dintre metodele de uscare existente, pentru capacități de lucru mari, uscarea prin convecție este cea mai utilizată, ea fiind uneori precedată de o preîncălzire prin conducție a semințelor. Uscare prin radiație este limitată de permeabilitatea scăzută a cerealelor față de radiațiile termice, iar cea prin curenți de înaltă frecvență este deocamdată costisitoare.

5. În cazul cerealelor pentru sămânță s-au impus uscătoarele sub vid, însă costul ridicat și întreținerea dificilă a acestora au condus la înlocuirea lor, cu performanțe asemănătoare, de noile generații de uscătoare tip coloană, în care temperatura și umiditatea semințelor este strict monitorizată cu ajutorul sistemelor performante de reglare automată.

6. Dintre uscătoarele convective, instalațiile cu cuvă cu canale de distribuție a aerului cunosc o mare răspândire, datorită construcției simple, a costurilor de întreținere reduse și a capacităților de lucru ridicate. Tendința actuală în construcția uscătoarelor de

7. Există o preocupare constantă de perfecționare a proceselor tehnologice clasice, în vederea reducerii consumurilor energetice și găsirea de noi soluții energetice (energia solară, geotermală, eoliană, biomasa de toate formele, a deșeurilor). Tendința actuală în construcția uscătoarelor de cereale este aceea a realizării unor instalații compacte, complet automatizate, prevăzute opțional cu echipament propriu de rulare, cu o gamă diversă de capacități de lucru, cu posibilitatea extinderii ulterioare a capacității de producție, astfel:

- reducerea pierderilor la nivelul pereților, prin operațiuni clasice de ameliorare a etanșeității și a gradului de izolare;
- operațiuni de recuperare a căldurii, prin recuperarea energiei calorice a aerului uzat evacuat din instalațiile de uscare;
- folosirea unor noi surse de încălzire, cum ar fi: utilizarea arzătoarelor cu propan sau gaz natural, pentru obținerea aerului cald, ceea ce asigură un randament termic superior, utilizarea energiei solare pentru producerea directă de aer cald cu ajutorul captatorilor plani sau de concentrare;
- modificarea condițiilor de funcționare a uscătoarelor, prin: utilizarea unui aer foarte cald la limita admisă de materialul supus uscării; saturarea maximă a

aerului; reciclarea unei părți aerului; ameliorarea reglării uscătoarelor prin introducerea echipamentelor de automatizare;

- folosirea pompelor de căldură (pompe cu fluid exterior și pompe de căldură cu acțiune directă, la care uscarea se realizează cu vapori supraîncălziți, care la ieșirea din uscător sunt recomprimați;

- modificarea modului de uscare, prin creșterea vitezei de transfer căldură – substanță;

- intensificarea procesului de evaporare și evitarea formării unei cruste la suprafața materialului.

8. În vederea depozitării de calitate și pentru lungă durată a produselor cerealiere, se impune implementarea regulilor de bune practici privind activitățile specifice în baze de recepție și silozuri, iar activitatea de uscare a cerealelor să constituie o preocupare permanentă a societății comerciale respective în vederea limitării/anulării posibilității contaminării cerealelor pe durata depozitării.

# Capitolul 4

## STADIUL ACTUAL PRIVIND CERCETĂRILE TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE ÎN DOMENIUL USCĂRII CEREALELOR

### 4.1 Stadiul actual privind cercetarea teoretică a uscării cerealelor.

#### 4.1.1. Considerații generale.

Toate procedeele cunoscute pentru uscarea cerealelor, se bazează pe faptul că apa se evaporă de pe suprafața bobului, fiind expusă la acțiunea aerului și având o umiditate relativă potrivit de scăzută. Uscătoarele diferă între ele în special prin modurile structurale și mecanice ce au ca țintă stabilirea contactului mutual dintre bob și aer, precum și controlul timpului de expunere într-un astfel de mod, în care cerealele vor fi uscate satisfăcător, în timp ce capacitatea de uscare a aerului este exploatată la maxim.

Eliminarea apei din materialele umede este posibilă datorită apariției în procesul uscării a unui gradient de temperatură care să permită transferul de căldură între mediul ambiant și suprafața materialului. Simultan, datorită existenței unui gradient de concentrație apare un proces de difuzie a umidității prin material, din interior spre exterior, urmat de trecerea vaporilor prin filmul strat limită superficial spre mediul ambiant [33, 34]. În calculul unui proces de uscare trebuie să se urmărească o serie de elemente ca:

- *bilanțul de materiale*, cu determinarea necesarului de umiditate de eliminat și a necesarului de agent de uscare,
- *bilanțul caloric*, cu determinarea necesarului de căldură pentru realizarea uscării,
- *determinarea duratei*, pentru operația de uscare în diferite faze și în totalitate.

Bilanțul de materiale și bilanțul caloric urmăresc procesul de uscare la limită, fără să precizeze decât anumite condiții marginale de desfășurare a procesului. Din aceste motive, calculele legate de bilanțul materialelor și bilanțul caloric cuprind împreună ansamblul de fenomene de **statica uscării**. Determinarea duratei

operației de uscare pătrunde în cinetica de desfășurare a procesului și în ansamblu redă **cinetica uscării**. Conform celor arătate în capitolul 3, instalațiile de uscare a cerealelor la scară industrială, folosesc în majoritate principiul uscării prin convecție, iar ca agent termic un amestec de aer și gaze de ardere [13, 15, 16].

#### 4.1.2. Proprietățile amestecurilor de aer și gaze de ardere

Gazele produse prin arderea combustibililor gazoși, lichizi sau solizi sunt amestecate cu aer pentru reducerea temperaturii până la o valoare corespunzătoare materialului supus uscării, iar ordinul de mărime al excesului de aer  $\lambda$  fiind cuprins între  $20 \div 30$ . Conform noilor reglementări privind siguranța alimentelor, pentru a putea utiliza gazele de ardere ca agent de uscare, este necesar să se utilizeze combustibili cu un conținut neglijabil de sulf, fără antrenarea de funingine sau cenușă [37, 38].

În aceste condiții participația gazelor de ardere în amestec este de  $(3 \div 5)\%$ , astfel încât se poate considera, cu o eroare neglijabilă, că proprietățile amestecului aer – gaze de ardere sunt identice cu ale aerului. În aceste condiții, pentru amestecul de aer și gaze de ardere, folosit ca agent termic în instalația de uscare, putem utiliza diagrama  $i_{1+x} - x$  a aerului umed (Anexa 1).

Umiditatea amestecului aer – gaze de ardere este mai mare decât umiditatea aerului atmosferic datorită vaporilor de apă produși prin oxidarea hidrogenului sau hidrocarburilor din combustibil. Dacă în focarul instalației de uscare se arde un combustibil lichid sau solid, a cărui compoziție chimică elementară precizată prin participația masică a elementelor este [44, 45, 46]:

$$C + H + S + N + O + W + A = 1 \text{ (kg)} \quad [4.1]$$

cantitatea minimă de aer uscat necesar arderii unității de cantitate de combustibil are expresia:

$$M_a^0 = \rho_{Na} V_a^0 = 11,5C + 4,3S + 34,5 \left( H - \frac{O}{8} \right), \left( \frac{\text{kg} \cdot \text{aer}}{\text{kg} \cdot \text{comb}} \right) \quad [4.2]$$

Pentru realizarea temperaturii  $t_1$ , de intrare în uscător a amestecului aer – gaze de ardere, cantitatea totală de aer este  $\lambda M_a^0$ , astfel că expresia bilanțului de masă luând în considerare conținutul de umiditate  $x_0$  al aerului atmosferic, este:

$$\begin{aligned}
& 1[\text{kg. comb.}] + \lambda M_a^0 [\text{kg aer uscat}] + \lambda M_a^0 x_0 [\text{kg umiditate din aer}] = \\
& = [1 + \lambda M_a^0 (9H+W+A)] [\text{kg gaze uscate}] + (\lambda M_a^0 x_0 + 9H+W) [\text{kg umiditate}] + \\
& + A [\text{kg cenușă}]. \qquad \qquad \qquad [4.3]
\end{aligned}$$

Din această relație se deduce conținutul de umiditate al amestecului de aer și gaze de ardere la intrarea în camera de uscare:

$$x_1 = \frac{\lambda M_a^0 x_0 + 9H + W}{1 + \lambda M_a^0 - (9H + W + A)}, \quad (\text{kg umiditate /kg gaze uscate}), \quad [4.4]$$

Valoarea coeficientului de exces de aer  $\lambda$ , necesar atingerii temperaturii  $t_1$  de gaze, la intrarea în camera de uscare se determină din ecuația bilanțului termic:

$$c_c t_c + \lambda M_a^0 i_{1+x_0} + H_i \eta_f = [1 + \lambda M_a^0 - (9H + W + A)] c_{pg} t_1 + (\lambda M_a^0 i_{1+x} + 9H + W) i_{v_1} \quad [4.5]$$

(kJ/kg comb),

Astfel, excesul de aer devine:

$$\lambda = \frac{c_c t_c + H_i \eta_f - [1 - (9H + W + A)] c_{pg} t_1 - (9H + W) i_{v_1}}{M_a^0 (c_{pg} t_1 + x_0 i_{v_1} - i_{1+x_0})} \quad [4.6]$$

în care:

- $c_c$  = căldura specifică a combustibilului, (kJ/kg K),
- $t_c$  = temperatura combustibilului, °C ,
- $H_i$  = puterea calorică inferioară a combustibilului, (kJ/kg),
- $\eta_f$  = randamentul arderii în focar,
- $c_{pg}$  = căldura specifică la presiune constantă a gazelor, la temperatura  $t_1$ , (kJ/kgK),
- $i_{v_1}$  = entalpia vaporilor de apă la temperatura  $t_1$ ;  $i_{v_1} = 2500 + 1,86 t_1$ , (kJ/kg),
- $x_0$  = conținutul inițial de umiditate al aerului atmosferic, (kg/kg aer uscat)
- $i_{1+x_0}$  = entalpia aerului, corespunzătoare temperaturii inițiale  $t_0$  și conținutului de umiditate  $x_0$ , (kJ/kg aer uscat)

#### 4.1.3 Statica uscării.

În figura 4.1, este prezentată **schema generală a unei instalații de uscare prin convecție**, cu aer cald [59, 60]. Materialul umed intră în pâlnia de încărcare  $a$ , și cu ajutorul unui dispozitiv de transport se deplasează în lungul



camerei de uscare  $b$ , până la racordul de ieșire  $c$ . Aerul rece, aspirat de ventilatorul  $d$ , se încălzește cu ajutorul bateriilor  $e$ , circulă în contracurent cu materialul supus uscării absorbind o parte din umiditatea materialului, după care este eliminat din uscător. Suplimentar, camera de uscare se încălzește cu ajutorul radiatoarelor  $f$ , care aduc aportul de căldură  $Q_s$ .

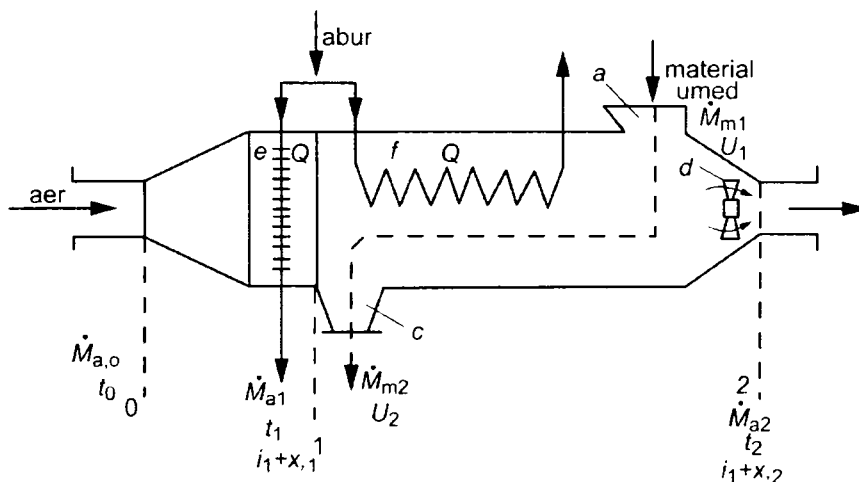


Fig. 4.1. Schema generală a unei instalații de uscare prin convecție.

Bilanțul de material permite stabilirea consumului specific de aer, conform fig. 4.1, se poate scrie:

$$\dot{M}_{a1}x_1 + \dot{M}_{m1}U_1 = \dot{M}_{a2}x_2 + \dot{M}_{m2}U_2 \quad [4.7]$$

unde:

- $\dot{M}_{a1}, \dot{M}_{a2}$  = debitele masice de aer uscat la intrarea, ieșirea din camera de uscare (kg/s),
- $x_1, x_2$  = conținutul de umiditate al aerului la intrarea, ieșirea din camera de uscare (kg umiditate / kg aer uscat),
- $U_1, U_2$  = conținutul de umiditate al materialului la intrarea, respectiv ieșirea din camera de uscare, ( kg umiditate / kg material),
- $\dot{M}_{m1}, \dot{M}_{m2}$  = debitele masice de material la intrare, respectiv ieșire (kg/s)

Umiditatea evacuată, va fi:

$$\Delta \dot{U} = \dot{M}_{a2}x_2 - \dot{M}_{a1}x_1 = \dot{M}_{m1}U_1 - \dot{M}_{m2}U_2 \quad [4.8]$$

unde:

- $\Delta \dot{U}$  = diferența de umiditate între valoarea inițială și finală, raportată la timpul de uscare (kg/s).

Debitul de aer uscat care parcurge instalația este constant:  $\dot{M}_{a1} = \dot{M}_{a2} = \dot{M}_a$ , rezultă:

$$\Delta \dot{U} = \dot{M}_a (x_2 - x_1) \quad [4.9],$$

Iar consumul specific de aer este:

$$l = \frac{\dot{M}_a}{\Delta \dot{U}} = \frac{1}{x_2 - x_1}, \quad (\text{kg aer / kg umiditate}) \quad [4.10]$$

Pierderile de căldură prin încălzirea materialului supus uscării între temperaturile de intrare și ieșire  $t_{m1}$ ,  $t_{m2}$ , sunt:

$$\dot{Q}_m = \dot{M}_{m2} c_{m2} t_{m2} - \dot{M}_{m1} c_{m1} t_{m1} = \dot{M}_{m2} c_{m2} (t_{m2} - t_{m1}) - \Delta \dot{U} c_{apa} t_{m1}, \quad (\text{kJ/s}) \quad [4.11]$$

- $c_m$  = căldura specifică a materialului supus uscării (kJ/Kg K),
- $c_{apa}$  = căldura specifică a apei, (4,19 kJ/kg K)

Prin încălzirea utilajului de transport, apare o pierdere de căldură, care se exprimă prin relația:

$$\dot{Q}_{tr} = \dot{M}_{tr} c_{tr} (t_{tr2} - t_{tr1}), \quad (\text{kJ/s}) \quad [4.12]$$

unde:

- $\dot{M}_{tr}$  = debitul masic al pieselor mobile din instalația de transport, raportat la timpul de uscare, (kg/s),
- $c_{tr}$  = căldura specifică a materialului din care sunt executate piesele instalației de transport (kJ/kg K),
- $t_{tr1}$ ,  $t_{tr2}$  = temperatura inițială, respectiv finală a pieselor instalației de transport ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Pierderea de căldură către mediul exterior se obține prin însumarea fluxurilor transmise prin pereții camerei de uscare, astfel:

$$\dot{Q}_{ext} = \sum k S \Delta t_{med}, \quad (\text{kJ/s}), \quad [4.13]$$

unde:

- $S$  = suprafața pereților uscătorului, ( $\text{m}^2$ ),
- $k$  = coeficientul global de transfer de căldură, ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ),

- $\Delta t_{med}$  =diferența medie de temperatură între agentul termic și mediul exterior, (° C)

Ecuția bilanțului termic pentru camera de uscare, are prin urmare expresia:

$$\dot{M}_a i_{1+x,1} + \dot{Q}_s = \dot{Q}_m + \dot{Q}_{tr} + \dot{Q}_{ext} + \dot{M}_a i_{1+x,2} , \quad (W) \quad [4.14]$$

sau pentru 1 kg umiditate preluată de agentul de uscare:

$$l(i_{1+x,2} - i_{1+x,1}) = \dot{q}_s - (\dot{q}_m + \dot{q}_{tr} + \dot{q}_{ext}), \quad (W) \quad [4.15]$$

în care s-au introdus notațiile:

- $l = \frac{\dot{M}_a}{\Delta \dot{U}}$  , reprezintă consumul specific de aer al instalației, (kg aer/ kg umiditate),
- $\dot{q}_s = \frac{\dot{Q}_s}{\Delta \dot{U}}$  , reprezintă consumul specific de căldură în camera de uscare, (kJ/kg),
- $\dot{q}_m = \frac{\dot{Q}_m}{\Delta \dot{U}} = \frac{\dot{M}_{m2} c_{m2}}{\Delta \dot{U}} (t_{m2} - t_{m1}) - c_{apa} t_{m1}$  , pierderea specifică de căldură a materialului supus uscării, (kJ/kg),
- $\dot{q}_{tr} = \frac{\dot{Q}_{tr}}{\Delta \dot{U}}$  , consumul specific de căldură al utilajului de transport, (kJ/kg),
- $\dot{q}_{ext} = \frac{\dot{Q}_{ext}}{\Delta \dot{U}}$  , pierderea specifică de căldură spre mediul ambiant, (kJ/kg).

Ținând seama de expresia termenului  $\dot{q}_m$ , ecuația bilanțului termic, poate fi scrisă și sub forma:

$$l(i_{1+x,2} - i_{1+x,1}) = \dot{q}_s + c_{apa} t_{m1} - (\dot{q}_m + \dot{q}_{tr} + \dot{q}_{ext}), \quad (W) \quad [4.16]$$

unde:  $\dot{q}_m = \frac{\dot{M}_{m2} c_{m2}}{\Delta \dot{U}} (t_{m2} - t_{m1})$ , (kJ/kg), reprezintă consumul specific de căldură raportat la materialul uscat evacuat din instalație. Dacă se face notația:

$$\Delta \dot{q} = \dot{q}_s + c_{apa} t_{m1} - (\dot{q}_m + \dot{q}_{tr} + \dot{q}_{ext}), \quad [4.17]$$

ecuația bilanțului termic devine:

$$l(i_{1+x,2} - i_{1+x,1}) = \Delta q_s \quad [4.18]$$

sau ținând seama de expresia consumului specific de aer, rezultă:

$$l = \frac{1}{x_2 - x_1} = \frac{1}{x_D - x_B} = \frac{\Delta q}{i_{1+x,2} - i_{1+x,1}}, \quad [4.19]$$

În desfășurarea procesului de uscare pot exista trei situații:

- căldura introdusă suplimentar și cu materialul depășește suma pierderilor, deci  $\Delta q > 0$ ,
- căldura introdusă suplimentar nu este suficientă pentru acoperirea pierderilor, deci  $\Delta q < 0$ ,
- căldura introdusă compensează în totalitate pierderile,  $\Delta q = 0$ , în acest caz  $i_{1+x,2} = i_{1+x,1}$ .

În funcție de semnul lui  $\Delta q$ , diferența de entalpie a aerului la ieșire și la intrare va fi o mărime pozitivă sau negativă.

Pentru  $\Delta q > 0$ , entalpia aerului la ieșire va fi mai mare decât la intrare, procesul de uscare decurgând după dreapta BD, cu o pantă mai mare decât BC – care reprezintă uscarea cu  $i = \text{const.}$  (figura 4.2).

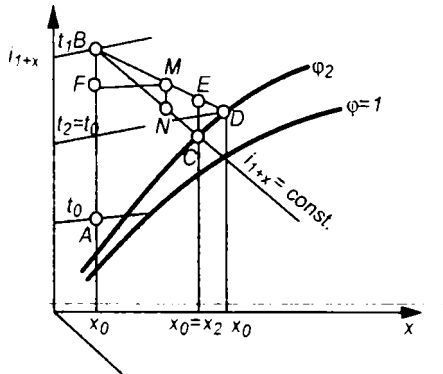


Fig 4.2 Reprezentarea procesului de uscare în diagrama  $i_{1+x}-x$ , pentru cazul când  $\Delta q > 0$ .

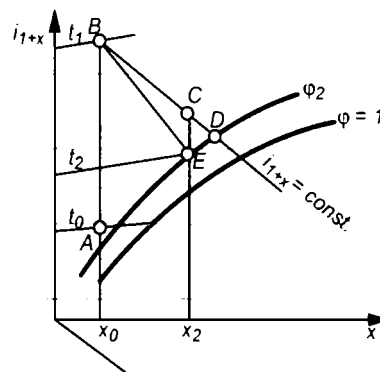


Fig. 4.3 Reprezentarea procesului în diagrama  $i_{1+x}-x$ , pentru cazul când  $\Delta q < 0$ .

Rezolvarea problemei constă în stabilirea pantei BD, care nu este paralelă cu abscisa auxiliară. În cazul menținerii valorii umidității relative  $\varphi_2$  a aerului la ieșirea din instalație, conținutul de umiditate al aerului este  $x_D > x_C$ , iar temperatura de ieșire a aerului  $t_0 > t_C$ .

În cazul conducerii procesului de uscare până la un conținut de umiditate  $x_C = x_E$ , se constată o valoare a umidității relative  $\varphi_E < \varphi_C$ , deci eficiența procesului de uscare este micșorată. Pentru orice punct oarecare M de pe dreapta BD, este îndeplinită condiția:

$$i_{l+x,M} - i_{l+x,N} = \frac{\Delta q}{l} = \Delta q (x_M - x_P) \quad [4.20]$$

deci:

$$MN = PM \Delta q \frac{m_x}{m_i} \quad [4.21]$$

unde,  $m_x$  și  $m_i$  reprezintă scara conținutului de umiditate, respectiv entalpiei.

Din această expresie se poate găsi valoarea pantei pe care are loc procesul real de uscare pentru situația când  $\Delta q > 0$ . Starea finală a procesului de uscare este determinată prin intersecția dreptei BD cu valorile finale pentru  $\varphi_2 = \text{const.}$  sau  $t_2 = \text{const.}$

Pentru  $\Delta q < 0$ , pierderile de căldură prin încălzirea materialului, dispozitivului de transport și în mediul înconjurător sunt mai mari decât căldura introdusă suplimentar în camera de uscare și o dată cu materialul supus uscării. În acest caz direcția liniei care caracterizează variația entalpiei aerului se determină în același mod ca în cazul precedent, cu diferența că segmentul CE se ia în jos (figura 4.3). Consumul specific global de căldură al instalației de uscare, potrivit notațiilor din figura 4.1 și relația [4.17] este:

$$q = \frac{i_{l+x,1} - i_{l+x,0}}{x_2 - x_0} + (q'_m + q_{tr} + q_{ext}) - c_{apa} t_{ml}, \text{ (kJ/kg)} \quad [4.22]$$

Acest consum de căldură este format din doi factori:

- ↳ consumul specific în bateria de încălzire:

$$q_b = \frac{i_{l+x,1} - i_{l+x,0}}{x_2 - x_0}, \quad [4.23]$$

- ↳ consumul specific de căldură suplimentară în camera de uscare:

$$q_s = \frac{i_{l+x,2} - i_{l+x,1}}{x_2 - x_1} + (q'_m + q_{tr} + q_{ext}) - c_{apa} t_{ml}, \quad [4.24]$$

Uneori procesul de uscare se efectuează cu **recircularea parțială a agentului termic**, caz în care la ieșirea din uscător, curentul de aer sau gaze de ardere se împarte în două (figura 4.4):

- o parte se elimină în atmosferă,
- cealaltă parte reintră în uscător prin bateria de încălzire sau chiar direct în uscător.

Dacă se definește factorul de recirculare prin expresia:

$$n = \frac{\dot{M}_{ar}}{\dot{M}_a}, \quad [4.25]$$

în care:

- $\dot{M}_{ar}$  = este debitul de aer recirculat,
- $\dot{M}_a$  = debitul de aer care intră în uscător,

atunci expresia de calcul a entalpiei amestecului este [4.26]:

$$i_{l+x_{am}} = \frac{i_{l+x,0} + n \times i_{l+x,2}}{l+n}, \quad [4.26]$$

iar conținutul de umiditate:

$$x_{am} = \frac{x_0 + n \times x_2}{l+n}, \quad [4.27]$$

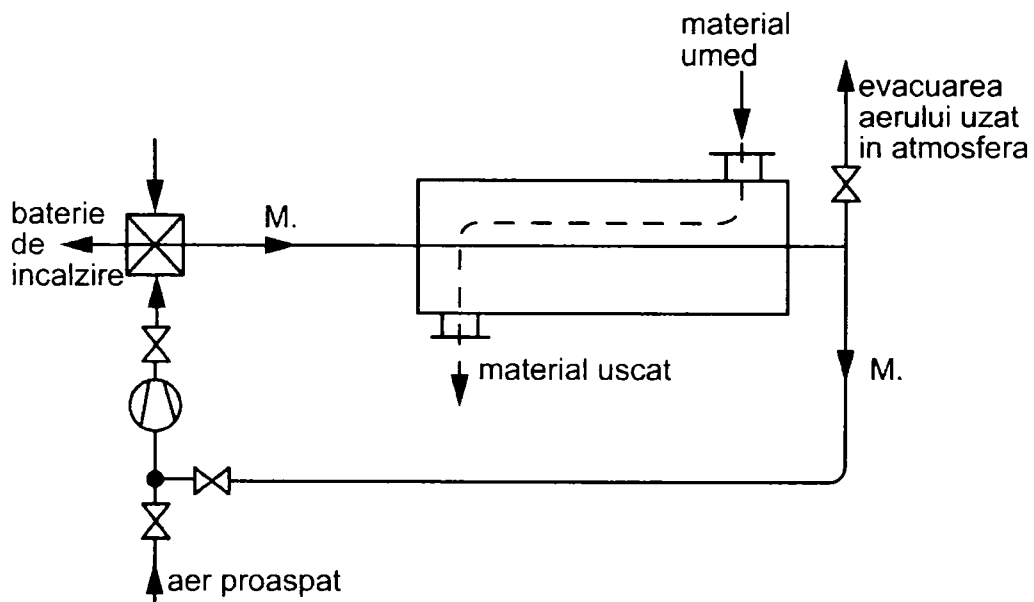


Fig. 4.4 Schema generală a unei instalații de uscare cu recirculare.

Rezolvând această ecuație în raport cu  $n$ , se obține:

$$n = \frac{x_{am} - x_0}{x_2 - x_{am}} = \frac{AM}{MC} \quad [4.28]$$

În diagrama  $i_{1+x} - x$ , procesul realizat într-un astfel de uscător teoretic este prezentat prin conturul  $AMB_1C$  (figura 4.5), iar consumul de aer aspirat din exterior pentru un astfel de uscător va fi:

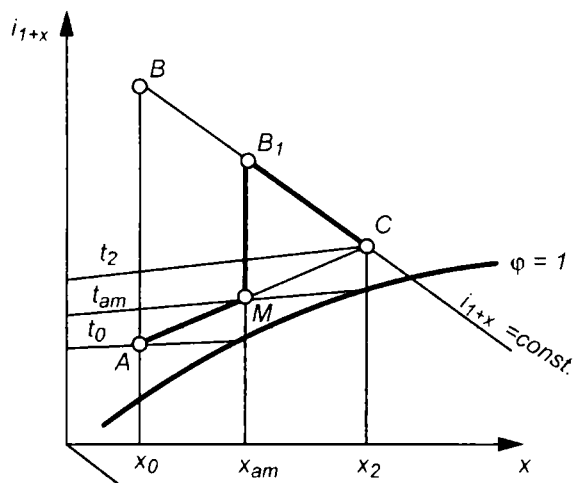


Fig. 4.5 Reprezentarea procesului de uscare cu recirculare în diagrama  $i_{1+x} - x$ .

$$l = \frac{1}{x_2 - x_0}, \text{ (kg/kg umiditate)}, \quad l_n = \frac{1}{x_2 - x_{am}}, \text{ sau } l_n = \frac{l}{1+n},$$

Valoarea consumului de căldură este dată de relația:

$$q = l(i_{l+x,2} - i_{l+x,0}), \text{ (kJ/kg umiditate)} \quad [4.29]$$

Prin recircularea agentului termic se reușește ca la aceleași valori ale lui  $t_1$ , să se mărească conținutul de umiditate al amestecului recirculat. Acest tip de uscare prezintă o serie de avantaje, dintre care se pot reține următoarele:

- modificarea gradientului de umiditate între material și agentul termic de uscare,
- micșorarea consumului de căldură pentru aceleași valori ale temperaturii aerului la intrarea și ieșirea din instalație,
- posibilitatea conducerii procesului de uscare la diferențe mici de temperatură între intrarea și ieșirea agentului de uscare.

În tehnica uscării se aplică și alte variante ale uscării convective cu aer cald:

- ◆ cu încălzire intermediară a aerului pe zone,
- ◆ cu recirculare și preîncălzire intermediară a aerului,
- ◆ cu circuit închis.

**Uscarea cu încălzire intermediară a aerului** (figura 4.6), se adoptă în scopul menținerii cât mai constante a nivelului de temperatură a aerului în uscător. Camera de uscare se împarte în mai multe zone, între care se instalează bateriile de încălzire intermediară a aerului. De obicei se indică stările inițiale și finale ale aerului, alegându-se stările intermediare în raport cu numărul de zone în care urmează să se împartă camera de uscare [63, 64].

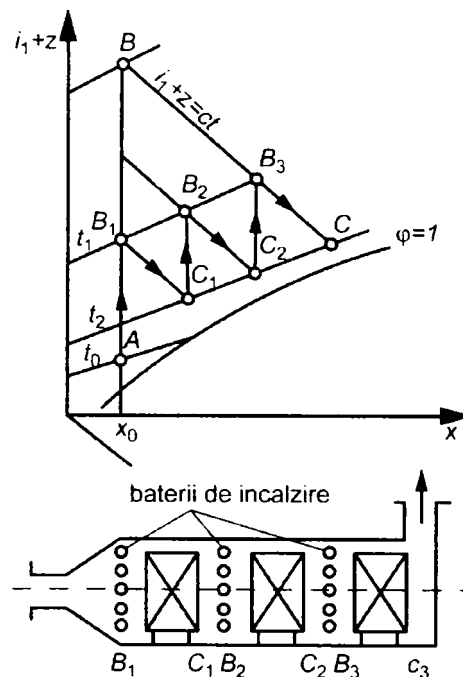


Fig. 4.6 Schema uscătorului cu încălzire intermediară a aerului.

**Uscarea cu recirculare și preîncălzire intermediară a aerului** (figura 4.7), oferă posibilitatea de a reduce temperatura aerului în camera de uscare, păstrându-se aceiași indicatori economici.



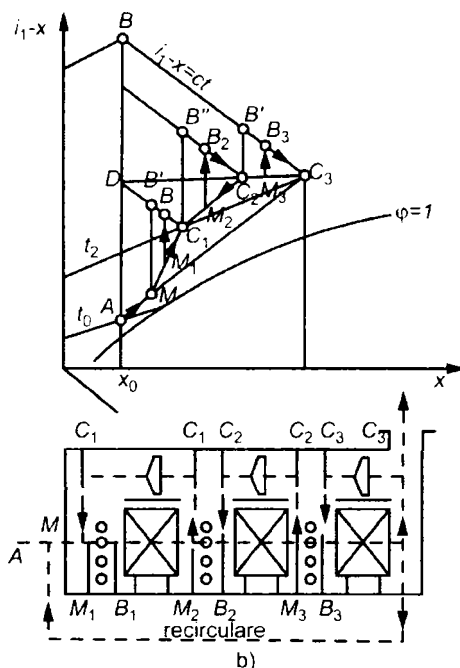


Fig. 4.7 Schema uscătorului cu recirculare și încălzire intermediară.

În aceste uscătoare, aerul utilizat din fiecare cameră se ramifică în două părți: o parte este aspirată de ventilatorul intermediar și se amestecă cu aer proaspăt, totul fiind încălzit în bateria de la intrarea în cameră, iar cealaltă parte intră în bateria de încălzire a zonei următoare împreună cu partea de aer recirculat proaspăt din această zonă.

Astfel de sisteme pentru recircularea aerului în uscător au căpătat o largă răspândire în industrie datorită faptului că sunt economice, uscarea făcându-se uniform, la temperaturi scăzute, dar cu viteze mari, datorită circulației rapide a aerului.

**Uscătoare cu circuit închis** (figura 4.8), sunt prevăzute cu condensatoare de suprafață sau de amestec, în care are loc condensarea parțială a vaporilor de apă din aerul uzat. Aerul iese din condensator la starea de saturație, cu un conținut redus de umiditate, fiind reîncălzit înainte de intrarea în uscător. Sistemul de uscare în circuit închis se adoptă atunci când:

- ❖ procesul necesită un aer cu puritate ridicată,
- ❖ se usucă produse din care se degajă componenți valoroși din punct de vedere economic, care condensează la temperaturi joase, iar în acest caz condensatorul se poate înlocui cu substanțe adsorbante care parcurg ciclul sorbție – desorbție,

- ❖ umiditatea aerului exterior este egală sau mai mare decât a aerului uzat,
- ❖ din calcule tehnico – economice rezultă necesitatea adoptării unui astfel de sistem, prin comparație cu alte variante posibile.

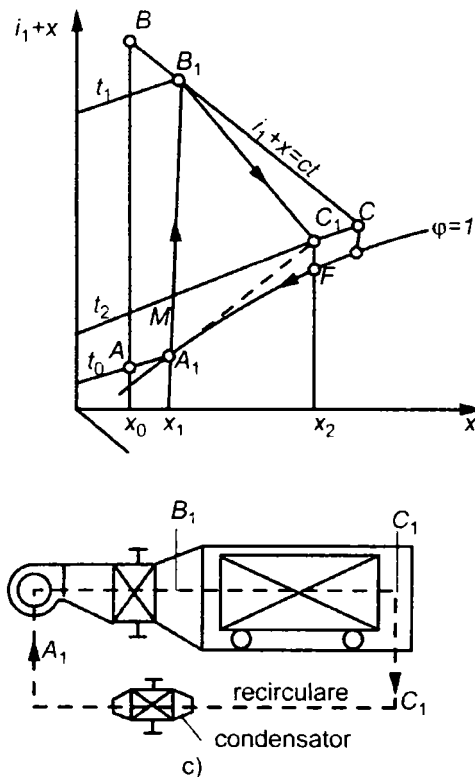


Fig. 4.8 Schema uscătorului cu circuit închis.

Atunci când materialul supus uscării permite desfășurarea procesului la temperatură ridicată, în locul aerului se folosesc gazele de ardere, produse într-un arzător propriu sau rezultate din instalații termice. Înainte de a fi introduse în uscător, gazele de ardere sunt amestecate cu aer proaspăt pentru obținerea nivelului de temperatură dorit.

#### 4.1.4 Transferul de căldură și masă în procesele de uscare

##### 4.1.4.1 Clasificarea materialelor umede. Forme ale legăturii umidității cu materialele supuse uscării

În timpul desfășurării procesului de uscare se produc simultan atât transferul căldurii în interiorul materialului cât și deplasarea umidității în agentul de

uscare. Majoritatea substanțelor minerale și organice sunt substanțe coloidale, care cristalizează greu sau de loc.

Structurile coloidale sunt sisteme formate din aglomerare cu particule care cuprind domeniul intermediar de dimensiuni între molecule și particule macroscopice [65, 66]. Corpurile solide au fost împărțite în trei categorii:

♦ **corpuri coloidale**, adică geluri elastice, adsorb lichidele cele mai apropiate ca polaritate, modificându-și dimensiunile, iar prin uscare se contractă fără să-și piardă proprietățile elastice. Corpuri coloidale tipice sunt: *gelatina, aluatul de făină, polimeri superiori* produși prin sinteză: *mase plastice, cauciucuri, fibre sintetice*.

♦ **corpuri capilar – poroase**, sunt gelurile fragile (casante), prin uscare își modifică puțin dimensiunile, devin fărămicioase și se pot măcina ușor, până la starea pulverulentă. Dintre acestea pot fi enumerate: *materialele ceramice slab arse, mangalul, nisipul, etc.*

♦ **corpuri coloidal capilar – poroase**, au proprietățile primelor două categorii de corpuri și anume, o structură capilar – poroasă, pereții porilor având însușirile gelurilor elastice. Din această categorie fac parte majoritatea materialelor umede supuse uscării: *lemnul, pielea, boabele de cereale, cartonul, textilele, fructele, etc.*

Materialele umede supuse proceselor de uscare în industria chimică, alimentară, a materialelor de construcții, agricultură, etc., reprezintă în marea lor majoritate, corpuri capilar – poroase sau coloidal capilar – poroase. De asemenea, forma geometrică a materialelor supuse uscării diferă deseori de formele geometrice regulate (placă, cilindru, sferă, etc.), dimensiunile lor variind într-un interval foarte mare, cuprins între  $10^{-6}$  m și circa  $10^{-2}$  m.

Timpul de contact între material și agentul de uscare variază de la câteva secunde până la zeci de ore, fiind mult mai redus în raport cu alte procese. În aceste condiții mecanismul uscării este determinat de apariția unor procese termofizice complexe în interiorul materialului (difuzie, termodifuzie, ș.a.) și de transferul simultan de masă și căldură în filmul limită care separă suprafața corpului de agentul de uscare [54, 55].

Caracterul legăturii între umiditate și material condiționează parametrii agentului de uscare, durata de uscare, precum și consumul de energie necesar pentru obținerea produsului finit. Dacă se are în vedere intensitatea energiei de legătură dintre umiditate și material, pot fi trei feluri de legături:

- a) legătură chimică, exprimată prin relații care nu sunt strict riguroase,
- b) legătură fizico – chimică, exprimată prin relații cantitative exacte,
- c) legătură mecanică, care permite reținerea apei în proporții nedeterminate.

*Apa legată chimic*, reprezintă cantitatea de apă necesară formării produsului finit. Ea participă la reacțiile chimice de formare, în urma cărora, apa ca atare dispare și intră în compoziția substanței nou create, realizându-se o legătură

puternică între umiditate și material, caracterizată prin energii foarte mari, de ordinul  $10^4 \div 10^5$  kJ/kmol. În mod obișnuit apa legată chimic nu se elimină din materialul supus uscării și nu este luată în considerație în calculul procesului de uscare.

*Legătura fizico – chimică*, se bazează pe interacțiunea moleculară a apei cu materialul și cuprinde apa legată prin adsorbție, osmotic și structural.

Adsorbția, ca fenomen fizic de fixare și acumulare a moleculelor unui lichid (sau gaze) pe suprafața unui corp solid, duce la formarea unui film limită pe pereții capilarelor, cu o grosime de ordinul de mărime a câtorva molecule. De cele mai multe ori, o parte din stratul de lichid de la suprafață trece în interiorul corpului datorită fenomenelor de capilaritate și difuziei lichidului prin pereții semipermeabili ai porilor (fenomenul de osmoză), în timp ce alte molecule de apă sunt adsorbite la suprafața pereților.

Fenomenul de pătrundere a apei de la suprafața capilarelor în interiorul straturilor, poartă denumirea de absorbție; procesele de adsorbție și absorbție sunt denumite în general sorbție. Umiditatea legată osmotic și structural este de câteva ori mai mare decât cea legată prin adsorbție, iar legătura ei cu materialul este relativ slabă, putând fi îndepărtată ușor în procesul de uscare, prin evaporare. Apa legată osmotic și structural, face parte din așa numita „umiditate liberă,, a materialului, care se îndepărtează în prima perioadă a procesului de uscare.

*Apa legată mecanic*, este alcătuită din umiditatea conținută în interiorul și pe suprafața porilor și capilarelor. Această formă de legătură a umidității se realizează prin contactul direct sau prin adsorbția și condensarea vaporilor de apă din aerul umed. Contactul direct dintre corp și apă asigură umplerea porilor și capilarelor deschise, iar porii închiși adsorb apa din aer sau primesc umiditatea prin difuzie (contact) de la zonele învecinate. Umiditatea din porii mari ai materialului (macropori, cu  $r > 10^{-7}$ ), ca și umiditatea de umețare (de pe suprafața corpului) prezintă o slabă legătură cu materialul și face parte ca și apa legată osmotic și structural, din „umiditatea liberă,, a corpului. Umiditatea din porii fini (micropori,  $r < 10^{-7}$ ), poate fi îndepărtată prin evaporare numai în condițiile unei umidități relative scăzute a aerului și face parte ca și umiditatea legată adsorbitiv, din așa numita „umiditate legată,, a corpului. În procesul de uscare se îndepărtează mai întâi „umiditatea liberă,, și apoi „umiditate legată,, a materialului.

#### **4.1.4.2 Mecanismul transferului de umiditate în interiorul și la suprafața corpurilor umede**

Majoritatea corpurilor supuse procesului de uscare posedă un sistem complex de pori în care este posibilă deplasarea umidității atât sub formă lichidă cât și sub

formă de vapori. Dacă porii sunt parțial umpluți cu apă, la secțiuni transversale suficient de mici, forțele de atracție la peretele materialului depășesc forțele de legătură dintre moleculele lichidului și se formează un menisc convex ce provoacă urcarea apei în astfel de „capilare,,.

În procesul de uscare, evaporarea apei se produce inițial la suprafața materialului iar vaporii formați difuzează în mediul înconjurător. Treptat zona de evaporare se extinde în interiorul materialului și vaporii formați sunt obligați să difuzeze prin stratul de material uscat până la suprafața corpului și apoi în mediul înconjurător [62, 63, 73, 74].

Mecanismul transferului de umiditate în interiorul și la suprafața corpului este un fenomen complex ce depinde de foarte mulți factori:

- structura materialului,
- umiditatea materialului,
- tensiunea superficială și vâscozitatea apei,
- temperatura agentului de uscare,
- umiditatea agentului de uscare.

În procesul de uscare, transferul de căldură și masă se face prin stratul limită, de grosime moleculară, existent pe pereții porilor sau la suprafața corpurilor umede, care separă apa adsorbită de vaporii săi.

După considerațiile lui J. Gibbs [59, 60], stratul limită de separație poate fi înlocuit printr-o suprafață limită, asupra căreia acționează mărimi termodinamice extensive de stare, astfel încât mărimile caracteristice ale întregului sistem să rămână neschimbate. Mărirea suprafeței limită, la temperatură și volum constant, se face cu consum de lucru mecanic:

$$dL = - \sigma ds, \quad (J) \quad [4.30]$$

unde,

- $\sigma$  = tensiunea superficială, (J/m<sup>2</sup>),
- $s$  = suprafața (m<sup>2</sup>)

Dacă se consideră un sistem bifazic, atunci la o variație de volum  $dV$ , a celor două faze ( $dV = dV_1 + dV_2$ ), se formează la suprafața limită  $ds$ , și se consumă lucrul mecanic  $\sigma_{12}ds$ . Variația lucrului mecanic, pentru o transformare reversibilă va fi:

$$dL_{rev} = pdV - \sigma_{12}ds, \quad [4.31]$$

Pentru procese reversibile, va fi:

$$TdS = dU + pV - \sigma_{12}ds, \quad [4.32]$$

unde:

- $p$  = presiunea statică, (N/m<sup>2</sup>)
- $T$  = temperatura absolută (K),
- $V$  = volumul, (m<sup>3</sup>),
- $S$  = entropia întregului sistem, (J/K)
- $U$  = energia internă a întregului sistem, (J)

Utilizând expresia energiei libere  $F$ , unde  $F = U - TS$  și prin diferențiere se obține:

$$dF = -pdV - SdT + \sigma_{12}ds, \quad [4.33]$$

de unde rezultă:

$$\sigma_{12} = \left. \frac{\partial F}{\partial s} \right|_{T,V} \quad [4.34]$$

Conform relației [4.34], tensiunea superficială reprezintă variația energiei libere a sistemului cu suprafața limită, la temperatură și volum constant. Legătura între energia internă  $U$  și energia liberă  $F$  este dată de relația lui Gibbs - Helmholtz [60]:

$$U = F - T \left. \frac{\partial F}{\partial T} \right|_{V,S} \quad [4.35]$$

Utilizând relațiile [4.34] și [4.35], se obține legătura între tensiunea superficială și energia internă:

$$\left. \frac{\partial U}{\partial s} \right|_{T,V} = \sigma_{12} - T \left. \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial T} \right|_{V,S} \quad [4.36]$$

Deoarece gradientul  $\left. \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial T} \right|_{V,S}$ , este negativ, la o mărire a suprafeței limită ( $ds > 0$ ), pentru menținerea procesului izoterm, trebuie adăugată cantitatea de energie  $- T \left. \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial T} \right|_{V,S} ds$ . Dacă deplasarea apei în capilar se desfășoară izoterm, relația [4.33], devine:

$$dF = -pdV + \sigma_{12}ds \quad [4.37]$$

Utilizând relația [4.37] la un sistem închis, se presupune că sistemul se găsește în timpul procesului, cel puțin în apropierea stării de echilibru. Termenul  $-pdV$ , corespunde schimbării energiei libere între fazele omogene participante, iar termenul  $-\sigma_{12}ds$ , reprezintă modificarea tuturor energiilor libere la suprafața limită

a sistemului. Modificarea stării unui sistem se face corespunzător legii conservării energiei, care poate fi scrisă sub forma:

$$dQ = dU + dL + \sum dE , \quad [4.38]$$

unde:

- $dQ$  = căldura schimbată la suprafața sistemului,
- $dL$  = lucrul mecanic schimbat la suprafața sistemului,
- $dU$  = modificarea energiei interne a sistemului,
- $\sum dE$  = suma celorlalte variații de energie ale sistemului (de exemplu, energia cinetică)

Pentru procese reversibile, relația [4.38], poate fi scrisă și sub forma:

$$TdS \geq dU + dL + \sum dE , \quad [4.39]$$

Utilizând energia liberă pentru procese izoterme ( $F = U - TS$ ), rezultă:

$$-dF \geq dL + \sum dE , \quad [4.40]$$

Dacă în timpul procesului nu se schimbă lucru mecanic cu exteriorul (cazul mișcării capilare a apei), atunci relația [4.40], devine:

$$-dF \geq \sum dE , \quad [4.41]$$

Așadar, procesele izoterme de mișcare capilară a apei pot fi „măsurate”, prin scăderea energiei libere a sistemului. Procesul de mișcare capilară se desfășoară mai încet decât procesele teoretice reversibile, datorită forțelor de frecare, care tind să egalizeze forțele interioare.

Pierderea de energie constituie în mod obișnuit lucrul mecanic de frecare,  $dL_f$ . Această energie internă apare întotdeauna ca o energie termică, deoarece ea contribuie la modificarea energiei interne a sistemului, sau este cedată sub formă de căldură. Utilizând lucru mecanic de frecare, relația [4.41], pentru procese ireversibile, poate fi scrisă sub forma:

$$-dF \geq \sum dE + dL_f , \quad [4.42]$$

și reprezintă **ecuația bilanțului de energie**.

#### 4.1.4.3 Difuzia vaporilor de apă în procesul de uscare

În procesul de uscare, evaporarea apei are loc în interiorul unui gaz care nu condensează și nici nu este solubil în lichid, în condițiile date. De aceea, la uscarea prin convecție, în majoritatea cazurilor se utilizează ca agent de uscare aerul cald, transformarea apei în vapori având loc sub efectul schimbului de căldură între aer și suprafața umedă. Temperaturile corpului și apei cresc în detrimentul temperaturii aerului, până la atingerea temperaturii de saturație, când începe procesul de evaporare.

Procesul are loc întotdeauna prin suprafața limită aer – apă, prin conductivitate pentru transferul de căldură și prin difuzie pentru transferul de masă. Procesele de transfer de căldură și masă, se datorează unui proces principal de difuzie vapori – gaz, cât și unei difuzii secundare gaz – vapori, sub acțiunea gradientilor de temperatură, presiunilor parțiale sau a concentrațiilor din ambele faze.

În majoritatea cazurilor, la evaporarea lichidului în stratul limită există un gradient de temperatură. Dacă căldura necesară pentru evaporare se ia din mediul ambiant, temperatura lichidului care se evaporă este egală cu temperatura termometrului umed "  $t_{um}$  " și este evident, mai mică decât temperatura aerului "  $t_a$  ".

În procesul de evaporare, existența gradientului de temperatură în stratul limită provoacă mișcarea aerului către suprafața umedă și transportul vaporilor de apă către exterior.

Conform legii lui Fick [60], fluxurile masice unitare de aer  $\dot{m}_{ad}$  și  $\dot{m}_{vd}$  de vapori, transportate prin difuzie sunt:

$$\dot{m}_{ad} = -D \frac{dC_a}{dy}, \text{ (kg/m}^2\text{s)}, \quad [4.43]$$

$$\dot{m}_{vd} = -D \frac{dC_v}{dy}, \text{ (kg/m}^2\text{s)}, \quad [4.44]$$

unde:

- $D$  = coeficientul de difuzie , (m<sup>2</sup>/s)
- $C_a, C_v$  = concentrațiile aerului respectiv vaporilor de apă, în cadrul amestecului,
- $y$  = direcția de difuzie.



Din figura 4.9, se observă că existența unei căderi de presiune a vaporilor de apă  $p_v$ , atrage o creștere a presiunii aerului uscat  $p_a$ , conform legii lui Dalton:  $B = p_a + p_v = \text{ct.}$

În aceste condiții va apare un flux convectiv de aer  $\dot{m}_{ac}$ , ce se deplasează de la suprafața de evaporare către exterior și anulează parțial fluxul difuzat  $\dot{m}_{ad}$ . Fluxul convectiv de aer  $\dot{m}_{ac}$ , care se deplasează cu viteza transversală  $W$  va transporta, prin amestec, fluxul convectiv de vapori  $\dot{m}_{vc}$ , accelerând transportul vaporilor de apă către mediul înconjurător.

Fluxurile unitare totale pentru vaporii de apă și aer vor fi:

$$\dot{m}_v = \dot{m}_{vd} + \dot{m}_{vc} = -D \frac{dC_v}{dy} + WC_v \quad [4.45]$$

$$\dot{m}_a = \dot{m}_{ad} + \dot{m}_{ac} = -D \frac{dC_a}{dy} + WC_a = 0 \quad [4.46]$$

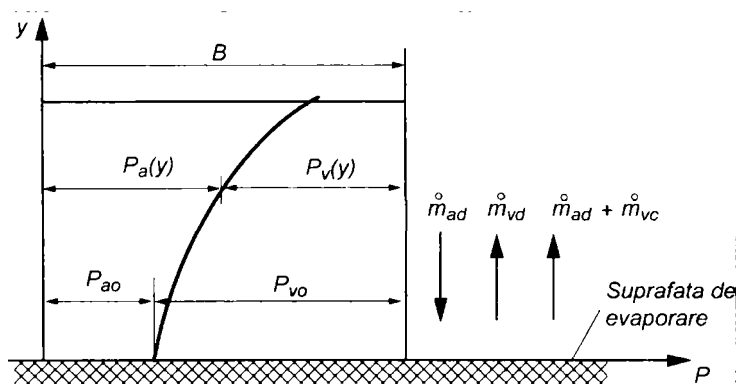


Fig. 4.9 Variația presiunilor la suprafața de evaporare a unui lichid [59].

Din expresia legii conservării energiei rezultă că fluxul total de aer  $\dot{m}_a = 0$ , conform relației [4.46]. Prin înlocuirea concentrației aerului cu presiunea parțială  $p_a$ , se obține viteza aerului:

$$W = \frac{D}{p_a} \frac{dp_a}{dy}, \quad [4.47]$$

deoarece ,  $p_a = B - p_v$  și  $dp_a / dy = - dp_v / dy$ , astfel că relația [4.47] devine:

$$W = -\frac{D}{B - p_v} \frac{dp_v}{dy}, \quad [4.48]$$

Iar din relația [4.45], se obține fluxul unitar de vapori, relația lui Stefan, și reprezintă expresia vitezei de difuzie în cazul evaporării unui lichid cu suprafață liberă:

$$\dot{m}_v = -\frac{D}{R_v T} \times \frac{B}{B - p_v} \times \frac{dp_v}{dy}, \quad [4.49]$$

Pentru a integra relația [4.45], se consideră evaporarea la suprafața liberă de apă care se găsește într-o conductă, la adâncimea  $\delta$ .

Relația 4.49, cunoscută sub denumirea de relația lui Stefan, oferă expresia vitezei de difuzie în cazul evaporării unui lichid cu suprafață liberă.

Pentru a integra ecuația 4.49, se consideră evaporarea la o suprafață liberă de apă care se găsește într-o conductă, la adâncimea  $\delta$  (figura 4.10).

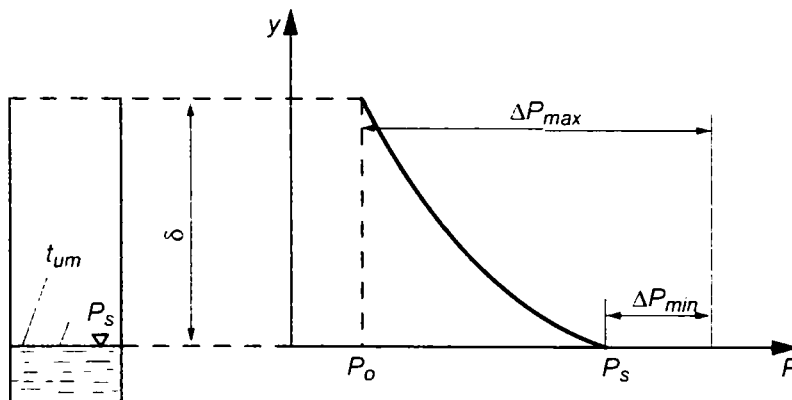


Fig. 4.10 Evaporarea apei dintr-un cilindru deschis [59].

Presiunea parțială a vaporilor de apă scade în direcția  $y$  și la capătul cilindrului va avea valoarea  $p_0$ , iar la suprafața apei ( $y = 0$ ), valoarea corespunzătoare saturației  $p_s$ . Integrând în raport cu  $y$  între limitele 0 și  $\delta$  se obține:

$$\dot{m}_v = \frac{B}{R_v T} \times \frac{D}{\delta} \ln \frac{B - p_0}{B - p_s}, \quad [4.50]$$

Pentru o suprafață de evaporare  $S$ , debitul de vapori va fi:

$$\dot{M} = S \frac{B}{R_v T} x \frac{D}{\delta} \ln \frac{B - p_0}{B - p_s}, \quad [4.51]$$

Punând în evidență căderea de presiune ca „ forță de mișcare„ , relația [4.51] se poate scrie, sub forma:

$$\dot{M} = S \frac{1}{R_v T} x \frac{D}{\delta} x \frac{B}{B - p_m} (p_s - p_0), \quad [4.52]$$

unde:

$$B - p_m = \frac{p_s - p_0}{\ln \frac{B - p_0}{B - p_s}} \quad [4.53]$$

Dacă presiunile  $p_0$  și  $p_s$  sunt mult mai mici decât presiunea atmosferică  $B$ , sau numai puțin diferite una de cealaltă, atunci relația [4.53] devine:

$$B - p_m \cong B - \frac{p_s - p_0}{2} \quad [4.54]$$

Pentru valori mici ale presiunilor  $p_s$  și  $p_0$ , raportul  $p_s - p_0 / 2$ , se poate neglija, astfel că debitul de vapori va deveni:

$$\dot{M}_v = \frac{S}{R_v T} x \frac{D}{\delta} (p_s - p_0), \text{ (kg/s)} \quad [4.55]$$

Pentru stabilirea relațiilor anterioare, s-a considerat o direcție de difuzie în linie dreaptă, de lungime  $\delta$ . În realitate, la uscarea materialelor capilar poroase nu se întâlnește această situație, ci una mult mai complexă, pori cu diametre și lungimi variabile, astfel că debitul de vapori care difuzează prin astfel de materiale va fi, evident mai mic decât prin aer.

Aceste materiale opun o rezistență la difuzie mult mai mare decât aerul atmosferic, lucru pus în evidență de **factorul de rezistență  $\mu$** , mărime caracteristică adimensională.

Factorul de rezistență la difuzie, arată de câte ori difuzia vaporilor de apă printr-un strat de material este mai mică decât printr-un strat de aer, de aceeași secțiune și grosime, aflat în aceleași condiții de temperatură și presiune. Coeficientul de difuzie al vaporilor de apă printr-un material,  $D_m$ , va fi:

$$D_m = \frac{D}{\mu}, \quad [4.56]$$

iar relația [4.52], în cazul difuziei vaporilor de apă prin material se va transforma în:

$$\dot{M} = S \frac{1}{R_v T} x \frac{D}{\alpha x \mu} x \frac{B}{B - p_m} (p_s - p_0), \quad [4.57]$$

În procesul de uscare, dacă zona de Așadar, procesul de uscare, poate fi exprimat prin relația [4.57] și reprezintă difuzia vaporilor de apă în medii poroase.

#### 4.1.5 Cinetica uscării

În procesul de uscare a unui material umed supus unor condiții constante în timp, se disting mai multe perioade succesive, în care conținutul de umiditate al produsului variază într-un anumit mod, determinat, în special, de modul de legare a apei și de condițiile de transfer de căldură și masă [59, 60]. În figura 4.11, este prezentată evoluția în timp a câtorva parametri în procesul de uscare, prin curbele:

- ◆ temperatura aerului (1),
- ◆ temperatura produsului (2),
- ◆ umiditatea produsului (3),
- ◆ viteza de uscare (4),
- ◆ gradul higrometric de echilibru al produsului (5).

O primă fază a procesului este caracterizată prin tendința suprafeței materialului de a ajunge la o temperatură egală cu temperatura termometrului umed, caracteristica mediului ambiant. Dacă temperatura inițială este mică, materialul se va încălzi până când temperatura suprafeței atinge temperatura termometrului umed. În această perioadă vor apărea și fenomene de vaporizare a umidității, însă în cantități mici și umiditatea materialului va avea o ușoară scădere (porțiunea A-B).

Dacă temperatura inițială a materialului umed este mai mare decât temperatura termometrului umed al mediului în care are loc uscare, într-o primă fază va apărea un fenomen de autoevaporare, cu scăderea temperaturii la temperatura termometrului umed și cu o scădere a umidității materialului.

Pe toată durata acestei faze, suprafața materialului rămâne umedă, iar presiunea de vapori a lichidului de la suprafața produsului este egală cu presiunea de saturație a lichidului la temperatura respectivă. După ce suprafața materialului a atins temperatura termometrului umed, în timp ce suprafața materialului rămâne

umedă, uscarea are loc la o presiune de vapori egală cu presiunea de saturație a lichidului pur la temperatura respectivă (fig 4.11, curba 2).

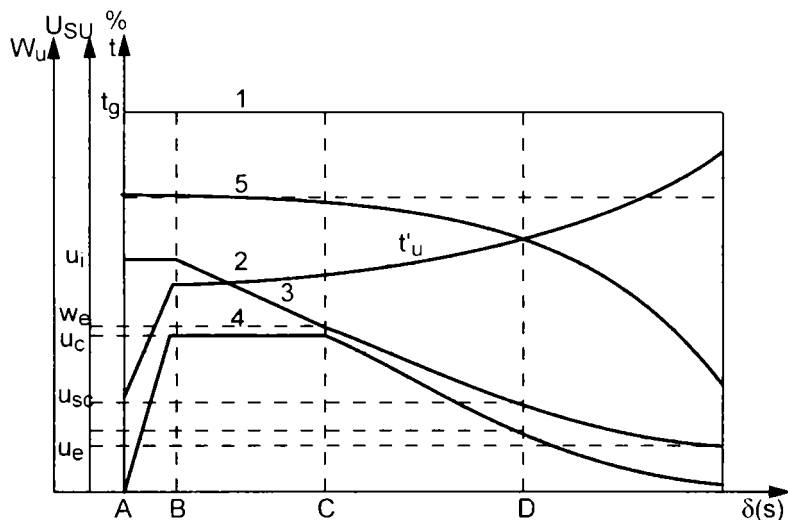


Fig. 4.11 Diagrama uscării în timp [59].

În această perioadă, pe baza transferului de căldură de la aer la suprafața materialului și a transferului de substanță de la suprafața materialului la aer, are loc un proces de evaporare la viteză constantă, cu scăderea liniară a umidității produsului raportată la substanța uscată (fig.4.11, curba 3). În același timp are loc un fenomen de transfer de substanță (de umiditate) din interiorul materialului spre suprafață, sub influența gradientului de concentrație.

Presiunea de vapori a lichidului din material ( $p_m$ ) în această perioadă se menține constantă și egală cu presiunea de saturație la temperatura termometrului umed, ceea ce face ca gradul higrometric de echilibru al produsului să se mențină constant și egal cu unitatea (fig.4.11, curba 5). Eliminarea umidității în această perioadă este limitată de fenomenele de transfer de căldură.

Această perioadă se numește *perioada de uscare cu viteză constantă*. Singurul factor care poate mări viteza de uscare în această perioadă este temperatura agentului de uscare, deoarece temperatura suprafeței materialului rămâne practic constantă și asupra coeficientului parțial de transfer de căldură aer – suprafață se poate interveni puțin.

În cazul uscării prin antrenare în aer cald, când căldura este furnizată de aerul cald, are loc un proces adiabatic care atrage după sine scăderea temperaturii aerului. Ca să se respecte constanța temperaturii se impune ca viteza de deplasare a aerului la suprafața materialului să fie suficient de mare încât să deplaseze aerul care s-a încărcat cu umiditate, iar suprafața materialului să fie mereu în contact cu

aer cu aceeași temperatură și același conținut de umiditate [18, 19, 20]. Creșterea vitezei aerului contribuie la creșterea coeficientului de transfer de căldură. Când produsul supus procesului de uscare se află în echilibru dinamic cu aerul, procesul de evaporare constantă poate fi descris prin:

- o relație de transfer de substanță:

$$\frac{dW_e}{d\tau} = AK_s(p_s - p_v), \quad [4.58]$$

- o relație de transfer de căldură:

$$\frac{dQ}{d\tau} = A\alpha(t - t_u), \quad [4.59]$$

În această relație, ținând seama că la suprafața de transfer de căldură, respectiv de substanță, are loc un proces de evaporare și trecere a vaporilor în stratul gazos, dacă se înlocuiește  $dQ = dW_e r$ , relația generală de transfer de căldură poate fi pusă sub forma:

$$\frac{dW_e}{d\tau} = A \frac{\alpha}{r} (t - t_u), \quad [4.60]$$

unde:

- $\frac{dW_e}{d\tau}$  = debitul de apă eliminat din produs, (kg/s),
- A = suprafața liberă a produsului (suprafața de transfer de substanță de la produs la gaz, respectiv de transfer de căldură de la gaz la produs), ( $m^2$ ),
- $K_s$  = coeficientul de transfer de substanță la suprafața de contact produs - gaz, (s/m),
- $p_s$  = presiunea lichidului pur la temperatura termometrului umed  $t_u'$ , ( $N/m^2$ )
- $p_v$  = presiunea parțială a vaporilor în gaz, ( $N/m^2$ ),
- $\alpha$  = coeficientul parțial de transfer de căldură de la aer la suprafața umedă a produsului, ( $W/m^2\text{grad}$ ),
- r = căldura de vaporizare a umidității din produs la temperatura lichidului  $t_u'$ , (J/kg),
- t,  $t_u$  = temperatura gazului, respectiv temperatura suprafeței produsului egală cu temperatura termometrului umed a gazului, ( $^{\circ}C$ ).

În momentul în care migrația apei din interior spre suprafață nu mai compensează cantitatea de apă evaporată la suprafață, desfășurarea procesului de uscare se schimbă brusc. Pe suprafața produsului încep să apară pete uscate, temperatura suprafeței produsului și chiar în masa de produsului începe să crească, umiditatea produsului scade din ce în ce mai lent, viteza de uscare scade din ce mai mult, gradul higrometric de echilibru al produsului scade, devenind subunitar.

Uscare nu mai este dominată de condițiile superficiale, ci de fenomenul de migrație a umidității prin capilarele produsului, care are loc sub influența coeficientului de transfer de substanță și diferenței de concentrație a umidității dintre interior și suprafața produsului.

Momentul în care migrarea apei din interior spre suprafață nu mai compensează apa evaporată la suprafață coincide cu eliminarea apei de umectare și a apei legate mecanic și începerea eliminării apei legate osmotic și apoi adsorbativ. Umiditatea produsului la acest punct este o umiditate caracteristică și se numește *umiditate critică principală* ( $u_c$ ).

Ea caracterizează sfârșitul perioadei de uscare la viteză constantă și începe perioada de uscare la viteză descrescândă. Valoarea umidității critice principale, pentru un anumit produs, poate fi considerată o constantă, deoarece scade foarte puțin cu creșterea temperaturii agentului de uscare.

*Perioada de uscare la viteză descrescândă*, se caracterizează prin variația tuturor parametrilor care caracterizează produsul, chiar dacă se mențin caracteristicile agentului de uscare constante (temperatură, conținut de umiditate, viteza de mișcare la suprafața produsului). Umiditatea produsului va scădea din ce în ce mai încet, viteza de uscare tinzând către zero. Temperatura materialului va crește, la început mai repede, apoi din ce în ce mai lent, tinzând să atingă temperatura agentului de uscare.

Gradul higrometric de echilibru al produsului va începe să scadă, la început mai încet și apoi mai repede. Transferul de căldură de la agentul de uscare la suprafața produsului va scădea, deoarece scade diferența de temperatură între acesta și produs. Când presiunea de vapori a lichidului din material ( $p_m$ ) devine egală cu presiunea parțială a vaporilor de apă din aer ( $p_v$ ), eliminarea umidității din produs încetează, iar viteza de uscare devine zero. Umiditatea produsului din acest moment se numește *umiditate de echilibru* ( $u_e$ ).

Perioada de uscare la viteză descrescândă poate fi împărțită în două sau mai multe faze. În prima fază, viteza de uscare descrește uniform, după care poate să apară descreștere uniformă dar cu altă pantă a curbei, sau descreștere neliniară.

La orice schimbare a pantei curbei, după care variază viteza de uscare, pe curbă apare un punct de inflexiune, caracterizat printr-o anumită valoare a umidității produsului. Umiditatea produsului la punctele de inflexiune de pe curba

vitezei de uscare este denumită *umiditate critică secundară*, reprezentat în figura 4.11 la intersecția coordonatelor  $u_{cs}$ , D.

În procesul de uscare în curent de aer, este necesar ca apa care trebuie eliminată din material să parcurgă următoarele faze:

- apa să se deplaseze din interiorul materialului la suprafața lui. Transportul umidității în interiorul materialului se poate realiza în diferite moduri, determinate de felul în care apa este legată și de cauza care provoacă deplasarea (capilaritate, difuziune în faza lichidă difuziune în faza de vapori, etc.). Procesul este complicat și se consideră în ansamblu *difuziune interioară*;

- apa ajunsă la suprafața materialului să se vaporizeze și să fie antrenată de aerul înconjurător particulei supuse uscării. Vaporizarea apei și trecerea în aerul înconjurător este un proces combinat de transfer de căldură și difuziune la interfața lichid – gaz. Procesul se consideră în ansamblu *difuziune exterioară*.

Ansamblul acestor două procese considerate elementare formează uscarea, iar viteza de eliminare a umidității din produs sau *viteza de uscare* este viteza procesului elementar *cel mai lent*.

Încercările pentru stabilirea ecuației teoretice pe baza cărora să se calculeze viteza de uscare în funcție de proprietățile inițiale și finale ale produsului supus uscării și condițiile de realizare a procesului pe considerente teoretice au condus la ecuații complicate și greu de explicat. De aceea, pentru determinarea vitezei de uscare se recurge la datele experimentale obținute în condiții de laborator și transpuse la condițiile industriale, pe baza unor ecuații deduse cu ajutorul unor modele fizice idealizate ale proceselor elementare.

Viteza de uscare, este definită ca fiind cantitatea de umiditate îndepărtată de pe suprafața materialului supus uscării, în unitatea de timp. Sub formă diferențială, viteza de uscare poate fi exprimată prin relația:

$$w = \frac{dW_e}{A d\tau}, \quad [4.61]$$

unde:

- ♦  $w$  = viteza de uscare, (kg/m<sup>2</sup>s),
- ♦  $W_e$  = umiditatea de eliminat, (kg),
- ♦  $A$  = suprafața totală a materialului supus uscării, (m<sup>2</sup>),
- ♦  $\tau$  = durata uscării, (s)

Pentru o viteză de uscare cunoscută, durata de uscare se determină prin integrarea ecuației [4.61], rezultând:



$$\tau = \int \frac{dW_e}{Aw}, \quad [4.62]$$

Dacă umiditatea de eliminat este exprimată în funcție de cantitatea de substanță complet uscată  $G_{us}$ , din materialul supus uscării și umiditatea inițială ( $u_{sui}$ ) și finală ( $u_{suf}$ ), se raportează la substanța uscată a materialului supus uscării (kg/kg), se poate scrie:

$$W_e = G_{us} (u_{sui} - u_{suf}), \quad [4.63]$$

iar prin integrarea relației [4.61], pentru  $w = \text{constant}$  aceasta va deveni:

$$\tau = \frac{G_{us} (u_{sui} - u_{suf})}{Aw}, \quad [4.64]$$

Viteza de uscare depinde de un număr mare de factori, astfel încât este greu să se găsească funcții care să țină seama de influența acestor factori. Cu toată complexitatea fenomenului, pe baza cineticii uscării se poate determina durata de uscare pe cale teoretică.

Pentru determinarea duratei de uscare trebuie să se considere cele două faze amintite anterior:

- ❖ cea de uscare la viteză constantă, când procesul este limitat de condițiile de la suprafața de contact aer – material,
- ❖ cea de uscare la viteză descrescândă, când procesul este limitat de difuziunea materialului din interior către suprafața de contact aer – material.

Din punct de vedere teoretic, operația de uscare se studiază în două variante legate de caracteristicile agentului de uscare:

- ◆ *uscarea în condiții constante* pentru agentul de uscare. În această premisă, aerul de uscare are permanent și pretutindeni aceeași umiditate și aceeași temperatură. Uscarea în acest caz decurge în regim nestaționar;
- ◆ *uscarea în condiții variabile*, când agentul de uscare își modifică temperatura și umiditatea. În aceste condiții uscarea se studiază în regim staționar. Procesul se realizează cu variația parametrilor aerului și materialului pe lungimea uscătorului, dar acești parametri rămân constanți în timp, în fiecare punct al uscătorului. Uscarea în condiții variabile se realizează în uscătoare cu funcționare continuă, în care produsul circulă în echicurent sau în contracurent cu agentul de uscare [81, 82]. În aceste două variante uscarea se analizează atât în perioada de uscare la viteză constantă, cât și în perioada de uscare la viteză descrescândă.

Pentru perioada de uscare la viteză descrescândă se analizează separat perioada de viteză descrescândă uniformă și cea de viteză descrescândă neuniformă. În domeniul uscării semințelor de cereale, așa cum s-a arătat în capitolul 3.4, se folosesc cel mai adesea instalații la care agentul de uscare traversează pe o direcție perpendiculară stratul de material, păstrându-și constante umiditatea și temperatura.

**Perioada de uscare la viteză constantă.** În această perioadă, așa cum s-a arătat, se îndepărtează umiditatea de pe suprafața materialului supus uscării. Viteza de uscare în această perioadă nu depinde de proprietățile materialului, ci de transferul de căldură de la agentul de uscare la suprafața materialului și de difuzia vaporilor de apă în aer. Conform relațiilor [4.58] și [4.59], transferul de căldură este determinat de relația:

$$\frac{dW_e}{d\tau} = A \frac{\alpha}{r} (t - t_v), \quad [4.65]$$

iar transferul de substanță de relația:

$$\frac{dW_e}{d\tau} = AK_s (p_a - p_v), \quad [4.66]$$

Dar relația [4.60] poate fi exprimată și sub forma:

$$\frac{dW_e}{d\tau} = AK'_s (x_s - x), \quad [4.67]$$

în care  $x_s$  și  $x$  sunt umiditatea de saturație respectiv umiditatea aerului la temperatura  $t$  a aerului utilizat ca agent de uscare. Dacă se are în vedere ecuația de definiție a lui  $x_s$  și  $x$  în funcție de presiunea parțială a vaporilor, unde:

$$x_s = 0,622 \frac{p_s}{p - p_s}, \text{ și } x = 0,622 \frac{p_v}{p - p_v},$$

și ținând seama că  $p_s$ , respectiv  $p_v$ , sunt mici în comparație cu presiunea  $p$  (presiunea de lucru),  $p - p_s = p$  și  $p - p_v = p$ , se poate scrie relația dintre  $K_s$  și  $K'_s$ :

$$K_s (p_s - p_v) = K'_s \left( 0,622 \frac{p_s}{p} - 0,622 \frac{p_v}{p} \right) \quad [4.68]$$

sau:

$$K'_s = K_s \frac{p}{0,622} \quad [4.69]$$

Din relațiile [4.65] și [4.67], rezultă:

$$\frac{\alpha}{r}(t - t_u') = K_s'(x_s - x), \quad [4.70]$$

Dacă din relația [4.69], se deduce expresia coeficientului de transfer de substanță la suprafața de contact produs – gaz, se obține relația:

$$K_s' = \frac{\alpha}{r} \frac{(t - t_u')}{x_s - x}, \quad [4.71]$$

Pentru a se menține condiții constante, aerul trebuie să se deplaseze la suprafața produsului cu viteze cât mai mari, astfel încât să se realizeze o curgere forțată. În cazul gazelor, ținând seama că valoarea criteriului lui Prandtl, valoarea coeficientului de convecție  $\alpha$ , se poate deduce din ecuația criterială:

$$\text{Pr} = \text{const}, \quad \text{Nu} = f(\text{Re}),$$

adică, 
$$\text{Nu} = C \text{Re}^m, \quad [4.72]$$

în care neglijând mărimile constante sau cu o influență mică în domeniul uzual al temperaturilor la care se realizează uscare,  $\alpha$  se poate obține:

$$\alpha = C(w\rho)^m, \quad [4.73]$$

sau introducând această valoare în relația [4.71], rezultă relația:

$$K_s' = \frac{C(w\rho)^m}{r} \frac{(t - t_u')}{x_s - x} = C_1(w\rho)^m, \quad [4.74]$$

Produsul  $w\rho$ , din ecuația [4.73], reprezintă viteza de deplasare a aerului, exprimată în  $\text{kg/m}^2\text{s}$ . Ținând seama de determinările experimentale, relația [4.47] devine:

$$K_s' = 91(w\rho)^{0,8}, \quad (\text{kg/m}^2\text{s}) \quad [4.75]$$

Durata uscării în perioada de uscare la viteză constantă se deduce din relația [4.63], după ce s-a făcut înlocuirea:

$$dW_e = -G_{su}d(u - u_c), \quad [4.76]$$

În care,  $u_c$  este umiditatea critică principală raportată la substanța uscată. Înlocuirea se face în condiția  $u_i > u_c$ , unde  $u_i$  este umiditatea inițială a produsului supus uscării. Relația [4.63] devine prin înlocuire și integrare:

$$\frac{-G_{su}d(u-u_c)}{d\tau} = AK_s'(x_s-x), \quad [4.77]$$

$$d(u-u_c) = K_s' \frac{A}{G_{us}}(x_s-x)d\tau, \quad [4.78]$$

$$\int_{u_i-u_c}^{u-u_c} d(u-u_c) = K_s' \frac{A}{G_{us}}(x_s-x) \int_0^\tau d\tau, \quad [4.79]$$

$$u_i-u = K_s' \frac{A}{G_{us}}(x_s-x)\tau, \quad [4.80]$$

Pentru  $u = u_c$  rezultă  $\tau_1$ , care reprezintă *durata de uscare pentru prima perioadă constantă*.

$$\tau_1 = \frac{G_{us}(u_i-u_c)}{K_s'A(x_s-x)}, \quad [4.81]$$

**Perioada de uscare la viteză descrescândă**, Această perioadă, în care viteza de uscare descrește pe măsură ce umiditatea scade sub umiditatea critică, se împarte pentru simplificare în două etape:

- ❖ etapa în care viteza de uscare descrește uniform pe măsură ce suprafața umedă a materialului descrește datorită uscării produsului,
- ❖ etapa de uscare cu viteză descrescândă neuniformă, viteza de uscare fiind determinată de difuziunea internă a apei.

Durata primei etape de uscare la viteză descrescândă se determină cu aceleași condiții ca durata de uscare la viteză constantă, [4.81], în care însă suprafața totală  $A$  se înlocuiește cu suprafața încă umedă  $A'$  în momentul considerat.

Variația umidității în această perioadă evoluează de la umiditate critică  $u_c$  spre umiditate de echilibru  $u_e$ . Ținând cont de variația umidității, raportul dintre suprafața inițială umedă  $A$  și suprafața umedă  $A'$  la un moment dat este determinat de raportul diferențelor de umiditate a substanței în cazul celor două suprafețe astfel:

$$\frac{A'}{A} = \frac{u - u_c}{u_c - u_e}, \quad [4.82]$$

Cum: 
$$dW_e = A \frac{u - u_c}{u_c - u_e}, \quad [4.83]$$

iar, 
$$A' = A \frac{u - u_c}{u_c - u_e}, \quad [4.84]$$

Înlocuind în relația [4.63], separând variabilele și integrând, se obține:

$$\frac{-G_{us} d(u - u_c)}{d\tau} = A \frac{u - u_c}{u_c - u_e} K_s (x_s - x), \quad [4.85]$$

$$-\frac{d(u - u_c)}{u - u_e} = K_s \frac{A}{G_{su}} \frac{x_s - x}{u_c - u_e} d\tau, \quad [4.86]$$

$$\int_{u_c - u_e}^{u - u} -\frac{d(u - u_e)}{u - u_e} = K_s \frac{A}{G_{us}} \frac{x_s - x}{u_c - u_e} \int_0^{\tau} d\tau, \quad [4.87]$$

$$\ln \frac{u_c - u_e}{u - u_e} = K_s \frac{A}{G_{us}} \frac{x_s - x}{u_c - u_e} \tau, \quad [4.88]$$

Pentru  $u = u'_c$  ( $u'_c$ , fiind umiditatea critică secundară), se obține durata de uscare pentru perioada a doua de uscare ( $\tau_2$ ) și durata de uscare pentru perioada a treia ( $\tau_3$ ).

$$\tau_2 = \frac{G_{su}}{K_s A} \frac{u_c - u_e}{x_s - x} \ln \frac{u_c - u_e}{u'_c - u_e}, \quad [4.89]$$

În etapa a treia, uscarea nu se mai poate considera dependentă de proprietățile aerului folosit ca agent termic de uscare, ci numai de fenomenele de difuzie internă. Durata acestei etape este dată de relația:

$$\tau_3 = \frac{4l^2}{D\pi^2} \ln \frac{u_c' - u_e}{u_f - u_e}, \quad [4.90]$$

în care

- $l$  = grosimea stratului de material supus uscării, (m),
- $D$  = coeficientul de difuzie al lichidului, ( $m^2/s$ ).

Pentru calculul duratei de uscare, în relațiile anterioare intervine suprafața de uscare, umiditatea critică și umiditatea de echilibru, iar în ultima relație și coeficientul de difuziune. Aceste elemente nu se pot determina prin calcul teoretic, pentru cunoașterea lor fiind necesare date experimentale corespunzătoare.

## **4.2 Stadiul actual privind cercetarea experimentală a procesului de uscare a cerealelor**

### **4.2.1 Instalații experimentale pentru uscarea cerealelor.**

Transferul de căldură și masă în proceselor de uscare este condiționat de parametrii agentului de uscare, de legăturile existente între umiditate și material, precum și de modificarea proprietăților fizico – chimice sau geometrice ale materialului umed.

Deoarece valorile mărimilor care intervin în procesul de uscare variază continuu, după legi complexe ce țin seama de condițiile locale în care are loc uscarea, este necesară o corelare strânsă a studiilor teoretice cu cercetările experimentale de laborator.

O instalație experimentală de uscare, precum și metoda de efectuare a experienței, trebuie să reproducă cât mai exact condițiile de uscare ale materialului la scară industrială. Rezultatele experiențelor prelucrate sub formă de ecuații criteriale sau curbe experimentale sunt de mare ajutor în conceperea unor instalații care să asigure obținerea unor produse de bună calitate, în scurt timp și cu un consum redus de energie [76, 77, 78].

Cele mai multe procese industriale de uscare folosesc ca agent termic de uscare aerul cald sau amestecul de aer și gaze de ardere, care transmit materialului căldura necesară evaporării umidității și preiau vaporii de apă formați. Întrucât proporția de aer/gaze de ardere este mare, de circa 20÷30, parametrii termodinamici ai agentului de uscare rezultat în urma amestecului aer/gaze de ardere, sunt sensibil egali cu cei ai aerului cald. Din acest motiv, instalațiile experimentale de uscare cu aer cald reproduc cu mare exactitate procesul desfășurat la scară mare și în care se utilizează amestecuri de aer cu gaze de ardere

[21, 22, 23]. În continuare se prezintă cele mai des folosite metode de studiu experimental al procesului de uscare și de determinare a unor parametri termodinamici importanți.

### **Instalații de uscare în pat fluidizat și suspensie cu antrenare pneumatică.**

Avantajele sistemelor de uscare în pat fluidizat au fost prezentate în capitolul 3. Corelarea cercetărilor experimentale cu cele teoretice, pe baza proprietăților termofizice și tehnologiei materialului studiat este deosebit de importantă pentru aceste sisteme. În figura 4.12 este prezentată schema de principiu a unei instalații experimentale de laborator utilizată pentru uscarea în pat fluidizat a materialelor termolabile.

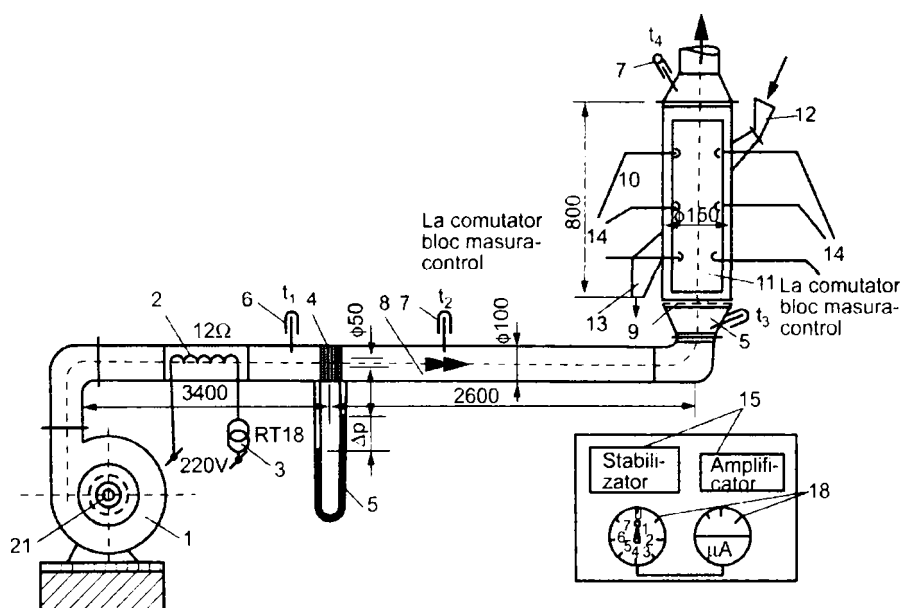


Fig. 4.12 Instalație experimentală de laborator pentru studiul uscării în pat fluidizat [59].

Tubul de alimentare cu aer cald 8 este de secțiune circulară, cu diametrul interior de 100 mm, fiind izolat termic, pentru reducerea la minimum a pierderilor de căldură. Ventilatorul centrifugal de înaltă presiune 1 este prevăzut cu un dispozitiv de reglare a debitului de aer aspirat.

Rezistența electrică 2, având valoarea de  $12 \Omega$  și confecționată din sârmă de Kanthal A cu diametru de 1,5 mm și pasul spiralei de 4 mm, servește la încălzirea aerului aspirat. Pentru tensiunea de alimentare de 220 V, ea are puterea maximă de 4 kW, fiind conectată la autotransformatorul reglabil de tensiune 3, va permite

Încălzirea aerului între valorile  $40 \div 130$  °C. Diafragma normalizată circulară 4, cu diametrul orificiului de 50 mm este etalonată pentru măsurarea debitului de aer cald, în funcție de căderea de presiune indicată de manometrul diferențial cu tub în formă de U, 5.

Camera cilindrică de uscare 10 este confecționată din tablă de oțel cu grosimea de 1,5 mm, izolată termic. Vizoarele din plexiglas 11, etanșați cu șnur de azbest, permit vizualizarea și controlul unor faze ale procesului de uscare. La capătul inferior al uscătorului se află grila suport 9, confecționată din tolă de oțel cu grosimea de 2 mm, corespunzător unei secțiuni libere a gazului de circa 1,5%.

Pentru încărcarea materialului umed și evacuarea materialului uscat s-au utilizat liniile 12 și 13. Ca instrumente de măsură s-au folosit termometre industriale 6, 7, manometru 5 de tip diferențial cu tub U, un bloc de măsură 16 și un bloc de alimentare amplificare 15.

Dimensiunile geometrice ale uscătorului și grilei de distribuție a aerului cald, au rezultat din condițiile termo - gazo - dinamice ale uscării prin fluidizare ale unui material granular polidispers (grâu):

- $d_{ec}$  = diametru echivalent,  $5 \div 10$  mm,
- $U_1$  = umiditatea inițială,  $20 \div 40$  %,
- $E$  = potențial maxim de uscare,  $40$  °C,
- $w_{cr}$  = viteza critică de fluidizare,  $1,2$  m/s,
- $w$  = viteza optimă de regim,  $1,8 \div 2,4$  m/s,
- $w_{pl}$  = viteza de plutire  $12 \div 14$  m/s,
- $P$  = porozitatea patului fix,  $40$  %.

Măsurarea temperaturii aerului, a celei aparente a patului fluidizat și a boabelor, se face cu termometrul electronic în punte cu termistori, având schema electrică prezentată în figura 4.13.

Blocul de alimentare este realizat din multistabilizatorul de tensiune, care asigură o tensiune constantă de alimentare de circa  $18 \div 25$  V, necesară blocului de amplificare cu tranzistor (108 c), conectat la voltampermetrul de măsurare indirectă a temperaturii, de tipul DU - 20, 16 (pe scala 0 - 1000 mV).

Echilibrarea blocului de amplificare se face cu ajutorul rezistenței  $P_1$ , iar reglajul fin cu ajutorul rezistenței  $P_2$  de  $2,5$  k $\Omega$ . În acest mod etalonarea ansamblului de măsură s-a realizat cu o precizie de  $0,3 \div 0,8$  °C.

Măsurarea temperaturii aerului cald pe înălțimea uscătorului se face cu 4 termistori protejați de contactul cu granulele printr-o sită de cupru, care îmbracă peria traductoarelor, iar temperatura aparentă a patului și materialului se măsoară cu 4 termistori neprotejați. Termistorii 14, de tipul MMT4, au o rezistență de 100 k $\Omega$ , și o sensibilitate mare la variația temperaturii în domeniul  $0 \div 110$  °C.



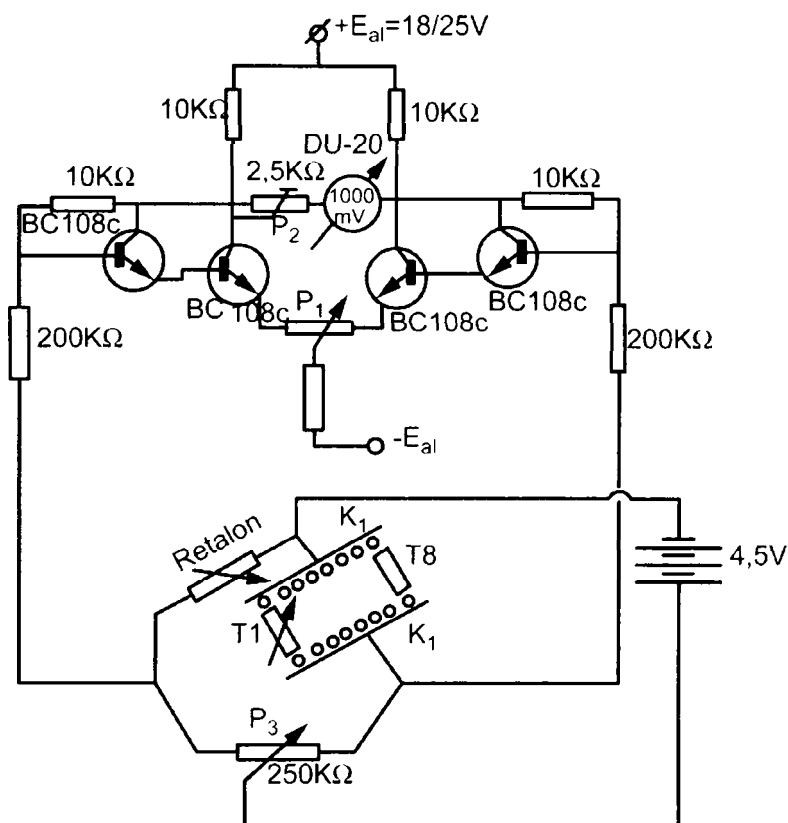


Fig. 4.13 Schema termometrului electronic.

Măsurarea umidității granulelor se face după colectarea de probe la pâlnia de evacuare 13, cu ajutorul unui umidometru capacitiv, alimentat de la o sursă autonomă de 4,5 V.

În figura 4.14 este prezentată schema unei instalații de uscare în pat fluidizat la scară semi-pilot, realizat de firma poloneză METALCHEM, cu un înalt grad de automatizare.

Mărimea șarjei de material supus uscării este în funcție de dimensiunea aparatului, pentru varianta SFO – 60 de la 40 la 100 kg, iar pentru SFO – 150 de la 200 la 200 kg. Temperatura maximă a aerului la intrare ajunge până la 130°C.

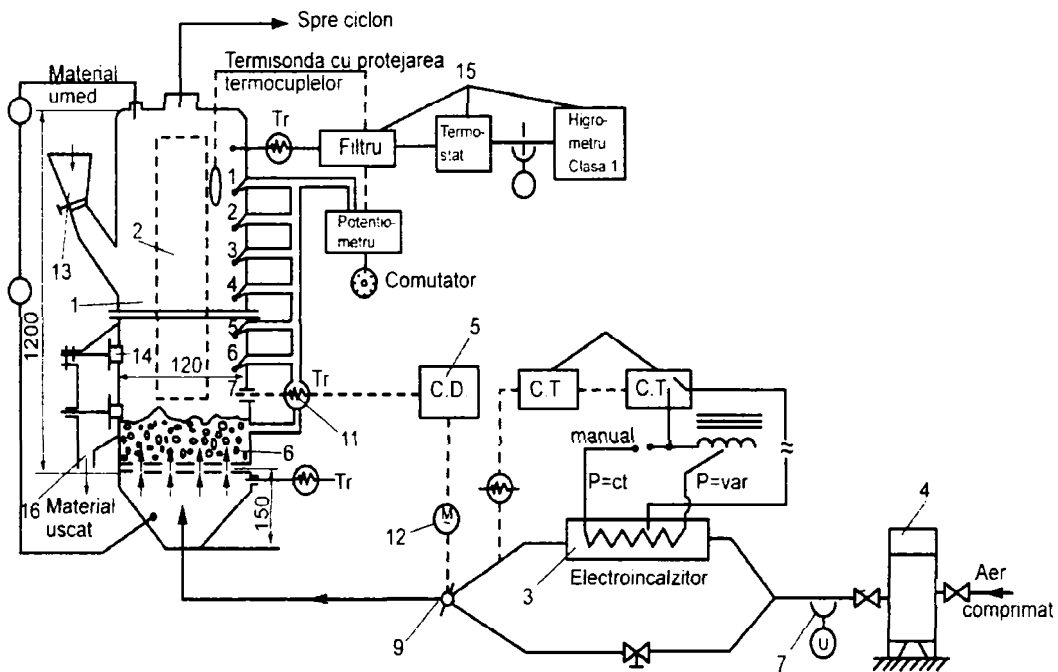


Fig. 4.14 Instalație experimentală pentru studiul uscării în pat fluidizat [59].

Aerul comprimat purificat, preluat prin intermediul rezervorului tampon 4, are debitul menținut constant printr-un sistem de control automat 5 și străbate patul de materiale granulare umede 6. Debitul de aer se măsoară cu ajutorul diafragmei 7. După diafragmă, curentul de aer este divizat în două: unul dintre curenți circulă prin încălzitorul electric 3, echipat cu două circuite de încălzire (unul de putere constantă, iar celălalt de putere variabilă), iar altul este trecut prin bypass, prin intermediul ventilului 8. Cei doi curenți sunt reuniți într-o clapetă de reglaj de tip „fluture”, 9, și printr-un amestec corespunzător se realizează menținerea constantă a temperaturii agentului de uscare.

Sistemul de control 10, este echipat cu: termometru cu rezistență în patul fluidizat 11, controlorul de probă cu acțiune integrală 5 și servomotorul 12, care acționează clapeta 9. Instalația este alimentată cu material umed în vederea uscării prin intermediul buncărului 13, care poate fi înlocuit cu o bandă vibratoare sau cu șnec de alimentare. Probele de lucru sau întreaga șarjă se evacuează din uscător prin intermediul clapetelor de închidere a rezervorului auxiliar 14. În cazul uscării continue, închiderea sau deschiderea acestor clapete servește la controlul debitului de material uscat. Aerul consumat în proces se evacuează printr-un ciclon separator. O mică parte din debitul de aer este prelevată prin sistemul de control 15, format

din: filtru grosier, filtru fin de praf și termostat cu higrometru. Înainte de intrarea în higrometru, debitul de prelevare se măsoară cu un rotametru.

Deoarece temperatura aerului consumat după uscare este constantă la intrarea în higrometru, este posibil ca în toate experiențele, cu ajutorul unei diafragme de etalonare sau cu tabele sau diagrame de aer umed, să se obțină direct umiditatea absolută la ieșire  $x_f$  sau variația  $x_f = f(\tau)$ . Cum  $x_i = \text{constant}$ , rezultă că variația  $\Delta x = x_f - x_i = f(\tau)$ . Aceste dependențe experimentale pot fi însă denaturate de eroarea dinamică a higrometrului.

Mărimea erorii se poate calcula dacă timpul de măsurare este constant de la o probă la alta. Instalația poate fi utilizată în scopul studiului uscării prin fluidizare a materialelor granulare umede: porumb, mazăre, granule chimice, etc.

În figura 4.15 este prezentată schema unei instalații de uscare, realizată și executată în cadrul Universității Politehnica Timișoara, Catedra Termotehnică și Autovehicule Rutiere, de către un colectiv condus de doamna profesor dr. ing. habil Ioana Ionel, alături de domnul profesor dr. ing. Corneliu Ungureanu.

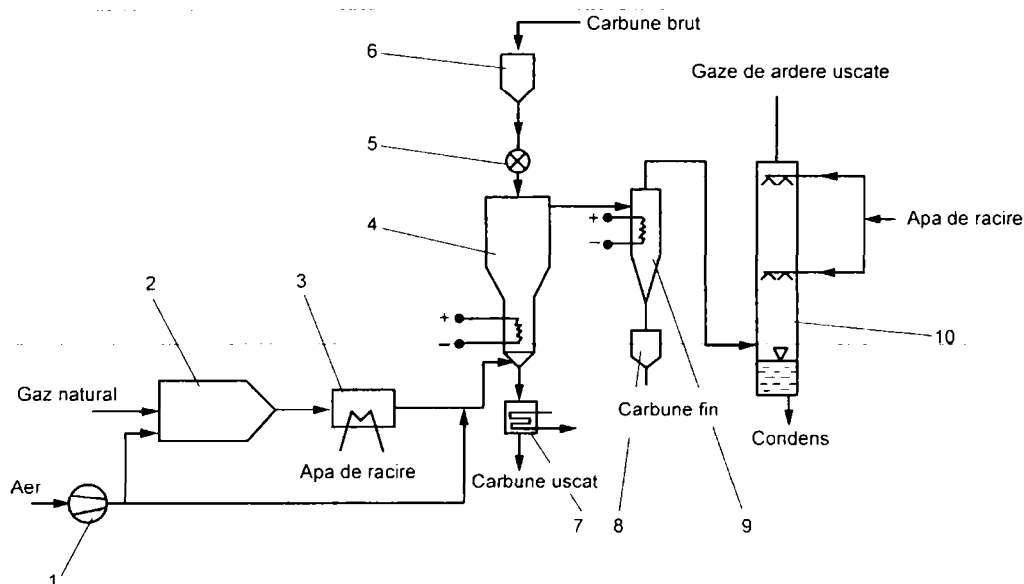


Fig. 4.15 Instalație experimentală de laborator pentru uscarea în pat fluidizat [90].

- 1- ventilator aer, 2- camera de ardere, 3 - răcitor gaze ardere, 4 - uscător,  
5- alimentator, 6 - buncăr de cărbune, 7- sistem evacuare, 8 - buncăr  
pulbere fină, 9 - ciclon, 10- coloană condensare

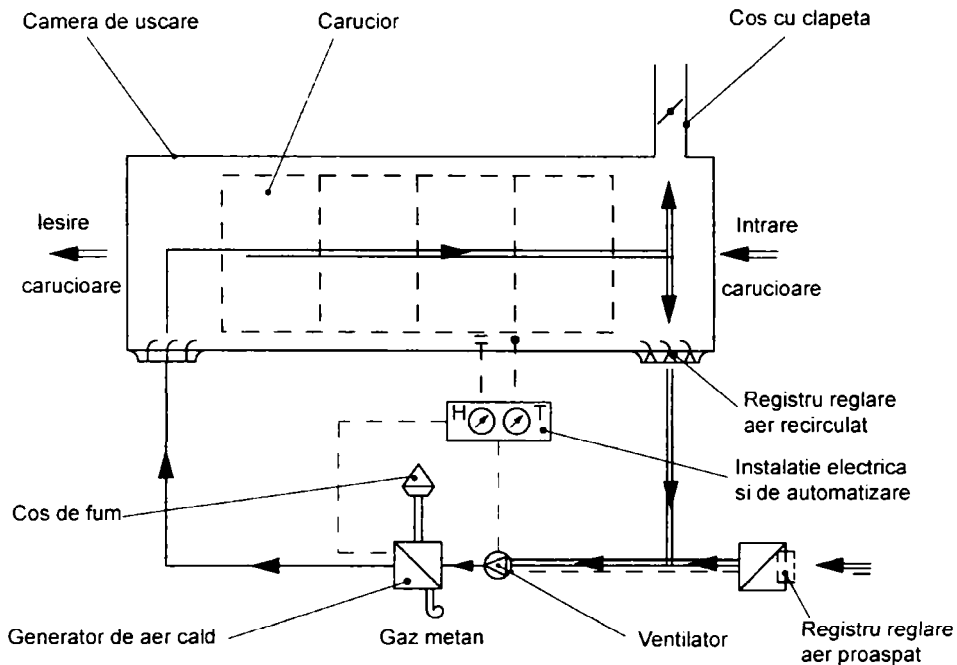
Uscătorul, realizat pentru laborator, funcționând în pat fluidizat și folosind ca agent de uscare gazele de ardere cu o temperatură de 350°C, a permis efectuarea

de studii pentru demonstrarea posibilității pre-uscării lignitului românesc și de a experimenta parametrii funcționali pentru a putea disemina la scară de laborator instalațiile energetice românești [43, 44, 90].

În figura 4.16, este prezentată una din realizările majore în domeniul uscării produselor termolabile în țara noastră, o instalație de deshidratat fructe, proiect realizat de un colectiv specialiști [35] din cadrul Institutului Național de Mașini Agricole și Utilaj Tehnologic pentru Industria Alimentară, Filiala Timișoara.

Scopul proiectului a fost realizarea unei instalații de deshidratare a fructelor în condițiile păstrării proprietăților organoleptice a produselor deshidratate. Agentul termic, respectiv aerul cald, este produs de un schimbător de căldură echipat cu un arzător cu gaz metan. Circulația aerului în interiorul uscătorului este asigurată de un ventilator axial care permite amestecarea aerului recirculat cu aerul proaspăt.

Proporția între aerul recirculat, cu temperatură și umiditate mai mare, și aerul proaspăt cu temperatură și umiditate mai mică, este realizată cu ajutorul clapetei de la coș, a registrului de reglare aer recirculat și a registrului de aer proaspăt.



*Fig. 4.16 Instalație pentru uscarea fructelor și legumelor [35].*

Procesul tehnologic este dirijat de un automat programabil, care permite o gamă largă de cicluri de uscare, diferite pentru fiecare fel de fructe sau fiecare soi, dar în special pentru prune, unde ciclul de uscare variază între 18-22 ore.

În figura 4.17 este prezentată schema unei instalații experimentale de laborator pentru studiul uscării în suspensie a materialelor pulverulente, realizat de firma Kestner Thermo – Venturi.

Debitul de material variază în intervalul  $0,5 \div 5$  kg/h, pentru un debit de aer cald de  $3 \div 35$  m<sup>3</sup>/h. Încălzirea agentului de uscare se face în intervalul de temperatură  $80 \div 160$  °C. Umiditatea inițială a materialului este  $U_i = 1 \div 80$  % pentru un diametru echivalent al boabelor  $d_{ec} = 0,37 \div 1,2$  mm și o înălțime a suspensiei de circa  $80 \div 250$  mm. Pentru toate aceste instalații se poate realiza, după uscarea materialului, regimul de evacuare pneumatică, prin forțarea jetului de aer cald pentru îndeplinirea condiției  $w_g > w_{pl}$ .

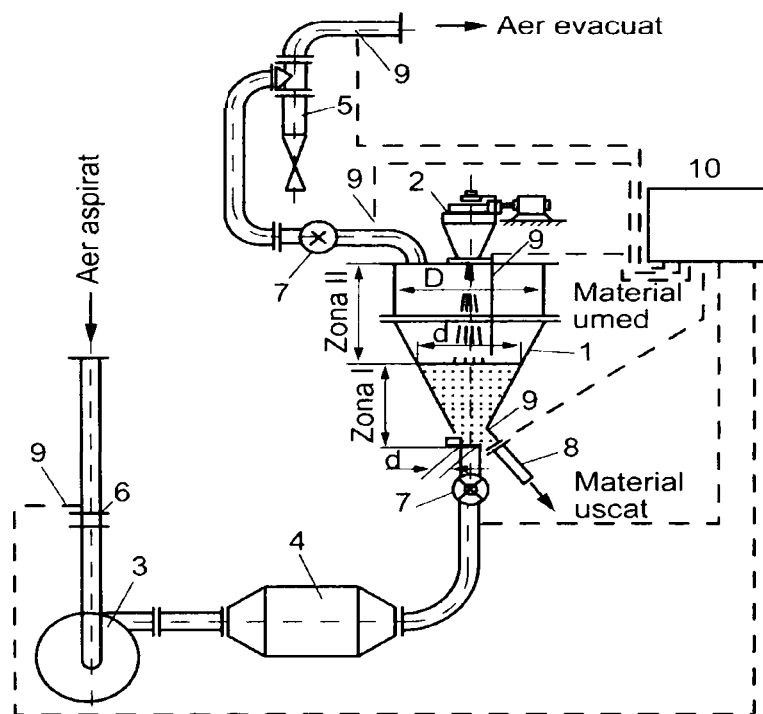


Fig. 4.17 Instalație experimentală de laborator pentru uscarea în suspensie [59].

- 1 - uscător, 2 - alimentator, 3 - ventilator, 4 - încălzitor electric, 5 - ciclon,  
6 - diafragmă, 7 - ventil, 8 - pâlnie evacuare material uscat,  
9 - termocuplu, 10 - potențiomtru

Așa cum s-a menționat mai înainte, temperatura și conținutul de umiditate sunt cei mai importanți factori ce afectează calitatea cerealelor pe timpul depozitării. Variațiile zilnice și sezoniere de temperatură au un efect negativ asupra cerealelor

depozitate, conducând la migrarea apei și schimbă distribuția ei în materialul depozitat. Anticiparea precisă a conținutului de umiditate și temperaturii cerealelor depozitate este necesară pentru controlul efectiv al procesului de ventilare, aplicat, pentru a oferi condiții optime de depozitare cerealelor și minimizarea condițiilor de infestare. Migrarea liberă a apei depinde de mai mulți factori:

- tipul și calitatea cerealelor stocate,
- mărimea și forma cerealelor,
- temperatura cerealelor,
- conținutul inițial de umiditate,
- condițiile atmosferice,
- durata de depozitare,
- proprietățile difuzive și de absorbție ale cerealelor.

Acești factori contribuie la instabilitatea procesului de migrare a apei. Apa tinde să migreze de la zone mai calde spre zone mai reci în masa cerealelor. Migrarea este mai rapidă pentru cereale cu un conținut de umiditate mai ridicat decât pentru cele uscate.

Problemele prezentate mai sus indică nevoia puternică de studii asupra temperaturii cerealelor și conținutului de umiditate. În acest context, influența migrării umidității în masa de cereale pe timpul depozitării, a fost evidențiată cu ajutorul instalației de laborator din figura 4.18

Cercetările au fost efectuate de o echipă condusă de E. Kusinska, în Polonia. Materialul folosit a fost un hibrid de grâu cu un conținut de umiditate de 13, 16 și 18%, depozitat la o temperatură externă constantă de 15 °C pentru o perioadă de 25 de zile.

Conținutul de umiditate de 13, 16 și 18% a fost obținut prin adăugarea volumului adecvat de apă și a fost calculat cu ecuația :

$$M_w = m_g \frac{w_2 - w_1}{100 - w_2}, \quad [4.92]$$

$M_w$  – volumul necesar de apă adăugată pentru a obține un conținut de umiditate  $w_2$ , kg;

$M_g$  – masa cerealelor udate, kg;

$w_1$  – conținutul de umiditate inițial, %;

$w_2$  – conținutul de umiditate al cerealelor necesar %.

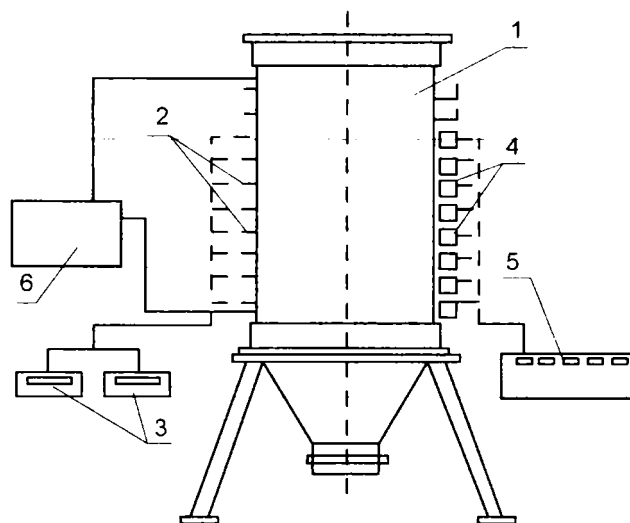


Fig 4.18. Instalație de testare a migrării umidității în masa de cereale.

1 – siloz, 2 - termocuplu, 3 – instrumente de măsură a temperaturii, 4 - instrumente de măsură a tensiunii, 5 – indicator de încărcare al peretelui silozului cu amplificator, 6 – termostat.

Temperatura cerealelor din interiorul silozului a fost măsurată în 40 de puncte de măsură cu ajutorul termocupleurilor (2) și a unui instrument de măsură a temperaturii (3). Punctele de măsurare a temperaturii au fost localizate la aceeași înălțime ca și instrumentele de măsură a tensiunii, la distanțe față de axa silozului de 0, 75, 150, 225 și 300 mm.

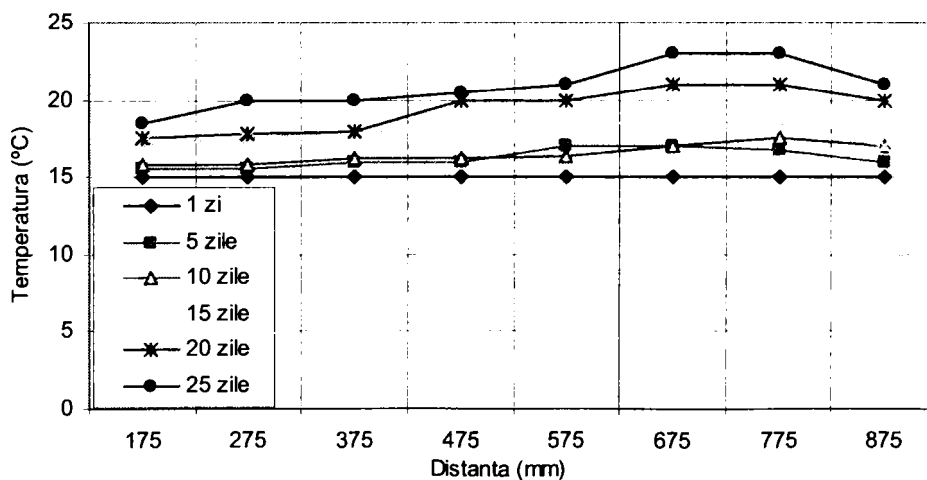


Fig. 4.19. Efectul duratei de depozitare asupra temperaturii cerealelor cu umiditate 13 %.

Măsurătorile de temperatură au fost realizate cu o acuratețe de 0,1°C. Toate măsurătorile au fost realizate în trei rânduri astfel, conform figurilor: 4.19, 4.20, 4.21.

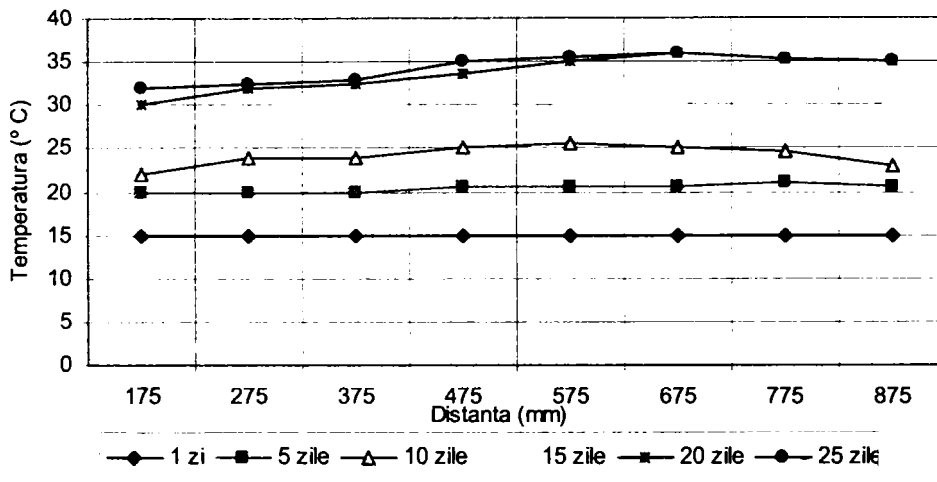


Fig. 4.20. Efectul duratei de depozitare asupra temperaturii cerealelor cu umiditate 16 %.

În toate cazurile, temperatura inițială a cerealelor depozitate în siloz a fost 15°C. Pe timpul depozitării, temperatura cerealelor a atins cele mai ridicate valori pe axa silozului. Temperatura cerealelor cu un conținut inițial de umiditate de 13 % a crescut cu trecerea timpului de depozitare, dar nu foarte mult. Cea mai mare creștere de temperatură a fost observată la punctele de măsurare localizate la înălțimi de 675 și 775 mm (figura 4.19).

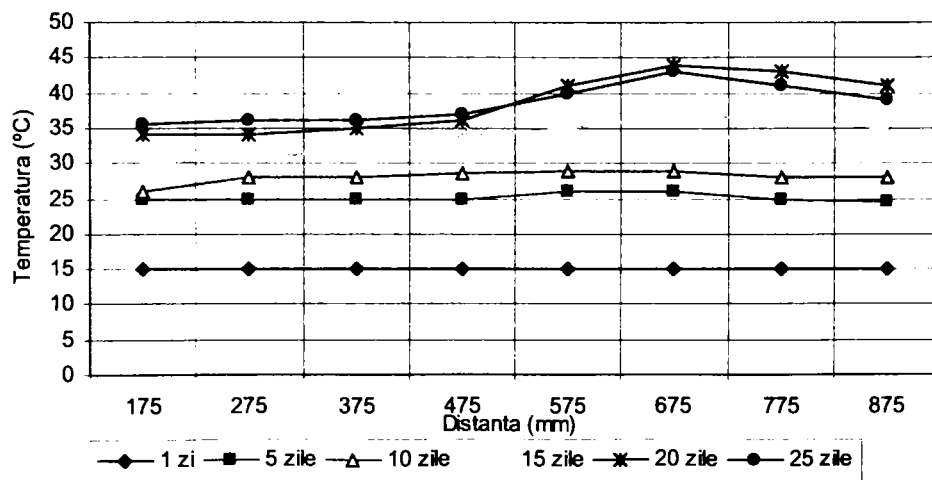


Fig. 4.21. Efectul duratei de depozitare asupra temperaturii cerealelor cu umiditate 18 %.



O creștere și mai mare a temperaturii cerealelor a fost pentru cele cu umiditate de 16 % (figura 4.20). Cele mai mari schimbări de temperatură au avut loc în timpul perioadei până în ziua 20 a depozitării. La o înălțime de 675 mm, valoarea temperaturii a atins 36 °C iar la cel mai jos punct de măsurare 30°C.

Cele mai mari valori de temperatură au fost observate în cazul cerealelor cu un conținut inițial de umiditate de 18% (figura 4.21). Valoarea maximă observată după 25 de zile a fost la o înălțime de 675 mm (44°C).

În toate experimentele, temperatura la cel mai ridicat nivel de măsurare a fost mai scăzută decât în cazul înălțimilor de 675 și 775 mm.

Acest lucru s-a datorat evaporării apei. Faptul că valorile cele mai mari de temperatură au fost observate la înălțimi de 675 și 775 mm indică difuzia apei de la partea inferioară spre cea superioară a silozului și absorbția la aceste nivele. Temperatura la peretele silozului a fost mai scăzută decât în punctele localizate pe axa silozului (după 25 de zile de stocare cu o valoare medie de  $2 \div 5^\circ\text{C}$ , în funcție de conținutul de umiditate al cerealelor).

Măsurătorile efectuate cu această instalație de laborator vine să confirme cele prezentate în capitolul 3 astfel că:

- temperaturile cele mai ridicate au loc în cazul cerealelor cu un conținut de umiditate de 18% după 25 de zile de depozitare în partea superioară a silozului, iar cele mai reduse, pentru 13% .
- conținutul inițial de umiditate afectează temperatura cerealelor depozitate.

O altă direcție privind studierea și cercetarea proceselor de uscare convectivă a fost dezvoltată în ultimii ani prin studierea proceselor de uscare, a curgerii încrucișate, efectuându-se astfel cercetări experimentale și simularea proceselor pe timpul uscării.

Experimentele efectuate de F. W. Arkema – Bakker [3,4] au demonstrat că uscarea într-o instalație de uscare este neuniformă. Într-un astfel de uscător, cerealele curg peste, pe sub și printre rândurile alternative ale conductelor de admisie și evacuare a aerului.

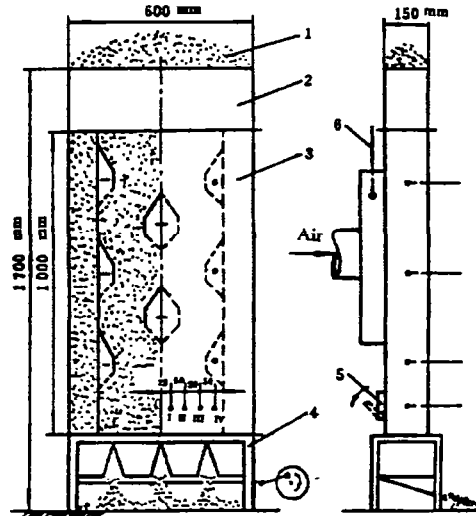
Aerul de uscare curge de la o conductă de admisie prin cerealele ce se află în mișcare lentă către conductele de evacuare a aerului. Direcția relativă de curgere a cerealelor și a aerului în uscătorul cu curgere amestecată este o combinație între contracurent, curentul încrucișat și echicurent.

În figura 4.22 este prezentată instalația experimentală a unui astfel de uscător, realizat în statul Michigan, SUA, la departamentul de Ingineria Agriculturii, sub coordonarea prof. F. W. Bakker – Arkema, în 1997 [2, 3]. Dimensiunile secțiunii de uscare sunt : 1 m lungime x 0,6 m lățime x 0,15 m grosime; peretele din față este realizat din polimetilmetacrilat transparent. Uscătorul are două conducte de aspirație și șase conducte de evacuare. Spațierea orizontală și verticală între

conducte este 0,40 m și 0,15 m; aria secțiunii încrucișate a fiecărei conducte este 0,0093 m<sup>2</sup>.

Fig. 4.22 – Uscător experimental cu curgere amestecată [2].

- 1 – cereale, 2 – gură de alimentare, 3 – secțiune de uscare,  
4 – descărcător, 5- ușă de prelevare p. ob., 6 – termometru



Aerul de uscare este încălzit cu un încălzitor cu rezistență electrică. Într-un test de uscare centrală, boabele de porumb au fost introduse scurt timp într-o soluție de CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O unde au fost colorate în roz înainte de a fi uscate în condiții statice.

Când coeficientul de umiditate al porumbului introdus în soluția de CaCl<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O atinge 11%, culoarea roz se schimbă în albastru și astfel, când coeficientul de umiditate al porumbului ajunge sub 11% se poate observa prin peretele transparent al uscătorului. Într-un test de uniformitate a uscării, porumbul a fost adus la un coeficient de umiditate de 23 % înainte de a fi introdus în uscător care a fost manipulat ca un dispozitiv de curgere continuă. La fiecare 15 minute s-a măsurat umiditatea cerealelor și temperatura aerului (pozițiile 1÷ 4, figura 4.22) fiind realizate 4 teste în condițiile prezentate în tabelul 4.1

Condițiile de uscare pentru uscătorul experimental cu curent amestecat Tabelul 4.1

Nr. Test	1	2	3	4
Temperatură aer (°C)	128	87	104	86
Curgere aer (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	76,5	76,5	106,4	164,1
Curgere grâne (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	0,60	0,60	0,62	0,67
Temperatură aer ambiental (°C)	26,5	25,5	27	31
Umid. relativă ambientală (%)	81	85	85	86
Umiditatea inițială (%)	23,3	22,4	22,9	22,4
Umiditatea finală (%)	16,6	18,3	18,1	16,6

Deoarece porumbul este în condiții statice, uscarea centrală (schimbarea de culoare) are loc în primul rând lângă aspirația aerului iar apoi se mută către evacuarea aerului. În figura 4.23 se arată poziția uscării centrale în diferite momente. Suprafața ce trece prin uscarea centrală după 10 minute acoperă 18 %

din suprafața totală ocupată de cereale aflată între conducta de aspirație și cele 4 conducte adiacente de evacuare.

De aceea, în cazul uscătorului experimental cu curgere amestecată, rata de uscare descrește de la aspirația până la evacuarea aerului, în timp ce în 20 % din suprafața uscătorului rata de uscare a fost 0.

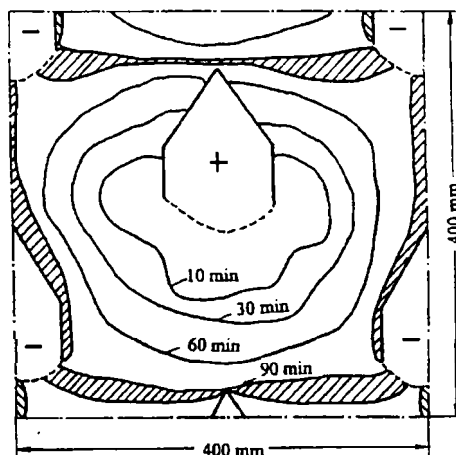


Fig. 4.23 – Locația usării centrale în jurul conductelor de aspirație și evacuare (refulare) a aerului la diferite momente de uscare într-un uscător cu curgere amestecată.

În figura 4.24 este prezentat conținutul de umiditate al porumbului pentru cele 4 poziții în uscătorul experimental. Diferența în conținutul de umiditate între pozițiile I și IV este evidentă. Cea mai mare diferență dintre pozițiile I și IV a fost 6,9% în testul 1, cea mai mică a fost 3,2% în testul 4.

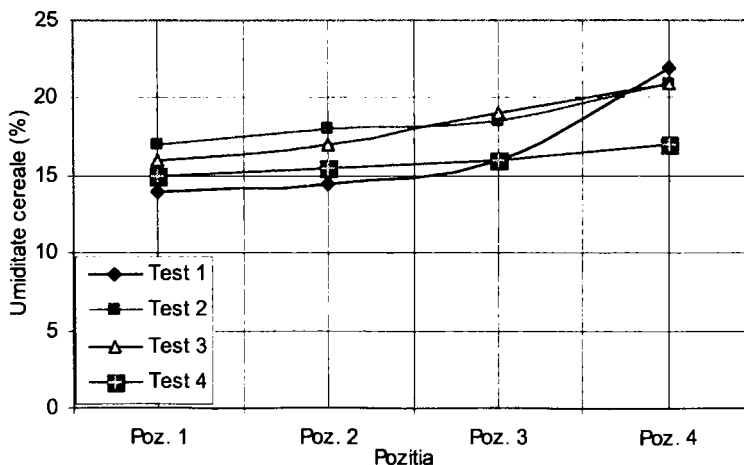


Fig.4.24. Conținutul experimental de umiditate la pozițiile I, II, III, IV.

Cea mai mare diferență dintre pozițiile I și IV a fost 6,9% în testul 1, cea mai mică a fost 3,2% în testul 4. Temperaturile aerului în cele 4 poziții pe timpul testelor sunt arătate în figura 4.25 cea mai mică diferență ( 7° C) fiind între pozițiile I și IV a avut loc în testul 4, iar cea mai mare (25°C) în testul 1.

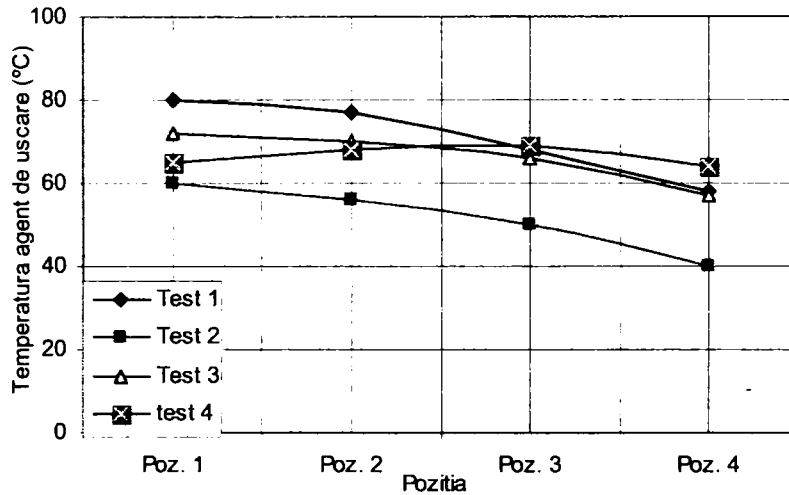


Fig. 4.25 – Temperaturile experimentale ale aerului la pozițiile I, II, III, IV.

În concluzie, conform datelor prelucrate (figurile 4.24 și 4.25), uscarea cerealelor, utilizând principiul curgerii amestecate, este neuniformă. Ca rezultat apar diverse conținuturi în umiditate pentru boabele de porumb la evacuarea din uscător.

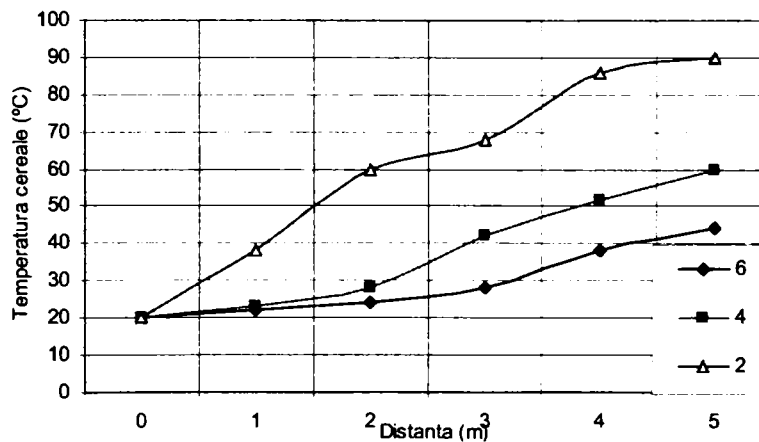


Fig. 4.26 – Temperatura cerealelor de-a lungul liniilor de curent ale curgerii cerealelor.

Diferența de umiditate scade atunci când este folosită o temperatură mai coborâtă sau un debit mai mare de curgere pentru aer. În figurile 4.26 și 4.27 sunt prezentate modificările de temperatură și umiditate ale cerealelor în uscătorul ce funcționează pe principiul curentului amestecat. Pe măsură ce granulele curg prin uscător sunt tratate alternativ cu temperaturi ridicate și coborâte (precum și umidități coborâte și ridicate) ale aerului, de aceea rata de uscare a acestora variază periodic. Acest lucru este favorabil pentru calitatea cerealelor deoarece acestea trec printr-un proces în mai multe etape de uscare / temperare.

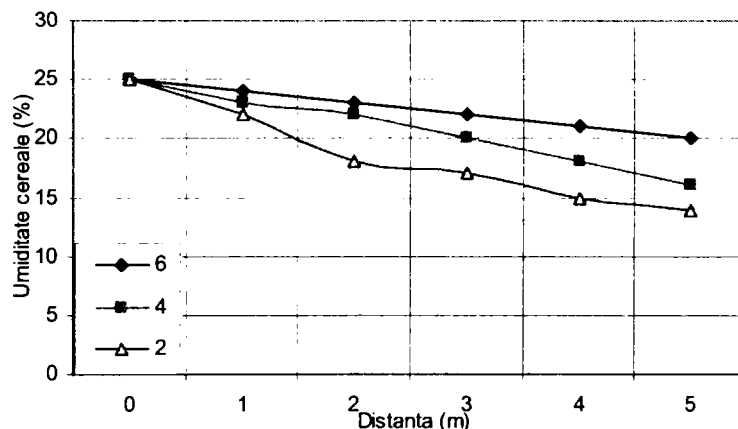


Fig. 4.27 - Umiditate al cerealelor de-a lungul liniilor de curent ale curgerii cerealelor.

Umiditatea cerealelor și diferențele de temperatură dintre căile de la aspirația și evacuarea aerului din uscător sunt arătate în figura 4.28.

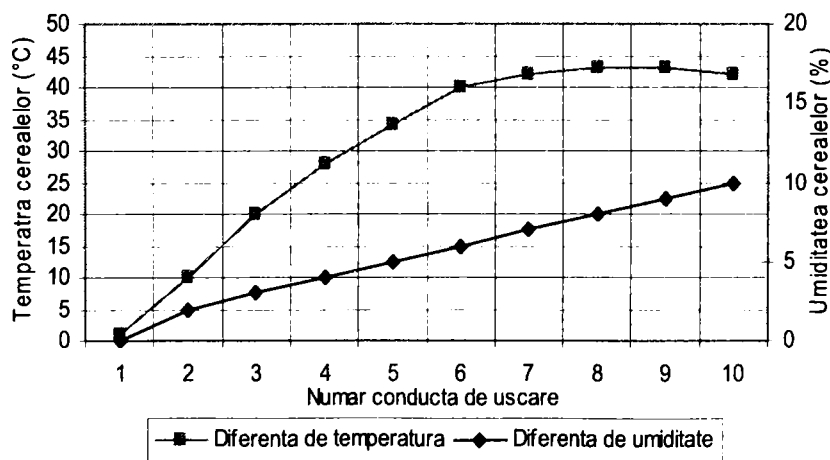


Fig. 4.28 - Diferențele dintre conținutul de umiditate și temperatura cerealelor între părțile corespunzătoare aspirației și evacuării aerului.

Curgerea cerealelor în apropiere de o conductă de admisie întâlnește mereu aerul cel mai fierbinte și cel mai uscat, acestea se vor usca mai rapid decât cele care curg în zona conductei de evacuare. Diferențele în conținutul de umiditate și temperatură al cerealelor depind de:

- dispunerea conductelor agentului de uscare,
- temperatura agentului de uscare,
- debitul agentului de uscare.

#### 4.2.2 Caracteristici termodinamice ale cerealelor determinate experimental

**Conductivitatea termică a grâului și porumbului**, au fost determinate experimental de Kazarian și Hall încă din 1965. Pentru determinarea acestui parametru ei au folosit metoda sursei liniare de căldură. Un cilindru gol la interior, cu înălțime de 25 cm și diametru de 7 cm, a fost umplut cu boabe, iar o rezistență electrică a fost plasată în centru. Doi curenți de 0,49 A și respectiv 0,56 A au fost utilizați pentru a obține diverse temperaturi în cilindru.

În orice caz, pentru acești doi curenți diferiți nu au sesizat diferențe semnificative în ceea ce privește valorile conductivității termice. Pentru porumb încălzirea a durat 16 minute, iar pentru grâu durata de încălzire a fost de 10 minute, cu aceeași intensitate a curentului electric de 0,49 A.

Pentru calculul difuzivității termice, granulele au fost introduse într-un paralelipiped din cupru în care au fost plasați la anumite distanțe senzori de temperatură. Paralelipipedul a fost introdus într-o baie de apă – gheață și pe baza informațiilor oferite de traductoarele de temperatură și distanța dintre acestea s-a putut calcula difuzivitatea termică.

Valorile obținute pentru difuzivitatea și conductivitatea termică a cerealelor în intervalul de temperatură 8,8 ÷ 52,7 °C, sunt redată în tabelele 4.2 și 4.3.

*Caracteristici termodinamice ale semințelor de porumb*

*Tabelul 4.2*

Umiditate, (%)	Căldură specifică, (kJ/kg K)	Conductivitate termică, (W/mK)	Difuzivitate termică $\times 10^{-7}$ , (m <sup>2</sup> /s)
0,91	1,532	0,117	1,019
5,08	1,692	0,122	0,983
9,81	1,834	0,127	0,939
14,7	2,027	0,132	0,905
20,1	2,223	0,136	0,866
24,7	2,374	0,142	0,887

Caracteristici termodinamice ale semințelor de grâu

Tabelul 4.3

Umiditate, (%)	Căldură specifică, (kJ/kg K)	Conductivitate termică, (W/mK)	Difuzivitate termică $\times 10^{-7}$ , (m <sup>2</sup> /s)
0,68	1,453	0,098	0,926
5,45	1,570	0,102	0,895
10,3	1,792	0,108	0,854
14,4	2,094	0,113	0,820
20,3	2,186	0,115	0,799

Rezultatele obținute arată că există o dependență liniară între conductivitatea termică  $\lambda$ , și conținutul de umiditate, care poate fi exprimată prin ecuațiile:

$$\lambda = 10^{-2} (0,950 \cdot U + 9,821), \text{ pentru grâu} \quad [4.91]$$

$$\lambda = 10^{-2} (0,938 \cdot U + 11,826), \text{ pentru porumb} \quad [4.92]$$

unde :

-  $U$  = reprezintă conținutul de umiditate al semințelor, (%).

Așa cum era de așteptat, conductivitatea termică crește odată cu creșterea conținutului de umiditate.

În schimb, difuzivitatea termică descrește constant cu creșterea umidității pentru grâu (figura 4.29), iar pentru porumb (figura 4.30) de asemenea, până la valoarea de 20 %, după care există o tendință de creștere.

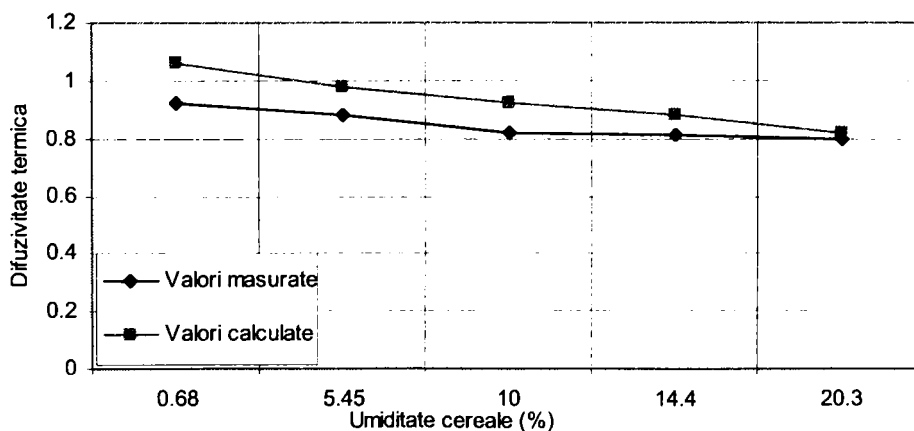


Fig. 4.29 Difuzivitatea termică a grâului.

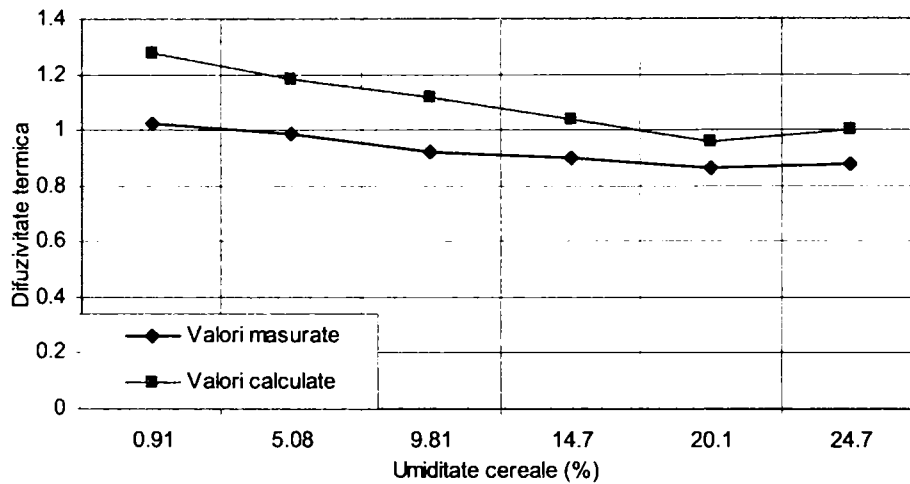


Fig. 4.30 Difuzivitatea termică a porumbului.

Explicația acestui fenomen constă în modificarea căldurii specifice și a densității odată cu creșterea conținutului de umiditate ( $a = \lambda/c_v$ ).

Valorile calculate ale difuzivității termice, pornind de la datele experimentale pentru  $\lambda$  și  $c_v$  au fost cu 6÷21 % mai mari decât cele măsurate pentru grâu. Pentru porumb aceeași diferență a variat între 10÷16 %. Motivul acestei discrepante îl constituie erorile experimentale și limitările instrumentelor de lucru.

#### 4.2.3 Ecuații criteriale determinate experimental utilizate pentru studiul procesului de uscare a cerealelor.

Prelucrarea datelor experimentale obținute prin numeroase tehnici experimentale în regim termic staționar, cvasistaționar și nestaționar, se prezintă sub forma unor ecuații criteriale de tipul:

$$Nu = C Re^m Pr^n, \quad [4.93]$$

$$Sh = C_1 Re^p Sc^q, \quad [4.94]$$

în care:

- $Nu = \frac{\alpha d_p}{\lambda}$ , este criteriul Nusselt la transferul convectiv de căldură,
- $Re = \frac{w d_p}{\nu}$ , criteriul Reynolds, [4.95]



- $Pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{v \rho c_p}{\lambda}$ , criteriul Prandtl, [4.96]

- $Sh = \frac{\beta d_p}{D}$ , criteriul Sherwood la transferul convectiv de masă, [4.97]

unde:

- ◆  $D$  = coeficientul de difuzie, (m<sup>2</sup>/s),
- ◆  $\lambda$  = conductivitatea termică, (W/mK),
- ◆  $d_p$  = diametru particulelor, (m)
- ◆  $\alpha$  = coeficientul de transfer convectiv de căldură, (W/m<sup>2</sup>K),
- ◆  $w$  = viteza agentului de uscare, (m<sup>2</sup>/s),
- ◆  $\beta$  = coeficientul de transfer convectiv de masă, (m/s).

Analiza ecuațiilor criteriale existente în literatura de specialitate demonstrează o analogie parțială între procesele de transfer de energie (căldură) și cele de transfer de materie (masă), pentru care  $C = C_1$ ,  $m = p$ ,  $n = q = 1/3$ , astfel că relațiile [4.93], [4.94] se pot scrie sub forma:

$$Nu = C Re^m Pr^{1/3}, \quad [4.98]$$

$$Sh = C_1 Re^m Sc^{1/3}, \quad [4.99]$$

Analiza rezultatelor experimentale, a numeroaselor ecuații criteriale și a nomogramelor corespondente permit precizarea relațiilor recomandabile pentru proiectarea instalațiilor de uscare cu straturi granulare fixe. Astfel pentru regimul staționar al stratului granular fix, coeficienții  $\alpha$ ,  $\beta$  se pot determina cu următoarele relații:

1. În domeniul  $Re_{ec} = 30 \div 8 \cdot 10^4$ ,  $Pr(Sc) = 0,6 \div 3600$

$$Nu_{ec} = 0,395 Re_{ec}^{0,64} Pr^{1/3} \quad [4.100]$$

$$Sc_{ec} = 0,395 Re_{ec}^{0,64} Sc^{1/3}, \quad [4.101]$$

Pentru particule de formă regulată, dispersia medie în precizia criteriilor  $Nu$  ( $Sh$ ) este de  $\pm 15\%$ . Pentru particule de formă neregulată cu suprafețe puternic rugoase, dispersia medie este de  $+30 \div -50\%$ .

2. În domeniul  $Re_{ec} = 30 \div 2$ ,  $Pr(Sc) = 0,6 \div 3600$

$$Nu_{ec} = 0,725 Re_{ec}^{0,47} Pr^{1/3}, \quad [4.102]$$

$$Sc_{ec} = 0,725 Re_{ec}^{0,47} Sc^{1/3}, \quad [4.103]$$

Abaterea medie în precizia calculelor este de  $\pm 15\%$ .

3. În domeniul  $Re_{ec} = 2 \div 0,01$ , în care se manifestă și influența convecției libere, se introduce și criteriul Grashof echivalent.

$$Gr'_{ec} = \frac{gd^3 p}{\nu^2} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \frac{\rho_s - \rho}{\rho}, \quad [4.104]$$

unde:

- $g = 9,81$ , accelerația gravitațională, (m/s)
- $\nu$  = vâscozitatea cinematică a fazei gazoase care umple stratul fix, (m<sup>2</sup>/s)
- $\rho$  = densitatea medie a fazei gazoase, (kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_s$  = densitatea gazului la saturație pentru echilibrul evaporării de pe suprafața granulei, (kg/m<sup>3</sup>).

Dacă se înlocuiește simplexul  $(\rho_s - \rho)/\rho$ , din relația precedentă cu diferența de concentrații (la saturație,  $C_s$  și în faza fluidă,  $C_\infty$ ), rezultă:

$$Gr'_{ec} = \frac{gd^3 p}{\nu^2} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \frac{C_s - C_\infty}{C_\infty}, \quad [4.105]$$

În aceste condiții, dacă  $Gr_{ec} \leq 10^4 Re_{ec}$ , influența convecției libere se poate neglija și se recomandă utilizarea relațiilor:

$$Nu_{ec} = 0,515 Re_{ec}^{0,85} Pr^{1/3}, \quad [4.106]$$

$$Sh = 0,515 Re_{ec}^{0,85} Sc^{1/3}, \quad [4.107]$$

cu dispersii medii de precizie de  $\pm 25\%$ .

În cazul în care  $Gr'_{ec} \geq (Gr'_{ec})_{cr} = 10^4 Re_{ec}$ , influența convecției libere a fazei fluide care staționează (sau circulă) în strat este importantă, măbind fluxurile

termice sau de masă  $\dot{q}, \dot{m}$ . Fenomenul este complex și puțin stăpânit prin măsurători, de aceea se recomandă printr-o aproximație, utilizarea relației:

$$Nu_{ec} = 0,115\varepsilon (Gr'_{ec} Pr)^{1/3}, \quad [4.108]$$

$$Sh_{ec} = 0,115\varepsilon (Gr'_{ec} Sc)^{1/3}, \quad [4.109]$$

care conduc la dispersii medii de precizie de  $\pm 50\%$ .

4. Pentru încălzirea sau răcirea stratului granular fix în regim nestaționar, pentru intervalul  $Re_{ec} = 50 \div 5000$ , se recomandă relațiile:

$$Nu_{ec} = 0,166 Re_{ec}^{0,72} Pr^{1/3}, \quad [4.110]$$

$$Sh = 0,166 Re_{ec}^{0,72} Sc^{1/3}, \quad [4.111]$$

care conduc la dispersii maxime de precizie de  $\pm 20\%$ .

La cercetări de mare precizie trebuie să se asigure în experiment condițiile de similitudine și analogie complete, ceea ce este extrem de dificil. În aceste ecuații criteriale semnificația echivalenței este:

$$Nu_{ec} = \frac{\alpha d_{ec}}{\lambda}, \quad Sc_{ec} = \frac{\beta d_{ec}}{D}, \quad Re_{ec} = \frac{w d_{ec}}{\nu}, \quad [4.112]$$

în care diametrul echivalent pentru stratul granular este  $d_{ec} = 4\varepsilon/a_0$ , unde :

- $\varepsilon$  = porozitatea stratului granular,
- $a_0$  = suprafața specifică a granulei, ( $m^2/m^3$ ).

### 4.3 Concluzii

1. Valorificarea superioară a semințelor de cereale reprezintă o acțiune complexă, care constă în primul rând într-o condiționare corespunzătoare care să asigure premisele păstrării recoltei în bune condiții până în momentul prelucrării. Semințele sunt produse perisabile, care își mențin activitatea fiziologică chiar și după recoltare, în timpul păstrării până în momentul utilizării.

2. Cele mai multe fenomene nedorite datorate proceselor fiziologice din masa de semințe în timpul păstrării sunt cauzate de umiditatea prea ridicată a acestora.

3. Din punct de vedere constructiv, tendința actuală la nivel mondial este ca instalația de uscare să prezinte unul sau mai mulți parametrii reglabili, realizându-se astfel adaptabilitatea sistemului la modificarea caracteristicilor semințelor sau a temperaturii și umidității mediului ambiant.

4. Există o preocupare constantă de perfecționare a proceselor tehnologice clasice, în vederea reducerii consumurilor energetice și găsirea de noi soluții energetice (energia solară, geotermală, eoliană, biomasa de toate formele, a deșeurilor). Tendința actuală în construcția uscătoarelor de cereale este aceea a realizării unor instalații compacte, complet automatizate, prevăzute opțional cu echipament propriu de rulare, cu o gamă diversă de capacități de lucru, cu posibilitatea extinderii ulterioare a capacității de producție, astfel:

a. reducerea pierderilor la nivelul pereților, prin operațiuni clasice de ameliorare a etanșeității și a gradului de izolare;

b. operațiuni de recuperare a căldurii, prin recuperarea energiei calorice a aerului uzat evacuat din instalațiile de uscare;

c. folosirea unor noi surse de încălzire, cum ar fi: utilizarea arzătoarelor cu propan sau gaz natural, pentru obținerea aerului cald, ceea ce asigură un randament termic superior, utilizarea energiei solare pentru producerea directă de aer cald cu ajutorul captatorilor plani sau de concentrare;

d. modificarea condițiilor de funcționare a uscătoarelor, prin: utilizarea unui aer foarte cald la limita admisă de materialul supus uscării; saturarea maximă a aerului; reciclarea unei părți aerului; ameliorarea reglării uscătoarelor prin introducerea echipamentelor de automatizare;

e. folosirea pompelor de căldură (pompe cu fluid exterior și pompe de căldură cu acțiune directă, la care uscarea se realizează cu vapori supraîncălziți, care la ieșirea din uscător sunt recomprimați;

f. modificarea modului de uscare, prin creșterea vitezei de transfer căldură – substanță;

g. intensificarea procesului intensificarea procesului de evaporare și evitarea formării unei cruste la suprafața materialului.

# Capitlul 5

## CONTRIBUȚII PRIVIND CERCETAREA TEORETICĂ A PROCESELOR DE USCARE A CEREALELOR

### 5.1 Considerații generale

Analiza detaliată a uscătoarelor existente în exploatare, arată că funcționarea acestora se poate eficientiza prin dotarea lor cu sisteme de monitorizare și comandă, conduse de calculator, pe baza unor programe de calcul a valorii unuia sau mai multor parametri, în funcție de modificările datelor de intrare [69, 78, 79]. Proiectarea unui sistem de reglare automată a temperaturii într-o instalație de uscare impune cunoașterea unui complex de parametri, a căror interdependență este exprimată prin ecuații criteriale de diverse forme.

Astfel, cunoscând anumite mărimi care intră în ecuația bilanțului termic al unei asemenea instalații, se poate deduce o funcție de 2, 3 sau mai mulți parametri, care reprezintă chiar funcția globală de transfer a sistemului de reglare automată. Implementarea unui calculator în bucla de reglare automată a unui proces de uscare a cerealelor, permite adaptarea controlului procesului în funcție de o mulțime de factori, cum ar fi: *temperatura cerealelor, umiditatea cerealelor, capacitatea calorică a combustibilului, temperatura și umiditatea mediului ambiant.*

Capacitatea de stocare în memorie a sute de diagrame (unele determinate experimental, altele teoretice), posibilitatea îmbogățirii bazei de date a calculatorului cu elemente noi, stabilite experimental în timpul procesului tehnologic, alături de timpul de reacție foarte scurt, fac din conducerea automată a procesului uscării cu ajutorul calculatorului o soluție la care este necesar să se recurgă datorită rezultatelor economice foarte bune obținute.

Modelarea matematică prin folosirea posibilităților oferite de calculatoarele din ziua de astăzi este aplicată pe scară din ce în ce mai largă pentru cercetări și pentru conducerea diferitelor obiective tehnologice [2, 4, 12]. În tabelul 5.1 sunt prezentate câteva exemple ale metodelor de modelare, care se aplică în domeniul uscării, pentru tipuri concrete de uscătoare [92, 93, 94, 97, 98, 99, 103].

Implementarea unui sistem de reglare automată într-o instalație de uscare presupune o cercetare teoretică adecvată, folosind capacitățile oferite de tehnica modernă de calcul, programe de simulare (*FLUENT, FLOWNEX, ANSYS, ș.a.*). În această direcție interesează în mod deosebit următoarele:

- ❖ care sunt influențele factorilor perturbatori asupra debitului de combustibil ars în arzătorul unei instalații de uscare, pentru menținerea temperaturii necesare desfășurării procesului;
- ❖ optimizarea amplasării traductoarelor, prin cunoașterea distribuției gradientului de temperatură în camera de uscare;
- ❖ care sunt regimurile termice maxime admisibile care pot fi aplicate cerealelor, în funcție de destinația acestora (consum, germinație);
- ❖ determinarea formei optime de variație în timp a temperaturii agentului de uscare pentru conservarea capacităților germinative a semințelor, în condițiile unei durate a procesului și a unui consum de energie cât mai redus.

*Modele matematice ale diferitelor tipuri de uscătoare Tabelul 5.1*

Nr. crt.	Metoda	Tipul uscătorului	Materialul supus uscării	Confirmare experimentală
1	Folosirea ecuațiilor de bilanț	Cu fluidizare	Material granular	Da
		Cu fluidizare	Material granular	Nu
		Cu tunel	Cărmizi	Da
		Cu tambur și bandă	Hârtie abrazivă	Da
2	Folosirea ecuațiilor cinematice	Cu fluidizare	Material granular	-
		Cu tunel	Lemn	Da
		Cu vid	Material granular	Da
3	Folosirea ecuațiilor empirice	Cu pulverizare	Suspensie soluție	Da
		Cu fluidizare	Corindon	Da
		Cu transport pneumatic	Material granular	Da
		Cu transport pneumatic	Material granular	Da
4	Cercetarea traiectoriei	Cu dispersie	Material granular	Da

Cercetările teoretice efectuate s-au axat pe studiul uscării în strat granular fix, dată fiind largă utilizarea a acestui mod de uscare, urmând ca unele concluzii să poată fi extinse și la alte tipuri de uscătoare [30, 31].

## 5.2 Influența temperaturii și umidității aerului ambiant asupra consumului de combustibil în instalațiile de uscare a cerealelor.

Așa după cum se cunoaște, îndepărtarea umidității cerealelor are loc în cele mai multe cazuri în lunile septembrie – decembrie, perioadă caracterizată prin variații mari de temperatură și umiditate.

Din acest motiv, temperatura și umiditatea aerului ambiant, care urmează a fi amestecat cu gazele arse pentru a deveni agent de uscare, pot influența într-o mare măsură regimul termic din camera de uscare. Pornind de la ecuația de bilanț termic a uscătorului (figura 5.1), se poate scrie:

$$\sum Q_{ii} = \sum Q_{ej},$$

$$\sum Q_{ii} = Q_{cc} + Q_{sc} + Q_{SL} + Q_{sm1}, \quad (5.1)$$

iar

$$\sum Q_{ej} = Q_{sm2} + Q_v + Q_{ga} + Q_{prc},$$

În care:  $Q_{ii}$ ,  $Q_{ej}$ ,  $Q_{cc}$ ,  $Q_{SL}$ ,  $Q_{sm1}$ ,  $Q_{sm2}$ ,  $Q_v$ ,  $Q_{ga}$ ,  $Q_{prc}$  reprezintă cantitățile de căldură intrate, ieșite, chimică a combustibilului, sensibilă a combustibilului, sensibilă a aerului, sensibilă a materialului la intrare, sensibilă a materialului la ieșire, necesară vaporizării apei din produsul supus uscării, sensibilă a gazelor de ardere, pierdută prin radiație și convecție.

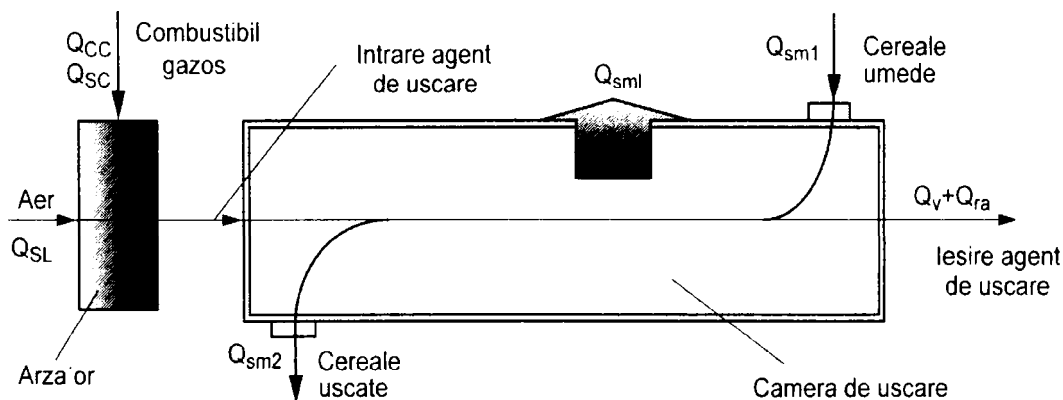


Fig. 5.1 Schema bilanțului termic al unui uscător de cereale.

Ca ipoteză simplificatoare s-a considerat că pierderile de căldură prin organele sistemului de transport a produsului prin uscător sunt constante și se înglobează în  $Q_{prc}$ .

Astfel:

$$Q_{cc} = C \times H_{ic}, \quad Q_{sc} = C \times i_c, \quad Q_{SL} = C \times \lambda \times V_{LMIN} \times i_L, \quad (5.2)$$

$$Q_{sm1} = G_1 \times c_{m1} \times t_{m1}, \quad Q_{sm2} = G_2 \times c_{m2} \times t_{m2}, \quad Q_v = G_1 \times \frac{U_1 - U_2}{100} \times (i_{a2} - i_{a1}) \quad (5.3)$$

$$Q_{ga} = V_{ga} \times i_{ga} = C \times V_{ga} \times i_{ga}, \quad Q_{prc} = \sum Q_{ii} - \sum Q_{ej} = \eta \times \sum Q_{ii}, \quad (5.4)$$

unde:

- $C$  = debitul de combustibil,  $[\text{Nm}^3/\text{s}]$ ;
- $H_{ic}$  = puterea calorică a combustibilului,  $[\text{kJ}/\text{kgK}]$ ;
- $i_c, i_L, i_g, i_{a1}, i_{a2}$  = entalpiile combustibilului, aerului de combustie, gazelor de ardere, a apei la intrare, respectiv ieșire,  $[\text{kJ}/\text{kg}]$ ;
- $\lambda$  = coeficientul de exces de aer la arderea combustibilului;
- $V_{LMIN}$  = volumul de aer minim necesar pentru arderea combustibilului,  $\text{m}^3$ ;
- $V_{ga}$  = volumul de gaze de ardere,  $\text{Nm}^3/\text{Nm}^3$ ;  $V_{ga} = V_{gamin} + (\lambda - 1)V_{Lmin}$ ;
- $\dot{V}_{ga}$  = debitul de gaze de ardere,  $[\text{m}^3/\text{s}]$ ;
- $c_{m1}, c_{m2}, t_{m1}, t_{m2}, U_1, U_2$  - căldurile specifice,  $[\text{J}/\text{kgK}]$ , temperaturile,  $[\text{°C}]$ , umiditatea materialului la intrare, respectiv la ieșire.  $[\%]$

Astfel, ecuația de bilanț termic devine relația (5.5):

$$C \cdot H_{ic} + C \cdot i_c + C \cdot \lambda \cdot V_{LMIN} \cdot i_L + G_1 \cdot c_{m1} \cdot t_{m1} = G_2 \cdot c_{m2} \cdot t_{m2} + G_1 \cdot \frac{U_1 - U_2}{100} \cdot (i_{a2} - i_a) + C \cdot V_{ga} \cdot i_{ga} + \eta (C \cdot H_{ic} + C \cdot i_c + C \cdot \lambda \cdot V_{LMIN} \cdot i_L + Q_{sm1} + G_1 \cdot c_{m1} \cdot t_{m1}) \quad (5.5)$$

În continuare, pentru rezolvarea problemei s-a considerat un caz concret și anume uscarea semințelor de grâu, cunoscându-se următorii parametri:

- $t_{m1} = 20 \text{ °C}$ ,
- $t_{m2} = 70 \text{ °C}$ ,
- $U_1 = 30 \text{ %}$ ,
- $U_2 = 14 \text{ %}$ ,
- $c_{m1} = c_{m2} = 1,84 \text{ kJ}/\text{kgK}$
- $H_{ic} = 8500 \text{ kcal}/\text{kgK}$ , (gaz metan)
- $i_c = 8,22 \text{ kcal}/\text{kg}$ ,
- $i_L = 1,004 + x(2500 + 1,86 t_{aer})$
- $t_{aer} = 0,5 \div 45 \text{ °C}$
- $c_{pa} = 1,002 \text{ kcal}/\text{kg.K}$



- $t_{ga} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,
- $i_{ga} = 1,004 + x(2500 + 1,86 t_{ga})$
- $V_{Lmin} = 10,16 \text{ m}^3$ ,
- $\lambda = 6,510$
- $V_{ga} = 70,48 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$ ,
- $G_1 = 5.000 \text{ kg}$
- $\eta = 25\%$

Astfel, aplicând și transformarea  $1 \text{ kcal} = 0,239 \text{ kJ}$ , relația (5.5) devine:

$$\begin{aligned} & (C \cdot H_{ic} + C \cdot i_c + C \cdot \lambda \cdot V_{LMIN} \cdot (1,004 + x(2500 + 1,86 t_{aer}))) \cdot 0,239 + G_1 \cdot 1,84 \cdot 0,239 \cdot t_{m1} \cdot 0,75 = \\ & G_1 \left( 1 - \frac{U_1}{100} + \frac{U_2}{100} \right) \cdot 1,84 \cdot 0,239 \cdot t_{m2} + G_1 \frac{U_1 - U_2}{100} \cdot c_{pa} (t_{m2} - t_{m1}) + C \cdot V_{ga} \cdot \\ & (1,004 \cdot t_{ga} + x(2500 + 1,86 \cdot t_{ga})) \end{aligned} \quad (5.6)$$

Relația (5.6), poate fi rezolvată cu ajutorul modului de calcul simbolic al programului MathCad 7, în raport cu  $C$ , conducând la relația (5.7) astfel:

$$\begin{aligned} C(t_{aer}, x) = & - \frac{G_1 (0,329 \cdot t_{m1} - 0,439 \cdot t_{m2} + 0,004 \cdot t_{m2} \cdot U_1 - 0,004 \cdot t_{m2} \cdot U_2 - 0,01 \cdot c_{pa} \cdot U_1 \cdot t_{m2})}{0,75(H_{ic} + i_c) + \lambda \cdot V_{LMIN} (0,179 \cdot t_{aer} + 448,125 \cdot x + 0,333 \cdot t_{aer} \cdot x) - V_{ga} (1,004 \cdot t_{ga} + x(2500 + 1,86 \cdot t_{ga}))} \\ & - \frac{0,01 \cdot c_{pa} (U_1 \cdot t_{m1} + U_2 t_{m2} - U_2 t_{m1})}{0,75(H_{ic} + i_c) + \lambda \cdot V_{LMIN} (0,179 \cdot t_{aer} + 448,125 \cdot x + 0,333 \cdot t_{aer} \cdot x) - V_{ga} (1,004 \cdot t_{ga} + x(2500 + 1,86 \cdot t_{ga}))} \end{aligned} \quad (5.7)$$

Această funcție, introdusă în memoria calculatorului de proces, permite calculul necesarului de combustibil ce trebuie consumat pentru menținerea temperaturii în camera de uscare.

Pe baza rezultatelor experimentale, în funcție și de geometria camerei de uscare, relația poate fi corectată cu anumiți coeficienți. În condițiile inițiale, în care variază doar un parametru al mediului ambiant (temperatura sau umiditatea acestuia), se poate observa în figurile 5.2 și 5.3 evoluția consumului de combustibil.

Analizând figura 5.2 se constată o creștere liniară a consumurilor de combustibil odată cu scăderea temperaturii. Astfel, o scădere a temperaturii cu  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  provoacă o creștere a consumului cu cca. 7 %.

Din figura 5.3 reiese o variație hiperbolică a debitului de combustibil funcție de conținutul de umiditate al aerului, astfel încât la o creștere a conținutului de umiditate de la  $0,002 \text{ kg/kg}$  la  $0,01 \text{ kg/kg}$ , consumul de combustibil crește cu aproximativ 3 %.

Odată cu creșterea temperaturii mediului ambiant variațiile conținutului de umiditate pot fi mai mari și implicit pot exista variații și mai mari ale necesarului de combustibil.

În practică pot exista situații când cele două efecte se cumulează, ducând (dacă nu există un sistem de reglare automată) la scăderea apreciabilă a temperaturii în camera de uscare.

Pentru evidențierea suprapunerii celor două efecte este necesară reprezentarea grafică a funcției  $C(t_{\text{aer}}, x)$  în coordonate tridimensionale. Făcând schimbarea de variabile  $t_{\text{aer}} \rightarrow p$  și  $x \rightarrow m$ , se definește matricea  $F_{i,j} = C(p_i, m_j)$ , unde :

$$p_i = p_{\min} + i \frac{p_{\max} - p_{\min}}{p_n}, \quad (5.8)$$

$$m_j = m_{\min} + j \frac{m_{\max} - m_{\min}}{m_n}, \quad (5.9)$$

$$i = 0 \dots p_n - 1, \quad p_n = 31, \quad m_n = 31 \quad (5.10)$$

$$j = 0 \dots m_n - 1, \quad m_{\min} = 0, \quad m_{\max} = 0 \quad (5.11)$$

$$p_{\min} = 0, \quad p_{\max} = 30$$

Prin urmare se evidențiază necesitatea echipării uscătoarelor moderne cu sisteme de reglare automată, care să elimine influența nedorită a variației unor mărimi ce intervin în procesul uscării, prin modificarea debitului de combustibil necesar pentru menținerea în camera de uscare a unui regim impus.

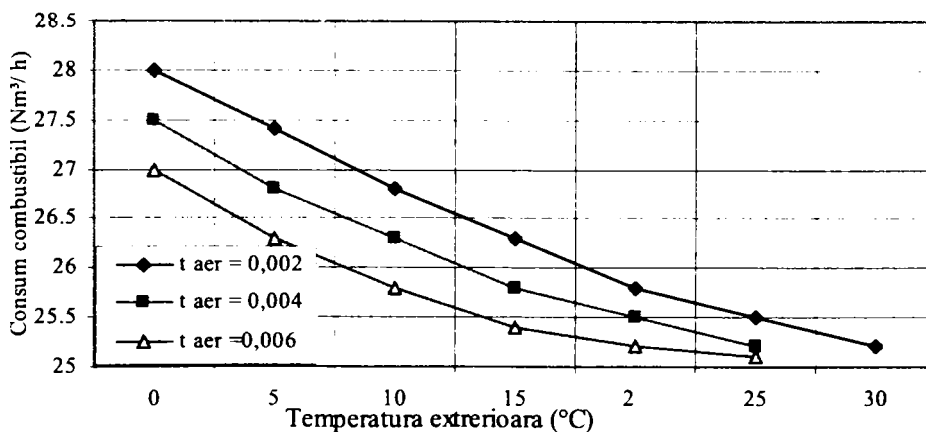


Fig. 5.2 Modificarea necesarului de combustibil în funcție de temperatura mediului.

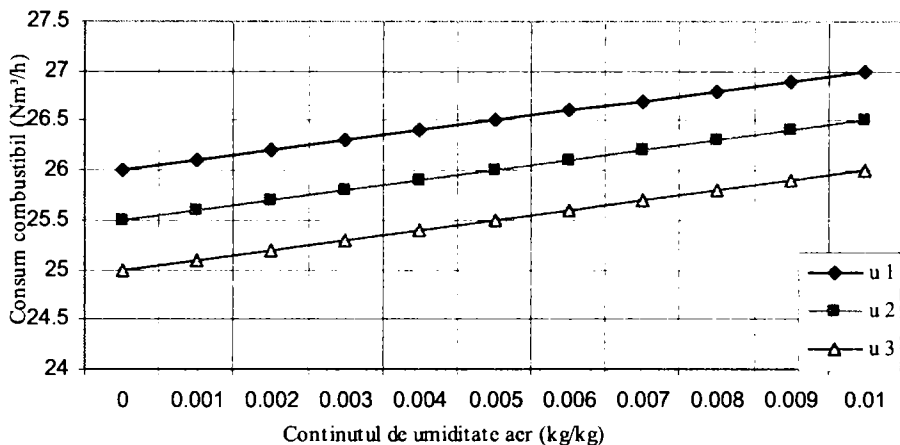


Fig. 5.3 Modificarea necesarului de combustibil în funcție de umiditatea mediului ambiant.

### 5.3 Variația debitului de combustibil în funcție de umiditatea și temperatura cerealelor la intrarea în uscător.

Pe timpul desfășurării campaniei de recoltare, la unitățile pentru depozitarea cerealelor sunt aduse sistematic cantități discrete din recoltă care pot avea caracteristici diferite în ceea ce privește umiditatea. Acest factor perturbator, alături de variația temperaturii cerealelor ce urmează să intre în uscător de-a lungul unei zile, produc neajunsuri în funcționarea corectă a instalației de uscare [59, 60].

În cele ce urmează se face o apreciere cantitativă a acestor factori privind necesarul de combustibil ce trebuie consumat pentru menținerea regimului termic constant în camera de uscare. Pentru aceasta s-a considerat cazul uscării unei cantități de boabe de porumb, a căror căldură specifică variază cu umiditatea și temperatura, conform relației:

$$c_m = \frac{U(26,6 + 0,116 \cdot t_m)}{100 + U}, \quad (5.12)$$

unde:

- $U$  = umiditatea semințelor, [%]
- $t_m$  = temperatura semințelor, [°C]

Se cunosc următorii parametri pentru un caz particular

- $t_{m1} = 0 \div 30$  °C,
- $t_{m2} = 60$  °C,

- $U_1 = 16 \div 26 \%$ ,
- $U_2 = 14 \%$ ,
- $H_{ic} = 8500 \text{ kcal/kgK}$ ,
- $i_c = 8,22 \text{ kcal/kg}$ ,
- $i_L = 4,97 \text{ kcal/kg}$ ,
- $c_{pa} = 1,002 \text{ kcal/kgK}$ ,
- $i_{ga} = 47,2 \text{ kcal/kg}$ ,
- $V_{Lmin} = 10,16 \text{ m}^3$ ,
- $\lambda = 6,510$ ,
- $V_{ga} = 62,77 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- $G_1 = 5.000 \text{ kg/h}$ ,
- $\eta = 25\%$ ,
- $G_1 = 5.000 \text{ kg}$ ,
- $i_{a1} = 16.003 \text{ kcal/kg}$ ,
- $i_{a2} = 656.294 \text{ kcal/kg}$ .

Pornind de la ecuația generală a bilanțului termic stabilită în capitolul 5.2, pe baza figurii 5.1, rezultă relația (5.13):

$$C \cdot H_{ic} + C \cdot i_c + C \cdot \lambda \cdot V_{LMIN} \cdot i_L + G_1 \cdot c_{m1} \cdot t_{m1} = G_2 \cdot c_{m2} \cdot t_{m2} + G_1 \cdot \frac{U_1 - U_2}{100} \cdot (i_{a2} - i_a) + C \cdot V_{ga} \cdot i_{ga} + \eta (C \cdot H_{ic} + C \cdot i_c + C \cdot \lambda \cdot V_{LMIN} \cdot i_L + Q_{sm1} + G_1 \cdot c_{m1} \cdot t_{m1}) \quad (5.13)$$

și făcând înlocuirile, rezultă relația 5.14:

$$\left( C \cdot H_{ic} + C \cdot i_c + C \cdot \lambda \cdot V_{LMIN} \cdot i_{aer} + G_1 \frac{(26,6 + 0,116 \cdot t_{m1}) \cdot U_1}{100 + U_1} \cdot t_{m1} \right) \cdot 0,75 = G_1 \left( 1 - \frac{U_1}{100} + \frac{U_2}{100} \right) \cdot \frac{(26,6 + 0,116 \cdot t_{m1}) \cdot U_2}{100 + U_2} \cdot t_{m2} + G \cdot \frac{U_1 - U_2}{100} \cdot (i_{a2} - i_{a1}) + C \cdot V_{ga} \cdot i_{ga} \quad (5.14)$$

Rezolvarea ecuației de bilanț termic (5.14) cu ajutorul modului de calcul al programului MathCad14 în raport cu C, conduce la soluția (5.15):

$$C(t_{m1}, U_1) = -G_1 \frac{t_{m1} \frac{U_1}{U_1 + 100} (19,95 + 8,7 \cdot 10^{-2} \cdot t_{m1})}{0,75(H_{ic} + i_c + \lambda V_{LMIN} \cdot i_{aer}) - V_{ga} \cdot i_{ga}} - \frac{t_{m2} \frac{U_2}{U_2 + 100} (26,6 + 0,16 t_{m2} + 0,266 U_1 + 1,16 \cdot 10^{-3} \cdot t_{m2} U_1 - 0,266 U_2 - 1,16 \cdot 10^{-3} U_2 t_{m2})}{0,75(H_{ic} + i_c + \lambda V_{LMIN} \cdot i_{aer}) - V_{ga} \cdot i_{ga}} - \frac{10^{-2}(U_1 \cdot i_{a2} + U_1 \cdot i_{a1} + U_2 \cdot i_{a2} - U_2 \cdot i_{a1})}{0,75(H_{ic} + i_c + \lambda V_{LMIN} \cdot i_{aer}) - V_{ga} \cdot i_{ga}} \quad (5.15)$$

cu ajutorul căreia se poate determina variația debitului de combustibil, necesar a fi ars în funcție de variația caracteristicilor produsului la intrarea în uscător, pentru un regim termic impus în camera de uscare. Considerând constante valorile  $t_{m2}$ ,  $U_2$ ,  $\lambda$ ,  $V_{L\text{MIN}}$ ,  $i_L$ ,  $H_{ic}$ ,  $i_c$ ,  $G_1$ ,  $\eta$  (pentru un regim de uscare constant), rezultă funcția globală de transfer a sistemului de reglare automată, care va fi folosită de calculator pentru corectarea debitului de combustibil utilizat de arzător, la orice modificare a temperaturii și umidității cerealelor înainte de intrarea în uscător.

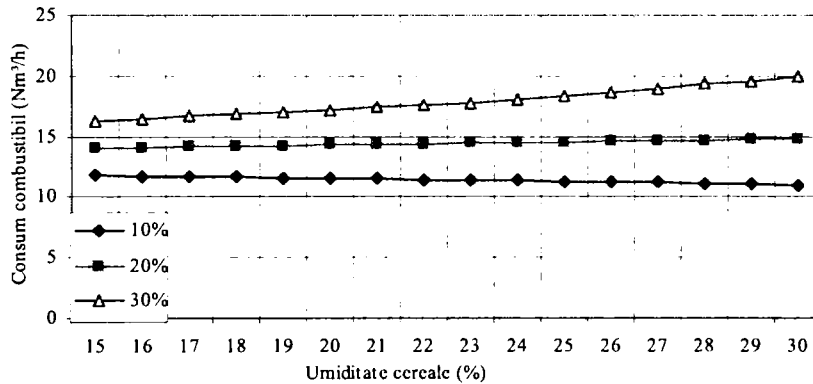


Fig. 5.4 Modificarea necesarului de combustibil în funcție de umiditatea cerealelor.

Din figurile 5.4 și 5.5 se poate aprecia dependența consumului de combustibil în funcție de valoarea celor doi parametri. Se constată că pentru valori uzuale ale temperaturii cerealelor la intrarea în uscător, figura 5.4 (curba din mijloc, pentru umiditate 20%), creșterea umidității cerealelor (15÷30 %), necesită majorări reduse ale debitului de combustibil, de circa 3 ÷ 5%. În schimb scăderea valorii temperaturii cerealelor cu 10 ÷ 15%, figura 5.5 (curba superioară, pentru  $u_1$ ), implică creșterea cu 15 ÷ 20 % ale debitului de combustibil.

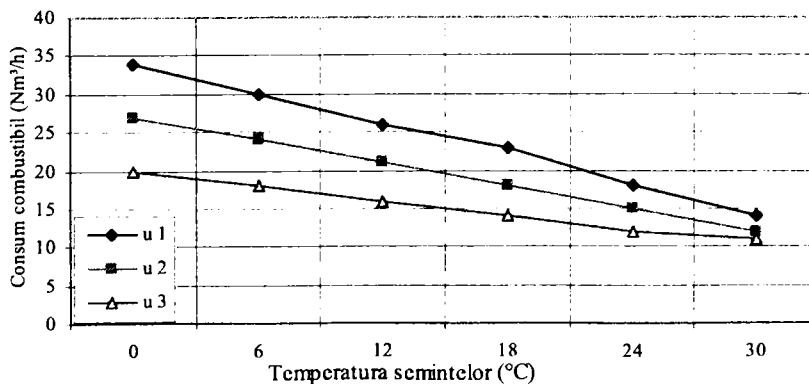


Fig. 5.5 Modificarea necesarului de combustibil în funcție de temperatura cerealelor la intrarea în uscător.

Aceasta arată că o cantitate importantă de energie este consumată pentru ridicarea temperaturii cerealelor. Având în vedere acest lucru, cât și influența favorabilă a umidității scăzute a aerului ambiant asupra economicității operației, se recomandă uscarea cerealelor în timpul zilei, când de regulă sunt îndeplinite cele două condiții [33, 34, 52, 53].

Scăderea necesarului de combustibil odată cu creșterea umidității cerealelor la intrare, în anumite condiții (figura 5.4, curba pentru umiditate 30%), deși pare un fenomen paradoxal, este explicabil prin creșterea entalpiei produsului odată cu umiditatea acestuia și prin faptul că necesarul de combustibil a fost calculat pentru un regim termic constant și nu pentru o durată de uscare impusă. Așadar atunci când apare o cumulare nedorită a temperaturii și umidității materialului supus uscării, o majorare a necesarului de combustibil este semnificativă.

Prin urmare, se constată că necunoașterea evoluției factorilor ce influențează procesul de uscare și neechiparea uscătorului cu sisteme de reglare automată performante, care să cerceteze funcționarea uneia sau mai multor componente de bază din instalația de uscare, în scopul eliminării efectelor perturbațiilor duce la neajunsuri în ceea ce privește calitatea cerealelor, dar mai ales la economicitatea sistemului.

Analizând diagramele din figurile 5.2, 5.3, 5.4 și 5.5, influența temperaturii și umidității aerului ambiant, respectiv a umidității și temperaturii cerealelor la intrarea în uscător, se constată următoarele:

- cea mai mare influență asupra bilanțului termic o are temperatura semințelor la intrarea în uscător, în sensul scăderii apreciabile a necesarului de combustibil odată cu creșterea temperaturii acestora,
- creșterea umidității aerului ambiant aduce de asemenea un aport caloric suplimentar prin creșterea entalpiei.

Necesarul de combustibil crește, însă într-o măsură mai redusă, iar transferul de masă (umiditate) de la semințe la agentul de uscare se face mai greu, motiv pentru care trebuie mărită durata de staționare pentru perioada de uscare cu viteză constantă, sau efectuarea mai multor treceri prin uscător,

- creșterea temperaturii aerului are o influență benefică asupra economicității sistemului, prin scăderea necesarului de combustibil. Totodată se intensifică viteza de uscare prin creșterea diferenței dintre conținutul de umiditate curent și conținutul de umiditate la saturație al agentului de uscare (așa cum s-a arătat în studiul cineticii uscării în capitolul 4),
- întrucât la majoritatea silozurilor cerealele sunt depozitate afară înainte de uscare, și au o temperatură aproximativ egală cu cea a mediului ambiant, este recomandabilă funcționarea uscătorului pe timp de zi, când temperatura mediului ambiant este mai ridicată.

## **5.4 Calculul temperaturii maxime a agentului de uscare în funcție de umiditatea și destinația cerealelor.**

### **5.4.1 Aspecte teoretice privind modelarea matematică a proceselor tehnologice.**

Procesul de uscare al cerealelor este un proces complex care nu a fost studiat complet datorită unor dificultăți esențiale care apar la cercetarea diferiților parametri care influențează procesul de uscare [53, 54, 56, 63]. Cercetările experimentale desfășurate pentru studiul oricărui proces, inclusiv pentru evoluția acestuia în timp, nu pot fi într-un număr oricât de mare. Din acest motiv, în toate domeniile, pentru studiul teoretic al unui proces oarecare se stabilește modelul matematic (un algoritm), aplicând principii și legi cunoscute, algoritmi ce descrie evoluția în timp sau după anumite dependențe reciproce în condițiile existenței unor factori externi cunoscuți sau apreciați de specialiști. Din aceste motive, în mod frecvent stabilirea modelului matematic [37, 38, 39, 57], se prefigurează teoretic și apoi se definitivează pe baza datelor experimentale.

De obicei, datele experimentale sunt prezentate în formă de tabele, care constau din perechi de date  $(U_i, \tau_i)$  în cazul dependențelor de o singură variabilă independentă, sau constau din seturi de date  $(U_i, \tau_i, t_i, \dots)$ , în cazul dependențelor de mai multe variabile independente. Aici,  $U$  – conținutul de umiditate, [%];  $\tau$  – timpul de uscare, [minute];  $t$  – temperatura, [ $^{\circ}$  C];  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ,  $n$  – numărul măsurătorilor.

Problema constă în aproximarea dependențelor discrete  $U_i(\tau_i)$  sau  $U_i(\tau_i, t_i)$  cu dependențe continue  $U(\tau)$  sau  $U(\tau, t)$ .

Se deosebesc trei tipuri de aproximări:

- interpolarea și extrapolarea (predicția) datelor,
- regresia datelor,
- filtrarea datelor.

La interpolare, funcția  $U(\tau)$  trece prin punctele  $(U_i, \tau_i)$  și aproximează dependența  $U_i(\tau_i)$  doar în interiorul intervalului ce conține valorile  $\tau_i$ . La extrapolare se aproximează această dependență în afara acestui interval.

La regresie, funcția  $U(\tau)$  nu trece prin punctele  $(U_i, \tau_i)$ . Tehnica de regresie se mai numește netezirea datelor experimentale.

La filtrarea datelor, unele date (care se consideră greșite sau inutile) sau se reduc din setul inițial, sau se reduce influența lor în corespondență cu un oarecare algoritm de filtrare.

Interpolarea datelor se face cu metoda Lagrange sau Newton în cazul alegerii de funcție continuă a unui polinom de ordinul  $N$ , sau cu ajutorul funcțiilor

spline în cazul alegerii polinoamelor de grad mic, pentru diferite segmente de variație a variabilei independente.

În primul caz se obține o funcție explicită, iar în al doilea caz acest lucru nu este posibil. Interpolarea se aplică atunci când datele experimentale sunt obținute cu o mare precizie (4 - 5 cifre după virgulă), iar numărul de măsurători în cadrul experimentului este mic. Această restricție este cauzată de gradul înalt al polinomului obținut și de creșterea esențială a erorilor de calcul numeric.

Ideea metodei constă în determinarea coeficienților clasei de funcții alese, astfel pentru modelarea propusă alegem polinomul:

$$U(\tau) = a_0 + a_1\tau + a_2\tau^2 + \dots + a_{N-1}\tau^{N-1}, \quad (5.16)$$

Tehnicile de filtrare se aplică la analiza semnelor pentru excluderea efectelor de zgomot, adică pentru funcții intensiv oscilante, astfel pentru experiențele noastre este preferabilă regresia datelor experimentale. Regresia constă în determinarea unei funcții  $U(\tau)$ , care într-un anumit sens minimizează abaterile  $|U_i(\tau_i) - U_i(\tau_i)|$ . Succesul unei astfel de aproximări depinde în mare măsură de alegerea corectă a claselor de funcții. Cele mai alese clase de funcții folosite sunt:

- polinomiale,  $U(\tau, A, B, C, \dots) = A + B\tau + C\tau^2 + D\tau^3 + \dots$  (5.17)

- exponențiale,  $U(\tau, A, B, C) = A \cdot e^{B\tau} + C$  (5.18)

- logistice,  $U(\tau, A, B, C) = \frac{A}{1 + B \cdot e^{-C\tau}}$ , (5.19)

- sinusoidale,  $U(\tau, A, B, C) = A \cdot \sin(\tau + B) + C$ , (5.20)

- funcții cu puteri,  $U(\tau, A, B, C) = A \cdot \tau^B + C$ , (5.21)

- logaritmice,  $U(\tau, A, B, C) = A \cdot \ln(\tau + B) + C$ , (5.22)

Analiza datelor experimentale obținute, precum și a studiului literaturii consacrate tehnologiilor de uscare [2, 3, 12, 19, 40, 53, 54], arată că dependența umidității de timpul de uscare este o funcție monotonă, suficient de netedă cu valori strict pozitive.

Acest fapt ne permite să presupunem, că poate fi aleasă clasa funcțiilor polinomiale, iar gradul polinomului va fi mic (2 sau 3). Scopul regresiei este calculul parametrilor A, B, C. Aceștia se determină din condiția ca media sumei abaterilor pătratică să fie minimă:





$$D = \begin{vmatrix} b_0 & b_1 & b_2 & \dots & b_m \\ b_1 & b_2 & b_3 & \dots & b_{m+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_m & b_{m+1} & b_{m+2} & \dots & b_{2m} \end{vmatrix}, \quad (5.30)$$

denumit *determinantul lui Gramm*, nu este nul. Deci sistemul de ecuații are o singură soluție și prin aceasta este obținută funcția  $U(\tau)$  care oferă funcției  $\Phi$ , o valoare minimă.

#### 5.4.2 Modelarea matematică a procesului de uscare a cerealelor.

Așa cum s-a arătat în paragraful 2.3.2, condițiile pentru uscare cerealelor diferă de la o specie la alta, în funcție și de destinația ulterioară a acestora. Aceste condiții se referă la temperatura agentului de uscare, precum și la umiditatea și durata de staționare a materialului în uscător.

Între aceste mărimi există o corelație de o formă complexă, care depinde de o serie de parametri constructivi și funcționali ai uscătorului:

- arhitectura camerei de uscare,
- viteza agentului de uscare,
- umiditatea agentului de uscare,
- modul de circulație a materialului față de agentul de uscare.

Cercetarea experimentală în domeniu recomandă o serie de regimuri termice a agentului de uscare în funcție de umiditatea inițială a cerealelor.

Atât temperatura masei de cereale cât și durata de uscare (pentru o extracție de umiditate impusă) se pot regla prin modificarea valorii temperaturii agentului de uscare. Pentru a se obține o calitate maximă a semințelor, este necesar să se cunoască și să se aplice în fiecare moment (printr-un sistem de reglare automată) o dependență : *temperatură agent de uscare = f ( umiditate semințe )*.

Din analiza literaturii de specialitate [3, 4, 39, 54, 55], se constată că funcția  $f$ , are forma unei ecuații polinomiale de gradul 2:

$$T(\tau, U) = a_U \cdot U^2 + b_U \cdot U + c_U + a_\tau \cdot \tau^2, \quad (5.31)$$

unde:

- $T$  - temperatura agentului de uscare, [ $^{\circ}\text{C}$ ],
- $\tau$  - durata procesului de uscare, [min],
- $U$  - umiditatea produsului, [%],
- $a, b, c$  - constante ce depind de produs și de destinația acestuia.

Aflarea valorilor constantelor  $a, b, c$ , presupune rezolvarea sistemului de ecuații de forma:

$$\begin{aligned}
 T_1(\tau_1, U_1) &= a_U \cdot U_1^2 + b_U \cdot U_1 + c_U + a_\tau \cdot \tau_1^2, \\
 T_2(\tau_2, U_2) &= a_U \cdot U_2^2 + b_U \cdot U_2 + c_U + a_\tau \cdot \tau_2^2, \\
 T_3(\tau_3, U_3) &= a_U \cdot U_3^2 + b_U \cdot U_3 + c_U + a_\tau \cdot \tau_3^2, \\
 T_4(\tau_4, U_4) &= a_U \cdot U_4^2 + b_U \cdot U_4 + c_U + a_\tau \cdot \tau_4^2,
 \end{aligned}
 \tag{5.32}$$

Realizând o sinteză între recomandările din literatura de specialitate, prezentate în capitolul 3, recomandările din documentațiile firmelor constructoare de uscătoare de acest tip (GSI, Massey Fergusson, Farm Fans, etc.), precum și în urma observațiilor personale din timpul cercetărilor experimentale, s-a aplicat această metodă de calcul pentru: porumb, grâu, soia și floarea soarelui, cu diferite destinații (pentru consum și pentru sămânță).

În figurile: 5.6, 5.8, 5.10, 5.12 sunt prezentate ecuațiile temperaturii agentului de uscare pentru semințe de grâu, porumb, floarea soarelui, soia precum și evoluțiile grafice ale acestor funcții [108, 109, 110, 111, 112].

De asemenea, în figurile 5.7, 5.9, 5.11, 5.13, sunt prezentate temperaturile maxime ale agentului de uscare în funcție de umiditatea produsului și durata de uscare.

În cazul *grâului*, destinat consumului, folosind matricile:

$$T = \begin{bmatrix} 56 \\ 58 \\ 62 \\ 60 \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} 16 \\ 20 \\ 24 \\ 24 \end{bmatrix}, \quad \tau = \begin{bmatrix} 50 \\ 50 \\ 50 \\ 60 \end{bmatrix}$$

și mediul de lucru MathCad , s-au obținut următoarele rezultate:

$$a_U = 1, b_U = 1, c_U = 1, a_\tau = 1, U = 15 \div 30 \%, \tau = 1 \div 120 \text{ min}$$

Introducându-se datele cunoscute:

$$a_\tau \cdot 50^2 + a_U \cdot 16^2 + b_U \cdot 16 + c_U = 56$$

$$a_\tau \cdot 50^2 + a_U \cdot 20^2 + b_U \cdot 20 + c_U = 58$$

$$a_\tau \cdot 50^2 + a_U \cdot 24^2 + b_U \cdot 24 + c_U = 62$$

$$a_\tau \cdot 60^2 + a_U \cdot 24^2 + b_U \cdot 24 + c_U = 60$$

Rezultă soluțiile:

$$\text{sol} = \begin{bmatrix} 0,062 \\ -1,75 \\ 72,545 \\ 1,818 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

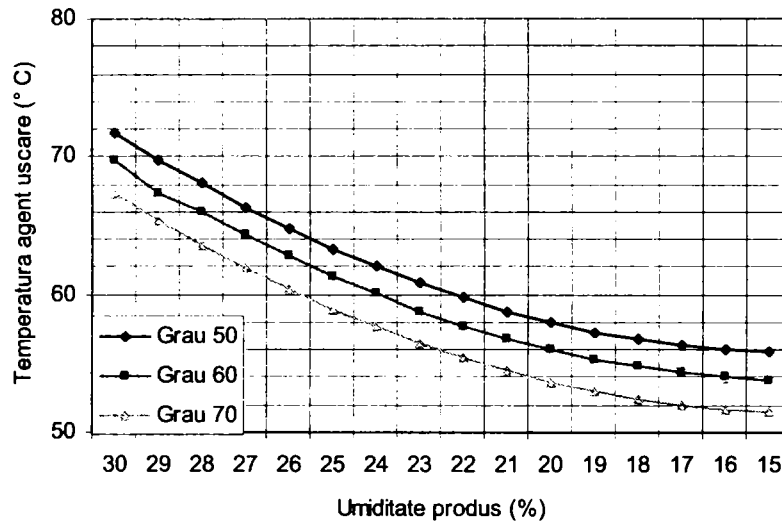


Fig. 5.6 Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de umiditatea semințelor de grâu destinate consumului.

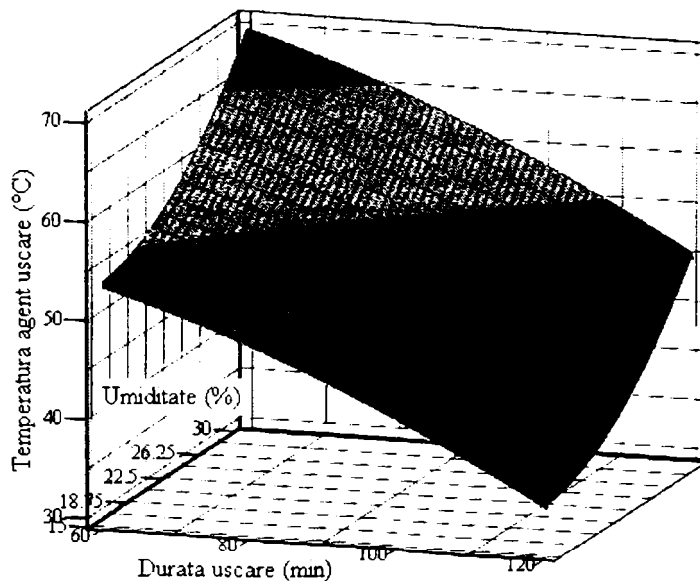


Fig. 5.7 Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de durata procesului de uscare și umiditatea semințelor de grâu destinate consumului.

**Grâu consum**  $T(\tau, U) = 0,062 \cdot U^2 - 1,75 \cdot U + 72,545 + 1,818 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2,$  (5.33)

Pentru *porumbul de consum* utilizând același raționament obținem următoarele:

$$T = \begin{bmatrix} 86 \\ 90 \\ 96 \\ 94 \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} 18 \\ 24 \\ 24 \\ 30 \end{bmatrix}, \quad \tau = \begin{bmatrix} 80 \\ 80 \\ 80 \\ 90 \end{bmatrix}$$

$a_U = 1, b_U = 1, c_U = 1, a_\tau = 1, U = 15 \div 30 \%, \tau = 1 \div 160 \text{ min}$

Introducându-se datele cunoscute:

$$a_\tau \cdot 80^2 + a_U \cdot 18^2 + b_U \cdot 18 + c_U = 86$$

$$a_\tau \cdot 80^2 + a_U \cdot 24^2 + b_U \cdot 24 + c_U = 90$$

$$a_\tau \cdot 80^2 + a_U \cdot 30^2 + b_U \cdot 30 + c_U = 96$$

$$a_\tau \cdot 90^2 + a_U \cdot 30^2 + b_U \cdot 30 + c_U = 94$$

Rezultă soluțiile:

$$\text{sol} = \begin{bmatrix} 0,028 \\ -0,5 \\ 93,529 \\ 1,176 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

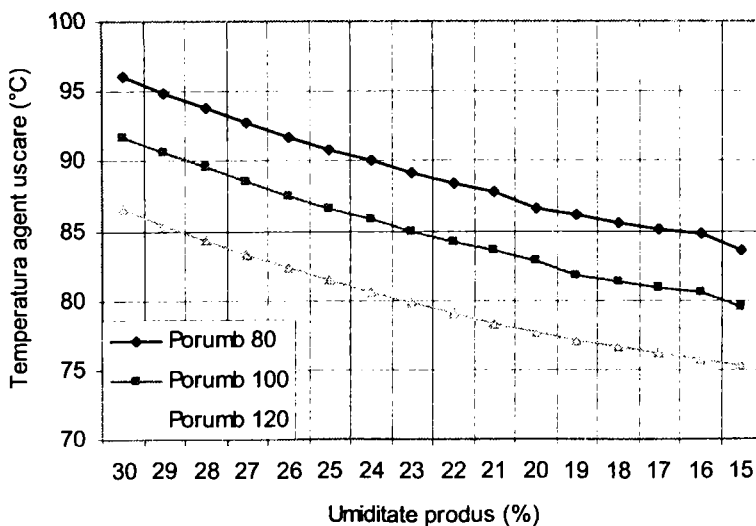


Fig. 5.8 Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de umiditatea semințelor de porumb destinate consumului.

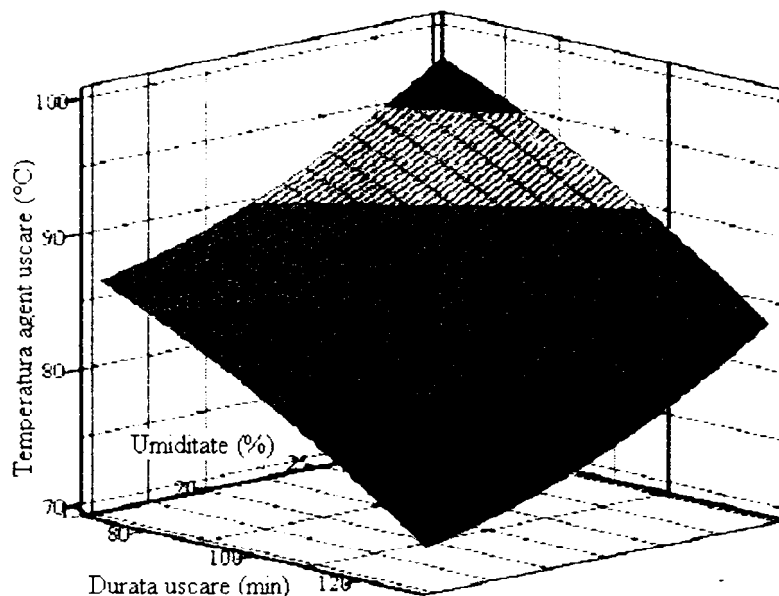


Fig. 5.9 Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de durata procesului de uscare și umiditatea semințelor de porumb destinate consumului.

Astfel reglarea temperaturii agentului de uscare pentru porumbul destinat consumului, se efectuează conform relației:

$$\text{Porumb consum } (\tau, U) = 0,028 \cdot U^2 - 0,5 \cdot U + 93,529 - 1,176 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2, \quad (5.34)$$

Pentru floarea soarelui consum utilizând același raționament obținem următoarele:

$$T = \begin{bmatrix} 52 \\ 54 \\ 60 \\ 58 \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} 12 \\ 16 \\ 24 \\ 24 \end{bmatrix}, \quad \tau = \begin{bmatrix} 62 \\ 62 \\ 62 \\ 65 \end{bmatrix}$$

$a_U = 1, b_U = 1, c_U = 1, a_\tau = 1, U = 10 \div 30 \%, \tau = 1 \div 100 \text{ min}$   
Introducându-se datele cunoscute:

$$a_\tau \cdot 62^2 + a_U \cdot 12^2 + b_U \cdot 12 + c_U = 52$$

$$a_\tau \cdot 62^2 + a_U \cdot 15^2 + b_U \cdot 16 + c_U = 54$$

$$a_\tau \cdot 62^2 + a_U \cdot 24^2 + b_U \cdot 24 + c_U = 60$$

$$a_\tau \cdot 65^2 + a_U \cdot 24^2 + b_U \cdot 24 + c_U = 58$$

Rezultă soluțiile:

$$\text{sol} = \begin{bmatrix} 0,021 \\ -0,083 \\ 70,178 \\ -5,249 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

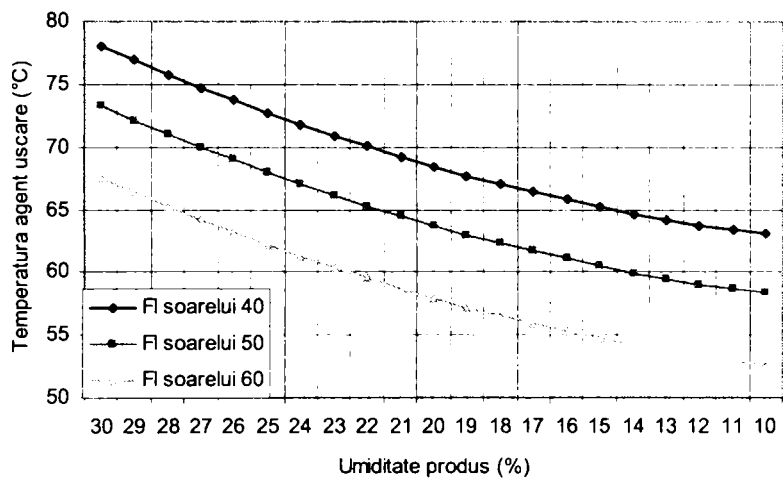


Fig. 5.10 Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de umiditatea semințelor de floarea soarelui destinate consumului.

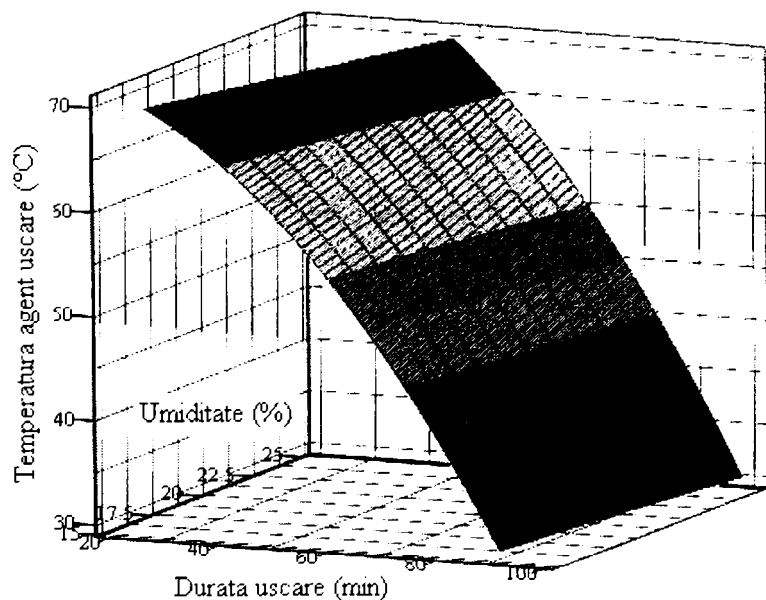


Fig. 5.11 Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de durata procesului de uscare și umiditatea semințelor de floarea soarelui destinate consumului.

Prin urmare, este necesar ca reglarea temperaturii agentului de uscare, pentru semințele de floarea soarelui destinate consumului, să se efectueze după ecuația:

$$Fl. \text{ soarelui consum}(T, U) = 0,021 \cdot U^2 - 0,083 \cdot U + 70,178 - 5,249 \cdot 10^{-3} \cdot T^2, \quad (5.35)$$

Pentru *soia consum* utilizând același instrument matematic obținem următoarele:

$$T = \begin{bmatrix} 58 \\ 60 \\ 65 \\ 62 \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} 16 \\ 20 \\ 24 \\ 24 \end{bmatrix}, \quad \tau = \begin{bmatrix} 55 \\ 55 \\ 55 \\ 60 \end{bmatrix}$$

$$a_U = 1, b_U = 1, c_U = 1, a_T = 1, U = 15 \div 30 \%, \quad \tau = 1 \div 120 \text{ min}$$

$$a_T \cdot 55^2 + a_U \cdot 16^2 + b_U \cdot 16 + c_U = 58$$

$$a_T \cdot 55^2 + a_U \cdot 20^2 + b_U \cdot 20 + c_U = 60$$

$$a_T \cdot 55^2 + a_U \cdot 24^2 + b_U \cdot 24 + c_U = 65$$

$$a_T \cdot 60^2 + a_U \cdot 24^2 + b_U \cdot 24 + c_U = 62$$

Rezultă soluțiile:

$$\text{sol} = \begin{bmatrix} 0,094 \\ -2,875 \\ 95,783 \\ -5,217 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

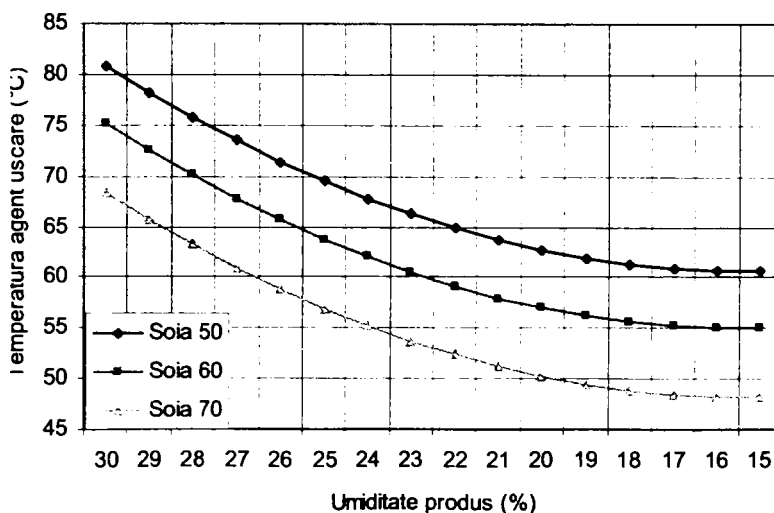


Fig. 5.12 Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de umiditatea semințelor de soia destinate consumului.



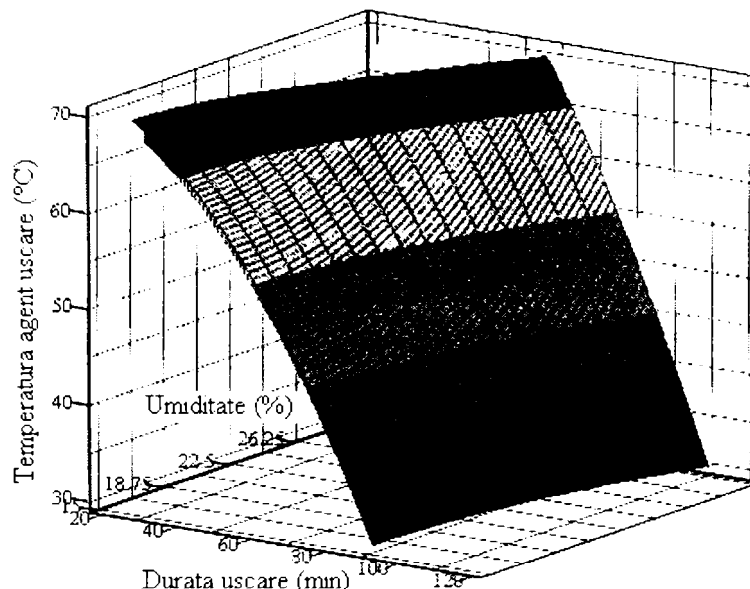


Fig. 5.13 Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de durata procesului de uscare și umiditatea semințelor de floarea soarelui destinate consumului.

$$\text{Soia consum } (\tau, U) = 0,094 \cdot U^2 - 2,875 \cdot U + 95,783 - 5,217 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2, \quad (5.36)$$

Trebuie precizat că aceste ecuații nu țin seama de influența temperaturii semințelor la intrarea în uscător sau a umidității agentului de uscare. De asemenea limitele de valabilitate se încadrează într-un domeniu de variație a vitezei de filtrație de (0,4 ÷ 1,0 m/s). Din figura 5.6, se desprinde faptul că temperatura agentului de uscare trebuie reglată în acest caz, între limitele 52 ÷ 72 °C, la variații a umidității semințelor de grâu între 15 ÷ 30 %.

De asemenea se poate observa, că pentru a nu afecta proprietățile bobului, creșterea duratei de staționare a semințelor în uscător (ce poate fi dictată, de exemplu, de o umiditate ridicată a agentului de uscare sau de intrarea semințelor în uscător cu o temperatură scăzută), implică creșterea temperaturii maxime admisibile pentru agentul de uscare. Alegerea temperaturii agentului de uscare precum și durata uscării [34, 35], sunt parametri ce pot fi aleși ținându-se seama și de ceilalți factori, menționați anterior:

- umiditatea relativă a aerului,
- temperatura aerului,
- destinația produsului supus uscării,
- tipul/soiul produsului uscat,
- durata de depozitare, etc.

În mod analog s-a procedat pentru obținerea funcțiilor  $T(\tau, U)$  pentru cazul cerealelor pentru sămânță. În figurile 5.14, 5.16, 5.18, 5.20 sunt prezentate graficele corespunzătoare, programele ce au stat la baza determinării ecuațiilor de uscare, în funcție de umiditatea acestora, iar în figurile 5.15, 5.17, 5.19, 5.21, sunt prezentate graficele temperaturilor maxime de uscare ale agentului termic în funcție de umiditatea cerealelor și durata de uscare.

În cazul grâului pentru sămânță, folosind matricile:

$$T = \begin{bmatrix} 46 \\ 48 \\ 52 \\ 50 \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} 18 \\ 24 \\ 28 \\ 28 \end{bmatrix}, \quad \tau = \begin{bmatrix} 40 \\ 40 \\ 40 \\ 50 \end{bmatrix}$$

și mediul de lucru MathCad, s-au obținut următoarele rezultate:

$$a_U = 1, b_U = 1, c_U = 1, a_\tau = 1, U = 15 \div 30 \%, \tau = 1 \div 120 \text{ min}$$

Introducându-se datele cunoscute:

$$a_\tau \cdot 40^2 + a_U \cdot 18^2 + b_U \cdot 18 + c_U = 46$$

$$a_\tau \cdot 40^2 + a_U \cdot 24^2 + b_U \cdot 24 + c_U = 48$$

$$a_\tau \cdot 40^2 + a_U \cdot 28^2 + b_U \cdot 28 + c_U = 52$$

$$a_\tau \cdot 50^2 + a_U \cdot 28^2 + b_U \cdot 28 + c_U = 50$$

Rezultă soluțiile:

$$\text{sol} = \begin{bmatrix} 0,033 \\ -0,733 \\ 49,956 \\ -2,222 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

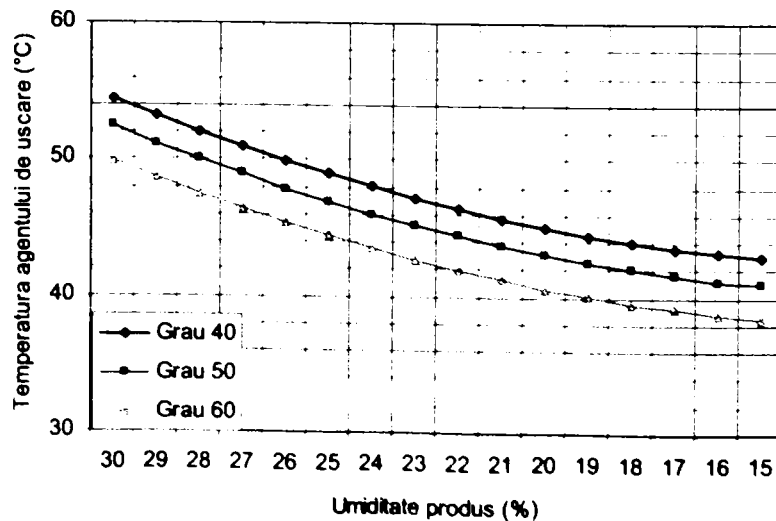


Fig. 5.14 Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de umiditatea semințelor de grâu pentru sămânță.

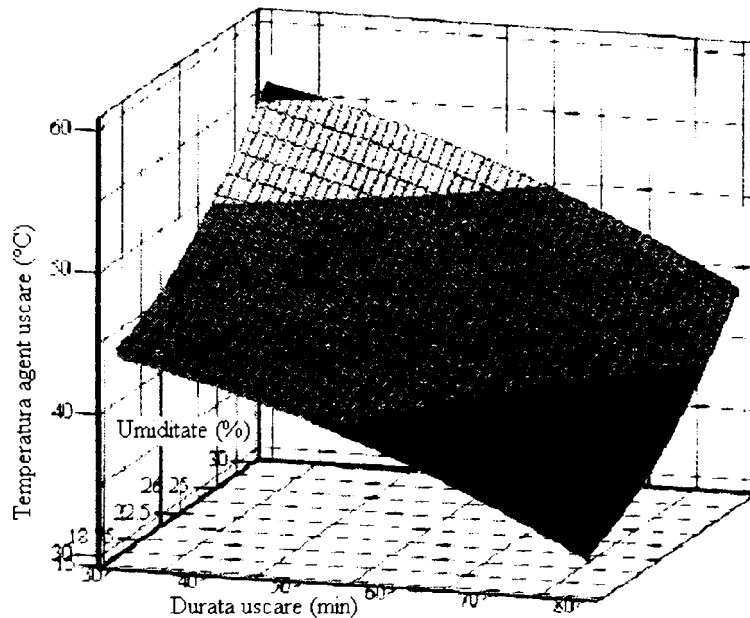


Fig. 5.15 Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de durata procesului de uscare și umiditatea semințelor de grâu pentru sămânță.

**Grâu sămânță**  $T(\tau, U) = 0,033 \cdot U^2 - 0,733 \cdot U + 49,956 - 2,222 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2$ , (5.37)

În cazul porumbului pentru sămânță, utilizând același raționament obținem:

$$T = \begin{bmatrix} 62 \\ 66 \\ 76 \\ 74 \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} 17 \\ 21 \\ 27 \\ 27 \end{bmatrix}, \quad \tau = \begin{bmatrix} 60 \\ 60 \\ 60 \\ 70 \end{bmatrix}$$

$a_U = 1, b_U = 1, c_U = 1, a_\tau = 1, U = 15 \div 30 \%, \tau = 1 \div 160 \text{ min}$

Introducându-se datele cunoscute:

$$a_\tau \cdot 60^2 + a_U \cdot 17^2 + b_U \cdot 17 + c_U = 62$$

$$a_\tau \cdot 60^2 + a_U \cdot 21^2 + b_U \cdot 21 + c_U = 66$$

$$a_\tau \cdot 60^2 + a_U \cdot 27^2 + b_U \cdot 27 + c_U = 76$$

$$a_\tau \cdot 70^2 + a_U \cdot 27^2 + b_U \cdot 27 + c_U = 74$$

Rezultă soluțiile:  $\text{sol} = \begin{bmatrix} 0,067 \\ -1,533 \\ 74,338 \\ -1,538 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$

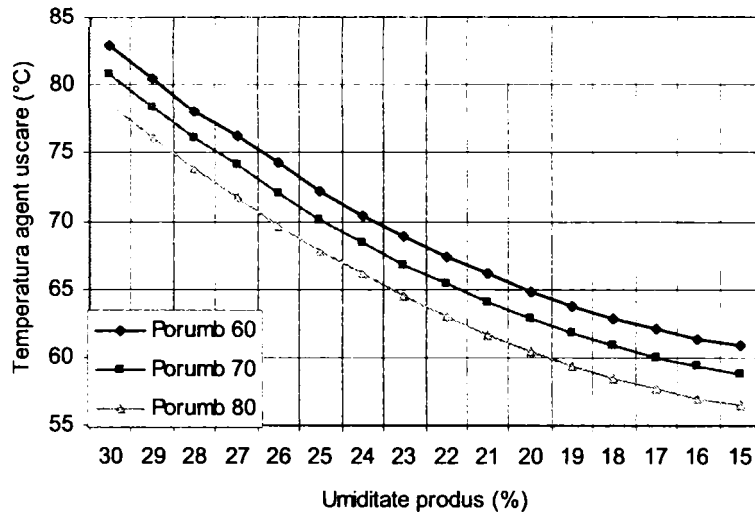


Fig. 5.16 Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de umiditatea porumbului, pentru sămânță.

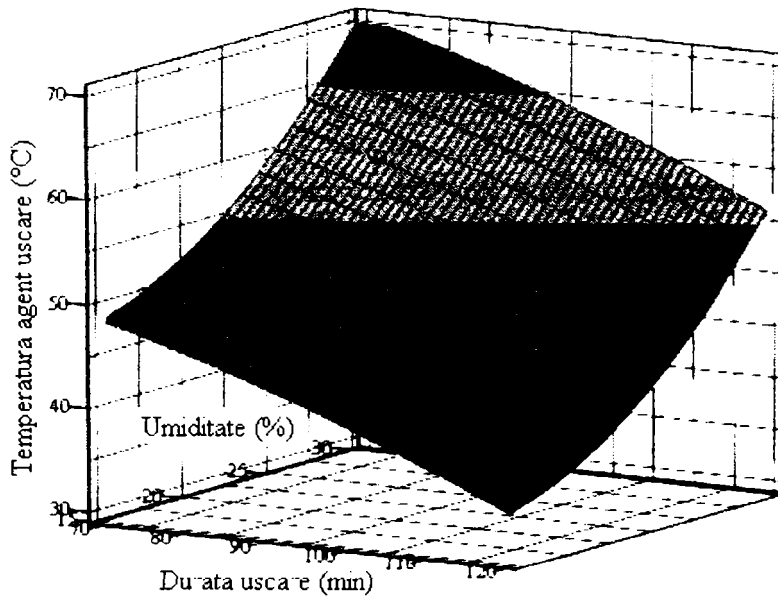


Fig. 5.17 Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de durata procesului de uscare și umiditatea semințelor de porumb pentru sămânță.

$$\text{Porumb sămânță } (T, U) = 0,067 \cdot U^2 - 1,533 \cdot U + 74,338 - 1,538 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2, \quad (5.38)$$

Pentru floarea soarelui de sămânță utilizând același raționament obținem următoarele:

$$T = \begin{bmatrix} 46 \\ 48 \\ 52 \\ 50 \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} 12 \\ 14 \\ 24 \\ 24 \end{bmatrix}, \quad \tau = \begin{bmatrix} 54 \\ 54 \\ 54 \\ 58 \end{bmatrix}$$

$$a_U = 1, b_U = 1, c_U = 1, a_\tau = 1, U = 10 \div 30 \%, \quad \tau = 1 \div 100 \text{ min}$$

Introducându-se datele cunoscute:

$$a_\tau \cdot 54^2 + a_U \cdot 12^2 + b_U \cdot 12 + c_U = 46$$

$$a_\tau \cdot 54^2 + a_U \cdot 14^2 + b_U \cdot 14 + c_U = 48$$

$$a_\tau \cdot 54^2 + a_U \cdot 24^2 + b_U \cdot 24 + c_U = 52$$

$$a_\tau \cdot 58^2 + a_U \cdot 24^2 + b_U \cdot 24 + c_U = 50$$

Rezultă soluțiile:

$$\text{sol} = \begin{bmatrix} 0,017 \\ -0,103 \\ 57,839 \\ -4,464 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

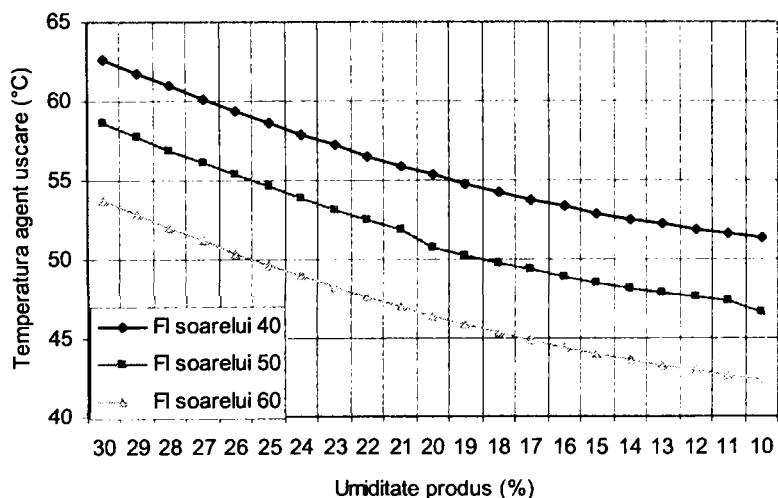


Fig. 5.18 Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de umiditatea semințelor de floarea soarelui pentru sămânță.

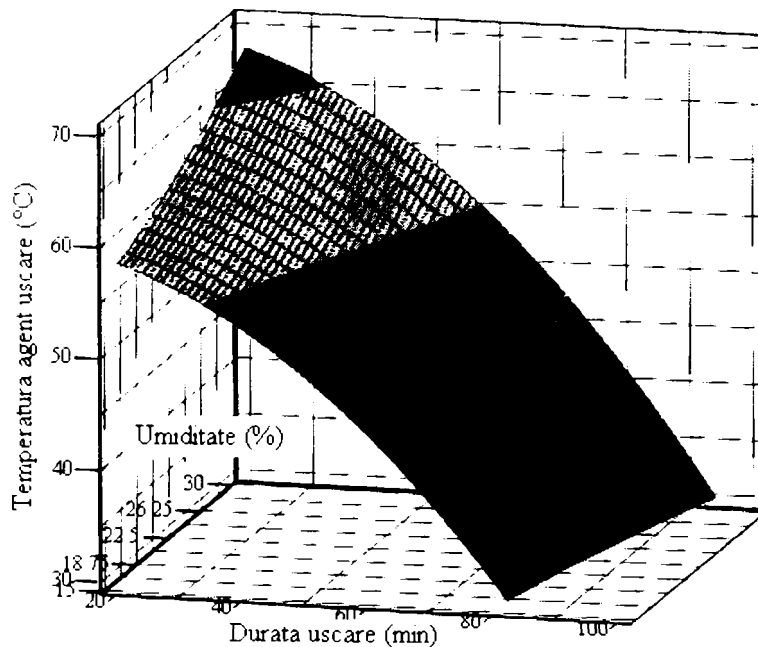


Fig. 5.19 Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de durata procesului de uscare și umiditatea semințelor de floarea soarelui pentru sămânță.

**Fl. soarelui sămânță**  $(T, U) = 0,017 \cdot U^2 - 0,103 \cdot U + 57,83 - 4,46 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2$ , (5.39)

În cazul semințele de soia pentru sămânță, utilizând același instrument matematic obținem următoarele:

$$T = \begin{bmatrix} 46 \\ 50 \\ 54 \\ 52 \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} 14 \\ 20 \\ 24 \\ 24 \end{bmatrix}, \quad \tau = \begin{bmatrix} 40 \\ 40 \\ 40 \\ 45 \end{bmatrix}$$

$$a_U = 1, b_U = 1, c_U = 1, a_\tau = 1, U = 15 \div 30 \%, \quad \tau = 1 \div 120 \text{ min}$$

$$a_\tau \cdot 40^2 + a_U \cdot 14^2 + b_U \cdot 14 + c_U = 46$$

$$a_\tau \cdot 40^2 + a_U \cdot 20^2 + b_U \cdot 20 + c_U = 50$$

$$a_\tau \cdot 40^2 + a_U \cdot 24^2 + b_U \cdot 24 + c_U = 54$$

$$a_\tau \cdot 45^2 + a_U \cdot 24^2 + b_U \cdot 24 + c_U = 52$$

Rezultă soluțiile:  $\text{sol} = \begin{bmatrix} 0,033 \\ -0,467 \\ 53,529 \\ -4,706 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$

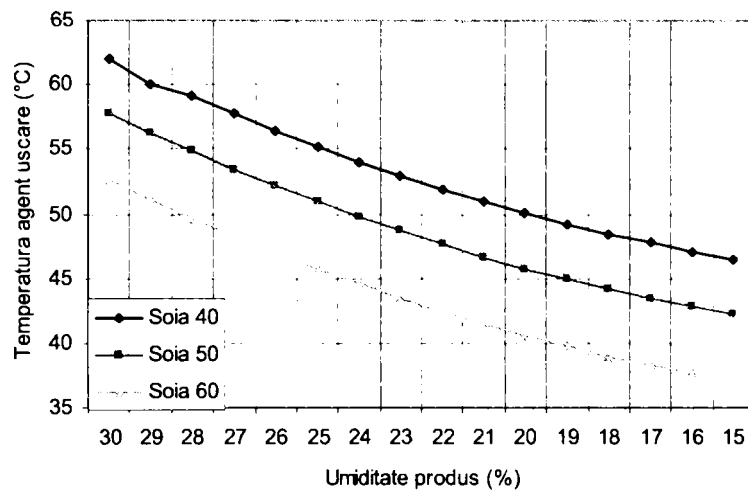


Fig. 5.20 Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de umiditatea semințelor de soia pentru sămânță.

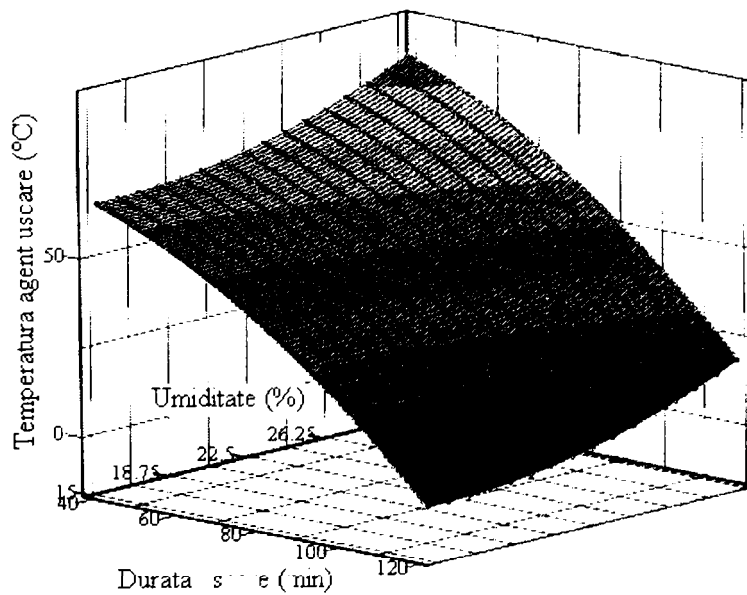
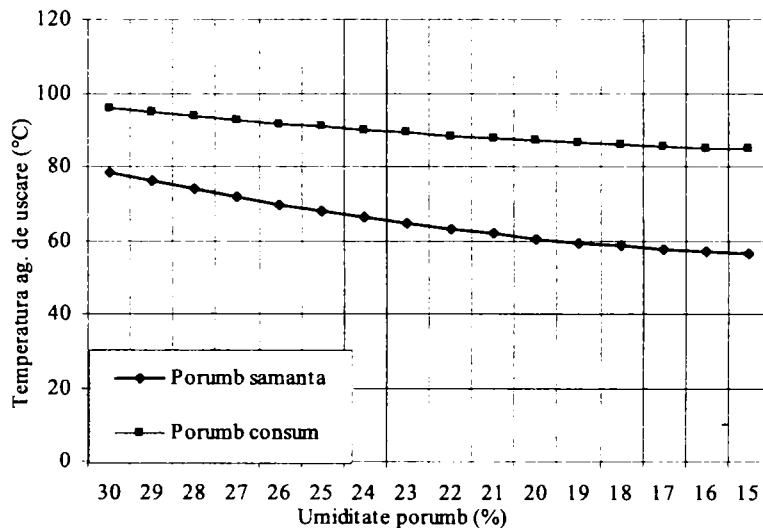


Fig.5.21 Temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de durata procesului de uscare și umiditatea semințelor de soia pentru sămânță.

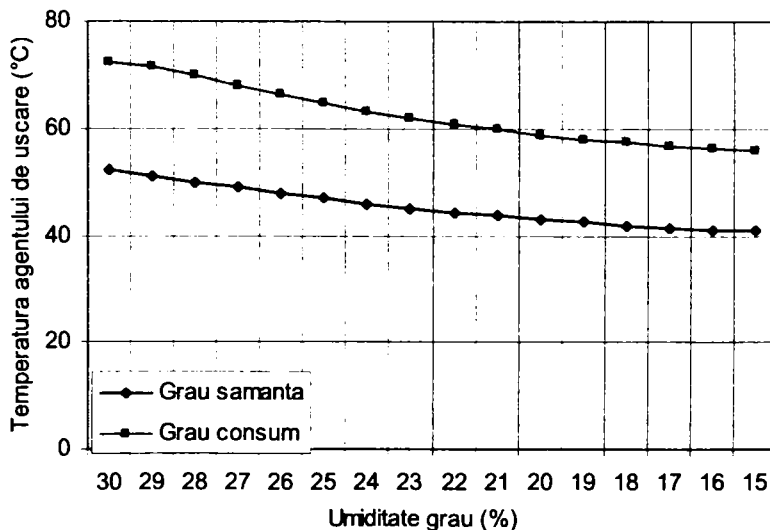
**Soia sămânță**  $(\tau, U) = 0,033 \cdot U^2 - 0,476 \cdot U + 53,529 - 4,706 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2$ , (5.40)

Urmând același raționament, este posibilă deducerea unor ecuații asemănătoare și pentru alte materiale biologice, destinate consumului, respectiv germinării.

În figurile 5.22, 5.23, 5.24, 5.25, se prezintă o analiză comparativă a temperaturii agentului de uscare pentru fiecare tip de semințe în parte, pentru cele două destinații (pentru consum și pentru sămânță)



*Fig. 5.22 Comparație între nivelele maxime ale temperaturi agentului de uscare pentru semințele de porumb destinate consumului, respectiv pentru sămânță.*



*Fig. 5.23 Comparație între nivelele maxime ale temperaturi agentului de uscare pentru semințele de grâu destinate consumului, respectiv pentru sămânță.*



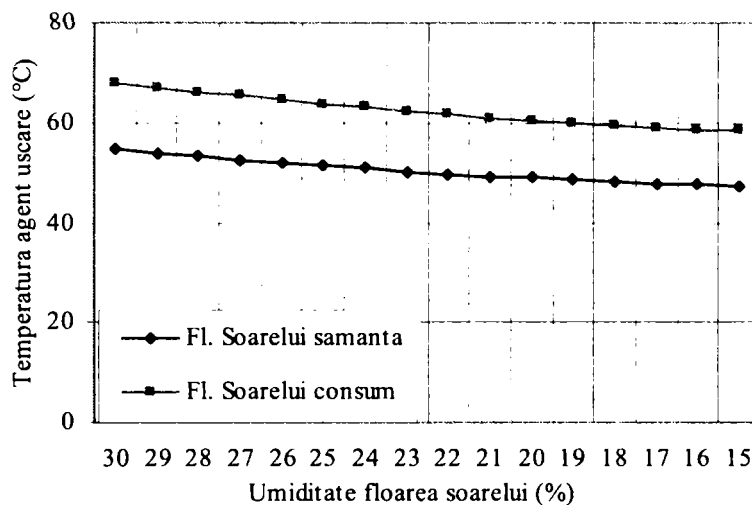


Fig. 5.24 Comparație între nivelele maxime ale temperaturi agentului de uscare pentru semințele de floarea soarelui destinate consumului, respectiv pentru sămânță.

De asemenea, pentru analiza comparativă a condițiilor de uscare a diferitelor tipuri de cereale, în figurile 5.26 și 5.27 sunt prezentate evoluțiile temperaturilor maxime ale agentului de uscare, pentru fiecare din cele două destinații analizate (pentru consum și pentru sămânță).

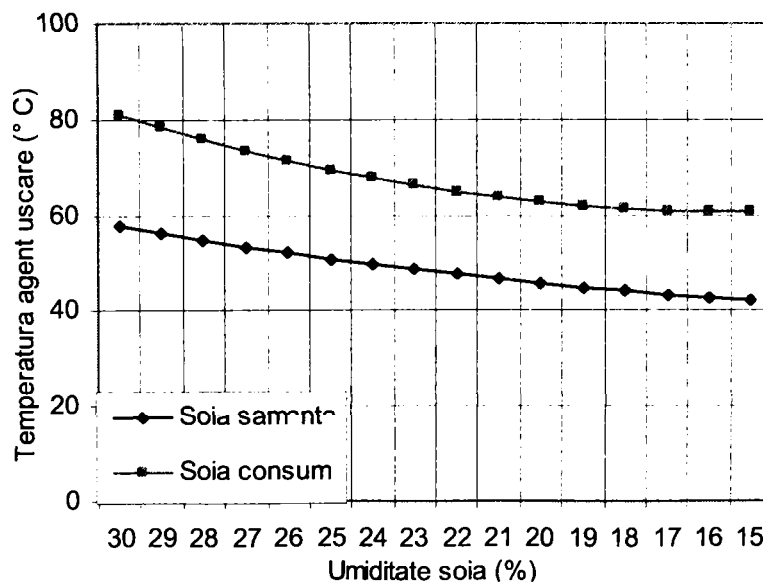


Fig. 5.25 Comparație între nivelele maxime ale temperaturi agentului de uscare pentru semințele de soia destinate consumului, respectiv pentru sămânță

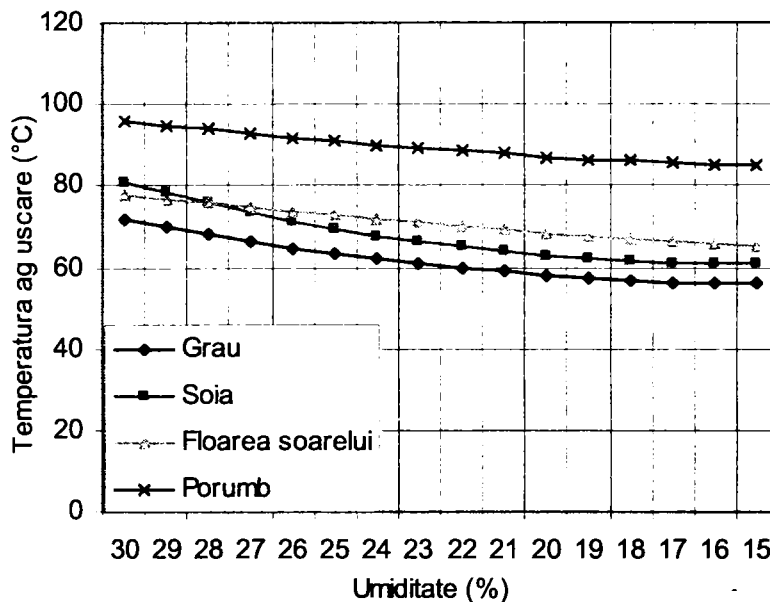


Fig. 5.26 Studiu comparativ între temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de tipul semințelor destinate consumului.

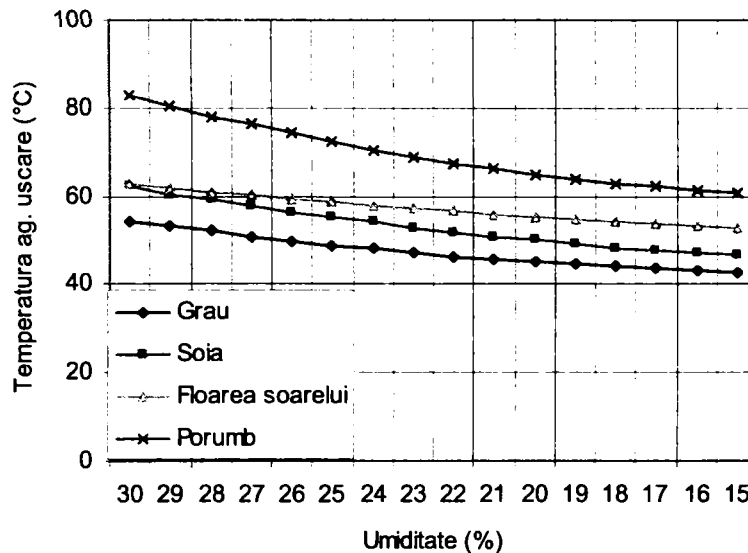


Fig. 5.27 Studiu comparativ între temperatura maximă a agentului de uscare în funcție de tipul semințelor pentru sămânță.

În tabelele 5.2 și 5.3 sunt prezentate funcțiile  $T(\tau, U)$ , pentru fiecare tip de sămânță și destinație în parte, analizate anterior:

*Ecuțiile  $T(\tau, U)$ , de uscare ale cerealelor pentru sămânță*

*Tabelul 5.2*

Nr. crt	Material biologic	Ecuțiile $T(\tau, U)$ în funcție de destinația semințelor
		Sămânță
1	Grâu	$T(\tau, U) = 0,03U^2 - 0,73U + 49,95 - 2,22 \cdot 10^{-3}\tau^2$
2	Porumb	$T(\tau, U) = 0,06U^2 - 1,53U + 74,33 - 1,53 \cdot 10^{-3}\tau^2$
3	Floarea soarelui	$T(\tau, U) = 0,01U^2 - 0,10U + 57,83 - 4,46 \cdot 10^{-3}\tau^2$
4	Soia	$T(\tau, U) = 0,03U^2 - 0,46U + 53,52 - 4,70 \cdot 10^{-3}\tau^2$

*Ecuțiile  $T(\tau, U)$ , de uscare ale cerealelor pentru consum*

*Tabelul 5.3*

Nr. crt	Material biologic	Ecuțiile $T(\tau, U)$ în funcție de destinația semințelor
		Consum
1	Grâu	$T(\tau, U) = 0,062U^2 - 1,75U + 72,545 + 1,818 \cdot 10^{-3}\tau^2$
2	Porumb	$T(\tau, U) = 0,028U^2 - 0,5U + 93,529 - 1,176 \cdot 10^{-3}\tau^2$
3	Floarea soarelui	$T(\tau, U) = 0,021U^2 - 0,08U + 70,185 - 5,25 \cdot 10^{-3}\tau^2$
4	Soia	$T(\tau, U) = 0,094U^2 - 2,87U + 95,782 - 5,22 \cdot 10^{-3}\tau^2$

## 5.6 Concluzii

1. Implementarea unui sistem de reglarea automată într-o instalație de uscare presupune o cercetare teoretică profundă, folosind capacitățile oferite de tehnica modernă de calcul privind simularea procesului. În această direcție interesează în mod deosebit următoarele:

- influența factorilor perturbatori asupra debitului de combustibil ars în arzătorul unei instalații de uscare, pentru menținerea temperaturii necesare desfășurării procesului,
- optimizarea amplasării tractoarelor, prin cunoașterea distribuției gradientului de temperatură în interiorul camerei de uscare ,
- care sunt regimurile termice maxime admisibile care pot fi aplicate cerealelor, în funcție de destinația acestora (pentru consum, sau pentru sămânță),
- determinarea formei optime de variație în timp a temperaturii agentului de uscare pentru conservarea capacităților germinative a semințelor, în condițiile unei durate a procesului și a unui consum de energie cât mai reduse.

2. Cunoașterea evoluției factorilor ce influențează procesul de uscare și echiparea uscătorului cu sisteme de reglare automată performante, care să cerceteze funcționarea uneia sau mai multor componente de bază din instalația de uscare, în scopul eliminării efectelor perturbațiilor ce pot apare, conduce la

realizarea cu succes a activității de recepționare și depozitare a produselor cerealiere, obținându-se produse cu o calitate controlată în condiții de economicitate ale sistemului.

3. Analizând, influența temperaturii și umidității aerului ambiant, respectiv a umidității și temperaturii cerealelor la intrarea în uscător, se constată următoarele:

- cea mai mare influență asupra bilanțului termic o are temperatura semințelor la intrarea în uscător, în sensul scăderii apreciabile a necesarului de combustibil odată cu creșterea temperaturii acestora,
- creșterea umidității aerului ambiant aduce de asemenea un aport caloric suplimentar prin creșterea entalpiei.
- creșterea temperaturii aerului are o influență benefică asupra economicității sistemului, prin scăderea necesarului de combustibil.

4. Intensificarea vitezei de uscare are loc prin creșterea diferenței dintre conținutul de umiditate curent și conținutul de umiditate la saturație al agentului de uscare, ceea ce recomandă funcționarea uscătorului pe timp de zi, când temperatura mediului ambiant este mai ridicată.

5. Aplicarea unor condiții specifice pentru uscarea cerealelor, cu referire în special, la temperatura agentului de uscare, a masei de cereale, precum și la umiditatea și durata de staționare a materialului în uscător. Atât temperatura masei de cereale, cât și durata de uscare (pentru o extracție de umiditate impusă), se pot regla prin modificarea valorii temperaturii agentului de uscare.

Prin ridicarea temperaturii agentului de uscare la limita admisibilă a materialului, fără degradarea acestuia, are loc o intensificare a procesului de uscare, fapt ce permite obținerea unor randamente mai mari de extracție.

O altă soluție o reprezintă selecționarea și recoltarea produselor cerealiere cu umiditate uniformă, continuată de activitate de prelucrare tehnologică (inclusiv uscare) și depozitare în funcție de umiditatea semințelor.

Pentru a obține o calitate optimă a cerealelor este necesar să se aplice în fiecare moment o dependență: *temperatură agent de uscare* = *f* (*umiditatea semințelor*). Funcția *f*, a fost determinată pentru câteva specii de semințe, în funcție de destinația acestora.

6. În condițiile uscării cerealelor pentru sămânță, temperatura agentului de uscare, este mai mică decât în cazul semințelor pentru consum, iar durata procesului este de asemenea mai mică, toate acestea sunt determinate în funcție de tipul și destinația semințelor supuse procesului de uscare.

# Capitolul 6

## CERCETAREA EXPERIMENTALĂ A PROCESELOR DE USCARE A CEREALELOR

### 6.1 Obiectul cercetărilor experimentale

Cunoașterea parametrilor funcționali ai instalației folosite la uscare cerealelor prin controlul automat al regimului de lucru are o importanță deosebită, atât pentru constructor, cât mai ales pentru utilizatorul acestora, deoarece permite obținerea unor imagini globale cu privire la două categorii de performanțe:

- energetice, referitoare la consumul de combustibil necesar pentru eliminarea unui kilogram de apă din materialul supus uscării;
- biologice, referitoare la condițiile de calitate ce trebuie a fi îndeplinite de cereale după uscare.

Pentru constructor, aceste informații permit modificarea constructivă a anumitor ansambluri, precum și revizuirea modului de evoluție în timp a tratamentului termic, aplicat semințelor pentru ridicarea performanțelor globale ale instalației. Pentru utilizator, cunoașterea acestor indicatori permite aplicarea celor mai adecvate regimuri termice de uscare, în conformitate cu materialul biologic avut la dispoziție, pentru obținerea unor însușiri calitative superioare a produselor, la un consum energetic minim [33, 34].

Pentru realizarea obiectivelor, în perioada 2005-2008, cu acordul conducerii S.C. Comcereal S.A. Timiș, s-a început activitatea de cercetare. În acest context au monitorizate și analizate toate activitățile de uscare a cerealelor. Acest lucru a condus la ideea că o reducere a consumului de combustibil, cunoașterea parametrilor de uscare și scurtarea duratei de uscare, reprezintă un obiectiv major și poate fi abordat în scopul optimizării procesului tehnologic de uscare a cerealelor.

Pentru efectuarea măsurărilor la diferite sorturi de cereale, a fost stabilită Baza de recepție Biled, județul Timiș, unitate specializată în recepționarea, condiționarea și păstrarea cerealelor. Spațiile și dotările existente au permis realizarea în volum complet a obiectivelor stabilite în metoda cercetărilor. De asemenea, au fost utilizate instalații și echipamente din cadrul Facultății de Mecanică, aflate în dotarea catedrei Termotehnică Mașini Termice și Autovehicule Rutiere.

Cercetările experimentale, au fost realizate având drept suport o instalație de uscare, seria 1200, model 1226, produs de firma GSI în anul 2000, figura 6.1, având următoarele părți componente [93, 113].

Alimentarea se face pe la partea superioară, cu ajutorul unui transportor elicoidal care asigură distribuția uniformă a produsului pe toată lungimea camerei de uscare.

Cerealele se deplasează între două suprafețe hexagonale din tablă perforată și sunt străbătute de agentul de uscare, perpendicular pe direcția lor de deplasare. Forma și dimensiunile camerei de uscare sunt proiectate special pentru a se obține un flux uniform de aer cald prin stratul de produs, cu grosimea de 350 mm [94].

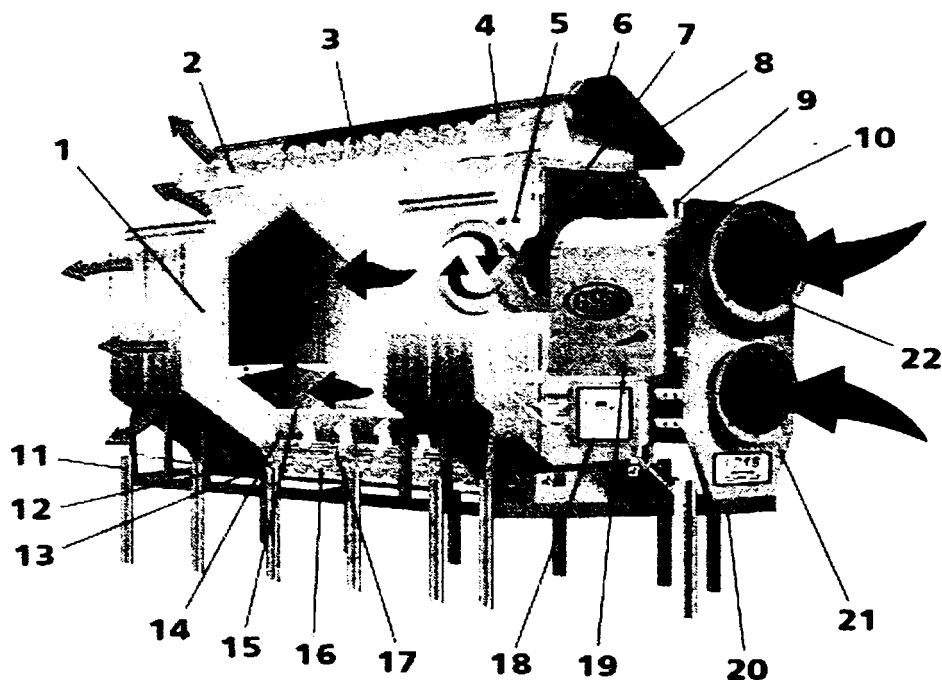


Fig. 6.1 Construcția uscătorului de cereale GSI, model 1226 [93].

1- coloană de uscare, 2 - alimentare șnec, 3 - șnec uniformizare, 4 - reductor acționare, 5 - instalație de iluminat, 6 - roată cu curea acționare șnec, 7 - generator aer cald, 8 - carcasă roată acționare șnec, 9 - alimentare GPL, 10 - arzător, 11 - suport uscător, 12 - pârghie acționare evacuare rapidă produs, 13 - șibăr evacuare produs, 14 - șnec evacuare produs, 15 - cameră de preuscare, 17 - role pentru descărcare, 18 - tablou de comandă, 19 - blocul de siguranțe și automatizare, 20 - șasiu, 21 - ventilator, 22 - ventilator.

La partea superioară a uscătorului, cerealele sunt aduse cu ajutorul unui transportor cu cupe 1 și tubului de alimentare 2 din figura 6.2.

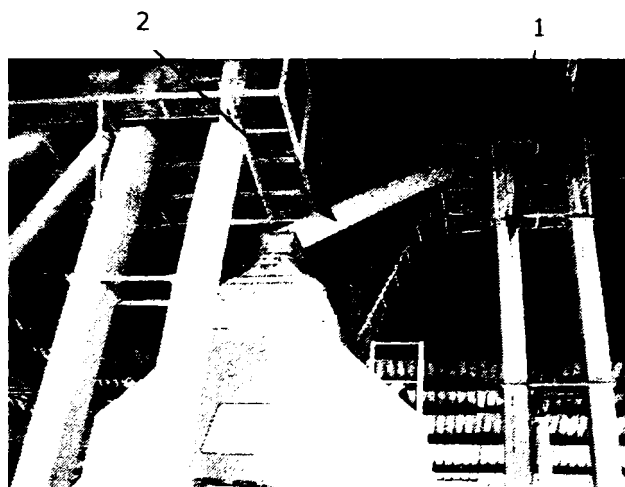


Fig. 6.2 Alimentarea uscătorului de cereale GSI, model 1226.

Nivelul de produs din uscător este determinat cu ajutorul unui traductor de nivel, funcționarea uscătorului nu este permisă decât cu instalația plină.

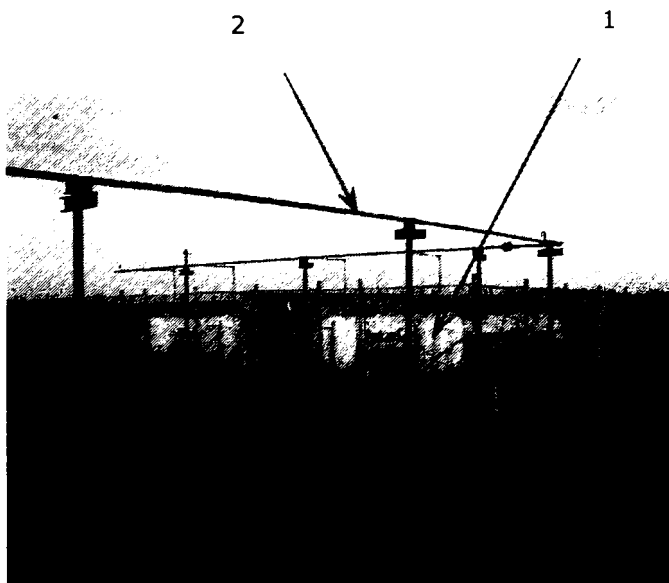


Fig. 6.3 Alimentarea cu combustibil a uscătorului de cereale GSI, model 1226.

Alimentarea cu combustibil a arzătorului, se efectuează printr-un sistem de conducte de transport (2), GP-ul fiind depozitat în 4 recipiente speciale (1), fiecare având capacitatea de 4 m<sup>3</sup>, figura 6.3. Sistemul de transport – alimentare cu propan este prevăzut cu o manetă de închidere – deschidere , a alimentării situată lângă uscător (1), conform figurii 6.4.

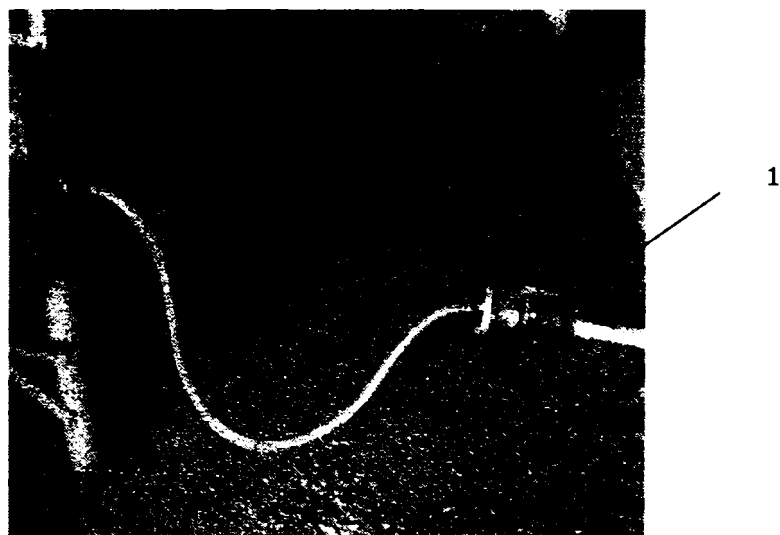


Fig. 6.4 Alimentarea uscătorului de cereale GSI, model 1226.

Arzătoarele funcționează cu propan lichid. Transformarea propanului lichid utilizat în combustibil gazos se efectuează cu ajutorul unui vaporizator (1) situat în camera de ardere. Arzătoarele sunt prevăzute cu termostat de control al temperaturilor, cu aprindere electrică și cu supraveghere de flacără (figura 6.5).

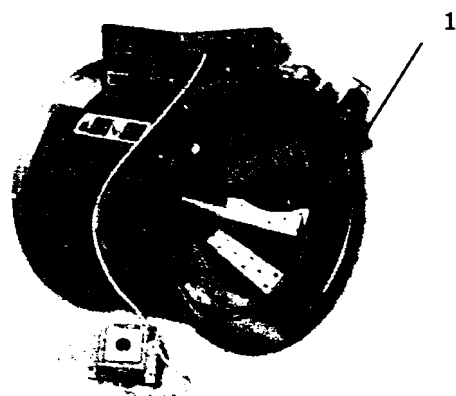
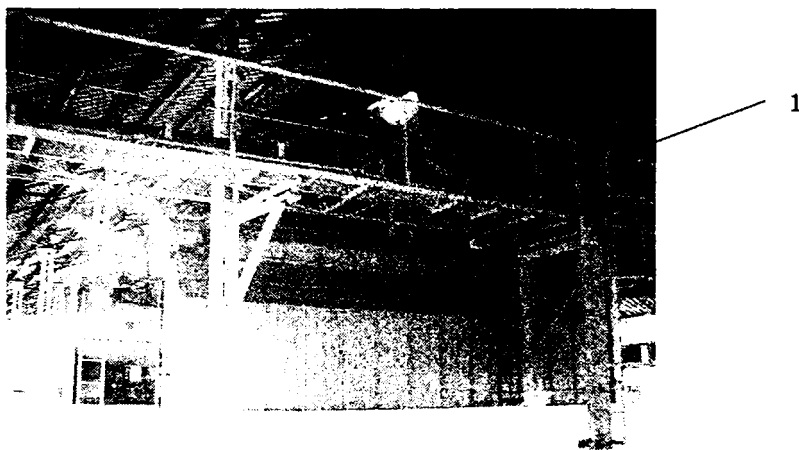


Fig. 6.5 Arzătorul uscătorului de cereale GSI, model 1226.

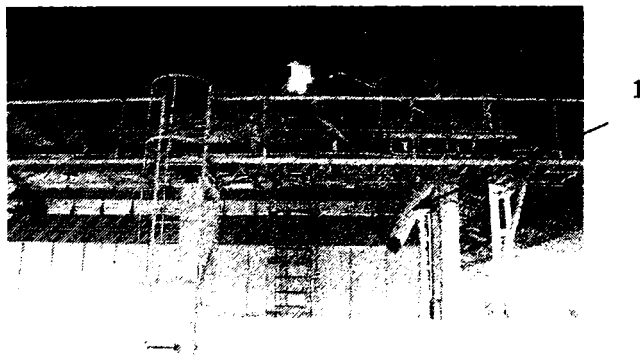


Agentul de uscare se obține prin amestecarea aerului ambiant adus de ventilatoarele axiale, cu gazele de ardere rezultate prin combustia propanului în camera de ardere.



*Fig. 6.6 Bandă transportoare de la uscător la depozit.*

După îndepărtarea umidității, cerealele sunt evacuate și transportate cu ajutorul transportorului cu bandă (1) din figura 6.6. pentru depozitare în silozul societății, sau poate fi livrat pentru încărcare în mijloace auto(1), conform figurii 6.7.



*Fig. 6.7 Sistem evacuare produse uscate pentru încărcarea mijloacelor auto.*

Întreaga funcționare a instalației de uscare este controlată de un sistem de reglare automată complex, format dintr-un calculator de proces, 16 traductoare ce preiau informații din diverse puncte ale instalației, o interfață ce permite comanda motoarelor și a supapelor electromagnetice de admisie a combustibilului. Principalele caracteristici constructive și funcționale ale uscătorului utilizat la cercetarea experimentală sunt sintetizate în tabelul 6.1[94].

Caracteristicile constructive și funcționale ale uscătorului GSI – 1226, Tabel 6.1

Nr. crt.	Caracteristici	Valoarea
1	Seria	10990440
2	Lungimea coloanei de uscare, (m)	9,23
3	Capacitatea totală, (t)	20,00
4	Greutate (kg)	5.400
5	Capacitate maximă de încălzire a arzătorului (kcal)	$2,65 \cdot 10^6$
6	Capacitatea de uscare, (t/h)	20

Grație posibilităților oferite de comanda cu calculatorul de sistem, instalația permite adoptarea mai multor metode de uscare în funcție de necesități, astfel:

*Flux continuu uscat – nerăcit:* cerealele trec prin uscător și sunt încălzite continuu și descărcate fără răcire, la umiditatea dorită.

*Flux continuu uscat – răcit:* cerealele trec prin uscător și sunt încălzite și răcite continuu la diferite nivele de umiditate. Acestea sunt descărcate la umiditatea dorită și la o temperatură apropiată de temperatura mediului ambiant.

*Șarjă continuă autonomă:* uscătorul lucrează în trepte fixate (treapta reprezintă 1/3 din cantitatea conținută în buncărul uscătorului) de încărcare, încălzire, răcire sau nerăcire în funcție de opțiunea beneficiarului.

*Șarjă simplă automată:* uscătorul lucrează la fel ca în șarjă continuă automată, dar semințele sunt descărcate toate odată. Cerealele pot fi descărcate din uscător răcite sau nerăcite în funcție de opțiunea beneficiarului.

În figurile 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, 6.12, sunt redate câteva aspecte din timpul funcționării instalației folosite la cercetarea experimentală, precum și detalii ale unor părți componente. Așa cum reiese din figura 6.12, panoul de comenzi permite un acces ușor la indicatoare și comenzi, precum și iluminarea comutatoarelor, realizând o evaluare rapidă a fiecărei funcții de lucru.



a)

b)

Fig. 6.8 Sistem arzător – ventilator.  
inferior (a) și superior (b)



Fig. 6.9 Sistem de alimentare a arzătorului cu GPL.

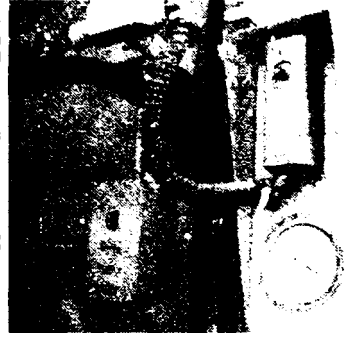


Fig. 6.10 Dispozitiv de introducere a temperaturii agentului de uscare.

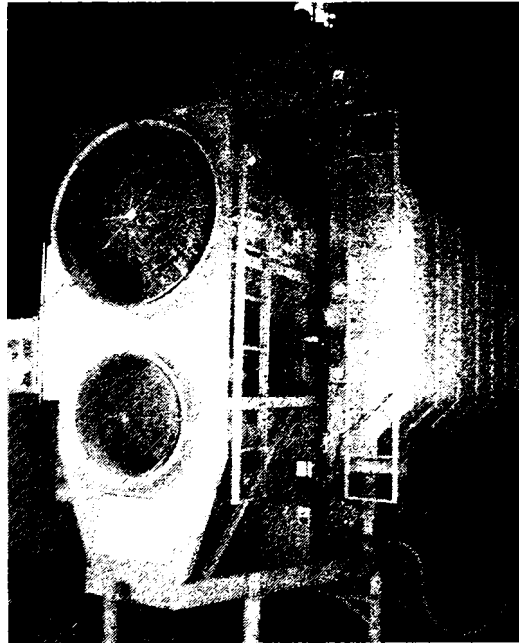


Fig. 6.11 Uscător tip GSI, model 1226, S.C. Comcereal S.A. Biled.

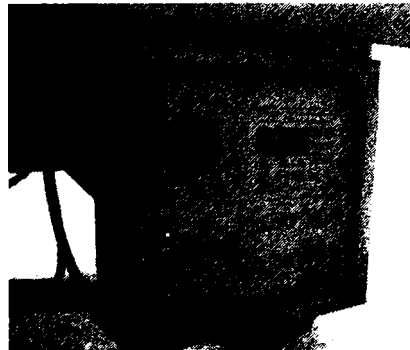


Fig. 6.12 Panoul de comandă al instalației de uscare utilizată la cercetarea experimentală.

În figura 6.13, sunt prezentate pe scurt elementele de pe panoul de comenzi și funcția îndeplinită. În această figură diferitele secvențe reprezintă:

- a – poziționarea traductoarelor, pentru măsurarea temperaturii cerealelor,
- b – grupul de acționare al roților dozatoare pentru descărcarea cerealelor,
- c – elemente de comandă ale arzătorului inferior,
- d – traductor inductiv pentru măsurarea turației șnecului de descărcare,
- e – amplasarea unui traductor al agentului de uscare.

*Termostatul pentru controlul umidității (1)*, este compus dintr-un traductor de temperatură conectat într-un circuit electronic complex. Acesta permite o corelație între temperatura agentului de uscare și temperatura coloanei de produs, indicând gradul de uscare al materialului.

*Comutatorul controlului umidității (2)*, se pune pe poziția ON sau OFF pentru a comanda termostatul pentru controlul umidității. El se luminează când temperatura coloanei de semințe este mai mică decât temperatura reglată.

*Comutatorul de alimentare electrică (3)*, conectează și deconectează sistemul electronic de comandă și control, răsucindu-l pe poziția ON sau OFF.

*Lumina exterioară a uscătorului (4)*. Cu acest întrerupător se aprinde sau se stinge lumina de serviciu exterioară, punându-l pe poziția ON sau OFF.

Ea poate fi fixată și pe poziția AUTO, funcționând în acest caz odată cu funcționarea uscătorului și oprindu-se automat când uscătorul nu mai funcționează.

*Comutatorul modului de lucru (5)*, este folosit pentru a selecta modul de uscare: flux continuu sau șarjă. Comutatorul se va lumina numai după ce sistemul electronic de comandă și control a fost activat, circuitele de siguranță sunt bune și tasta RESET, de pe panoul de comenzi al computerului de sistem, a fost apăsată.

*Comutatorul șnecului de încărcare (6)*, este folosit pentru selectarea modului de efectuare a operației de umplere a uscătorului. Atât pe poziția AUTO cât și MANUAL șnecul va funcționa dacă uscătorul este gol și se va opri automat dacă este plin. Numai pe poziția AUTO uscătorul va fi oprit după o perioadă reglată de timp (timpul de evacuare a cerealelor) sau dacă fluxul de semințe spre uscător este întrerupt.

*Comutatorul ventilatoarelor (7)*, comandă pornirea / oprirea fiecărui ventilator, rotindu-le pe poziția ON sau OFF. Pe poziția ON, ventilatorul funcționează continuu, atât în modul de uscare flux continuu, cât și șarjă.

Pe poziția AUTO, în modul de uscare în șarjă, ventilatoarele funcționează, atât în ciclul de uscare, cât și în cel de răcire. Comutatorul se va lumina dacă fluxul de aer este sesizat de traductorul acestuia și uscătorul este plin.

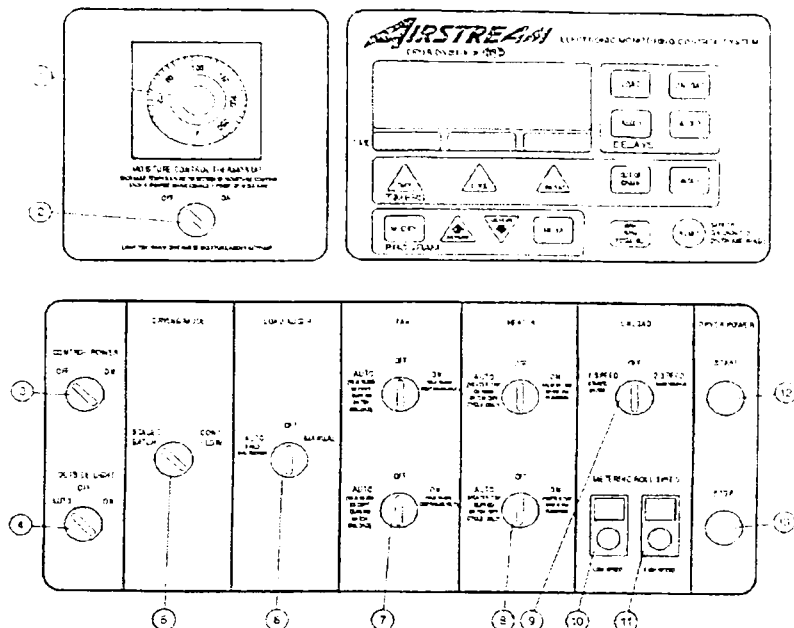


Fig. 6.13 Schema panoului de comandă al instalației de uscare utilizată la cercetarea experimentală.

Comutatoarele arzătoarelor (8), comandă pornirea sau oprirea arzătoarelor rotind pe ON sau OFF. În poziția AUTO, arzătoarele vor funcționa în timpul ciclului de uscare al modului de operare în șarjă. Pe poziția ON arzătoarele vor funcționa numai dacă și ventilatoarele funcționează. Comutatoarele se vor lumina numai dacă flacăra este detectată de traductoarele de flacăra.

Comutatorul de descărcare (9), pornește/oprește rolele dozatoare și șnecul de descărcare și selectează modul de lucru al acestora. În poziția 2 SPEED, dacă termostatul pentru controlul umidității este pe poziția ON și dacă modul de lucru este flux continuu, viteza rolelor dozatoare va alterna între valoarea aleasă la potențiometrul HIGH SPEED și cea aleasă la potențiometrul LOW SPEED, în funcție de semnalul primit de la termostatul de control al umidității. Șnecul de descărcare va funcționa continuu. În poziția 1 SPEED, dacă termostatul pentru controlul umidității este pe poziția ON și uscătorul funcționează în flux continuu, rolele dozatoare vor funcționa cu viteza aleasă la potențiometrul HIGH SPEED sau se va opri în funcție de semnalul primit de la termostatul pentru controlul umidității. Șnecul de descărcare va porni odată cu rolele dozatoare.

Atât în poziția 1 SPEED, cât și în poziția 2 SPEED dacă termostatul pentru controlul umidității este în poziția OFF și dacă modul de lucru este flux continuu, viteza rolelor dozatoare este aleasă numai din potențiometrul HIGH SPEED. Șnecul de descărcare va funcționa continuu.

*Potențiometrul LOW SPEED al rozelor dozatoare (10)*, este utilizat pentru a regla viteza mică a rozelor dozatoare când se lucrează cu 2 SPEED și comutatorul pentru controlul umidității în poziția ON.

*Potențiometrul HIGH SPEED al rozelor dozatoare (11)*, este utilizat pentru:

- reglarea vitezei mari a rozelor dozatoare, când se lucrează cu controlul automat a umidității și 2 SPEED,
- reglarea vitezei mari a rozelor dozatoare, când se lucrează cu controlul automat al umidității și 1 SPEED,
- reglarea vitezei mari a rozelor dozatoare când nu se utilizează controlul automat al umidității și se lucrează în flux continuu,
- reglarea debitului de descărcare a boabelor din uscător în timpul ciclului de descărcare când se lucrează în șarjă.

*Butonul de pornire a alimentării electrice (12)*, pornește uscătorul, pe baza reglajelor făcute. Dacă alte comutatoare sunt în poziția OFF, componentele individuale ale uscătorului pot fi acționate prin răsucirea comutatorului modului de lucru în poziția flux continuu, apăsând butonul de pornire a alimentării electrice și apoi răsucind în poziția ON componenta respectivă.

*Butonul de oprire a alimentării electrice (13)*. Acest buton oprește toate funcțiile uscătorului. Dacă uscătorul se oprește automat datorită apariției unei defecțiuni, mai întâi se determină și se înlătură cauza avariei, apoi se apasă butonul de oprire a alimentării electrice pentru a restabili parametrii de uscare înainte de repornire. Computerul de sistem (Electronic Monitoring Control System) controlează și verifică toate componentele uscătorului, permite comanda tuturor timpilor de funcționare și a circuitelor de protecție, prin afișarea de mesaje pe ecranul cu cristale lichide.

*Pornirea computerului de sistem*, se realizează conectând pe poziția ON comutatorul CONTROL POWER. Pe ecran se afișează un mesaj privind dreptul de autor, modelul uscătorului, timpul total de funcționare în ore și minute, data și ora curentă. Pentru a activa panoul de comandă se apasă tasta RESET. Cu ajutorul tastelor MODIFY PROGRAM/INCREASE/DECREASE/TIMER/DRY/COOL/UNLOAD se pot modifica parametrii de uscare, inclusiv durata fiecărui ciclu de uscare – răcire – descărcare.

Pe durata operației de uscare, timpul scurs pe fiecare dintre aceste temporizatoare este afișat pe ecran. Dacă tensiunea cade, sau dacă uscătorul se oprește, acești timpi sunt salvați în memoria computerului. La repornire, temporizatoarele vor continua să cronometreze timpii scurși pentru fiecare ciclu de la valoarea la care au rămas în momentul întreruperii. Pentru a reveni la reglajul inițial se apasă pe tasta RESET.

*Circuitul de siguranță al uscătorului*, asigură oprirea automată a uscătorului la apariția unei probleme. Cauza opririi este afișată pe ecranul LCD și se va auzi un semnal sonor intermitent. Pentru a porni uscătorul după o întrerupere de siguranță, mai întâi se elimină motivul întreruperii și apoi se apasă butonul de oprire a alimentării electrice pentru a restabili parametrii de uscare, după care se apasă pe butonul de pornire a alimentării electrice.

## 6.2 Metodica și aparatura folosită la investigația experimentală

Pentru atingerea obiectivelor expuse în capitolul 1, s-au utilizat două specii de semințe, boabe de porumb soiurile *Partizan*, *Fundulea* și boabe de grâu soiurile *Dropia*, *Lovrin 41*.

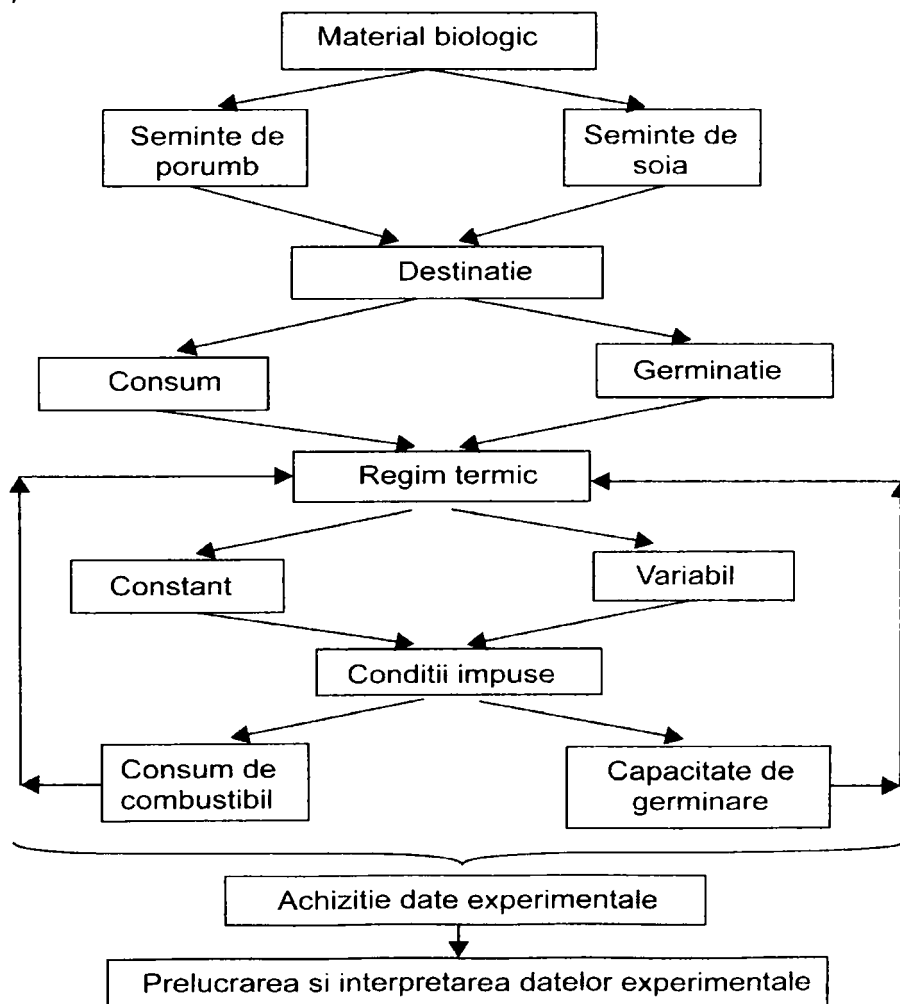


Fig. 6.14 Metodica generală a cercetărilor experimentale.

Materialul biologic, în funcție de umiditatea lor inițială, a fost supus uscării cu diverse tipuri de regimuri termice, constante sau variabile în timp, conform cercetărilor teoretice efectuate în capitolul 5. După uscarea cerealelor, a fost determinată capacitatea de germinație (pentru semințele ce au fost considerate a fi destinate pentru sămânță). Concomitent a fost determinat consumul de combustibil, precum și alți parametri specifici procesului de uscare (viteza de uscare, variația temperaturii semințelor corelată cu variația temperaturii agentului de uscare). În figura 6.14 este prezentată, metodică generală a cercetărilor experimentale.

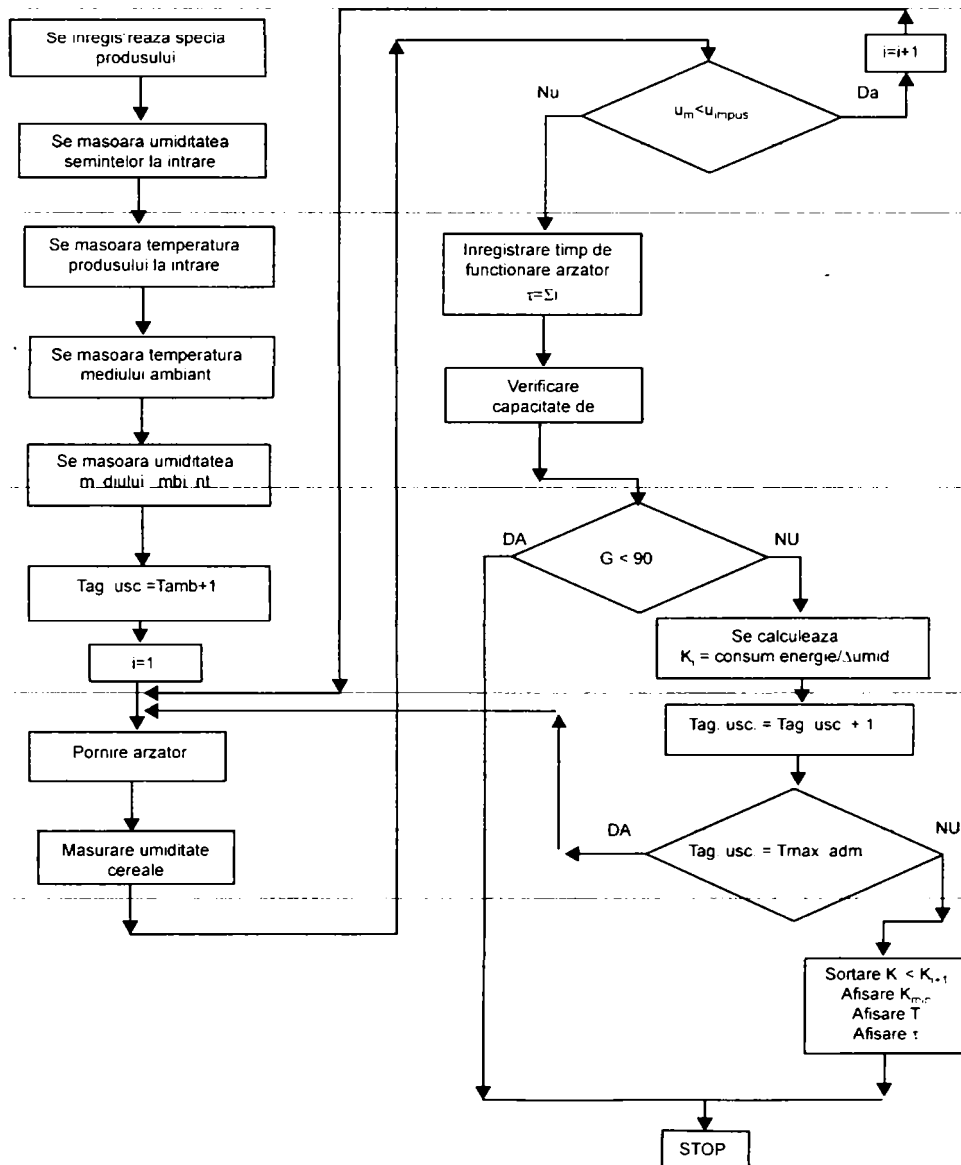


Fig. 6.15 Metodica cercetării experimentale de determinare a temperaturii agentului de uscare în regimul treaptă.



Pentru simplificarea analizei, formele caracteristice de bază pentru variația temperaturii agentului de uscare au fost împărțite în două categorii:

**Forma treaptă (variația treaptă)**, care implică atingerea temperaturii de regim pentru agentul de uscare foarte brusc, menținerea ei o perioadă de timp  $t$ , apoi temperatura scade brusc la valoarea mediului ambiant (răcirea cerealelor).

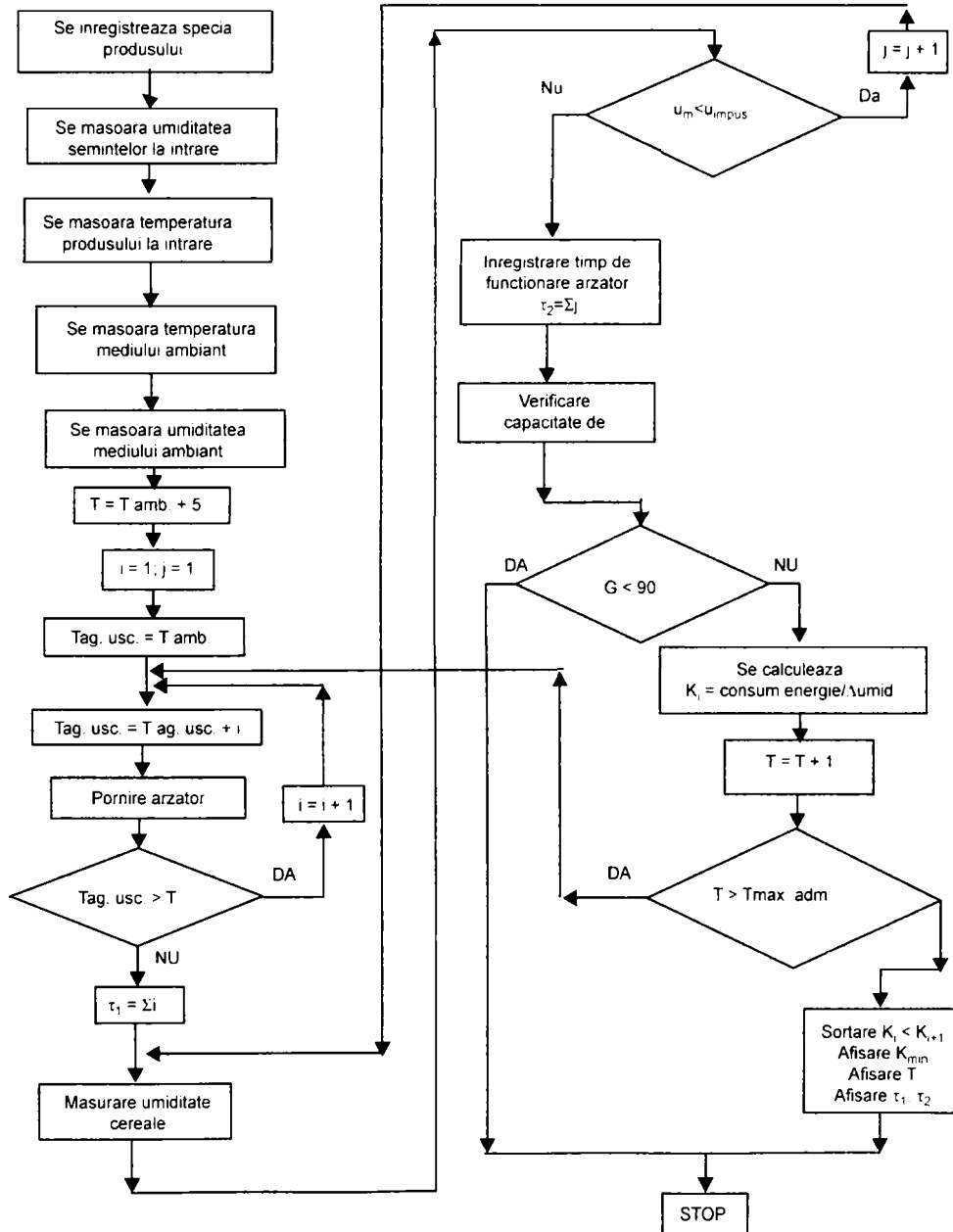


Fig. 6.16 Metodica cercetării experimentale de determinare a temperaturii agentului de uscare în regimul controlat.

Utilizarea acestui regim aduce mari prejudicii calității cerealelor, atunci când acestea sunt foarte umede. Acest regim de lucru are un mare avantaj, prin simplitatea setărilor uscătorului, înainte de punerea în funcțiune, singurul reglaj este durata de menținere a arzătorului, valoarea temperaturii stabilindu-se la începutul procesului prin consultarea tabelelor eliberate de producător.

Întrucât aceste corelații (temperatura agentului de uscare în funcție de umiditatea produselor la intrare), nu sunt unitare și nu țin seama de influența condițiilor de mediu, s-a procedat la determinarea nivelelor optime în ceea ce privește temperatura agentului de uscare, conform algoritmului detaliat în figura 6.15.

Atunci când semințele au atins nivelul de uscare cerut, se înregistrează timpul de funcționare al arzătorului și se reține o probă pentru verificarea germinației semințelor. Dacă valoarea acesteia este mai mică de 90 %, metoda de uscare utilizată este improprie. Dacă capacitatea de germinare este mai mare de 90 %, se determină un coeficient de eficiență al procesului de uscare,  $K_i = \text{consum energie/umiditate extrasă}$ . În continuare, se mărește temperatura agentului de uscare cu un procent prestabilit și procesul se reia până la temperatura maximă admisă a agentului de uscare. În final se sortează șirul coeficienților  $K_i$ , în ordine crescătoare și pentru  $K_{i\min}$  (corespunzător eficienței maxime a uscării), se afișează temperatura agentului de uscare  $T$  și durata uscării  $\tau$ .

Modificarea controlată a temperaturii agentului de uscare în funcție de caracteristicile mediului ambiant și ale semințelor, are în vedere stabilirea în fiecare moment a necesarului de căldură pentru debitul maxim de umiditate între produs și aer, în condițiile respectării condițiilor de utilizare a acestora de către beneficiar (pentru sămânță, pentru consum). Algoritmul de determinare a modului de variație a temperaturii agentului de uscare este prezentat în figura 6.16. Acest mod de reglare presupune creșterea progresivă a temperaturii agentului de uscare, începând de la valoarea temperaturii mediului ambiant. Temperatura agentului de uscare se compară la fiecare pas cu valoarea unei "temperaturi maxime admisibile pentru umiditatea curentă" a semințelor.

În cazul în care  $t_{ag.usc.} < t_{max.adm.}$  - are loc o creștere cu un grad a temperaturii agentului de uscare, iar în caz contrar valoarea acesteia rămâne constantă până la atingerea umidității finale impuse. Urmează verificarea germinației, calculul coeficienților de eficiență și trasarea curbei de variație a temperaturii agentului de uscare.

Curba corespunzătoare coeficientului de eficiență cel mai mic, reprezintă programul optim de dirijare a temperaturii. Valoarea temperaturii maxime admisibile pentru umiditatea curentă a agentului de uscare se calculează cu formule obținute în cadrul capitolului 5.

### 6.2.1 Structura sistemului de achiziție și reglare automată folosit la cercetarea experimentală

Pentru măsurarea temperaturilor amintite mai sus s-a folosit structura prezentată în figura 6.17, realizându-se unele modificări și completări ale sistemului de reglare automată a instalației. Sistemul de reglare a instalației primește semnale de la traductoarele 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 și comandă supapele electromagnetice pentru admisia combustibilului, motoarele ventilatoarelor și ale transportoarelor elicoidale.

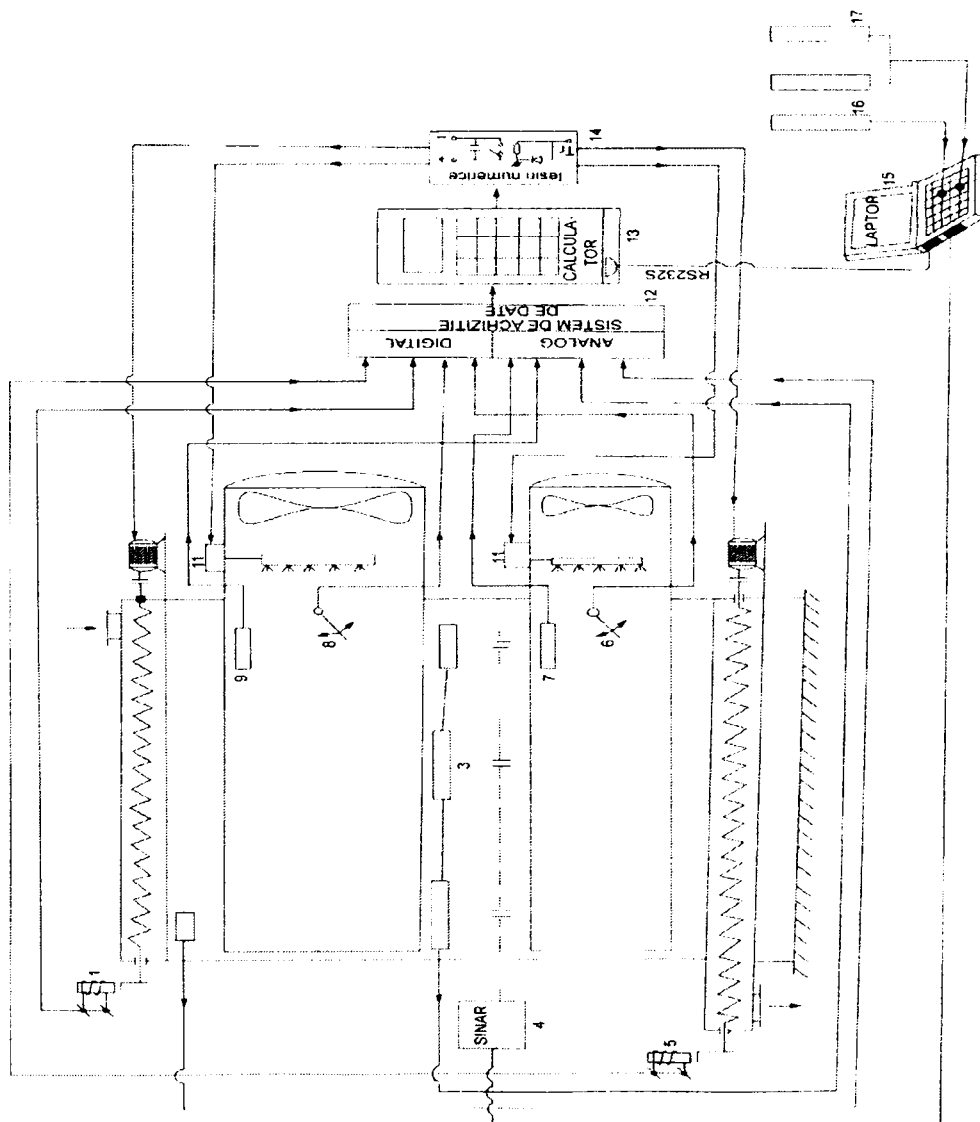


Fig. 6.17 Schema de amplasare a traductoarelor și a circuitelor pentru efectuarea cercetărilor experimentale.

Pentru realizarea obiectivelor experimentale propuse a fost necesar să se mai cunoască umiditatea cerealelor (traductorul 4) și temperatura mediului ambiant (traductorul 17).

De asemenea, a fost necesară conectarea unui calculator la sistemul de reglare automată. Părțile componente prezentate în figura 6.17, sunt: 1 – traductor de turație pentru șneclul de distribuție, 2 – traductor de nivel pentru cereale, 3 – traductor pentru măsurarea temperaturii cerealelor, 4 – traductor pentru determinarea umidității cerealelor, 5 – traductor de turație pentru șneclul de descărcare, 6, 8 – traductoare de prezență a debitului de aer, 7, 9 – traductoare pentru măsurarea temperaturii agentului de aer, 10, 11 – supape electromagnetice pentru admisia combustibilului în arzător, 12 – sistem de achiziție de date LabView, 13 – calculator de proces, 14 – interfața calculator elemente de execuție, 15 – calculator portabil, 16 – traductor măsurarea temperaturii mediului ambiant, 17 – traductor pentru măsurarea umidității mediului ambiant.

Comunicarea între calculatorul portabil și calculatorul de proces s-a realizat printr-o interfață serială RS 232, un cablu de conexiune către portul COM 1 al calculatorului portabil și un program de comunicație lansat de la consola calculatorului portabil. Aparatul de măsură a umidității semințelor a fost conectat la calculatorul portabil direct prin portul de comunicație serială COM 1, datele fiind transferate din memoria aparatului către laptop după achiziția primară de date de la calculatorul de proces. Datele furnizate de traductoarele de temperatură și umiditate ale mediului au fost introduse de la tastatură, întrucât variațiile acestor mărimi au fost foarte lente în intervalele de timp considerate pentru uscare (45 ÷ 60 min).

Prin însumarea timpilor de funcționare a robinetelor de reglare 10 și 11, cunoscând debitul de combustibil consumat la funcționarea continuă a arzătoarelor a fost posibil să se determine consumul de combustibil pentru fiecare probă efectuată, precum și determinarea consumului specific de combustibil necesar pentru eliminarea unui kilogram de apă din masa de cereale.

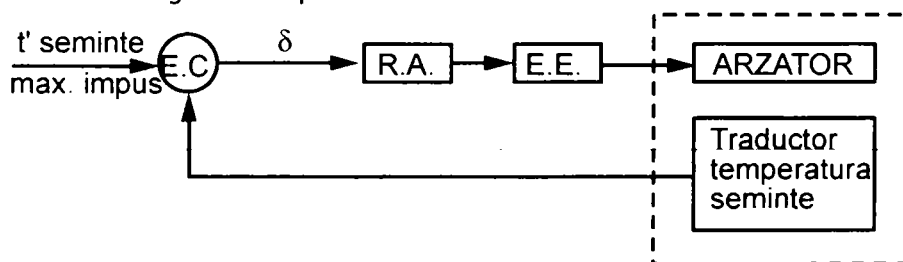


Fig. 6.18 Structura sistemului inițial de reglare automată a instalației de uscare.

Conform metodicii prezentate, cercetarea s-a desfășurat în două etape principale. În prima etapă, regimul termic a fost menținut constant până la uscare

deplină a cerealelor, calculatorul portabil având un rol pasiv, de colectare a valorilor mărimilor măsurate, instalația funcționând conform schemei din figura 6.18, iar variația temperaturii agentului de uscare și a cerealelor conform figurii 6.19.

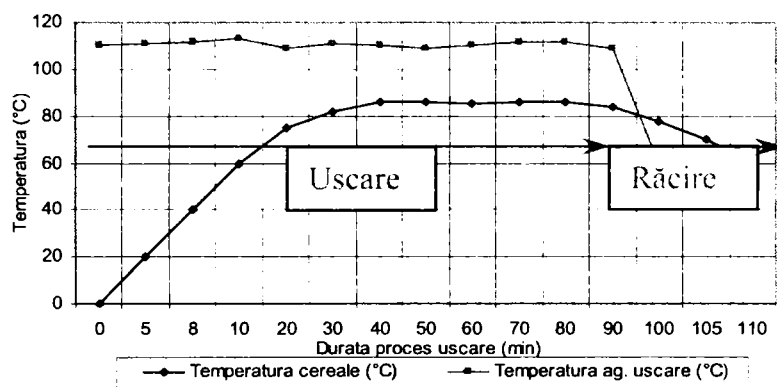


Fig. 6.19 Variația temperaturii cerealelor pe timpul procesului de uscare utilizând temperatura constantă a agentului de uscare.

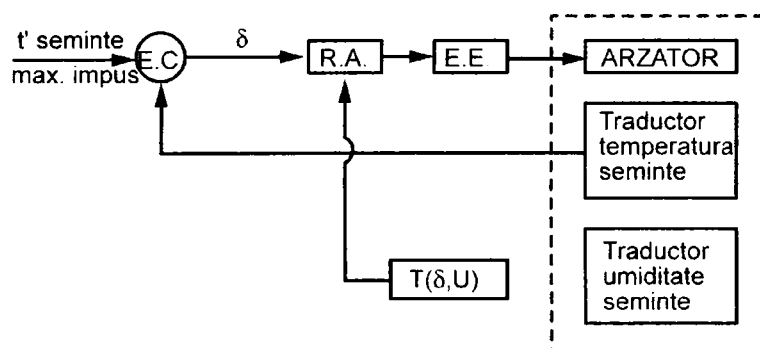


Fig. 6.20 Structura sistemului modificat de reglare automată a instalației de uscare.

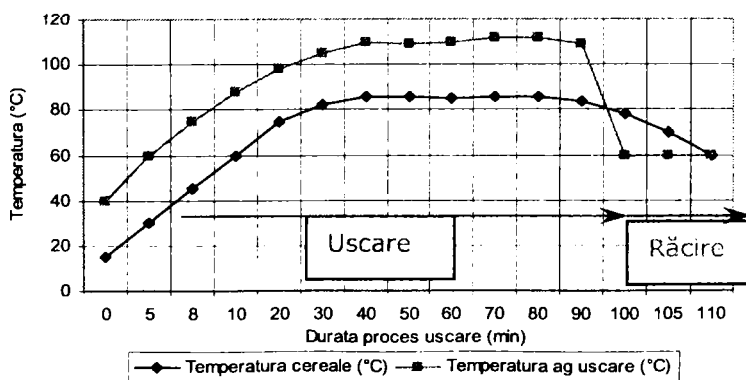


Fig. 6.21 Variația temperaturii cerealelor pe timpul procesului de uscare utilizând temperatura variabilă a agentului de uscare.

A doua etapă a presupus modificarea continuă a temperaturii agentului de uscare, în conformitate cu umiditatea curentă a cerealelor din uscător. În această etapă calculatorul portabil, a determinat temperatura impusă agentului de uscare, pe baza ecuațiilor stabilite teoretic în capitolul 5.

Prin urmare, în această perioadă, structura de funcționare a sistemului de reglare automată a fost modificată conform figurii 6.19. Corelațiile de temperatură calculate de calculatorul portabil au fost realizate la intervale de 2 minute, din consola calculatorului de proces.

## 6.2 2. Aparatura utilizată pentru măsurarea temperaturii cerealelor

Temperatura fiind o mărime de stare, poate fi pusă în evidență numai prin efectele transferului de căldură asupra corpurilor. Dintre multitudinea de modalități de măsurare a temperaturii, pentru procesul de uscare a cerealelor a fost utilizată metoda bazată pe variația temperatura a rezistenței electrice a unui conductor [43, 49, 66].

Aceste traductoare poartă denumirea de *termometre cu rezistență electrică*. Măsurarea cu aceste instrumente se bazează pe variația rezistenței electrice a unui conductor cu temperatura, conform unei anumite legi și anume:

- pentru domeniul:  $(- 190 \text{ }^{\circ}\text{C} \div 0 \text{ }^{\circ}\text{C})$ ,
- $R_t = R_0 \cdot [ 1 + a \cdot t + b \cdot t^2 + c \cdot (t - 100)^3 ]$ , (6.1)
- pentru domeniul:  $(0 \text{ }^{\circ}\text{C} \div 630 \text{ }^{\circ}\text{C})$ ,
- $R_t = R_0 \cdot [ 1 + a \cdot t + b \cdot t^2 ]$ , (6.2)

unde:

- $R_t$ , reprezintă rezistența conductorului la temperatura  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ),
- $R_0$ , rezistența la temperatura de  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,
- coeficienții  $a$ ,  $b$ ,  $c$  depind de natura materialului conductor.

La aceste termometre , elementul sensibil este o sârmă de platină, cupru sau nichel, cu rezistență fixă de  $100 \text{ } \Omega$  la  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , înfășurată pe un cilindru din cuarț sau alt material izolator, elementul este introdus într-un tub protector. Având dimensiuni mici, aceste instrumente permit măsurarea aproape punctiformă a temperaturii, utilizând o punte Wheatstone.

Corpurile termometrice folosite la construcția termometrelor cu rezistență electrică sunt metale ce trebuie să îndeplinească anumite condiții:

- coeficientul termic al rezistenței să fie mare, pentru a asigura o sensibilitate mare a termometrului;
- conductorul să aibă o rezistivitate mare, pentru a se putea utiliza un fir cât mai scurt;
- metalul din care este confecționat conductorul electric să nu reacționeze chimic cu mediul în care se măsoară temperatura, pentru a nu-și modifica proprietățile în procesul de măsurare.

Metalele care îndeplinesc cel mai bine aceste condiții sunt: platina pură, nichelul pur și cuprul pur (tabelul 6.2).

Intervalele de temperatură în care pot fi utilizate termometrele cu rezistență Tabelul 6.2

Nr. crt.	Corpul termometric	Intervalul de temperatură	
		de la	până la
1	Platină pură	+ 200 °C	1100 °C
2	Nichel pur	- 100 °C	+ 200 °C
3	Cupru pur	- 20 °C	+ 100 °C

Termorezistențele (figura 6.23), constau dintr-o sârmă rezistivă (de platină, în acest caz) cu o rezistență fixă 1, care este înfășurată pe un suport izolator de mică 2, rezistent la temperatură și care este închis prin topire într-o țevă de sticlă sau de cuarț. Acest element este montat într-o teacă protectoare de cupru 3, în care se găsește o substanță pulverulentă (oxid de magneziu), fiind astfel protejat de umezeală și rezistent la șocuri.

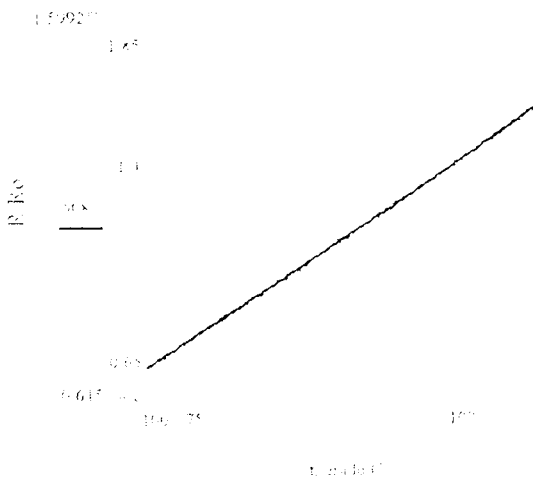


Fig. 6.22 Caracteristica termorezistențelor de Pt utilizate la cercetarea experimentală.

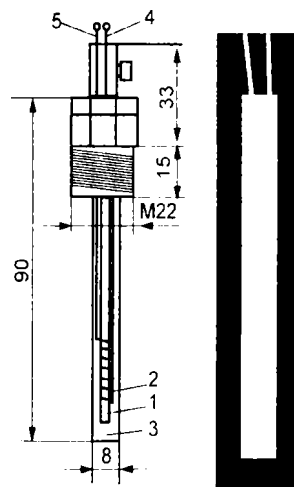


Fig.6.23 Construcția senzorilor de temperatură.

Legătura traductorului cu circuitul exterior de măsurare se face cu ajutorul conductoarelor 4 și 5. Caracteristica dinamică, exprimată prin constanta de timp este relativ mare,  $\tau = 60$  s, însă acest lucru nu influențează în mod negativ posibilitatea de reglare a procesului de uscare.

Pentru domeniul de temperaturi investigat, aplicând relația 6.2, obținem caracteristica  $R/R_0(t)$  a traductoarelor utilizate (fig 6.22), având următoarele valori ale coeficienților de dependență,  $a = 3,9 \cdot 10^{-3}$  /K,  $b = 0,58 \cdot 10^{-6}$ . Variația rezistenței electrice este sesizată și transformată în semnal electric prin intermediul punții Wheatstone (figura 6.24).

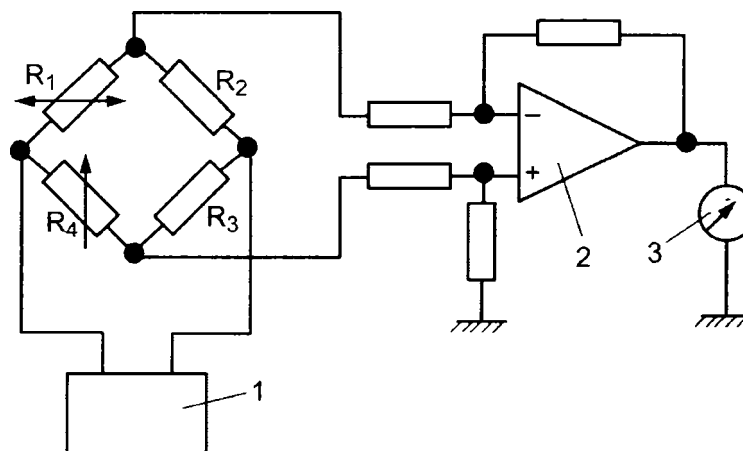


Fig. 6.24 Schema de principiu a unui dispozitiv de măsurare a temperaturii cu termorezistență.

În figura 6.25 se prezintă un astfel de traductor, pentru măsurarea temperaturii agentului de uscare, tip Pt IEC 751B, amplasat în interiorul camerei de uscare.

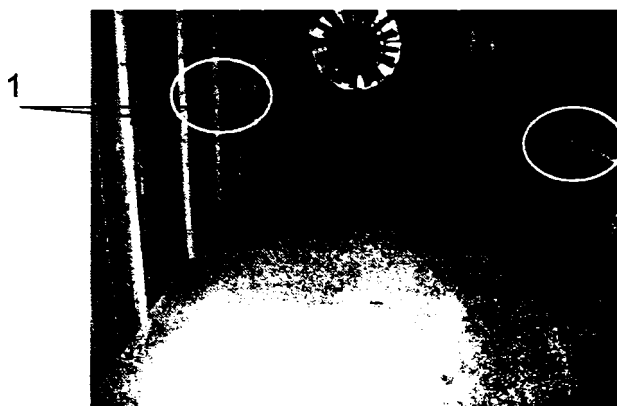


Fig. 6.25 Traductoare de temperatură amplasate în interiorul camerei de uscare.



### 6.2.3 Aparatura utilizată pentru măsurarea umidității cerealelor

Funcționarea sistemului de reglare automată existent pe instalația folosită se bazează pe scăderea diferenței dintre temperatura agentului de uscare și temperatura semințelor, măsurate cu traductoare de tipul prezentat anterior.

Pentru determinarea umidității cerealelor s-a utilizat un umidometru electronic tip  $T_1$ , verificat și certificat de către organismele de certificare pentru efectuarea de măsurători în vederea determinării umidității cerealelor.

Principiul de funcționare al umidometrului (figura 6.26) se bazează pe baza diferenței de conductivitate electrică a apei și a materialului analizat.

Pentru determinarea conținutului de umiditate trebuie stabilită masa probei luată în analiză. Aceasta variază în funcție de natura cerealei și de nivelul de umiditate a probei:

- pentru grâu, secară, orz, ovăz, orez, porumb ( $U = 8 \div 26 \%$ ) = 140 g,
- pentru porumb ( $U = 26 \div 36 \%$ ) = 100 g,
- pentru floarea soarelui ( $U = 16 \div 20 \%$ ) = 60 g.

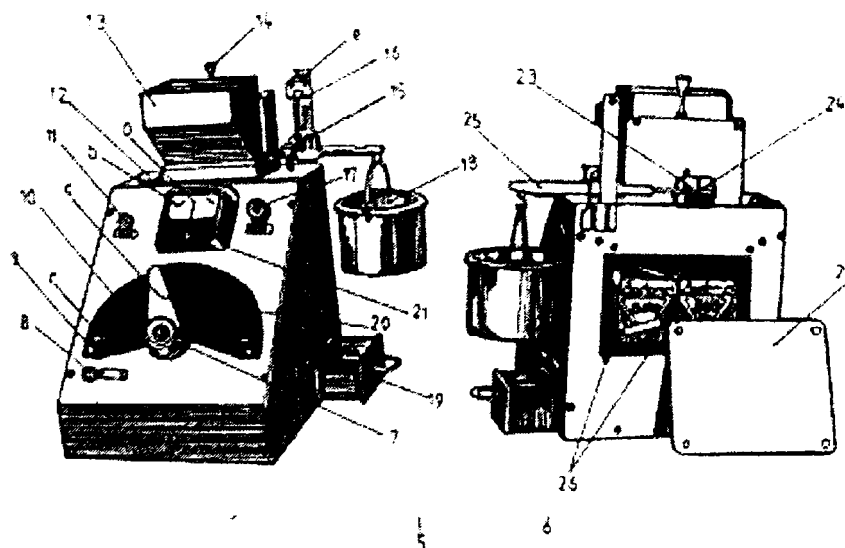


Fig. 6.26 Umidometru electronic  $T_1$ .

1 – aparatul propriu-zis, 2 – cutia de transport, 3 – scale pentru citirea umidității, 4 – termometru, 5 – balanță, 6 – cutie cu greutate, 7 – buton central, 8 – buton măsurare, 9 – opritor, 10 – scală, 11 – buton de control, 12 – capacul bornei de control, 13 – pâlnie, 14 – buton încărcare, 15 – buton evacuare, 16 – suportul balanței, 17 – buton reglaj zero, 18 – vas aluminiu pentru analiză, 19 – sertar, 20 – indicator, 21 – instrument de măsură, 22 – capacul lăcașului, 23 – contrapiesă fixare, 24 – contragreutate, 25 – lăcașul balanței, 26 – baterii 9V

Corecția de umiditate datorită temperaturii produselor cerealiere Tabelul 6.3

Temperatura produsului, (°C)	Corecția ce se adună, %	Temperatura produsului, (°C)	Corecția ce se scade, %
5	+1,20	21	-0,10
6	+1,10	22	-0,15
7	+1,05	23	-0,25
8	+0,95	24	-0,30
9	+0,90	25	-0,40
10	+0,80	26	-0,50
11	+0,70	27	-0,55
12	+0,65	28	-0,65
13	+0,55	29	-0,70
14	+0,50	30	-0,80
15	+0,40	31	-0,90
16	+0,30	32	-0,95
17	+0,25	33	-1,05
18	+0,15	34	-1,10
19	+0,10	35	-1,20
20	0,00	36	-

Etalonarea aparatului este făcută la temperatura de 20°C, temperatura de referință. Când temperatura probei este sub 20°C, la valoarea de umiditate citită pe scala aparatului se adaugă o corecție, iar când temperatura este peste 20°C, se scade o corecție de umiditate (tabel 6.3).

#### 6.2.4 Aparatura utilizată pentru reglarea debitului de combustibil

Combustibilul utilizat în instalația de uscare a fost propanul lichid. Transformarea acestuia în stare gazoasă în vederea arderii se realizează cu ajutorul unui vaporizator (1) sub formă de serpentină (figura 6.27), aflat în interiorul arzătorului în zona flăcării.

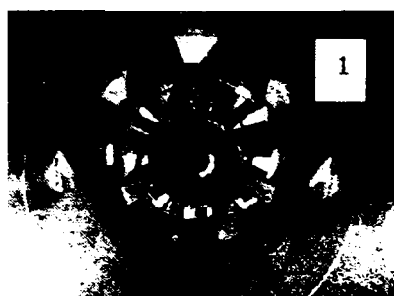


Figura 6.27 Arzătorul generatorului de aer cald.

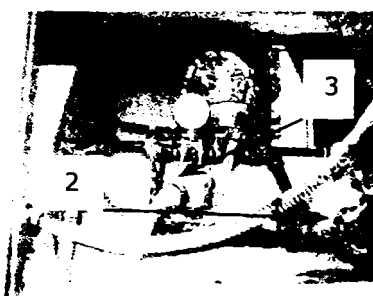


Figura 6.28 Elemente ale instalației de reglare a debitului de combustibil.

Poziția vaporizatorului este reglabilă, pentru a se asigura o funcționare optimă, la o temperatură corespunzătoare.

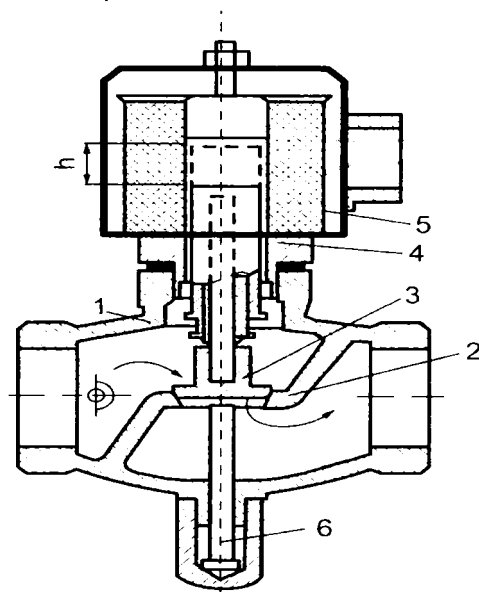


Figura 6.29 Robinet de reglare a debitului de combustibil.

Propanul gaz (figura 6.28) trece printr-un regulator de presiune 2 și printr-un robinet de reglare 3 cu două căi, în linie, cu un scaun, normal închis, acționat electromagnetic. Robinetul de reglare a debitului de combustibil este comandat de calculatorul de proces prin intermediul unei interfețe ce transformă semnalul până la valoarea necesară acționării. În figura 6.29, este prezentată construcția unui astfel de robinet de reglare. În condiții normale, robinetul de reglare este închis, echipajul mobil 3 etanșând pe scaunul 2. La apariția unui curent electric în bobina 5, a electromagnetului, miezul mobil 4 este atras către interiorul acesteia, permițând accesul combustibilului către arzătorul instalației.

Presiunea gazului poate fi măsurată cu ajutorul manometrului 1 (figura 6.28), valoarea acesteia fiind diferită pentru cele două arzătoare. Pentru arzătorul inferior, pe timpul cuplării, valoarea presiunii propanului ajunge la 6,1 psi, iar la arzătorul superior până la 11,5 psi. Ciclograma de funcționare a uscătorului permite cuplarea și decuplarea intermitentă a arzătoarelor în scopul realizării unei diferențe de temperatură a agentului de uscare. De asemenea prin realizarea acestei modulări a valorii temperaturii agentului de uscare, se evită aplicarea unei temperaturi constante ce ar conduce la încetinirea procesului de uscare - în cazul temperaturilor scăzute, respectiv, la arderea cerealelor, pentru temperaturi mai mari ale agentului de uscare. Decuplarea alternativă a celor două arzătoare permite de asemenea și realizarea unui amestec optim termic aer - gaze de ardere.

## 6.3. Prelucrarea, analiza și interpretarea rezultatelor experimentale

### 6.3.1 Prelucrarea datelor experimentale

Prin conexiunile realizate între calculatorul de proces și calculatorul portabil a fost posibil transferul valorilor următoarelor mărimi: temperatura agentului de uscare pentru cele două arzătoare, temperatura masei de cereale, durata de funcționare a celor două arzătoare pe parcursul șarjei.

Datele au fost supuse prelucrării în vederea reprezentării grafice a evoluției parametrilor măsurăți. Pentru prelucrare au fost utilizate programele Mathcad 14, Microsoft Excel 2003 [54].

Astfel din matricea obținută în urma achiziției de date s-a calculat consumul de combustibil consumat pe fiecare șarjă, cu relația:  $Q = \sum t_i C/3600$  [Nm<sup>3</sup>], unde:

- $t_i$  =durata de acționare a robinetelor de reglare a debitului de combustibil, (s)
- $C$ =debitul nominal în funcționare continuă al arzătoarelor:  $C = 87 + 68$  [Nm<sup>3</sup> /h],

Consumul specific de combustibil pentru evaporarea unui kg de apă din masa de semințe s-a calculat cu relația:  $q = Q / G_1 u_1 - G_2 u_2$ , [Nm<sup>3</sup>/ kg apă], unde

- $G_1, G_2$  = masa semințelor la intrarea , respectiv ieșirea din uscător, [kg],
- $u_1, u_2$  = umiditatea semințelor la intrarea, respectiv ieșirea din uscător, [%]

Datele referitoare la evoluția umidității semințelor pe parcursul uscării au fost reținute în calculator și alăturate celor privind temperatura și umiditatea mediului ambiant. Pentru reprezentarea grafică a evoluțiilor mărimilor specifice s-a utilizat programul Microsoft Excel.

### 6.3.2 Analiza și interpretarea datelor experimentale

Pentru atingerea obiectivelor cercetărilor experimentale stabilite în capitolul 1, pe baza metodicii de lucru prezentată în figurile 6.14, 6.15, 6.16, s-au efectuat 16 probe, în condiții diferite de lucru.

În tabelul 6.4 sunt prezentate în sinteză condițiile de desfășurare a cercetărilor experimentale.

**Sinteza măsurătorilor efectuate pe timpul experimentelor la uscarea semințelor  
de grâu și porumb cu uscătorul GSI 1226 Tabelul 6.4**

Nr. proba	Produs	Destinația	Durata uscare (min)	Temp. ag.usc. (°C)	Germinație inițială (%)	Germinația finală (%)	Umid iniț. (%)	Umid finală (%)	Consum specific comb. $\times 10^{-3}$ Nm <sup>3</sup> /kg apă
1	Grâu	Sămânță	60	76	94	75	26,2	14,1	94
2	Grâu	Sămânță	60	66	91	78	22	14,2	92
3	Grâu	Sămânță	60	60	95	86	22,3	14,3	92
4	Grâu	Sămânță	50	44-66	93	86	23,5	14,2	94
5	Grâu	Sămânță	50	48-70	93	84	26,2	14	85
6	Grâu	Sămânță	35	58-76	94	80	26,1	14,2	94
7	Grâu	Consum	35	58-78	-	-	24	14	91
8	Grâu	Consum	50	78	-	-	24,2	14,4	87
9	Grâu	Consum	50	82	-	-	22,3	14,1	95
10	Porumb	Sămânță	60	100	86	55	34	15	98
11	Porumb	Sămânță	60	84	88	57	34,2	15,2	100
12	Porumb	Sămânță	60	70-100	84	50	34,4	15,5	102
13	Porumb	Sămânță	60	66-88	85	74	34,5	15	92
14	Porumb	Consum	60	66-100	-	-	34,6	15,1	98
15	Porumb	Consum	60	80	-	-	34,1	15,3	98
16	Porumb	Consum	60	88	-	-	32	14,8	100

Primele nouă probe au folosit ca material biologic semințe de grâu (destinate consumului și pentru sămânță), iar probele 10 ÷ 16 au avut ca subiect uscarea semințelor de porumb, de asemenea cu diverse destinații.

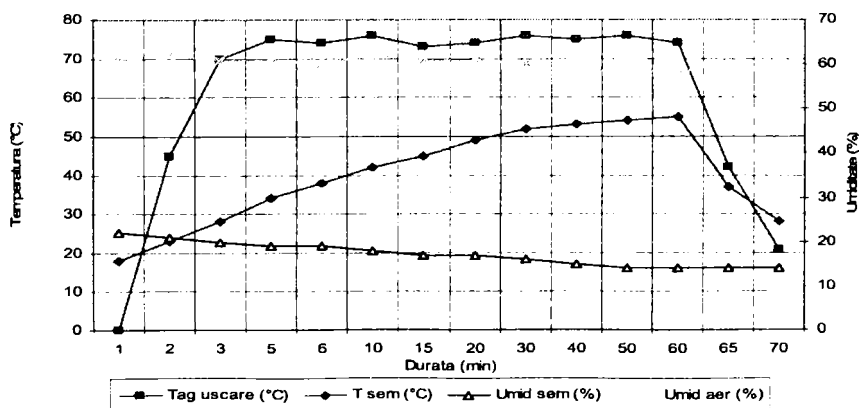


Fig. 6.30. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 1.

Primele trei probe au avut drept scop punerea în evidență a modului în care evoluează germinația semințelor după uscare, odată cu creșterea valorii temperaturii agentului termic.

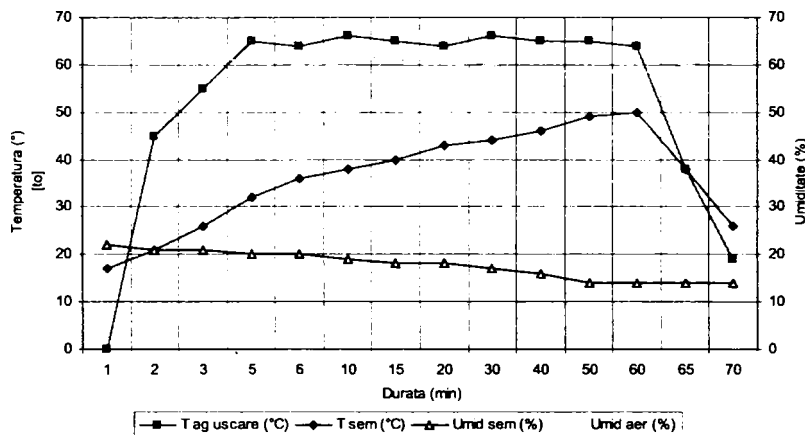


Fig. 6.31. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 2.

În cadrul acestor probe, temperatura a fost menținută constantă pe toată durata procesului la valori de 75, 65 și respectiv 60 °C, recomandate în literatura de specialitate (figurile 6.30, 6.31, 6.32). Durata procesului de uscare a fost stabilită la 60 minute, urmată de răcirea semințelor timp de 10 minute, conform recomandărilor din notița tehnică a uscătorului.

Analiza rezultatelor experimentale obținute în cadrul probelor 1, 2, respectiv 3 (figurile 6.30, 6.31, 6.32), evidențiază următoarele:

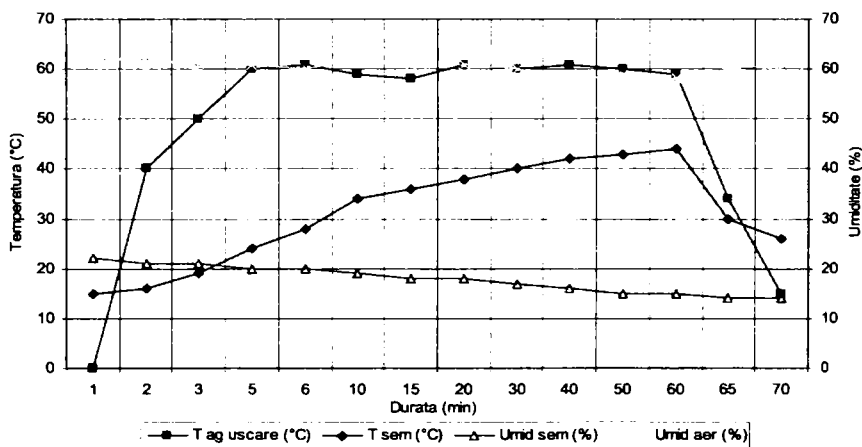


Fig. 6.32. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 3.

- agentul de uscare atinge temperatura de regim (75, 65, respectiv 60 °C) într-un interval de timp de circa 3 ÷ 5 minute, care este apoi menținută cu o precizie de  $\pm 2\%$ ;

- în intervalul de timp de 60 de minute, temperatura maximă, atinsă de cantitatea de semințe de grâu este de 55,6; 50,1; respectiv 43,5 °C;
- perioada de răcire (10 minute), conduce la scăderea temperaturii semințelor până la valoarea de 28,5; 27,4 respectiv 25,4 °C;
- regimul termic constant de 75 °C pentru agentul de uscare (în cadrul probei 1) provoacă diminuarea pronunțată a germinației de la valoarea 94% (germinația boabelor înainte de uscare) la valoarea de 75 %. Umiditatea finală mare și consumul ridicat de combustibil necesar pentru eliminarea unui kg de apă (0,094 Nm<sup>3</sup>/kg), indică „călirea,, parțială a semințelor, datorită utilizării unei temperaturi mari a agentului de uscare,
- probele 2 și 3 (tabelele 6.31 și 6.32), indică valori ale germinației de 78%, respectiv 86%. Regimul termic este „mai blând,, având efecte favorabile asupra germinației, dar și asupra consumului de combustibil, acesta ajungând la 0,092 Nm<sup>3</sup>/kg, pentru proba 3.

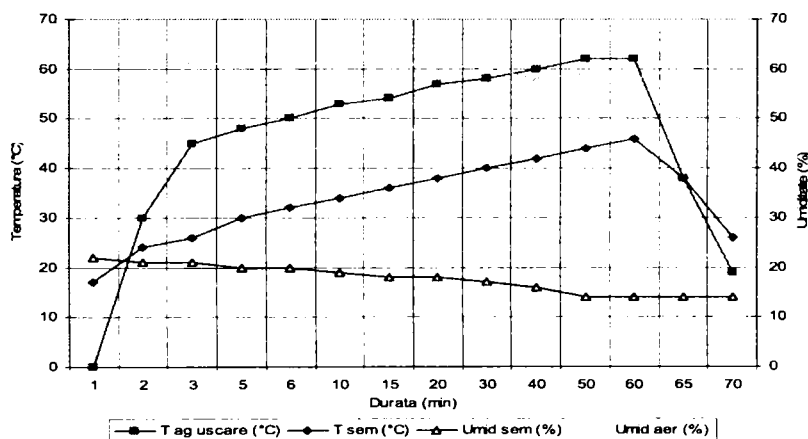


Fig. 6.33 Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 4.

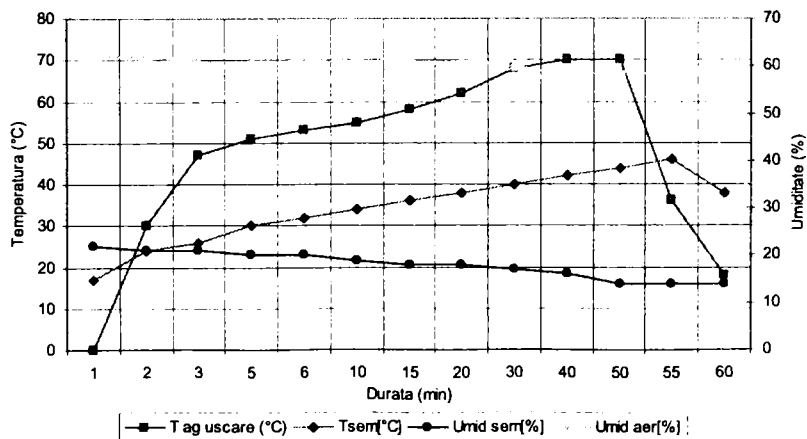


Fig. 6.34 Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 5.

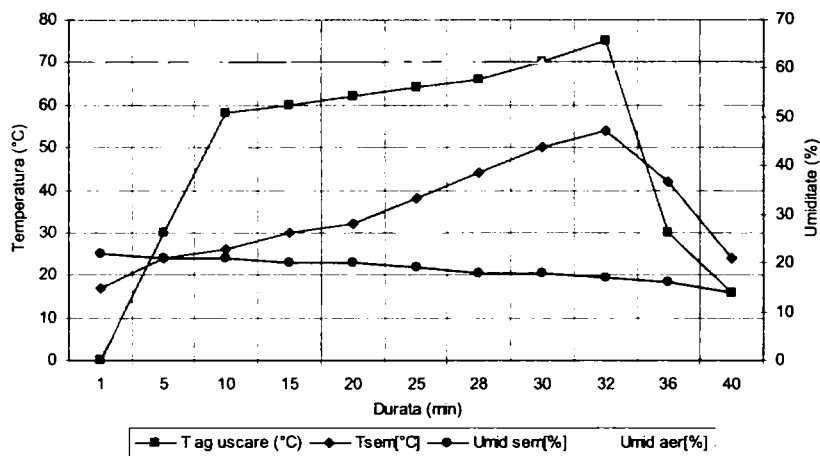


Fig. 6.35 Variatia parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 6.

Probele 4, 5 și 6 (figurile 6.34, 6.35, 6.36), au urmărit implementarea regimului termic variabil în funcție de evoluția umidității semințelor de grâu conform funcțiilor stabilite în capitolul 5 și punerea în evidență a efectelor asupra germinației. În urma analizei rezultatelor am constatat următoarele:

- are loc o creștere globală a germinației finale, față de situația uscării cu temperatură constantă a agentului de uscare;
- cea mai ridicată valoare a germinației s-a obținut în cadrul probei 4 (88 %), însă consumul de combustibil a fost ridicat  $0,094 \text{ Nm}^3/\text{kg}$  datorită duratei mari a procesului de uscare;
- scăderea duratei de uscare conduce la creșterea temperaturii agentului de uscare, din acest motiv germinația în cazul probei 6 este mai scăzută (80 %),
- procesul optim este cel înregistrat în cazul probei 5, cu un consum specific de  $0,085 \text{ Nm}^3/\text{kg}$  și o germinație de 84 %.

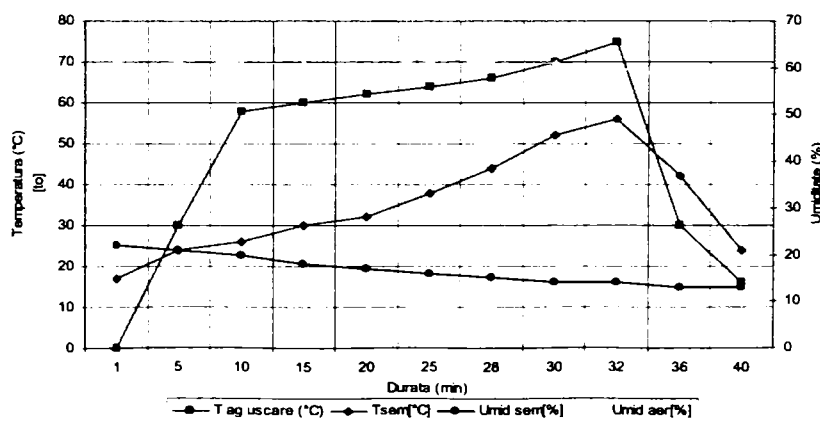


Fig. 6.36. Variatia parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 7.



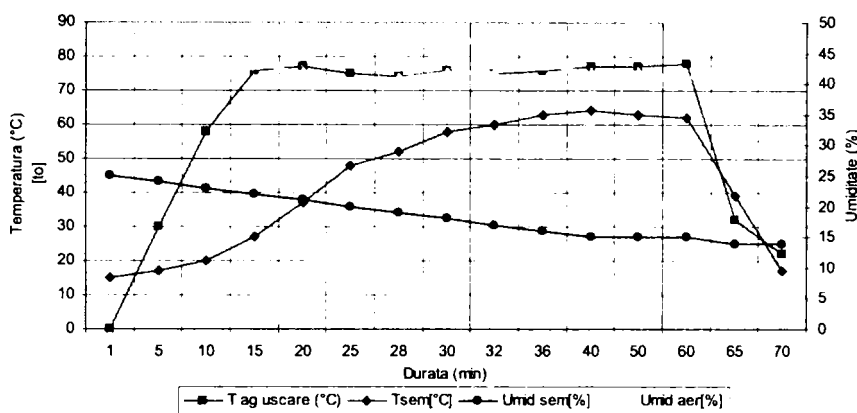


Fig. 6.37. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 8.

Probele 7, 8 și 9 (figurile 6.36, 6.37, 6.38) au scos în evidență modificarea cantității de umiditate eliminată din masa semințelor de grâu în condiții de regim termic *variabil* (proba 7) sau *constant* la umidități ale mediului ambiant *redus* (proba 8), respectiv *ridicat* (proba 9).

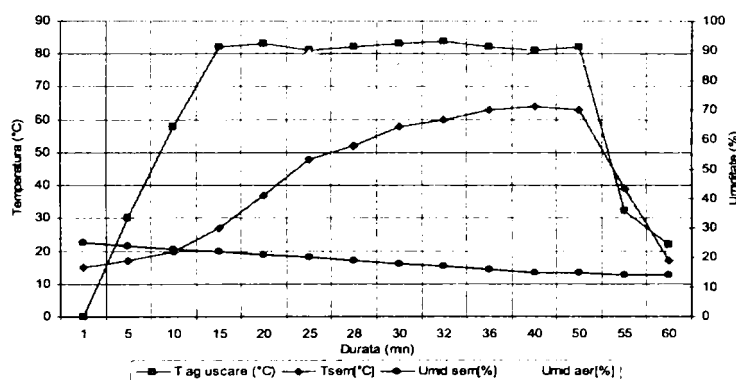


Fig. 6.38. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 9.

Analizând rezultatele obținute se pot desprinde următoarele elemente:

- proba numărul 7, conduce prin regimul termic variabil la o umiditate finală redusă de 14 %, corelată și cu o scădere a consumului specific de combustibil. De remarcat faptul că cerealele ajung la o temperatură maximă de 57,3 °C, însă nu apar efecte nefavorabile, deoarece în acel moment umiditatea acestora este deja redusă (15,4 %).
- în cazul probei 8, datorită temperaturii ridicate a agentului de uscare, precum și datorită umidității scăzute a mediului ambiant (43 %), viteza procesului de uscare este foarte mare încă de la început, ceea ce produce „călirea”, pericarpului.

• umiditatea ridicată a mediului ambiant (84 %) conduce în cazul probei 9, la creșterea consumului specific de combustibil față de proba 8, de la  $0,087 \text{ Nm}^3/\text{kg}$  la  $0,095 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ .

Probele 10, 11, 12 și 13 (figurile 6.39, 6.40, 6.41, 6.42) au avut ca subiect semințe de porumb pentru sămânță, respectiv probele 14, 15, 16, porumb pentru consum.

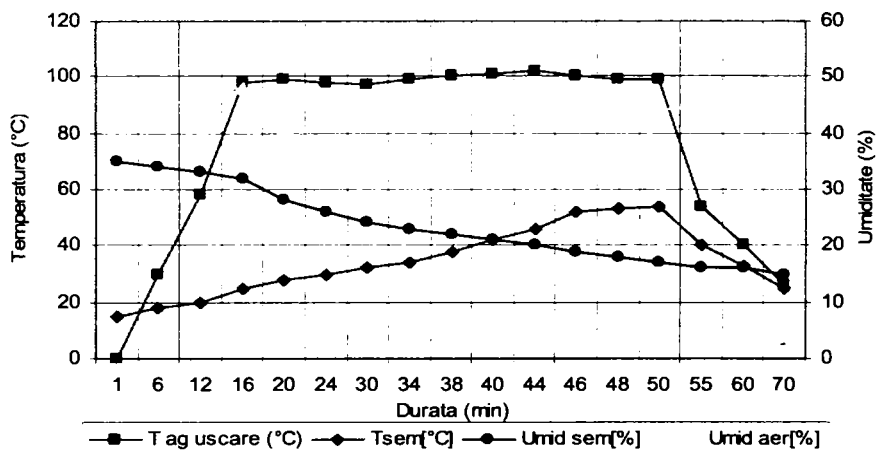


Fig. 6.39. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 10.

Uscarea s-a realizat la un regim termic constant (probele 10, 11), respectiv variabil (probele 12, 13) cu modificarea temperaturii agentului de uscare și a umidității cerealelor conform funcțiilor stabilite în capitolul 5.

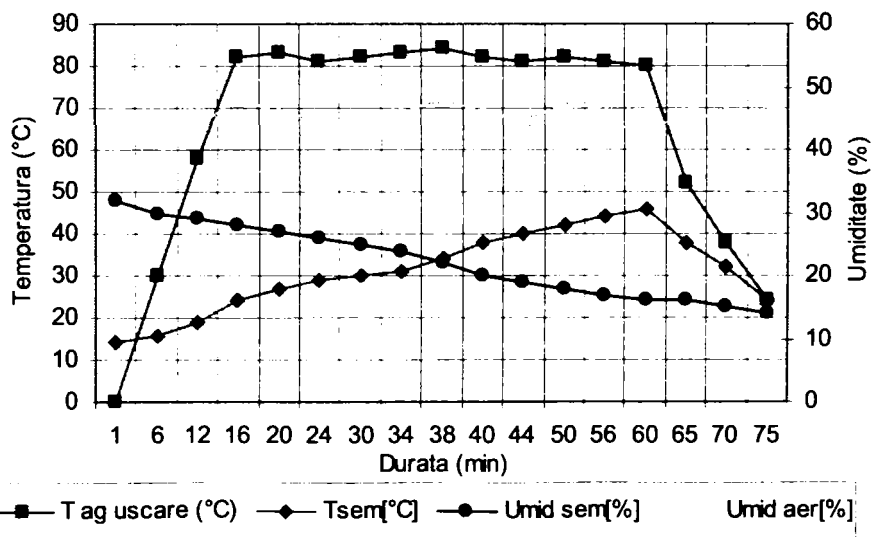


Fig. 6.40. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 11.

Din analiza rezultatelor experimentale obținute rezultă următoarele:

- se constată că proprietățile de germinație scad de la valoarea inițială de 8% (pentru semințe de porumb nesupuse uscării) la valoarea de 55 %, respectiv 57 % pentru temperaturi ale agentului termic de 100 °C, respectiv 80 °C (probele 10 și 11);

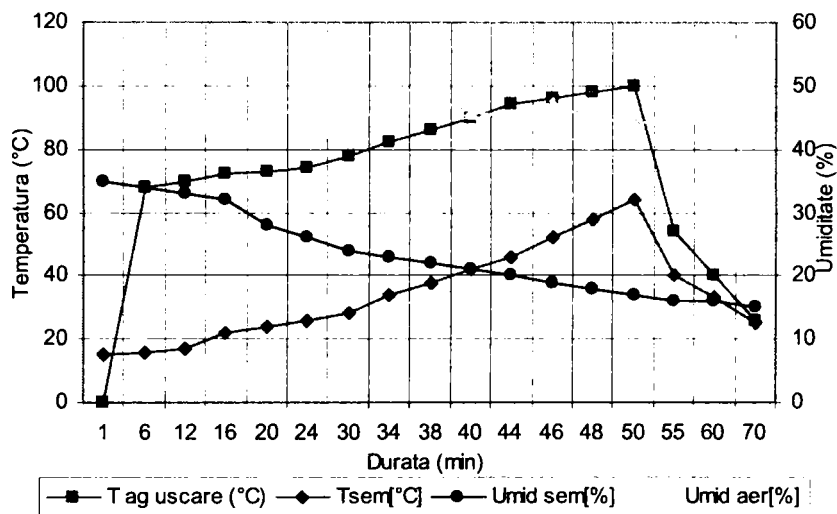


Fig. 6.41. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 12.

- prin modificarea temperaturii agentului de uscare până la valori de 100 °C, scade durata de uscare și scad foarte mult proprietățile de germinație până la 50 % (proba 12);

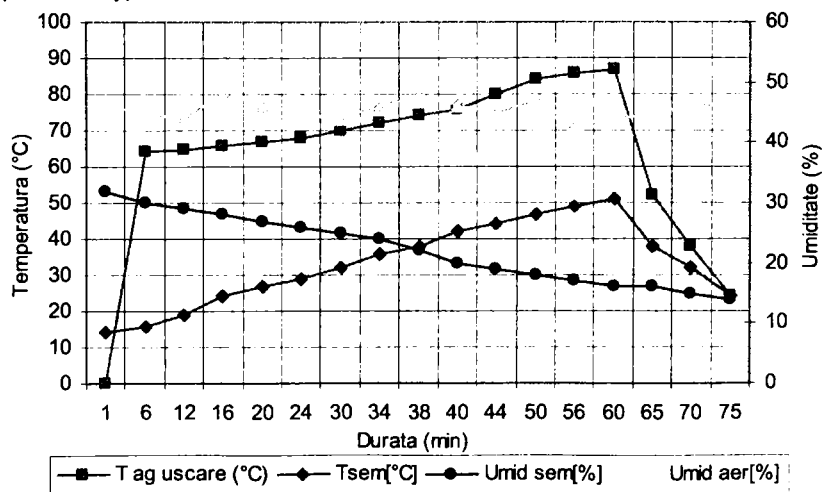


Fig. 6.42. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 13

• prin modificarea continuă a temperaturii agentului de uscare odată cu umiditatea semințelor, se constată o îmbunătățire a proprietățile de germinație finale. Cea mai ridicată valoare se obține pentru proba 13, de 74 % și un consum specific de combustibil necesar eliminării unui kg de apă (0,092 Nm<sup>3</sup>/kg);

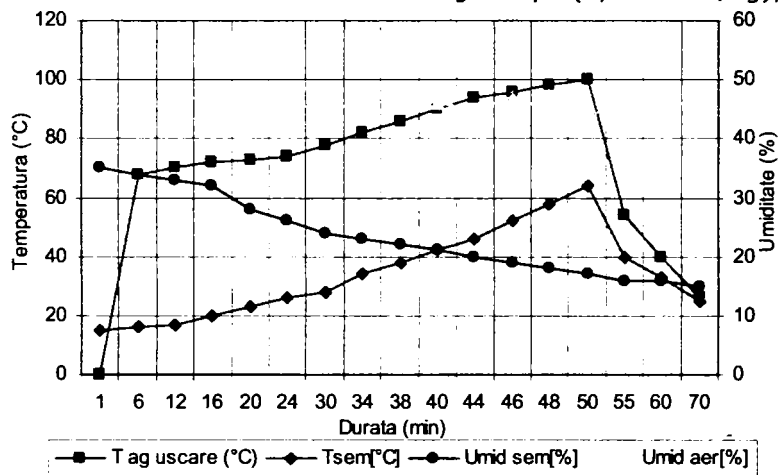


Fig. 6.43. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 14.

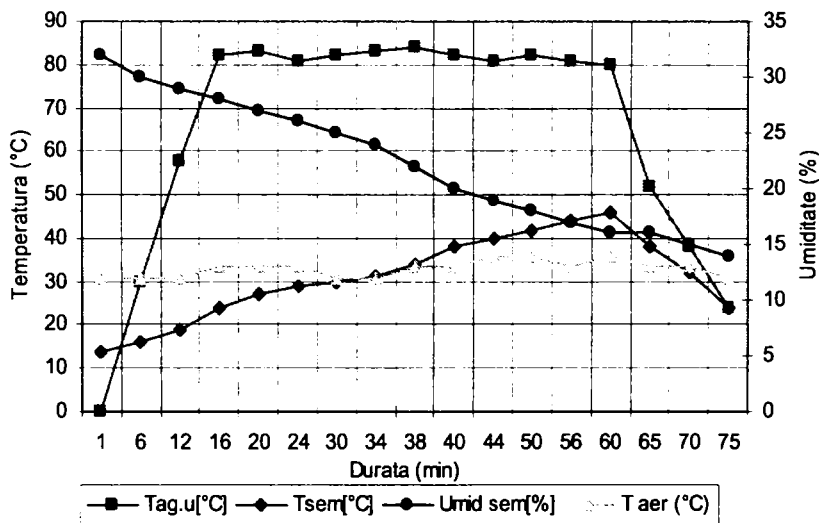


Fig. 6.44. Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 15.

Probele 14, 15 și 16 (figurile 6.43, 6.44, 6.45), au fost realizate pentru semințe de porumb destinat consumului. Aceste probe au pus în evidență modificarea cantității de umiditate eliminată, în condiții de regim termic variabil (proba 14) comparativ cu cel constant, în condiții de temperatură ale mediului ambiant diferită (probele 15, 16). Analiza rezultatelor experimentale obținute permit efectuarea următoarelor observații:

• se constată că temperatura ridicată a mediului ambiant (32 °C, proba 16) are un efect favorabil asupra economicității instalației, față de proba 15, în care temperatura mediului ambiant a fost între 12 ÷ 13 °C, consumul specific s-a redus de la 0,098 Nm<sup>3</sup>/kg la 0,093 Nm<sup>3</sup>/kg.

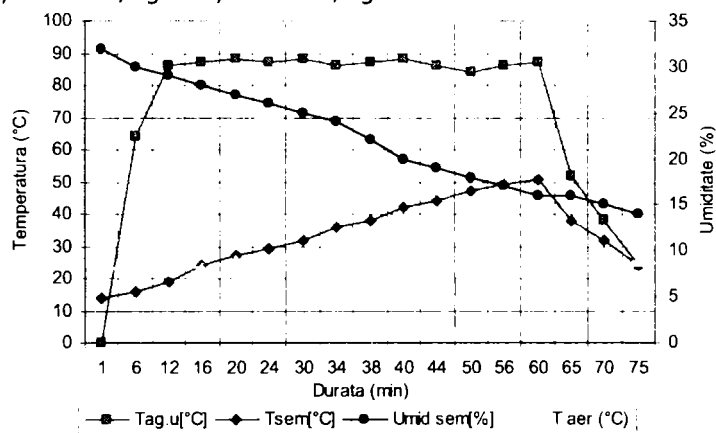


Fig. 6.45 Variația parametrilor caracteristici procesului de uscare pentru proba 16.

Situația cea mai favorabilă pentru obținerea grâului pentru sămânță, se obține pentru proba 4, unde diminuarea proprietăților de germinație sunt scăzute 7% (de la 93 % la 86 %) deși consumul de combustibil a fost ridicat, datorită duratei mari a procesului de uscare.

Germinația maximă a semințelor de porumb s-a obținut pentru cazul probei 13, cu o scădere de la valoarea inițială de la 90 % la 74 %. Scăderea proprietăților de germinație cu 16 % în acest caz, sau chiar cu 31 % în cazul probei 10 necesită introducerea și a altor parametri în aprecierea influenței regimului termic asupra proprietăților de germinație după uscare.

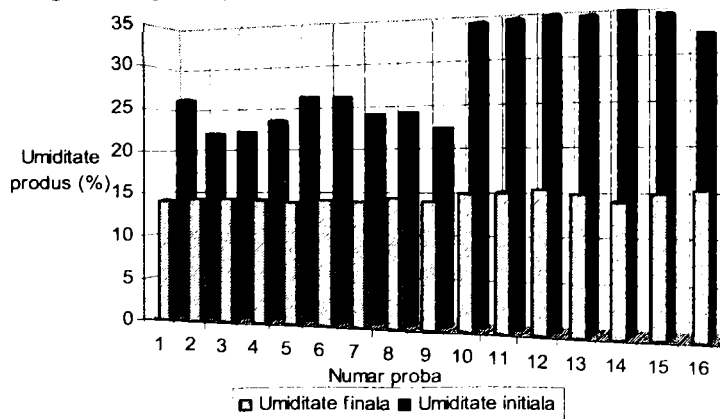


Fig. 6.46 Variația repartiției umidității înainte și după uscare.

În figura 6.46, este prezentată o sinteză a valorilor umidității cerealelor înainte și după uscare. Cele mai reduse valori ale umidității cerealelor după uscare se obțin la proba nr. 7 pentru grâu, respectiv 14 pentru porumb. O extracție facilă a umidității implică și un consum specific redus de combustibil.

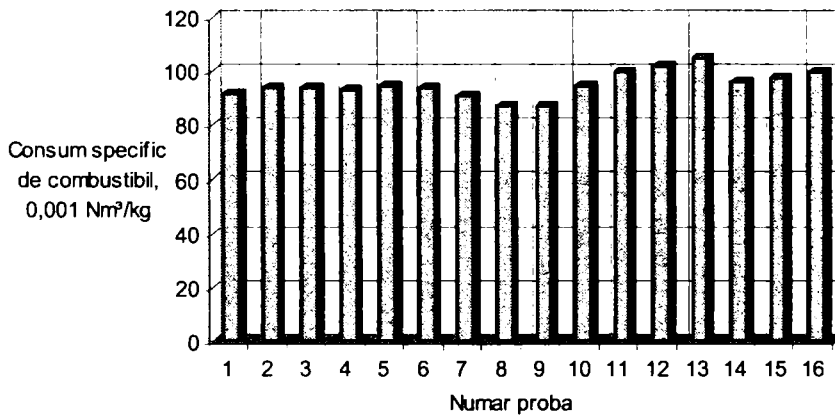


Fig. 6.47 Repartiția consumului specific de combustibil.

Prin urmare, probele 7, respectiv 14 sunt cele mai eficiente din acest punct de vedere. În figura 6.47, se poate observa că un consum specific ridicat de combustibil (proba 5 – grâu, 13- porumb ), indică un proces de uscare defectuos, rezultând o umiditate finală mai ridicată pentru aceste probe și o scădere a consumului specific de combustibil cu  $5 \div 20$  %. Cele mai reduse valori ale umidității semințelor după uscare se obțin în cadrul probelor 7 (pentru grâu) și 14 (pentru porumb).

#### 6.4. Măsurarea concentrațiilor emisiilor poluante din gazele de ardere ale agentului de uscare

În vederea efectuării controlului emisiilor poluante din gazele de ardere ale agentului de uscare de la uscătorul GSI 1226, au fost utilizate echipamente din dotarea Laboratorului de analize de combustibili, investigații ecologice și dispersia noxelor, din cadrul catedrei TMTAR, prin grija doamnei profesor doctor inginer Ioana Ionel și a domnului șef de lucrări doctor inginer Francisc Popescu.

Scopul efectuării măsurătorilor de noxe, rezultate în urma procesului de ardere a propanului în vederea obținerii gazelor de ardere necesare amestecului cu aer proaspăt pentru uscarea cerealelor, a fost acela de a demonstra că participația compușilor de ardere în procesul de extracție a umidității din cereale utilizând acest

tip de uscător, prin convecție, nu afectează din punct de vedere al siguranței alimentelor inocuitatea acestora.

De asemenea prin recoltarea unui număr semnificativ de probe din produsul uscat, s-au efectuat analize de laborator, de către un organism acreditat, în vederea determinării contaminanților (metale grele - plumb și cadmiu) existenți după uscarea cerealelor (Anexa 4).

#### 6.4.1 Analizorul de gaze TESTO 350 M/XL. Măsurarea emisiilor poluante.

Gazo-analizorul TESTO 350 M/XL este un echipament performant de determinare a emisiilor gazoase din gazele de ardere, determinarea acestora realizându-se în celule speciale, în urma unor reacții electro-chimice de tip Peltier [44, 45, 46]. Gazele analizate sunt  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_m\text{H}_n$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NO}$  și  $\text{NO}_2$ .

De asemenea, detectează coeficientul excesului de aer  $\lambda$  și determină, prin calcul, concentrația de  $\text{CO}_2$ , viteza de curgere a gazelor și debitul masic (numai dacă se ia în calcul secțiunea de curgere) pentru toate speciile de gaze analizate. Aparatul este format din trei subansambluri principale: unitatea de analiză, unitatea de control și sonda de prelevare a gazelor. Opțional se pot atașa diferiți senzori de temperatură precum și o sondă Pitot- Prandtl. Unitatea de analiză este echipată cu două intrări diferite pentru senzorii de temperatură: una pentru determinarea temperaturii gazelor prelevate și una pentru altă utilizare, spre exemplu pentru determinarea temperaturii ambiante, figurile 6.48, 6.49.

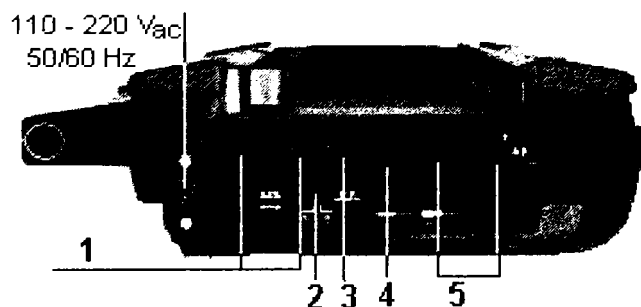


Fig. 6.48 Unitatea de analiză.

- 1 - conexiuni transfer de date; 2 - diluție; 3 - semnal de alarmă;  
4 - senzor opțional de temperatură; 5 - conectare sondă.

Gazul aspirat prin sondă este introdus în celule de reacție când pompa de gaz este pornită manual sau automat. Gazul uscat trece apoi printr-un filtru special, în vederea reținerii particulelor solide.

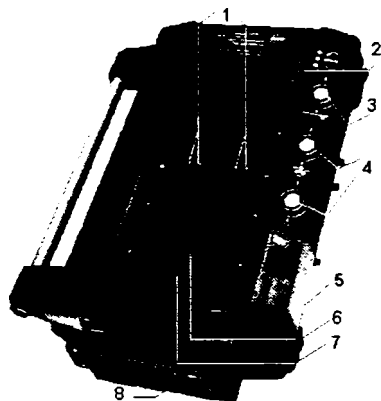


Fig. 6.49 Unitatea de analiză.

- 1 – contacte electrice; 2 – leduri de control; 3 – filtru particule solide;  
 4 – filtre reținere particule din aerul aspirat; 5 - colectare condens;  
 6 – celule de analiză; 7 – sistem integrat de determinare a vitezei și  
 presiunii gazelor; 8 – conexiunii

Unitatea de control (figura 6.50) este un dispozitiv de măsurare ce poate fi utilizat și independent de unitatea de analiză, însă nu pentru determinarea emisiilor gazoase. Este echipat cu mufe de intrare la care pot fi conectați (pe lângă unitatea de analiză) senzori de temperatură, umiditate, viteză, turbulență, presiune, curent și tensiune, precum și turație.

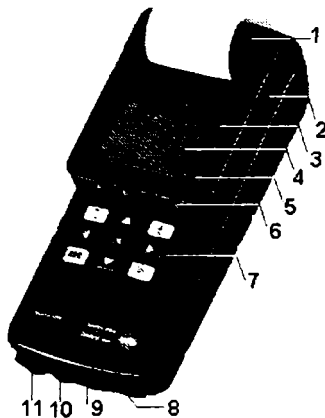


Fig. 6.50 Unitatea de control.

- 1 – imprimantă, 2 – touch-pen (creion electronic), 3 – bară pentru informații de sistem, 4 – afișare valori măsurate, 5 – bară pentru informații, 6 – taste operare funcțiuni, 7 – tastatură, 8 – conectare sondă presiune, 9 – conectare probă, 10 – conectare unitate de analiză, 11 – interfață tip serial.



Unitatea este echipată cu memorie proprie, în care se pot stoca până la 250.000 de date, precum și cu o imprimantă încorporată pentru tipărirea acestora. Datele măsurate pot fi transferate și către un PC printr-o interfață tip serială. Aparatul poate fi echipat cu mai multe sonde de prelevare a gazelor.

Acestea diferă în funcție de caracteristicile gazelor prelevate. O dată cu determinarea concentrației noxelor gazoase din gazele de ardere, aparatul calculează instantaneu următorii parametri:

**Bioxidul de carbon,  $CO_2$  :**

$$CO_2 = \frac{CO_{2,max} \cdot (21 - O_{2,mas})}{21} \quad [\%] \quad (6.1)$$

în care:

- $CO_{2,max}$  - valoarea maximă de  $CO_2$  specifică combustibilului, [%],
- 21 % - conținutul de  $O_2$  în aer, [%],
- $O_2\%$  - conținutul de  $O_2$ , măsurat în gazele arse, [%],

**Pierderea de căldură cu gazele evacuate,  $q_A$  (conf. ecuației Siegert):**

$$q_A = \left[ (FT - AT) \cdot \left[ \frac{A_2}{(21 - O_2)} + B \right] \right] \cdot KK \quad (6.2)$$

în care:

FT - temperatura gazului prelevat;  
 AT - temperatura mediului ambiant;  
 $A_2$  și B - factori specifici combustibilului;  
 $O_2$  - conținutul de oxigen măsurat în gazele de ardere, în %;  
 KK - factor ce convertește diferența de temperatură la coș în pierderi relative la coș.

Dacă factorii  $A_2$  și B sunt nuli se corectează ecuația Siegert cu factorul „f”, specific combustibilului:

$$q_A = f \cdot \frac{(FT - AT)}{CO_2} \quad (6.3)$$

**Coeficientul excesului de ardere,  $\lambda$ :**

$$\lambda = \frac{CO_{2,max}}{CO_2} \quad (6.4)$$

**Oxizi de azot,  $NO_x$ :**

$$NO_x = NO + NO_2 \quad (6.5)$$

### 6.4.2 Prelucrarea și interpretarea rezultatelor experimentale

Pentru efectuarea măsurătorilor, s-a recurs la aceeași metodică utilizată și în cazurile uscării probelor de grâu și porumb, cu respectarea normelor specifice de protecția muncii și lucru în condiții deosebite.

După alimentarea uscătorului cu o cantitate de 20 tone de porumb, având următorii indici fizici ai porumbului și caracteristici ale mediului ambiant:

- Umiditate inițială = 21 %,
- Umiditatea finală = 14 %,
- Temperatura agentului de uscare în arzătorul superior = 95 °C,
- Temperatura agentului de uscare în arzătorul inferior = 80 °C,
- Temperatura mediului ambiant = 20,4 °C,
- Umiditatea relativă a aerului = 52,3 %,

apoi, prin intermediul unui capac de vizitare s-a introdus sonda pentru prelevarea datelor, alternativ în cele două porțiuni ale camerei de preuscarea a uscătorului.

Echipamentul TESTO a fost racordat la un laptop și un sistem de achiziție de date setat la un timp de 10 secunde, a efectuat achiziția de date pe timpul uscării porumbului, conform figurii 6. 51, iar valorile concentrațiilor volumice se regăsesc în Anexa 2.

Echipamentul de măsură și control a fost verificat de o unitate specializată, de profil, pentru care s-a eliberat buletinul de analiză nr. 0101099/06.05.2008 (Anexa 5).



Fig.6.51 Sistem de măsurare, achiziție și prelucrarea datelor.

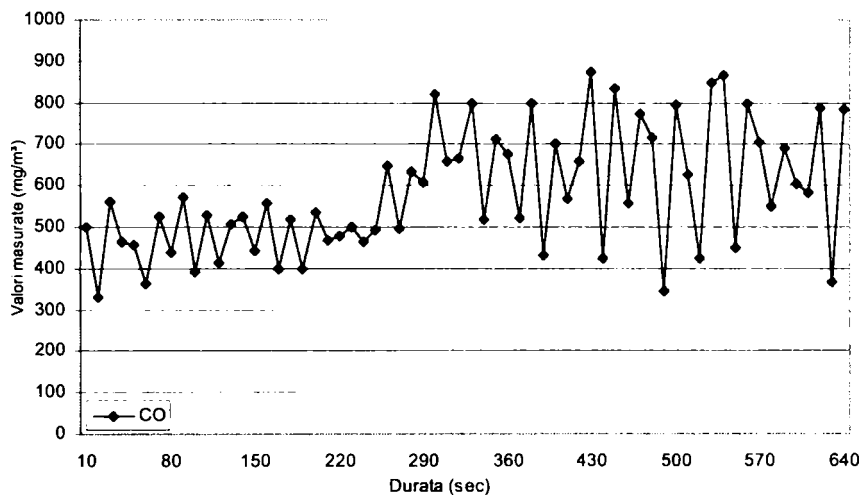
**Valori prelevate la partea superioară a uscătorului**

Fig. 6.52. Diagrama de variație a CO, la uscare porumbului cu GSI 1226.

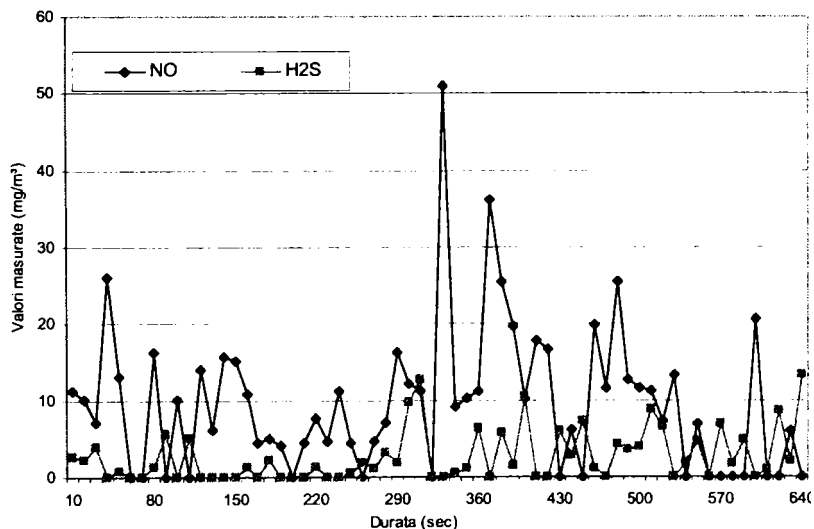


Fig. 6.53. Diagrama de variație a NO și H<sub>2</sub>S la uscare porumbului cu GSI 1226.

În urma procesului de măsurare, valorile determinate, sub forma concentrației volumice (ppm) au fost transformate în (mg/m<sup>3</sup>), concentrații masice și raportate la un oxigen de referință, O<sub>2</sub> % = 19 %, rezultând legile de variație ale CO, NO, H<sub>2</sub>S, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub> și O<sub>2</sub>, (figurile 6.52, 6.53, 6.54, 6.55), iar valorile calculate se regăsesc în Anexa 3.

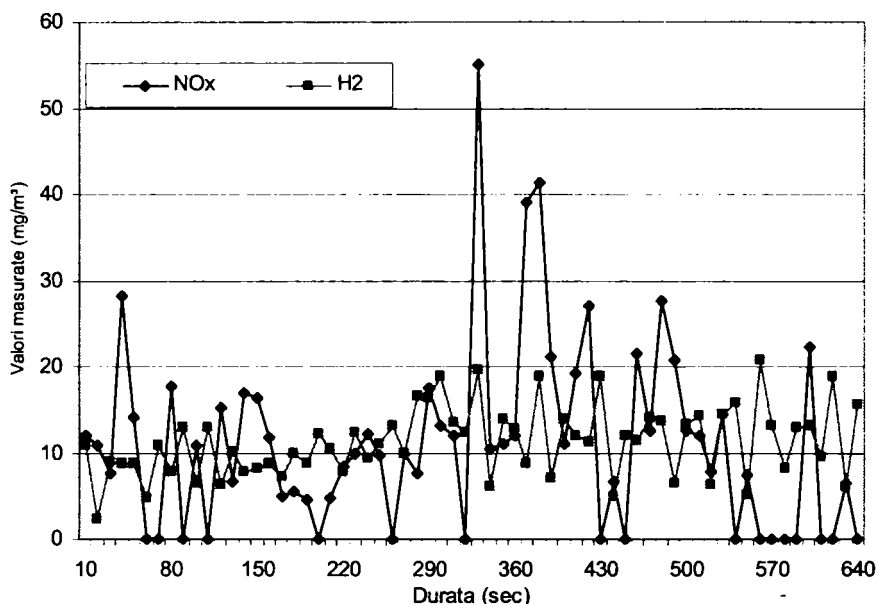


Fig. 6.54. Diagrama de variație a  $\text{NO}_x$  și  $\text{H}_2$  la uscarea porumbului cu GSI 1226.

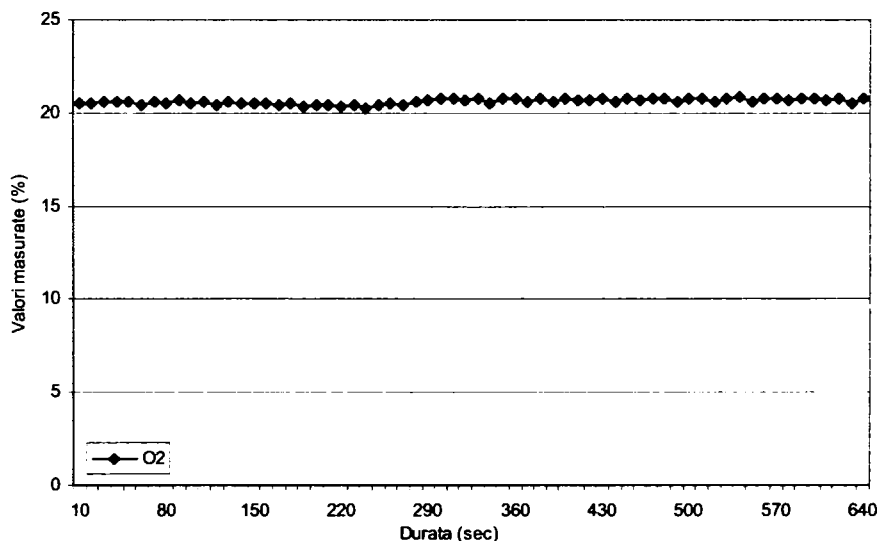


Fig. 6.55. Diagrama de variație a  $\text{O}_2$  la uscarea porumbului cu GSI 1226.

Valoarea medie măsurată de cca. 400 - 450  $\text{mg}/\text{m}^3$ , a  $\text{CO}$ , indică o funcționare normală a arzătorului, valori realizate pentru partea de început a procesului de uscare, urmată de o creștere cu cca. 10 - 15 %, pe sfârșitul procesului de uscare.

Valorile pentru NO, H<sub>2</sub>S, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>, se încadrează în limitele normale. NO și NO<sub>x</sub>-ul au 2 vârfuri, care se încadrează în limitele acceptate. Celelalte valori H<sub>2</sub> și H<sub>2</sub>S sunt situate la valori foarte favorabile, conform normelor.

### **Valori prelevate la partea inferioară a uscătorului**

Operațiunea de măsurare, a fost repetată rezultând următoarele legile de variație a CO, NO, H<sub>2</sub>S, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub> și O<sub>2</sub>, materializate cu ajutorul diagramelor: 6.56, 6.57, 6.58, 6.59.

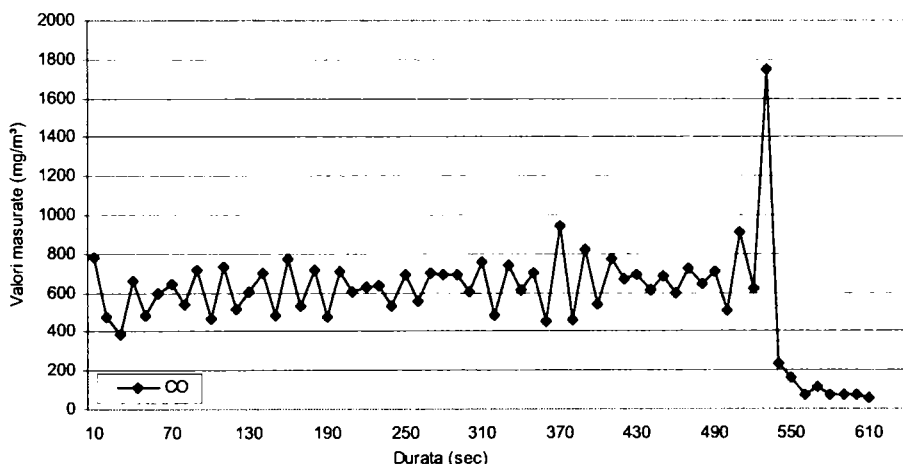


Fig. 6.56. Diagrama de variație a CO, la uscare porumbului cu GSI 1226.

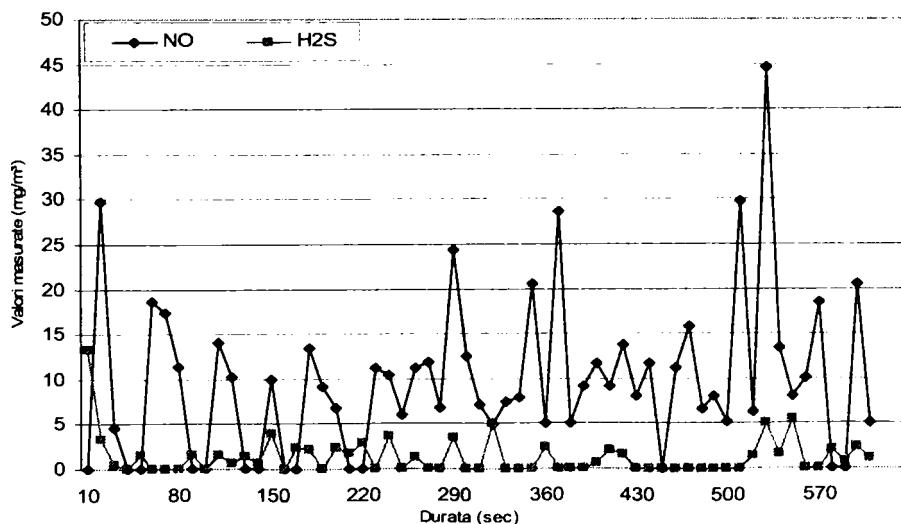


Fig. 6.57. Diagrama de variație a NO și H<sub>2</sub>S la uscare porumbului cu GSI 1226.

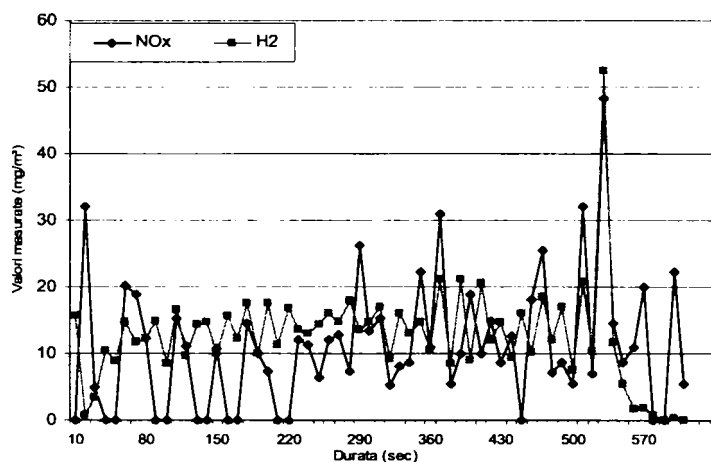


Fig. 6.58. Diagrama de variație a  $\text{NO}_x$  și  $\text{H}_2$  la uscare porumbului cu GSI 1226.

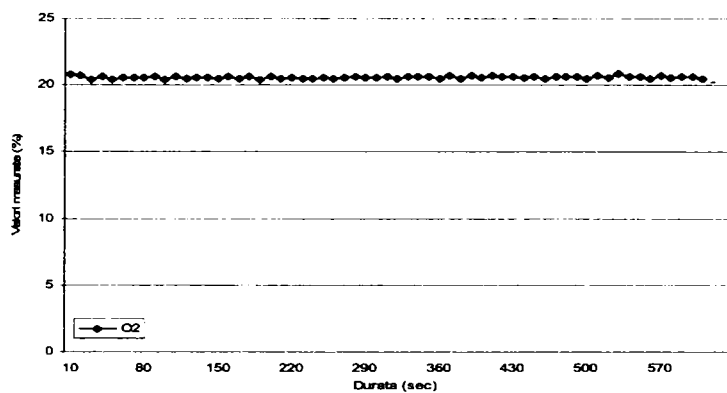


Fig. 6.59. Diagrama de variație a  $\text{NO}_x$  și  $\text{H}_2$  la uscare porumbului cu GSI 1226.

Valorile măsurate, (fig. 6.60) și transformate din concentrație volumică (ppm) în concentrație masică ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), au confirmat cele obținute în camera de preuscare inferioară, cu observația valorile medii ale CO sunt de cca.  $700 \text{ mg}/\text{m}^3$ .



Fig. 6.60. Achiziția emisiilor poluante din gazele de ardere la uscare porumbului.

## 6.5 Optimizarea sistemelor tehnologice de uscare a produselor cerealiere.

### 6.5.1 Proiectarea experimentelor neliniare de tip răspuns – suprafață (RDS = Response Surface Design)

Acest set de experimente numite și experimente factoriale de ordin superior, sunt utilizate în scopul:

- setării factorilor pentru a obține cel mai bun răspuns,
- setarea factorilor care satisfac condițiile tehnice impuse,
- identificarea unor noi condiții de operare care conduc la îmbunătățirea calității procesului tehnologic,
- stabilirea modelului interdependențelor cantitative între factori și răspuns.

Pentru experimentul la care dorim să aflăm răspunsul – uscare porumbului, se stabilesc factorii de control și variația acestora, prezentate în tabelul 6.5, prin efectuarea a 14 încercări, planificate conform informațiilor anterioare obținute în procesul de uscare care au identificat domeniul optim.

Tabel cu valorile experimentului central – compus, pentru uscare porumbului Tabelul 6.5

Std Order	Run Order	Pt Type	Blocks	Temperatura ag. uscare (°C)	Durata uscare (min)	Umiditate finală (%)	Temperatura finală (°C)
4	1	1	1	90	60	14	27
3	2	1	1	50	60	15	28
7	3	0	1	70	45	14.5	27.5
5	4	0	1	70	45	14.6	27.6
1	5	1	1	50	30	14.7	28.7
2	6	1	1	90	30	14.2	27
6	7	0	1	70	45	14.6	28.3
11	8	-1	2	70	66	14.5	28.1
9	9	-1	2	98	45	13.8	27
12	10	0	2	70	45	14.7	28.6
14	11	0	2	70	45	14.5	28.6
13	12	0	2	70	45	14.6	28.7
8	13	-1	2	42	45	15.2	28.8
10	14	-1	2	70	24	15	29

Pachetul de programe statistice ales, a permis modelarea matematică a procesului de uscare, rezultând coeficienții de regresie din tabelul 6.6 și 6.7.

Coeficienții de regresie la uscare porumbului, MINITAB

Tabelul 6.6

Termen	Coef	SE Coef	T	P
Constanta	10.6230	0.862564	12.316	0.000
Block	-0.0772	0.029491	-2.618	0.034
Temperatura	0.1133	0.016743	6.769	0.000
Durata	0.0653	0.021076	3.097	0.017
Temp*Temp	-0.0006	0.000103	-6.278	0.000
Durata*Durata	0.0001	0.000183	0.532	0.611
Temp*Durata	-0.0012	0.000184	-6.797	0.000

Se observă o influență semnificativă asupra umidității o are temperatura \* durata și temperatura \* temperatura (interacțiunea de ordinul II). Modelul matematic (prezentat în cap 5), este foarte bun, se apropie de datele experimentale, 98% sunt regăsite în modelul matematic [36, 41, 42].

Analiza variației pentru umiditatea finală

Tabelul 6.7

Sursa	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocuri	1	0.08643	0.08347	0.083466	6.86	0.034
Regresie	5	4.92335	4.92335	0.984670	80.88	0.000
Linia	2	3.86995	0.56559	0.282794	23.23	0.001
Suprafața	2	0.49090	0.49090	0.245451	20.16	0.001
Interacțiunea	1	0.56250	0.56250	0.562500	46.20	0.000
Eroare Reziduala	7	0.08522	0.08522	0.012174		
Lipsa parțială	3	0.05855	0.05855	0.019518	2.93	0.163
Eroare	4	0.02667	0.02667	0.006667		
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>5.09500</b>				

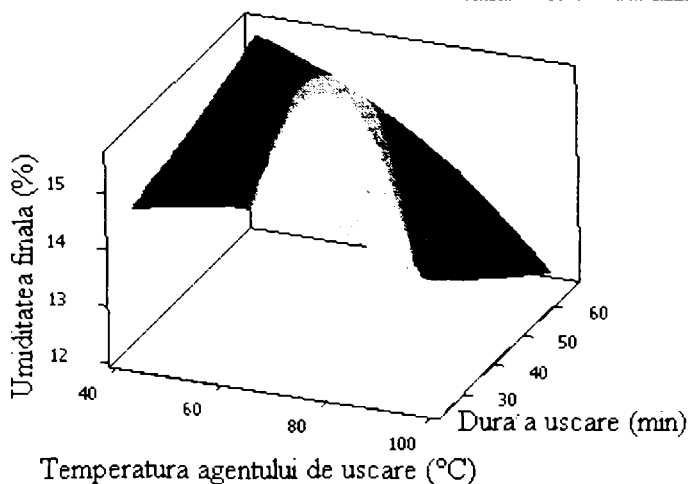


Fig. 6.61 Variația umidității finale a cerealelor în funcție de temperatura agentului de uscare și durata procesului.



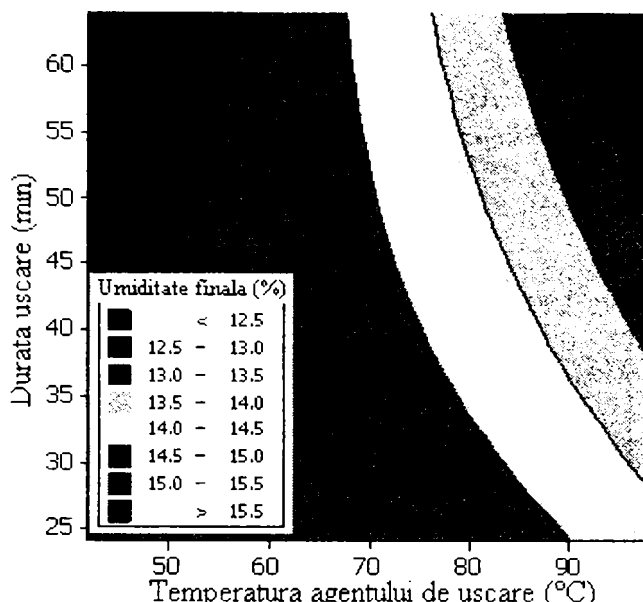


Fig.6.62. Conturul suprafeței umidității finale în funcție de temperatura de uscare și durata procesului.

Modelul matematic permite urmărirea influenței fiecărui factor de control asupra uscării, rezultând astfel diagramele variației umidității finale a cerealelor în funcție de temperatura agentului de uscare și durata procesului.

Dependențele durată uscare în funcție de temperatura agentului de uscare (figura 6.61) și curbele de nivel (figura 6.62), indică prezența unui optim local pentru această dependență.

De asemenea în urma rulării programului de control statistic, sau obținut următorii coeficienții de regresie estimați pentru umiditatea finală (tabele 6.8, 6.9).

Tabel cu valori obținute în programul MINITAB Tabelul 6.8

Termen	Coef	SE Coef	T	P
Constanta	17.5434	1.64925	10.637	0.000
Block	-0.1900	0.05639	-3.369	0.012
Temperatura	0.0361	0.03201	1.128	0.296
Durata	-0.0186	0.04030	-0.462	0.658
Temp*Temp	-0.0010	0.00020	-4.840	0.002
Durata*Durata	-0.0006	0.00035	-1.602	0.153
Temp*Durata	0.0008	0.00035	2.370	0.050

Modelul matematic este foarte bun se apropie de datele experimentale și sunt regăsite 98 % în modelul matematic.

Influența semnificativă are doar interacțiunea de ordinul II: temperatură \* temperatură și temperatură \* durată, ultima la limită.

Analiza variației pentru temperatura finală

Tabelul 6.9

Sursa	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocuri	1	0.5207	0.50510	0.505102	11.35	0.012
Regresie	5	12.9199	12.91988	2.583975	58.06	0.000
Linara	2	11.5541	0.09349	0.046745	1.05	0.399
Suprafața	2	1.1157	1.11573	0.557867	12.53	0.005
Interacțiunea	1	0.2500	0.25000	0.250000	5.62	0.050
Eroare Reziduala	7	0.3116	0.31155	0.044508		
Lipsa parțială	3	0.2916	0.29155	0.097184	19.44	0.008
Eroare	4	0.0200	0.02000	0.005000		
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>13.7521</b>				

Dependențele temperatură finală a porumbului în funcție de temperatura agentului de uscare (figura 6.63) și curbele de nivel (figura 6.64), indică prezența unui optim local pentru această dependență.

Modelul nelinier este cel mai bun. În figurile 6.48, respectiv 6.49 sunt prezentate diagramele variației temperaturii finale a cerealelor în funcție de temperatura agentului de uscare și durata procesului.

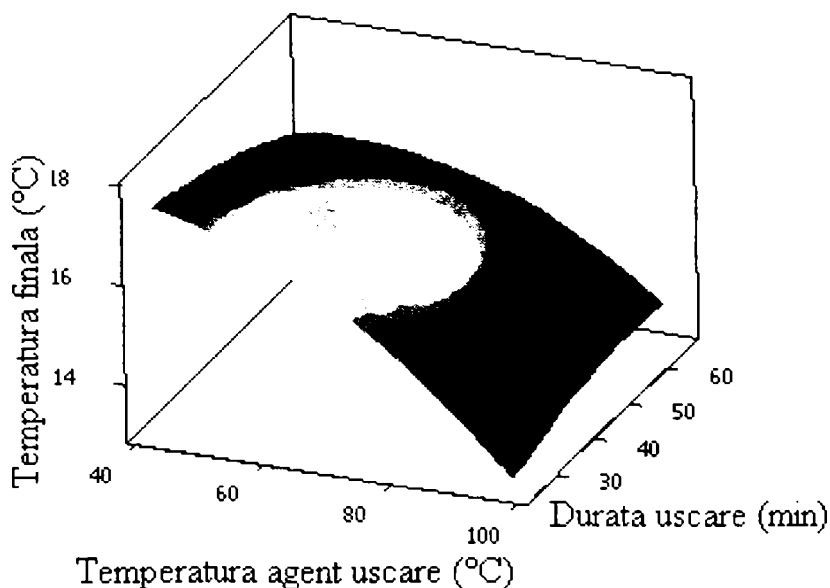


Fig. 6.63. Suprafața temperaturii finale a cerealelor în funcție de temperatura agentului de uscare și durata procesului.

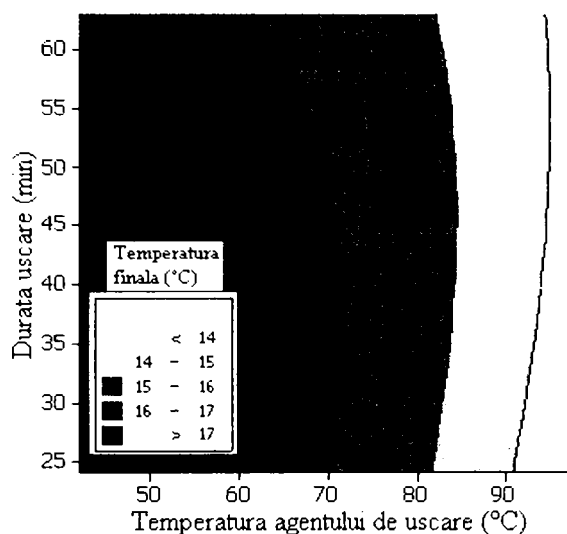


Fig. 6.64. Conturul suprafeței temperaturii finale a cerealelor în funcție de temperatura agentului de uscare și durata procesului.

### 6.5.2 Optimizarea procesului de uscare a produselor cerealiere.

Așadar pentru soluția aleasă a parametrilor de uscare, precum și a modelului matematic ales, rezultatele sunt foarte bune, urmând identificarea optimului pentru procesul de uscare a porumbului [41, 42].

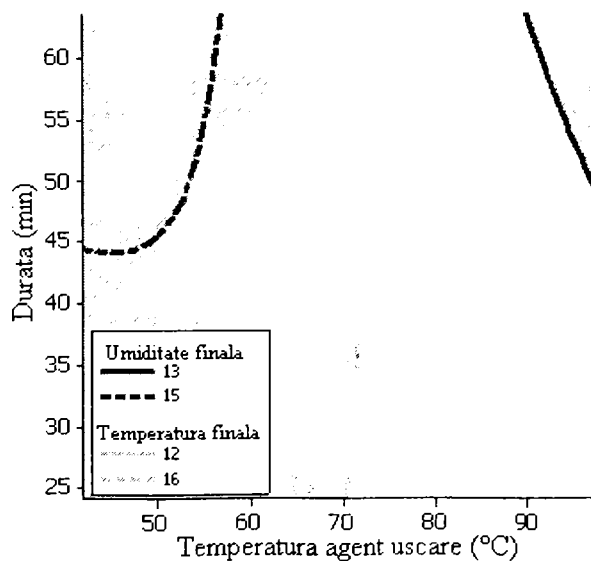


Fig. 6.65. Conturul suprafeței umidității cerealelor și temperaturii acestora în funcție de temperatura agentului de uscare și durata procesului.

Prin suprapunerea curbelor de nivel ale contururile suprafețelor umidității și respectiv temperatura agentului de uscare s-a permis selectarea domeniului optim de setare a factorilor pentru optimizarea procesului de uscare (Figura 6.65). Valorile obținute pe timpul rulării programului MINITAB, au permis obținerea următoarei reprezentări grafice a optimizării procesului de uscare a porumbului (Figura 6.66).

Se observă identificarea optimului local, apropiat ca valoare, de cea obținută în procesul de uscare pentru proba nr. 13.

Pentru verificarea rezultatelor obținute cu ajutorul programului MINITAB, au fost efectuate mai multe seturi de măsurători. Măsurătorile efectuate pentru uscarea semințelor de porumb, au urmărit reproducerea cât mai fidelă a condițiilor din experimentul factorial prezentat anterior (figura 6.66). Pentru încercările prestabilite s-au obținut următoarele rezultate (tabelul 6.10), astfel:

- porumb consum,
- temperatura maximă a agentului de uscare  $98 \div 100$  °C,
- durata de uscare  $70 \div 72$  minute,
- durata de răcire a produsului 10 minute,
- umiditatea medie la intrarea în uscător =  $20 \div 22$  %,
- umiditatea medie la ieșirea din uscător =  $13,6 \div 14$  %

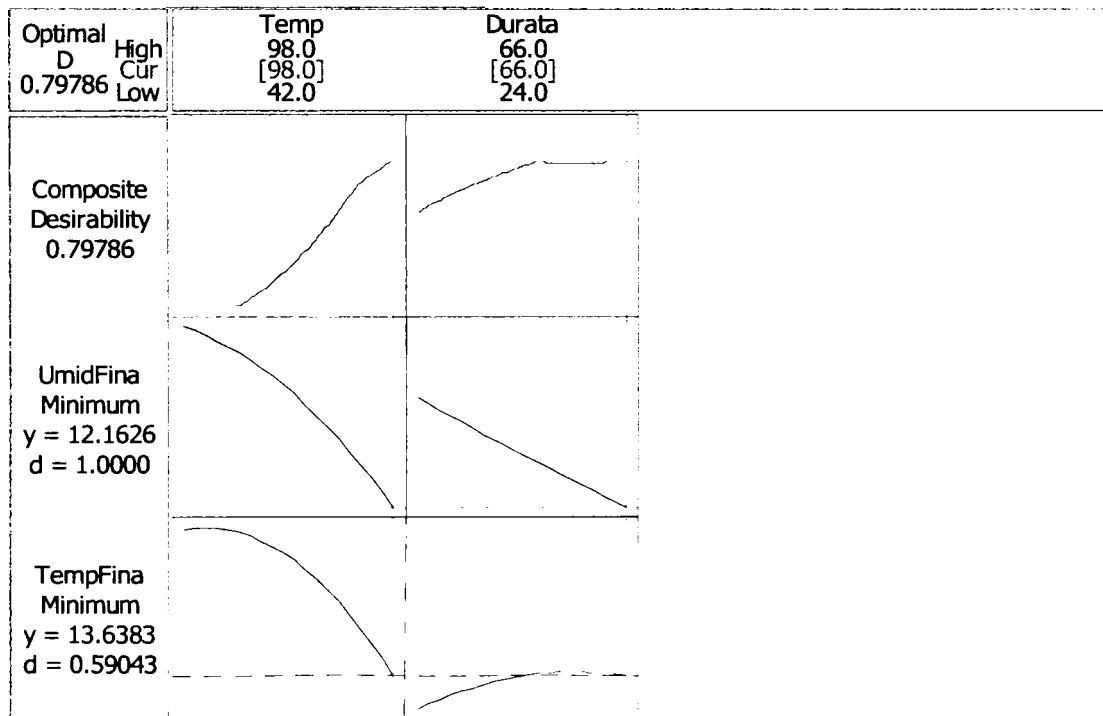


Fig. 6.66. Diagrama valorilor optime ale parametrilor de uscare a porumbului.

Parametrii obținuți în urma procesului de uscare a porumbului pentru consum Tabelul 6.10

Număr șarjă	Umiditate inițială (%)	Temperatura inițială (° C)	Umiditatea finală (%)	Temperatura finală (° C)
1	19,5	24	13,7	14
2	19,5	23	13,8	13,8
3	21,5	22	13,9	13,6
4	18	21	13,4	13,6
5	18,5	22	13,6	13,7
6	22	23	14	13,7
7	19,5	21	13,8	13,7
8	18	23	13,5	13,7
9	19,5	24	13,8	14
10	19	23	13,7	13,7
11	18,8	23	13,7	13,7
12	18	22	13,5	13,5
13	18,5	21	13,6	13,3
14	22	22	14,1	13,4
15	19	20	13,9	13,1
16	18	21	13,7	13,2
17	21	23	13,9	14
18	18,5	23	13,5	13,9
19	19,5	24	13,9	14
20	18	23	13,6	13,9
21	19,5	22	13,9	13,7
22	19	21	13,8	13,4
23	18,5	22	13,8	13,4
24	22	22	14	13,5
25	18,5	24	13,6	14,1
26	18,5	22	13,7	13,8
27	19	22	13,9	13,7
28	22	24	14,2	14,1
29	19,5	23	14	13,8
30	19,5	22	14	13,5
31	21	22	13,8	13,6

Așadar valoarea medie a umidității porumbului de 13,8 %, la ieșirea din uscător se situează în limitele admisibile, obținută și în experimentul factorial, pentru un număr suficient de experimente, conform diagramei din figura 6.67.

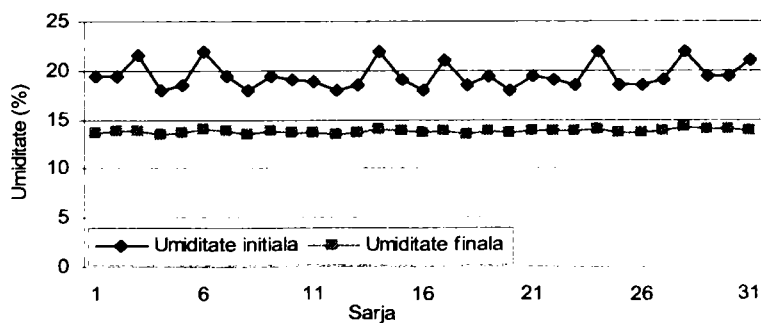


Fig. 6.67 Optimizarea procesului de uscare a porumbului de consum la umiditatea de 13.8 % și durată de uscare 70 minute.

Utilizând același raționament s-a determinat și valoarea medie a temperaturii ( $^{\circ}\text{C}$ ) a porumbului la ieșirea din uscător, conform figurii 6.68.

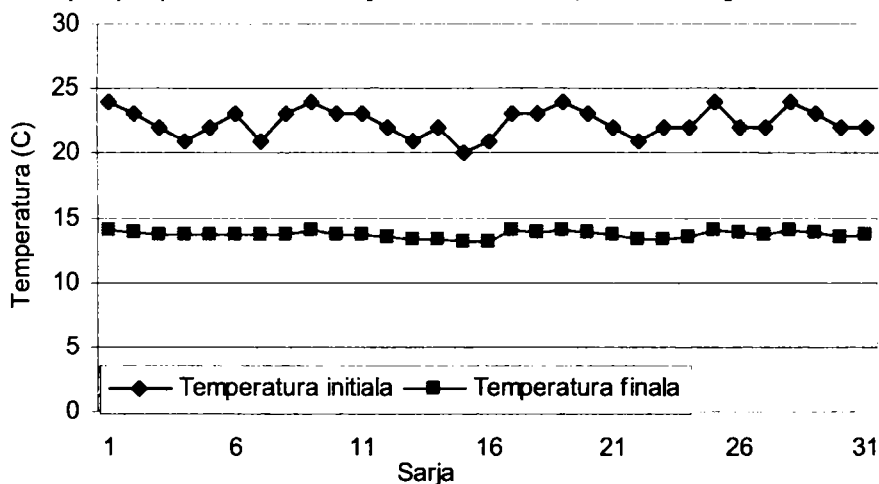


Fig. 6.68 Optimizarea procesului de uscare a porumbului de consum pentru temperatura de  $14^{\circ}\text{C}$  și durată de uscare 70 minute.

Rezultatele obținute confirmă justetea soluției tehnice prezentate în cercetarea efectuată precum și faptul ca procesul tehnologic se află în control statistic.

Factorii de control care asigură această calitate a procesului de uscare sunt, temperatura agentului de uscare =  $98^{\circ}\text{C}$  și durata procesului de uscare = 66 minute. Deoarece variabilele de optimizare au valoarea ( $d=1$ ,  $D=0,79$ ), optimul a fost atins, iar distribuției probabilității normale confirmă rezultatele experimentale (Fig. 6.69).

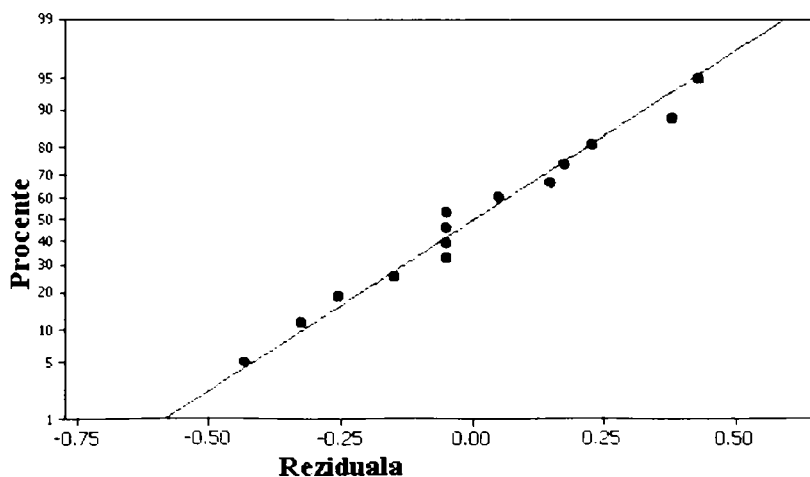


Fig. 6.69. Distribuția probabilității normale a procesului de uscare.

## 6. 6 Concluzii privind cercetarea experimentală

1. Obiectivul principal al cercetărilor experimentale în condiții reale de lucru a constat în reglarea continuă a temperaturii agentului de uscare în funcție de umiditatea cerealelor, și evidențierea efectelor ce apar asupra germinației semințelor, umidității finale a acestora și consumul specific de combustibil, comparativ cu situația când temperatura agentul de uscare este menținută constantă pe toată perioada procesului.

2. În cadrul cercetărilor experimentale s-au mai avut în vedere: determinarea nivelului maxim de temperatură pentru conservarea calității semințelor la un regim constant; analiza factorilor constructivi, funcționali și de lucru ai instalației asupra parametrilor procesului; determinarea influenței temperaturii și umidității mediului ambiant asupra consumului de combustibil necesar pentru evaporarea unui kilogram de apă.

3. În urma analizei datelor experimentale se constată că pentru conservarea cât mai deplină a calității germinative a semințelor de grâu la un regim termic constant, în condiții de consum energetic mediu se recomandă o temperatură a agentului de uscare de 80 °C și o durată de 55 – 65 minute, urmată de o răcire de minim 10 minute.

4. Pentru conservarea cât mai deplină a calităților germinative a semințelor de porumb uscate la un regim termic constant, în condiții de consum energetic mediu, se recomandă o temperatură a agentului termic de 80 °C și o durată de 45 minute, urmată de o răcire de minim 20 minute.

5. Prin reglarea automată a temperaturii agentului de uscare în funcție de umiditatea semințelor supuse uscării s-au obținut următoarele rezultate:

- îmbunătățirea germinației finale cu max. 8% (de la 79 %, proba 1 la 86 %),
- reducerea consumului specific de combustibil cu maxim 12 % (de la 0,091 Nm<sup>3</sup>/kg, proba 1, la 0,079 Nm<sup>3</sup>/kg, proba 7),
- îmbunătățirea germinației finale maxime cu 12 % (de la 46%, proba 10 la 58 %, proba 13),
- reducerea consumului specific de combustibil cu maxim 12 %

6. Creșterea temperaturii mediului ambiant și implicit a temperaturii semințelor la intrarea în uscător au efecte pozitive asupra economicității instalației de uscare.

7. Creșterea umidității mediului ambiant conduce la scăderea globală a vitezei de uscare.

8. Creșterea relativ lentă a temperaturii medii a masei de cereale indică un coeficient global de schimb de căldură cu o valoare mică, datorită vitezei de filtrație

scăzute. Acest fapt conduce la o încălzire progresivă a semințelor, chiar în cazul utilizării unei temperaturi constante a agentului de uscare, cu consecințe favorabile asupra germinației finale a semințelor.

9. Modificarea coeficientului global de schimb de căldură (prin creșterea debitului de aer), constituie o altă modalitate de reglare a regimului de uscare.

10. Efectuarea controlului statistic prin intermediul programului MINITAB, a scos în evidență faptul că modelul matematic este bine determinat, instalația funcționează corect, în limite acceptate, măsurătorile sunt corect efectuate, iar rezultatele uscării sunt cele dorite.

11. Prin efectuarea de măsurători, în timp real, asupra materialului supus uscării s-a reușit determinarea valorilor parametrilor principali: temperatură agent de uscare, umiditate finală produs, temperatură finală produs, utilizând analiza statistică, fapt ce a permis determinarea optimului pentru procesul de uscare.

12. Determinarea valorilor emisiilor poluante din gazele de ardere, permite utilizarea pentru consum, a cerealelor uscate prin convecție cu uscătorul GSI 1226.



# Capitolul 7

## CONCLUZII

### 7.1. Concluzii privind mijloacele și tehnologiile de uscare a semințelor de cereale.

1. Semințele de cereale reprezintă o componentă principală în hrana oamenilor, datorită conținutului ridicat în hidrați de carbon, substanțe proteice, vitamine și substanțe minerale. Suprafețele cultivate cu aceste culturi au crescut continuu, în ultimii ani remarcându-se o creștere marcantă a producției la hectar.

2. Valorificarea superioară a semințelor de cereale reprezintă o acțiune complexă, care constă în primul rând într-o condiționare corespunzătoare care să asigure premisele păstrării recoltei în bune condiții până în momentul prelucrării. Semințele sunt produse perisabile, care își mențin activitatea fiziologică chiar și după recoltare, în timpul păstrării până în momentul utilizării.

3. Cele mai multe fenomene nedorite datorate proceselor fiziologice din masa de semințe în timpul păstrării sunt cauzate de umiditatea prea ridicată a acestora. Dintre numeroasele sisteme de păstrare a semințelor, păstrarea în stare uscată este în prezent cel mai utilizat, fiind eficient și economic. Reducerea umidității boabelor pentru o păstrare îndelungată se face până la valori bine determinate prin următoarele procedee de uscare: solarizare, aerare activă, uscare artificială cu aer cald și dryerare. Dintre aceste procedee, cel mai sigur și rapid mijloc de eliminare a umidității din semințe este uscarea artificială.

4. Pentru o uscare economică și de calitate, soluția constructivă aleasă pentru fiecare componentă a unei instalații de uscare trebuie să catalizeze și să amplifice, pe cât posibil, acțiunea sistemului de intensificare a schimbului de căldură și umiditate.

5. Din punct de vedere constructiv, tendința actuală la nivel mondial este ca instalația de uscare să prezinte unul sau mai mulți parametrii reglabili, realizându-se astfel adaptabilitatea sistemului la modificarea caracteristicilor semințelor sau a temperaturii și umidității mediului ambiant.

6. Dintre metodele de uscare existente, pentru capacități de lucru mari, uscarea prin convecție este cea mai folosită, ea fiind uneori precedată de o preîncălzire prin conducție a cerealelor.

7. Uscarea cerealelor pentru sămânță a impus uscarea sub vid, însă costul ridicat precum și întreținerea dificilă a acestora au impus înlocuirea cu noi soluții constructive de uscătoare tip coloană, în care temperatura și umiditatea semințelor sunt strict controlate.

8. Există o preocupare constantă de perfecționare a proceselor tehnologice clasice, în vederea reducerii consumurilor energetice și găsirea de noi soluții energetice (energia solară, geotermală, eoliană, biomasa de toate formele, a deșeurilor). Tendința actuală în construcția uscătoarelor de cereale este aceea a realizării unor instalații compacte, complet automatizate, prevăzute opțional cu echipament propriu de rulare, cu o gamă diversă de capacități de lucru, cu posibilitatea extinderii ulterioare a capacității de producție, astfel:

- ◆ reducerea pierderilor la nivelul pereților, prin operațiuni clasice de ameliorare a etanșeității și a gradului de izolare;
- ◆ operațiuni de recuperare a căldurii, prin recuperarea energiei calorice a aerului uzat evacuat din instalațiile de uscare;
- ◆ folosirea unor noi surse de încălzire, cum ar fi: utilizarea arzătoarelor cu propan sau gaz natural, pentru obținerea aerului cald, ceea ce asigură un randament termic superior, utilizarea energiei solare pentru producerea directă de aer cald cu ajutorul captatorilor plani sau de concentrare;
- ◆ modificarea condițiilor de funcționare a uscătoarelor, prin: utilizarea unui aer foarte cald la limita admisă de materialul supus uscării; saturarea maximă a aerului; reciclarea unei părți aerului; ameliorarea reglării uscătoarelor prin introducerea echipamentelor de automatizare;
- ◆ folosirea pompelor de căldură (pompe cu fluid exterior și pompe de căldură cu acțiune directă, la care uscarea se realizează cu vapori supraîncălziți, care la ieșirea din uscător sunt recomprimați);
- ◆ modificarea modului de uscare, prin creșterea vitezei de transfer căldură – substanță;
- ◆ intensificarea procesului intensificarea procesului de evaporare și evitarea formării unei cruste la suprafața materialului.

9. În vederea depozitării de calitate și pentru lungă durată a produselor cerealiere, se impune implementarea regulilor de bune practici privind activitățile specifice în baze de recepție și silozuri, iar activitatea de uscare a cerealelor să constituie o preocupare permanentă a societății comerciale respective în vederea limitării/anulării posibilității contaminării cerealelor pe durata depozitării.

## **7.2. Concluzii privind cercetările teoretice și experimentale.**

1. Majoritatea instalațiilor de uscare folosesc ca agent termic de uscare un amestec de aer și gaze de ardere. Gazele produse prin arderea combustibililor gazoși sau lichizi sunt amestecate cu aer până la o temperatură corespunzătoare materialului supus uscării.

Pentru a putea utiliza gazele de ardere ca agent de uscare, este necesar să se utilizeze combustibili cu un conținut neglijabil de sulf, fără antrenarea de funingine sau cenușă, iar participația acestora în amestecul aer – gaze de ardere să nu depășească

3 – 5 %, astfel încât proprietățile acestuia să fie similare cu ale aerului.

În aceste condiții putem aprecia că pentru amestecul de aer și gaze de ardere se poate utiliza cu bune rezultate diagrama  $i_{1+x} - x$  a aerului umed, fapt ce oferă soluției de uscare a cerealelor prin convecție atât un randament foarte bun, urmare a contactului direct dintre agentul de uscare și materialul supus uscării, precum și considerentelor de siguranță alimentară prin inocuitatea produselor cerealiere uscate utilizând agenți de uscare cu proprietăți similare ale aerului.

2. Situațiile tot mai complexe privind recoltarea, recepționarea, condiționarea și păstrarea cerealelor au impus studierea tot mai aprofundată a proceselor termofizice care au loc în interiorul materialului supus uscării și a proceselor de transfer de simultan de căldură și masă în filmul limită care separă suprafața corpului de agentul de uscare.

3. Cercetarea procesului de uscare se face în momentul de față prin două metode:

- ◆ prin modelarea analitică a procesului, elaborând funcții de una sau mai multe variabile ce simulează comportamentul real al factorilor implicați în proces și determinarea punctelor de extrem. Dezavantajul metodei constă în faptul că aparatul matematic disponibil, nu poate urmări toate variabilele ce afectează procesul de uscare, metoda fiind, astfel, mai mult sau mai puțin simplificată.

- ◆ prin efectuarea de măsurători, pe cât posibil în timp real, a parametrilor principali: temperatură agent de uscare, umiditate finală, temperatură finală, durată proces, analiza lor statistică, elaborarea de nomograme și diagrame pentru determinarea optimului procesului de uscare.

Cele două metode se completează reciproc, o abordare mixtă fiind cea care răspunde cerințelor actuale.

4. În cadrul procesului de uscare a cerealelor, pe lângă reducerea umidității acestora se urmărește menținerea și chiar îmbunătățirea caracteristicilor organoleptice și tehnologice a acestora, în funcție de destinația lor (pentru sămânță, consum, alcool, biocombustibil, etc). În acest sens caracteristica principală este

temperatura agentului de uscare, cea care influențează în cea mai mare măsură calitatea produselor finale, în funcție de tipul acestora și destinația lor.

5. Introducerea sistemelor automate de control și reglare a regimului termic în instalațiile de uscare.

6. Cercetările teoretice realizate până în momentul de față, pornind de la ecuația de bilanț termic a instalației, indică o creștere liniară a consumului de combustibil odată cu scăderea temperaturii. Astfel o scădere a temperaturii cu 20 °C provoacă o creștere a consumului de combustibil cu 5 %.

De asemenea în urma studiilor teoretice, rezultă o variația a debitului de combustibil în funcție de conținutul de umiditate al aerului, astfel încât la o creștere a conținutului de umiditate de la 0,002 kg/kg la 0,01 kg/kg, consumul de combustibil crește cu 2 %.

Pentru valori uzuale ale temperaturii cerealelor la intrare în uscător (circa 20 °C), creșteri ale umidității semințelor de la 15 % la 27 % necesită majorări ale debitului de combustibil cu 5÷7 %, iar scăderea temperaturii cerealelor cu 10 ÷ 15 °C, situație des întâlnită, conduce la creșteri cu 15 ÷ 20 % ale debitului de combustibil.

Toate acestea conduc la concluzia că o importantă cantitate de energie este utilizată pentru ridicarea temperaturii cerealelor, precum și la importanța umidității scăzute a aerului ambiant asupra economicității operației de uscare, astfel, recomandarea fiind ca uscarea să se efectueze ziua când sunt îndeplinite cele două condiții.

7. Condițiile specifice pentru uscarea cerealelor se referă, în special, la temperatura agentului de uscare a masei de cereale, precum și la umiditatea și durata de staționare a materialului în uscător. Atât temperatura masei de cereale, cât și durata de uscare (pentru o extracție de umiditate impusă), se pot regla prin modificarea valorii temperaturii agentului de uscare. Pentru a obține o calitate optimă a cerealelor este necesar să se aplice în fiecare moment o dependență: *temperatură agent de uscare = f (umiditatea semințelor)*. Funcția  $f$ , a fost determinată pentru câteva specii de semințe, în funcție de destinația acestora.

8. Prin modelarea matematică a procesului de uscare, alegând soluția unor ecuații polinomiale (de gradul doi sau mai mare, caz în care problema devine mai complexă), se pot determina ecuațiile de uscare pentru fiecare tip de sămânță, în funcție de destinația acestora. Astfel, se pot determina o parte semnificativă dintre caracteristicile procesului de uscare: temperatura agentului de uscare, durata procesului temperatura produsului la ieșire, fapt ce permite stabilirea cu o foarte mare precizie a duratei de depozitare a cerealelor.

9. Prin studiul teoretic al fenomenelor deosebit de complexe care apar în cadrul procesului de uscare nu se pot lua în considerare în totalitate anumiți factori,

cum ar fi: specia și soiul semințelor, dispersia dimensiunilor și formelor boabelor, modificările coeficientului global de schimb de căldură, datorită variației locale ale unor parametrii specifici. Din acest motiv, este necesară o cercetare experimentală adecvată care să completeze concluziile stabilite pe cale teoretică.

10. Măsurătorilor compușilor gazelor de ardere, au permis efectuarea unor măsurători, folosind echipamente performante aparținând unui laborator specializat, iar rezultatele obținute confirmă inocuitatea cerealelor uscate prin convecție cu uscătoare tip GSI.

11. Obiectivul final al temei de cercetare la constitui identificarea temperaturilor agentului termic pentru uscarea cerealelor, fapt realizat prin efectuarea unei modelări matematice a procesului de uscare și elaborarea unei metodici de efectuare a măsurătorilor asupra două tipuri de cereale: grâu și porumb. Prin rezultatele obținute, în condițiile unui consum optim de combustibil au rezultat produse de o calitate superioară, cu proprietăți organoleptice nealterate și în deplină concordanță cu reglementările siguranței alimentare.

### **7.3. Contribuții personale.**

În urma elaborării lucrării de doctorat se remarcă următoarele contribuții originale:

1. Efectuarea unei analize de sinteză asupra stadiului actual al cercetărilor în domeniu, prin consultarea unei bibliografii vaste și de actualitate, din care rezultă preocupările la nivel mondial pentru perfecționarea tehnologiilor și mijloacelor de uscare, dar și complexitatea proceselor aferente.

2. Stabilirea unei metode teoretice de determinare a influenței temperaturii și umidității aerului ambiant precum și a temperaturii și umidității cerealelor asupra consumului de combustibil în instalațiile de uscare.

3. Realizarea unei sinteze asupra recomandărilor privitoare la regimul termic optim în camera de uscare în funcție de tipul semințelor și destinația acestora.

4. Conceperea unui model matematic privind procesele de uscare a cerealelor și determinarea caracteristicilor acestora: temperatura agentului de uscare, durata procesului, temperatura produsului la ieșire, fapt ce permite stabilirea duratei de depozitare a cerealelor.

5. Determinarea modului optim teoretic de reglarea a temperaturii agentului de uscare în funcție de destinația acestora și durata uscării și efectuarea controlului statistic al procesului tehnologic de uscare, utilizând programul MINITAB.

6. Implementarea la Baza de recepție Biled a unui program privind caracteristicile parametrilor de uscare pentru uscătorul GSI – 1226, pentru grâu și porumb.

7. Conceperea unor algoritmi care permit calculul rapid al caracteristicilor parametrilor de uscare ai uscătorului.

8. Efectuarea unui volum de măsurători, care pot reprezenta un algoritm pentru procesele de uscare a cerealelor, în deplină concordanță cu specificațiile producătorului echipamentului.

9. Prin setul de măsurători efectuate asupra compuşilor gazelor de ardere, am reuşit obținerea unor rezultate care au permis interpretarea rezultatelor procesului tehnologic de uscare și din punct de vedere al inocuității produselor alimentare. Agentul de uscare utilizat, amestec de aer și gaze de ardere, în proporțiile stabilite de firma constructoare permite efectuarea procesului în condiții controlate, cu respectarea normelor de siguranță alimentară.

10. Analiza și interpretarea rezultatelor obținute în urma cercetărilor teoretice și experimentale au permis elaborarea unor recomandări utile în vederea proiectării și utilizării uscătoarelor de cereale precum și utilizării cu un randament maxim al instalației de uscare.

# BIBLIOGRAFIE

1. Apahidean, B. ș.a. - Combustibili și teoria proceselor de ardere, Editura UT Pres, Cluj Napoca, 1997.
2. Arkema – Baker. ș.a.- Modeling and analzisis of mixed-flow grain dryer, ASAE, 1997.
3. Arkema – Baker., ș. a.- Capacity estimation of high temperature grain dryiers – a simplifield calculation method. ASAE, 2001.
4. Arocho, M. - Determination of an empirical corelation for the mass transfer coefficients of pharmaceutical powders in a fluid bed dryer thesis M.S. University of Puerto ico, 2004.
5. Athanasovici, V. - Utilizarea căldurii în industrie, Editura Tehnică, București, 1995.
6. Athanasovici, V. - Valorificarea resurselor energetice secundare, Editura Tehnică, București, 1985.
7. Banu, C., ș.a.- Produsele alimentare și inocuitatea lor, Edituara Tehnică, București, 1982.
8. Banu, C., ș.a. - Manualul inginerului de industrie alimentară, vol I, Editura Tehnică, București, 1998.
9. Bică, M. - Transfer de masă și căldură, Universitatea Craiova, 1999.
10. Bria, N., ș. a. - Mecanizarea lucrărilor în cultura plantelor tehnice, Editura agro – Silvică, București, 1965.
11. Bria, N., ș. a.- Reglarea mașinilor agricole, Editura Agro – Silvică, București, 1969.
12. Cao, C.W., ș. a.- Reserch modeling and simulation of mixed flow grain dryier, Brasil, 2004.
13. **Călin, L.**, Jădăneanț, M., Jădăneanț, A.,- Considerații privind implementarea standardelor de calitate și siguranță alimentară în industria alimentară – cerință a unei economii moderne, integrată în economia europeană, Editura AGIR, Buletinul AGIR, nr. 2, 2007.
14. **Călin, L.**, Jădăneanț, M., Romanek, A., - Gazeificarea biomasei lemnoase, Editura AGIR, Buletinul AGIR, nr. 1, 2007.
15. **Călin, L.**, Jădăneanț, M., Pop, A., - Conservarea produselor cerealiere – una din condițiile normelor siguranță alimentară, Editura AGIR, Buletinul AGIR, nr. 1, 2007.

16. **Călin, L.,** Jădăneanț, M., - Considération sur les haccp - analyse des dangers points critiques pour leur maîtrise – la certitudine de nos developement au niveau européen, Oradea Conferința internațională IMT-2007.
17. **Călin, L.,** Jădăneanț, M., - Tehnologii moderne privind conservarea produselor cerealiere, Conferința Națională SRT-2007, Ploiești, 2007.
18. **Călin, L.,** Jădăneanț, M., - Consideration for drying and storage grains by cooling systems, Conferința METIME-2007, Galați, 2007.
19. **Călin, L.,** Jădăneanț, A., - Consideration upon the cooling prezervation method of grains storage, Conferința Internațională de la Lozenec, Bulgaria, 2007.
20. **Călin, L.,** Jădăneanț, M., - L'haccp - analyse des dangers points critiques pour leur maitrise – la certitudine de nos developement european, Conferința Internațională BENA, Alba Iulia 2007.
21. **Călin, L.,** Jădăneanț, M., - Ecological method for storage grains by cooling systems, Conferința Internațională – ICEM 2007, Petroșani, Editura Universitas Petroșani, 2007.
22. **Călin, L.,** Jădăneanț, M., - Tehnologii moderne privind recepționarea și depozitarea produselor cerealiere, Conferința Internațională ECO-GORJ 2007, Târgu Jiu, 2007.
23. **Călin, L.,** Jădăneanț, M., Lonțiș, N., - Consideration upon the cooling prezervation method of grains storage , Conferința Internațională COFRET – 2006, Timișoara, 2006.
24. **Călin, L.,** Jădăneanț, M., Jădăneanț, A., - Cooling is the most natural preservation method for dry grain storage, Conferința Internațională, „UNIVERSITARIA SIMPRO 2006” Petroșani, 2006.
25. **Călin, L.,** Irimescu, A., - Gazeificarea biomasei lemnoase - sursă de energie, Zilele academice Timișene, Ediția a X-a, „SIMPOZION INTERNAȚIONAL OMUL ȘI MEDIUL”, mai 2007, Timișoara.
26. **Călin, L.,** Jădăneanț, M., - Consideration sur l'échange de chaleur et de masse pendant le stockage des cereales, COFRET \_ 08, Franța, 2008.
27. **Călin, L.,** Jădăneanț, M., - Aspects concerning the efficient use of biogas obtained from sewage water discarded by the beer industry, Coferință Internațională de energetică, CIE – ORADEA, 2008.
28. **Călin L.,** Irimescu, A., - Aspects concerning the efficient use of biogas obtained from sewage water discarded by the beer industry, Conferința Internațională BENA – 2008, Constanța.
29. **Călin, L.,** Irimescu, A., Jădăneanț, A., - Research regarding the reduction of nitrate concentration in waste water discarded by the beer industry in the timis hydrological area, Conferința Internațională BENA – 2008, Constanța.



30. **Călin, L.**, - Referatul nr. 1, Contribuții la cercetarea teoretică a procesului de uscare a cerealelor, Timișoara, 2007.
31. **Călin, L.**, - Referatul nr. 2, Cercetarea experimentală a procesului de uscare din uscătoarele de cereale, Timișoara, 2008.
32. **Călin, L.**, Jădăneanț, M., Lonțiș, N., - Consideration upon the cooling preservation method of grains storage using the GRANIFRIGOR technology, a IV – a Conferință Internațională privind Sistemele Integrate din Industria Alimentară, SIPA – 2005, Timișoara, 2005.
33. Chiriac, F., ș.a., - Procese de transfer de căldură și masă în instalațiile industriale, Editura Tehnică, București, 1982.
34. Damian, V. – Termotehnică, Editura Academica, Galați, 2005.
35. David, P., ș.a. – Considerații privind procesul de deshidratare a fructelor sau legumelor și influența parametrilor de lucru asupra calității produsului finit, INMATEH 2000, București.
36. Drăghici, G. – Inginerie Integrată, Curs Master Facultatea de Mecanică, Timișoara, 2005.
37. Feldmann, V. – Măsuri practice generale de economisire a combustibilului și căldurii în industrie, Editura Tehnică, București, 1976.
38. Feidt, M. L. – Termotehnica și optimizarea energetică a sistemelor și proceselor, București, 2001.
39. Gaceu, L. – Labview predictive model for optimization of the cereals drying process.
40. Gaceu, L. – Cercetări privind obținerea de produse bioactive în procesul de uscare a semințelor de cereale și plante tehnice.
41. Grozav, I. – Noțiuni fundamentale de metodologia cercetării științifice medicale, Editura Marineasa, Timișoara, 2004.
42. Grozav, I., ș.a. – Optimizarea sistemelor integrate de producție, Curs Master, Timișoara, 2005.
43. Ionel, I., ș.a. – Introducere în termotehnică Editura politehnica, Timișoara, 2007.
44. Ionel, I., ș. a. – Termoenergetica și mediul, Editura Politehnica, Timișoara, 2006.
45. Ionel, I., ș.a. – Măsurarea calității aerului și dispersia noxelor, Editura Politehnica, Timișoara, 2004.
46. Ionel, I., ș.a. – Ergo – Ecologia combustibililor fosili, Editura politehnica, Timișoara, 2004.
47. Ionel, I., ș.a. – Termotehnică. Aplicații. Editura Politehnica, Timișoara, 2000.
48. Ionel, I., ș. a. – Dispersia noxelor, Editura Politehnica, Timișoara, 2000.
49. Jădăneanț, M., – Termotehnică și mașini termice, Editura Eurostampa, 2006.
50. Jianu, I. – Tehnologia morăritului, USAMVB; Timișoara, 1998.

51. Jinescu, V., ș. a. – Utilajul tehnologic pentru industria de proces, vol I, Editura Tehnică, București, 1983.
52. Jinescu, G., ș.a. - Procedee intensive în operațiile unitare de transfer, Editura Tehnică, București, 1975.
53. Leca, A., ș. a. - Transfer de căldură și masă. Editura Tehnică. București,1998.
54. Luikov, A.V. – Transferul de căldură și masă în corpurile capilar – poroase, Pergamon Press Ltd., Londra 1966.
55. Luikov, A.V. – Teoria uscării, traducere din limba rusă, Editura de stat pentru arhitectură și construcții, 1954.
56. Mitroi, I., ș.a. – Contribuții la optimizarea uscătorului cu recircularea aerului, pentru produse agricole, INMATEH 2000, București, 2000.
57. Marin, G., ș. a. – Matlab, calcul numeric, grafice, aplicații, Editura Teora, 1995.
58. Macavei, M., ș.a. – Culegere de caracteristici termofizice pentru biotehnologie și industrie alimentară, Editura Alma, Galați, 2000.
59. Mihăilă, C., ș.a. – Procese și instalații industriale de uscare, Editura Tehnică, Timișoara, 2001.
60. Mihăilă, C., ș.a. – Procese termodinamice în sistem gaz – solid și aplicațiile lor în industrie, Editura Tehnică, București.
61. Marinescu, M., ș.a.,- Termodinamică tehnică, Teorie și Aplicații, Editura Matrix.,1996.
62. Minea, R., ș.a. – Uscarea. Aspecte teoretice și aplicative, Editura Politehnica, Timișoara, 2006.
63. Minea, R., ș.a. – Transferul de masă. Aplicații. Editura de Vest, Timișoara, 2005.
64. Nagi, M., ș.a. – Transmiterea căldurii și dinamica gazelor, Centrul de multiplicare al UPT, Timișoara, 1996.
65. Nagi, M., ș.a. – Calculul și construcția utilajelor și rețelelor termice, Centrul de multiplicare al UPT, Timișoara, 1998.
66. Nagi, M., ș.a. – Utilaje termice, Centrul de multiplicare al UPT, Timișoara, 1995.
67. Nagi, M., ș.a. – Termotehnică, tabele, formule, diagrame, Timișoara, 1992.
68. Nagi, M., ș.a. – Schimbătoare de căldură, vol I, Agenți termici, dinamica fluidelor, transfer de căldură și masă, Editura Mirton, Timișoara, 2006.
69. Popescu, S., ș.a. – Automatizarea mașinilor și instalațiilor folosite în agricultură, Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1986.
70. Porneală, S., ș.a. – Tehnologia utilizării frigului artificial, universitatea din Galați, 1986.
71. Rotaru, G., ș.a. – Analiza riscurilor, punctele critice de control, Editura Academia, 1997.
72. Radcenco, V. S., ș.a. - Criterii de optimizare a proceselor termice, Editura Tehnică, 1979.

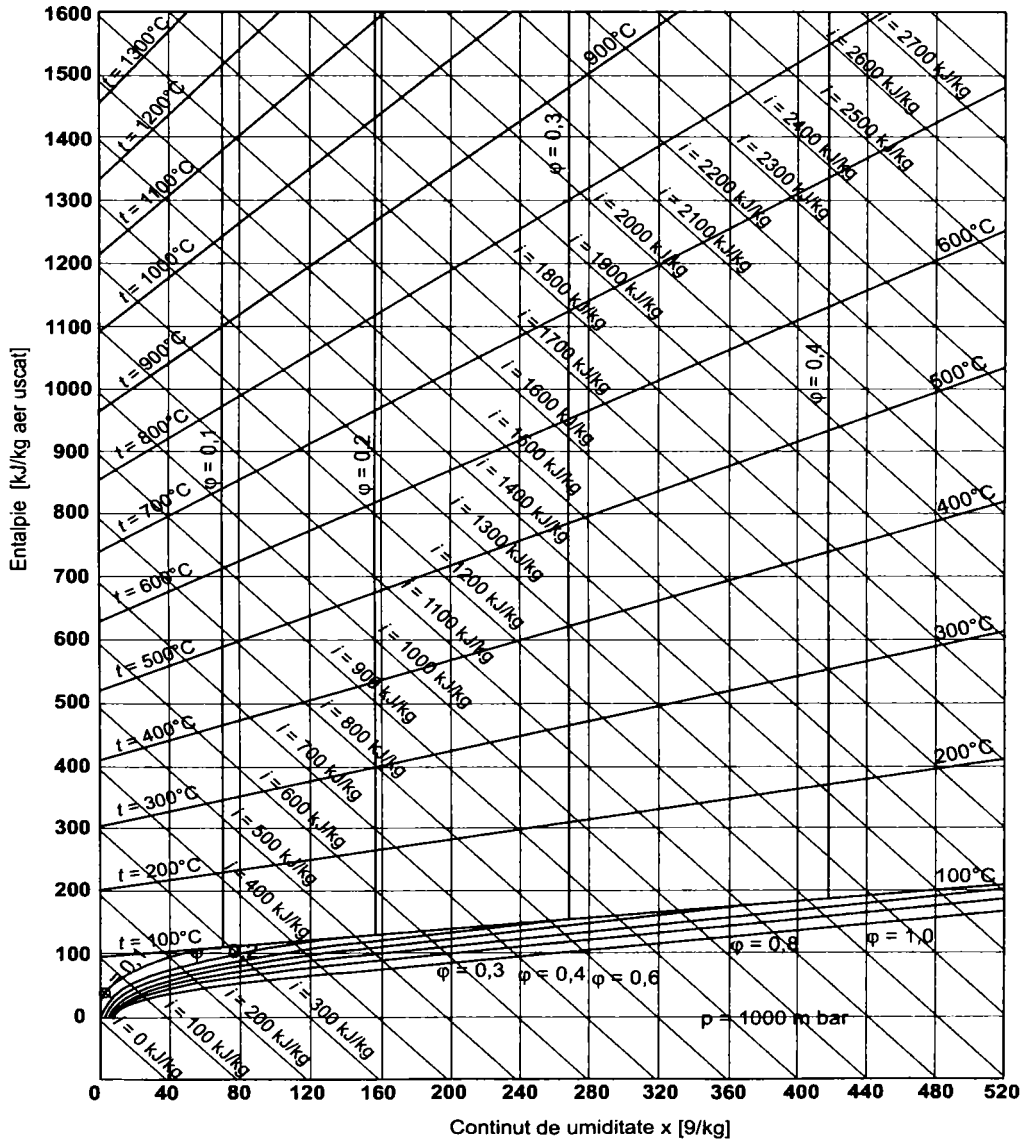
73. Rășănescu, I., ș.a. – Operații și utilaje în industria alimentară, vol. I, Editura Tehnică, București, 1971.
74. Rășănescu, I., ș.a. – Operații și utilaje în industria alimentară, vol. II, Editura Tehnică, București 1972.
75. Rășănescu, I., ș.a. – Lexicon – îndrumar pentru industria alimentară. Tehnologii, operații, procese și produse, vol I și II, Editura Tehnică 1988.
76. Segal, B., ș.a. – Economia de energie în industria alimentară, Editura Tehnică, București, 1991.
77. Segal, B., ș.a. – Tehnologia conservării fructelor și legumelor, Editura Didactică și Pedagogică, București 1964.
78. Segal, B., ș.a. – Procese de îmbunătățire a calității și stabilității produselor alimentare, Editura Tehnică, București 1982.
79. Sitompul, J.P., ș.a. – Modelling and simulation of momentum heat, and mass transfer in a deep – bed, grain dryer, Drying tehnology, vol 2, 2003.
80. Sruha, R.N., ș.a. – Păstrarea cerealelor – traducere de la Universitatea Winipeg – Manitoba, Canada, 1979, The Avi Publishing Company, Inc.
81. Strumillo, C., ș.a. – Bazele teoriei și tehnicii uscării, Editura Tehnică, București 1984.
82. Șomoghi, V., ș.a. – Procese de transfer de căldură, Editura Universul Cartfil, Ploiești, 1998.
83. Theil, H., ș.a. – Utilaje termice, vol. 2, Editura UPT, Timișoara, 1984.
84. Thierer, L., ș.a. – Metode și aparate moderne pentru conservarea cerealelor prin aerare activă cu consum redus de energie, a IX-a Conferință de Instalații, Sinaia 1975.
85. Thierer, L., ș.a. – Determinarea calității produselor agricole vegetale, Editura Ceres, București 1971.
86. Thierer, L., ș.a. – Tehnologia recepționării, depozitării, condiționării și conservării produselor agricole, Editura Ceres, București, 1971.
87. Topală, E., ș.a. – Fezabilitate și restructurare, Editura Semne, București, 1996.
88. Țucu, D. – Sisteme tehnologice integrate pentru morărit și panificație, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2007.
89. Țucu, D., ș.a. – Utilaje și instalații pentru morărit și panificație, Universitatea Politehnica Timișoara, 1994.
90. Ungureanu, C. – Combustibili. Instalații de ardere. Cazane. Editura Politehnica, 1998.
91. Vlădea, I. – Tratat de termodinamică tehnică și transmiterea căldurii, Editura Didactică și Pedagogică, București 1974.
92. \*\*\* - [www.fao.fr](http://www.fao.fr)
93. \*\*\* - [www.mgtrade.ro](http://www.mgtrade.ro)

94. \*\*\* - [www.riela.de](http://www.riela.de)
95. \*\*\* - [www.weda.de](http://www.weda.de)
96. \*\*\* - [www.kwa.hu](http://www.kwa.hu)
97. \*\*\* - [www.ipso.ro](http://www.ipso.ro)
98. \*\*\* - [www.zaffrani.it](http://www.zaffrani.it)
99. \*\*\* - [www.neuro-form.de](http://www.neuro-form.de)
100. \*\*\* - [www.toy-sa.com](http://www.toy-sa.com)
101. \*\*\* - [www.silositem.ro](http://www.silositem.ro)
102. \*\*\* - [www.fficorp.com](http://www.fficorp.com)
103. \*\*\* - [www.sulzerfrio.com](http://www.sulzerfrio.com)
104. \*\*\* - [www.tecnograin.com](http://www.tecnograin.com)
105. \*\*\* - [www.romlinos.ro](http://www.romlinos.ro)
106. \*\*\* - [www.islaz.ro](http://www.islaz.ro)
107. \*\*\* - [www.mecmar.it](http://www.mecmar.it)
108. \*\*\* - Buletinul tehnico – informativ nr. 1 – 2/1985, Oficiul pentru tehnologia și controlul calității cerealelor și plantelor tehnice.
109. \*\*\* - Buletinul tehnico – informativ nr. 1/1986, Oficiul pentru tehnologia și controlul calității cerealelor și plantelor tehnice.
110. \*\*\* - Buletinul tehnico – informativ nr. 2 –3/1986, Oficiul pentru tehnologia și controlul calității cerealelor și plantelor tehnice.
111. \*\*\* - Buletinul tehnico – informativ nr. 1 – 2/1990, Oficiul pentru tehnologia și controlul calității cerealelor și plantelor tehnice.
112. \*\*\* - Buletinul de informații tehnico – economice nr. 4/1982, Centrul pentru valorificarea cerealelor și plantelor tehnice.
- 113.\*\*\* - Prospecte și documentații ale firmelor constructoare de uscătoare: Farm Fans, Riela, GSI, Bonffanti, Petkuss.
114. \*\*\* - Comisia Națională de gradare a semințelor de consum, Manualul de gradare pentru semințe de consum, 2003.
115. \*\*\* - SR EN ISO – 22.000:2005 – „Sistem de management al siguranței alimentelor. Cerințe pentru orice organizație din lanțul alimentar”.
116. \*\*\* - ISO – 9001: 2000 – „Sisteme de management al calității. Cerințe”.
117. \*\*\* - Codex Alimentarius – CAC/RPC 1- 969, Rev. 4 – 2003, „Cod internațional de practică recomandat. principii generale de igienă a produselor alimentare”.
118. \*\*\* - ISO 15161 – „Ghid pentru aplicarea ISO 9001:2000 în industria alimentară”.
119. \*\*\* - ITCF/ONIC, Guide pratique – controle de la qualite des cereals et des proteagineux, 1995.

120. FAO, Manual on the Application of the HACCP System in Mycotoxin Prevention and Control, FAO/IAEA Training and reference Centre for Food and Pesticide Control, 2003.
121. \*\*\* - Sauer D. B. – Storage of Cereal grains and Their Products, ediția a IV – a, American Association of Cereal Chemists, St Paul, Minnesota, USA, 1992.
122. \*\*\* - Application of Hazard Analysis. Critical Control Point (HACCP) System to Ensure Microbiological Safety and Quality, Blackwell Scientific, Glasgow, 1988.
123. \*\*\* - Food and drink – Good Manufacturing Practice: A Guide to its Responsible Management, 3<sup>rd</sup> Edition, Institute of Food Science & technology, Londra, 1991.
124. \*\*\* - Institutul Național de Statistică din România.
125. \*\*\* - SR ISO 13690 : 2001 „Cereale, leguminoase și produse de măcinăș – Eșantionare pentru loturi statice”.
126. \*\*\* - SR ISO 6644:2002 „Cereale și produse măcinate din cereale – Eșantionarea automată cu mijloace mecanice”.
127. \*\*\* - EN ISO 542:2001 „Semințe oleaginoase – Eșantionare”.
128. \*\*\* - EN ISO 664:2001 „Semințe oleaginoase – Reducerea eșantionului pentru laborator la eșantionul pentru analiză”.
129. \*\*\* - SR ISO 712:1999 – „Cereale și produse cerealiere. Determinarea umidității. Metode de referință practică”.
130. \*\*\* - STAS 6283/1-83 „Semințe agricole de consum. Grâu. Determinarea conținutului de gluten și a indicelui de deformare a glutenului, calculul indicelui glutenic”.
131. \*\*\*- STAS 6283/4-84 „Cereale. Determinarea conținutului de proteină brută”



DIAGRAMA  $i_{1+x} - x$  A AERULUI UMED



## Anexa 2

**Tabel cu concentrațiile volumice ale compușilor de ardere ai GPL-ului  
prelevate pe timpul funcționării arzătorului inferior al uscătorului  
GSI-1226, la uscarea porumbului**

Nr. crt.	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	H <sub>2</sub> S [ppm]	H <sub>2</sub>	Temp mediu amb [°C]	Timp [sec]	NO <sub>2</sub> [ppm]
1	20.52	96	2	2	2	0.4	29	25.6	10	0
2	20.47	70	2	2	2	0.4	7	25.9	20	0
3	20.62	85	1	1	2	0.5	19	26.3	30	0
4	20.59	76	4	4	2	0	20	25.9	40	0
5	20.59	75	2	2	3	0.1	20	26.1	50	0
6	20.4	87	0	0	2	0	16	26.5	60	0
7	20.6	84	0	0	2	0	24	26.4	70	0
8	20.51	86	3	3	2	0.2	21	26.3	80	0
9	20.68	73	0	0	2	0.6	23	26.6	90	0
10	20.47	83	2	2	2	0	19	26.4	100	0
11	20.64	76	0	0	2	0.6	26	26.5	110	0
12	20.43	94	3	3	3	0	20	26.4	120	0
13	20.57	87	1	1	2	0	24	26.3	130	0
14	20.49	107	3	3	2	0	22	25.5	140	0
15	20.47	94	3	3	2	0	24	26	150	0
16	20.51	109	2	2	3	0.2	24	25.8	160	0
17	20.41	94	1	1	2	0	24	25.4	170	0
18	20.47	110	1	1	2	0.4	29	25.8	180	0
19	20.36	102	1	1	2	0	31	24.6	190	0
20	20.44	120	0	0	3	0	38	24.2	200	0
21	20.4	112	1	1	2	0	35	25.4	210	0
22	20.31	132	2	2	4	0.3	30	25.6	220	0
23	20.42	116	1	2	3	0	40	24.8	230	1
24	20.29	132	3	3	3	0	37	24.6	240	0
25	20.4	118	1	2	3	0.1	37	25.5	250	1
26	20.51	127	0	0	4	0.3	36	25.1	260	0
27	20.42	115	1	2	3	0.2	32	25.8	270	1
28	20.62	96	1	1	1	0.4	35	26	280	0
29	20.67	80	2	2	2	0.2	30	26	290	0
30	20.78	72	1	1	2	0.7	23	26.5	300	0
31	20.76	63	1	1	3	1	18	25.9	310	0
32	20.71	77	0	0	1	0	20	26.3	320	0
33	20.79	67	4	4	2	0	23	26.4	330	0
34	20.53	68	0	0	2	0.1	16	26.2	340	0
35	20.74	74	1	1	1	0.1	20	26.6	350	0
36	20.76	65	1	1	3	0.5	17	26.6	360	0
37	20.63	77	5	5	2	0	18	26.3	370	0
38	20.79	67	2	3	3	0.4	22	26.6	380	1
39	20.59	71	3	3	2	0.2	16	26.4	390	0
40	20.74	73	1	1	1	0.9	20	26.5	400	0
41	20.7	68	2	2	1	0	20	26.6	410	0



42	20.68	84	2	3	3	0	20	26.4	420	1
43	20.8	70	0	0	2	0.4	21	26.6	430	0
44	20.57	73	1	1	1	0.4	12	26.8	440	0
45	20.79	70	0	0	2	0.5	14	26.8	450	0
46	20.73	60	2	2	2	0.1	17	27	460	0
47	20.77	71	1	1	2	0	18	26.9	470	0
48	20.79	60	2	2	2	0.3	16	27	480	0
49	20.58	58	2	3	1	0.5	15	26.5	490	1
50	20.77	73	1	1	1	0.3	17	26.1	500	0
51	20.76	60	1	1	2	0.7	19	25.3	510	0
52	20.63	63	1	1	1	0.8	13	25.4	520	0
53	20.8	68	1	1	1	0	16	25.4	530	0
54	20.83	59	0	0	2	0.1	15	25.6	540	0
55	20.61	70	1	1	2	0.6	11	25.8	550	0
56	20.8	64	0	0	1	0	23	25.7	560	0
57	20.78	62	0	0	1	0.5	16	25.2	570	0
58	20.65	77	0	0	2	0.2	16	25.8	580	0
59	20.75	69	0	0	1	0.4	18	24.7	590	0
60	20.74	63	2	2	3	0	19	24.2	600	0
61	20.66	79	0	0	2	0.1	18	24.2	610	0
62	20.79	66	0	0	0	0.6	22	25.3	620	0
63	20.55	66	1	1	2	0.3	15	24.6	630	0
64	20.77	72	0	0	2	1	20	24.7	640	0

**Tabel cu concentrațiile volumice ale compușilor de ardere ai GPL-ului prelevate pe timpul funcționării arzătorului superior al uscătorului GSI-1226, la uscarea porumbului**

Nr. crt.	O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]	H <sub>2</sub> S [ppm]	H <sub>2</sub>	Temp. mediu amb. [°C]	Timp [sec]	NO <sub>2</sub> [ppm]
1	20.77	72	0	0	2	1	20	24.5	10	0
2	20.73	51	3	3	2	0.3	1	26.6	20	0
3	20.41	92	1	1	3	0.1	11	26.3	30	0
4	20.6	106	0	0	1	0	23	26.5	40	0
5	20.43	111	0	0	4	0.3	28	26.4	50	0
6	20.57	102	3	3	2	0	35	26	60	0
7	20.54	118	3	3	3	0	30	26.5	70	0
8	20.53	101	2	2	3	0	32	26.9	80	0
9	20.6	115	0	0	2	0.2	33	26.7	90	0
10	20.41	111	0	0	2	0	28	26.5	100	0
11	20.62	111	2	2	3	0.2	35	27	110	0
12	20.48	107	2	2	4	0.1	28	26.8	120	0
13	20.56	107	0	0	2	0.2	35	26.9	130	0
14	20.57	120	0	0	4	0.1	35	26.8	140	0
15	20.46	104	2	2	2	0.7	30	26.9	150	0
16	20.6	124	0	0	3	0	35	26.9	160	0
17	20.5	106	0	0	3	0.4	34	27.2	170	0
18	20.6	115	2	2	3	0.3	39	27.2	180	0
19	20.42	111	2	2	5	0	32	27	190	0
20	20.61	111	1	1	4	0.3	38	26.9	200	0
21	20.49	124	0	0	4	0.3	32	27.1	210	0
22	20.57	108	0	0	4	0.4	40	27	220	0
23	20.52	123	2	2	4	0	36	27.1	230	0
24	20.49	108	2	2	4	0.6	37	27.4	240	0
25	20.55	125	1	1	3	0	36	27.2	250	0
26	20.52	107	2	2	4	0.2	43	26.9	260	0
27	20.55	126	2	2	5	0	37	27.1	270	0
28	20.61	108	1	1	3	0	39	27.2	280	0
29	20.56	122	4	4	4	0.5	33	27.1	290	0
30	20.57	104	2	2	4	0	35	27.4	300	0
31	20.62	115	1	2	4	0	36	27.2	310	1
32	20.46	104	1	1	4	0.9	28	27.2	320	0
33	20.64	107	1	1	3	0	32	27.5	330	0
34	20.6	94	1	1	3	0	29	27.5	340	0
35	20.61	110	3	3	4	0	32	26.9	350	0
36	20.47	95	1	2	3	0.4	31	27.3	360	1
37	20.72	106	3	3	4	0	33	26.8	370	0
38	20.47	97	1	1	4	0	25	27.4	380	0
39	20.71	95	1	1	3	0	34	27.2	390	0
40	20.54	99	2	3	3	0.1	23	27	400	1
41	20.71	90	1	1	3	0.2	33	27.2	410	0
42	20.61	104	2	2	4	0.2	26	26.9	420	0
43	20.67	92	1	1	3	0	27	26.9	430	0
44	20.54	112	2	2	3	0	24	26.8	440	0
45	20.64	99	0	0	3	0	32	27.4	450	0

46	20.52	114	2	3	3	0	27	27.2	460	1
47	20.66	99	2	3	3	0	35	27.1	470	1
48	20.6	103	1	1	3	0	27	27.2	480	0
49	20.67	94	1	1	3	0	31	27.3	490	0
50	20.48	105	1	1	6	0	22	27.3	500	0
51	20.73	98	3	3	2	0	31	27	510	0
52	20.58	104	1	1	3	0.2	24	27.1	520	0
53	20.88	84	2	2	4	0.2	35	27.1	530	0
54	20.6	38	2	2	4	0.2	26	26.4	540	0
55	20.67	21	1	1	3	0.6	10	26.5	550	0
56	20.47	15	2	2	4	0	5	26.6	560	0
57	20.71	13	2	2	2	0	3	25.7	570	0
58	20.54	13	0	0	3	0.3	2	25.9	580	0
59	20.6	12	0	0	3	0.1	0	26.7	590	0
60	20.61	11	3	3	3	0.3	1	26.7	600	0
61	20.47	12	1	1	2	0.2	0	27.1	610	0
62	20.77	72	0	0	2	1	20	24.5	10	0
63	20.73	51	3	3	2	0.3	1	26.6	20	0
64	20.41	92	1	1	3	0.1	11	26.3	30	0

## Anexa 3

**Tabel cu concentrațiile masice ale compușilor de ardere ai GPL-ului calculate pe timpul funcționării arzătorului inferior al uscătorului GSI-1226, raportate la oxigenul de referință, pe timpul uscării porumbului**

Nr. crt.	O <sub>2</sub> ref [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	NO [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	H <sub>2</sub> S [mg/m <sup>3</sup> ]	H <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
1	19	500.1804	11.16443	12.05804	0	2.535714	10.875
2	19	330.3078	10.11119	10.92049	0	2.296496	2.377358
3	19	559.4122	7.051222	7.615602	0	4.003759	9
4	19	463.5818	26.14111	28.23345	0	0	8.780488
5	19	457.482	13.07056	14.11672	0	0.74216	8.780488
6	19	362.6308	0	0	0	0	4.8
7	19	525.1894	0	0	0	0	10.8
8	19	438.9338	16.40488	17.71793	0	1.241983	7.714286
9	19	570.5182	0	0	0	5.705357	12.9375
10	19	391.6507	10.11119	10.92049	0	0	6.45283
11	19	527.9682	0	0	0	5.071429	13
12	19	412.4294	14.10244	15.2312	0	0	6.315789
13	19	505.9964	6.231312	6.730066	0	0	10.04651
14	19	524.699	15.76155	17.02311	0	0	7.764706
15	19	443.5562	15.16678	16.38073	0	0	8.150943
16	19	556.3231	10.93659	11.81195	0	1.241983	8.816327
17	19	398.4488	4.541465	4.904964	0	0	7.322034
18	19	519.0551	5.055593	5.460243	0	2.296496	9.849057
19	19	398.5812	4.186663	4.521763	0	0	8.71875
20	19	535.9075	0	0	0	0	12.21429
21	19	466.835	4.465774	4.823214	0	0	10.5
22	19	478.4334	7.766563	8.388199	0	1.322981	7.826087
23	19	500.1804	4.619766	9.979064	7.094828	0	12.41379
24	19	464.9564	11.32168	12.22787	0	0	9.380282
25	19	491.844	4.465774	9.646429	6.858333	0.507143	11.1
26	19	648.1929	0	0	0	1.862974	13.22449
27	19	495.8685	4.619766	9.979064	7.094828	1.049261	9.931034
28	19	631.8068	7.051222	7.615602	0	3.203008	16.57895
29	19	606.2792	16.23918	17.53896	0	1.844156	16.36364
30	19	818.4769	12.17938	13.15422	0	9.681818	18.81818
31	19	656.4867	11.16443	12.05804	0	12.67857	13.5
32	19	664.0325	0	0	0	0	12.41379
33	19	797.9068	51.03741	55.12245	0	0	19.71429
34	19	519.5197	9.241453	10.42969	0.637818	0.647416	6.12766
35	19	711.7951	10.30563	11.13049	0	1.17033	13.84615
36	19	677.3276	11.16443	12.05804	0	6.339286	12.75
37	19	520.4579	36.20898	39.10714	0	0	8.756757
38	19	797.9068	25.51871	41.34184	19.59524	5.795918	18.85714
39	19	433.083	19.60584	21.17509	0	1.484321	7.02439
40	19	702.1763	10.30563	11.13049	0	10.53297	13.84615
41	19	566.8711	17.8631	19.29286	0	0	12
42	19	656.4867	16.74665	27.13058	12.85938	0	11.25
43	19	875.3156	0	0	0	6.085714	18.9



44	19	424.5717	6.231312	6.730066	0	2.830565	5.023256
45	19	833.6339	0	0	0	7.244898	12
46	19	555.756	19.84788	21.43651	0	1.126984	11.33333
47	19	772.0175	11.64984	12.5823	0	0	14.08696
48	19	714.5434	25.51871	27.56122	0	4.346939	13.71429
49	19	345.3626	12.75935	20.67092	9.797619	3.622449	6.428571
50	19	793.7645	11.64984	12.5823	0	3.968944	13.30435
51	19	625.2254	11.16443	12.05804	0	8.875	14.25
52	19	425.8292	7.241795	7.821429	0	6.579151	6.324324
53	19	850.3066	13.39732	14.46964	0	0	14.4
54	19	867.96	0	0	0	1.789916	15.88235
55	19	448.8798	6.870421	7.42033	0	4.681319	5.076923
56	19	800.2886	0	0	0	0	20.7
57	19	704.7996	0	0	0	6.915584	13.09091
58	19	550.1984	0	0	0	1.738776	8.228571
59	19	690.2489	0	0	0	4.868571	12.96
60	19	605.9877	20.61126	22.26099	0	0	13.15385
61	19	581.0919	0	0	0	0.894958	9.529412
62	19	785.9977	0	0	0	8.693878	18.85714
63	19	366.7989	5.954365	6.430952	0	2.028571	6
64	19	782.891	0	0	0	13.22981	15.65217

**Tabel cu concentrațiile masice ale compuşilor de ardere ai GPL-ului, calculate pe timpul funcționării arzătorului superior al uscătorului GSI-1226, raportate la oxigenul de referință, pe timpul uscării porumbului**

Nr. crt.	O <sub>2</sub> ref [%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	NO [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	H <sub>2</sub> S [mg/m <sup>3</sup> ]	H <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
1	19	782.891	0	0	0	13.22981	15.65217
2	19	472.3926	29.77183	32.15476	0	3.380952	0.666667
3	19	389.9711	4.541465	4.904964	0	0.515738	3.355932
4	19	662.739	0	0	0	0	10.35
5	19	487.0177	0	0	0	1.601504	8.842105
6	19	593.2372	18.69394	20.1902	0	0	14.65116
7	19	641.5357	17.47477	18.87345	0	0	11.73913
8	19	537.4278	11.40198	12.31459	0	0	12.25532
9	19	719.0093	0	0	0	1.521429	14.85
10	19	470.5086	0	0	0	0	8.542373
11	19	730.5266	14.10244	15.2312	0	1.601504	16.57895
12	19	514.6086	10.30563	11.13049	0	0.585165	9.692308
13	19	608.1738	0	0	0	1.383117	14.31818
14	19	697.9261	0	0	0	0.707641	14.65116
15	19	481.6552	9.923942	10.71825	0	3.944444	10
16	19	775.2796	0	0	0	0	15.75
17	19	530.1912	0	0	0	2.434286	12.24
18	19	719.0093	13.39732	14.46964	0	2.282143	17.55
19	19	478.6209	9.239532	9.979064	0	0	9.931034
20	19	711.7951	6.870421	7.42033	0	2.340659	17.53846
21	19	608.0624	0	0	0	1.789916	11.29412
22	19	628.1335	0	0	0	2.830565	16.74419
23	19	640.8561	11.16443	12.05804	0	0	13.5
24	19	529.6027	10.5077	11.34874	0	3.579832	13.05882
25	19	694.6949	5.954365	6.430952	0	0	14.4
26	19	557.4927	11.16443	12.05804	0	1.267857	16.125
27	19	700.2525	11.90873	12.8619	0	0	14.8
28	19	692.5574	6.870421	7.42033	0	0	18
29	19	693.4319	24.35877	26.30844	0	3.457792	13.5
30	19	604.8693	12.46262	13.46013	0	0	14.65116
31	19	756.8519	7.051222	15.2312	10.82895	0	17.05263
32	19	481.6552	4.961971	5.359127	0	5.071429	9.333333
33	19	743.3236	7.442956	8.03869	0	0	16
34	19	616.2515	7.865785	8.726138	0.32815	0	13.05
35	19	705.3826	20.61126	22.26099	0	0	14.76923
36	19	448.2748	5.055593	10.92049	7.764151	2.296496	10.5283
37	19	946.77	28.70855	31.00638	0	0	21.21429
38	19	457.7122	5.055593	5.460243	0	0	8.490566
39	19	819.2609	9.239532	9.979064	0	0	21.10345
40	19	538.2376	11.64984	18.87345	8.945652	0.661491	9
41	19	776.1419	9.239532	9.979064	0	2.098522	20.48276
42	19	666.9071	13.74084	14.84066	0	1.56044	12
43	19	697.2211	8.119589	8.769481	0	0	14.72727
44	19	608.9152	11.64984	12.5823	0	0	9.391304
45	19	687.748	0	0	0	0	16
46	19	593.9642	11.16443	18.08705	8.572917	0	10.125

47	19	728.2038	15.76155	25.53466	12.10294	0	18.52941
48	19	643.9822	6.698661	7.234821	0	0	12.15
49	19	712.3781	8.119589	8.769481	0	0	16.90909
50	19	504.9898	5.152816	5.565247	0	0	7.615385
51	19	907.7347	29.77183	32.15476	0	0	20.66667
52	19	619.2709	6.379677	6.890306	0	1.44898	10.28571
53	19	1750.631	44.65774	48.23214	0	5.071429	52.5
54	19	237.5857	13.39732	14.46964	0	1.521429	11.7
55	19	159.1483	8.119589	8.769481	0	5.532468	5.454545
56	19	70.78024	10.11119	10.92049	0	0	1.698113
57	19	112.1094	18.47906	19.95813	0	0	1.862069
58	19	70.67766	0	0	0	1.984472	0.782609
59	19	75.02705	0	0	0	0.760714	0
60	19	70.53826	20.61126	22.26099	0	2.340659	0.461538
61	19	56.62419	5.055593	5.460243	0	1.148248	0
62	19	782.891	0	0	0	13.22981	15.65217
63	19	472.3926	29.77183	32.15476	0	3.380952	0.666667
64	19	389.9711	4.541465	4.904964	0	0.515738	3.355932

**Buletin de analiză a probelor de porumb supuse procesului de uscare  
utilizând uscătorul GSI - 1226**

	AUTORITATEA NAȚIONALĂ SANITARĂ VETERINARĂ ȘI PENTRU SIGURANȚA ALIMENTELOR DIRECȚIA SANITARĂ VETERINARĂ ȘI PENTRU SIGURANȚA ALIMENTELOR TIMIȘ LABORATORUL SANITAR VETERINAR DE STAT <b>BIRoul ZONAL PENTRU CONTROLUL REZIDUURILOR DIN PRODUSE DE ORIGINE ANIMALĂ ȘI NON-ANIMALĂ</b> Str. Polona nr. 4, Cod 300523 - TIMIȘOARA Telefon/Fax : 0256 : 221969, E-mail: pescuete@rdslmk.ro	INCERCARE  SR EN ISO/CEI 17025:2005 CERTIFICAT DE ACREDITARE NR. LI 280
---	---	--

**BULETIN DE ANALIZĂ**

Nr. 30075 din 22.10.2008

Numarul si natura probelor marimea lotului controlat

1	Porumb consum
2	Porumb consum
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Recolectate de Dl. Calin Laurentiu, Timisoara, str. P.V. nr.

Oron nr. 7 et. 4, ap. 19

Primate de la Dl. Calin Laurentiu, Timisoara, str. Adresa nr. - F. Nr. / 15.10.2008

Oron nr. 7 et. 4, ap. 19

Data primirii: 15.10.2008

Examine in perioada: 15 - 22.10.2008

Relatia: La cerere

Identificarea probelor	Calitativ Corespunzatoare	Cantitativ Corespunzatoare	Sigiliu eticheta
------------------------	------------------------------	-------------------------------	------------------

Examene solicitate: Reziduuri de metale grele (Pb, Cd).

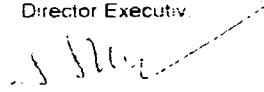
OBSERVAȚII

CONCLUZII

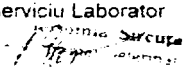
Rezultatele examenului solicitat sunt mentionate in prezentul buletin de analiza.

Prezentul buletin de analiza este valabil numai in original cucerit sa mustricarea. Contine o singura fila (fata si verso). Rezultatele analizelor se refera strict la proba (probele) analizata (te).

Director Executiv




Sef Serviciu Laborator





## REZULTATUL ANALIZELOR BA 30075

## 1. Pesticide organofosforice – prin metoda gaz-cromatografică SR EN 12393 – 1, 2, 3 (ppm).

Nr. pr.	Pesticide organofosforice (0,01):			Alte pesticide organofosforice
	Diazinon	Malathion	Parathion	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
Analist:				

2. Micotoxine (ppb), substanțe medicamentoase (ppb), metale grele (în ppm) și contaminare radioactivă ( $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ ) (Bq/kg)

Nr. pr.	Aflatoxine B <sub>1</sub> (E-1)	Aflatoxine Totale B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub> +G <sub>1</sub> +G <sub>2</sub> (E-2)	Ochratoxine (E-1)	Metale grele (spectrofotometrie de absorbție atomică) *		Radio-activitate (Bq/kg-10)
				Pb (0,025)	Cd (0,005)	
1				< 0,025	NED	
2				0,06	NED	
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Analist:				Analist:		Analist:

În paranteze: metoda de analiză și limita de sensibilitate.

Prescurtări:

GC – gascromatografie; E- ELISA – test imunoenzimatic; NED – nedetectabil; ppm – μg/ml, ppb – μg/kg.

\* - limita de detecție a metodei de analiză.

Sef birou zonal control reziduuri,

Cod:BA – BZCR – NA – CC – 04 – 30 b

**Certificat metrologic TESTO 350 M/XL**

Biroul Român de Metrologie Legală

Laboratorul 5.03-5022

an. 191  
2008

Buletin de verificare metrologică

№ 0101099

data 6.05.2008

TEST LINE SRL (PR. UNIVERSITATEA POLITEHNICA)

Metrologia măsurare aparținând

prezentată la verificare metrologică în scopul îndosării rezultatelor

Nr. Dub.	Model de măsurare, denumire tip, caracteristici sau de scriere	Producător	Clasă	NAVL, NIM, alte normative	Fișiere de etalonare și metode	Rezultate	Cost
1	TESTO 350 XL, labor.	TESTO (GERM.) UJM, MEX	0,5	NIML	CE CE 9/03	42,70x	42,70x
	CO <sub>2</sub> (0...25) % vol				10,46 / 97,70x	(20,70x	
	O <sub>2</sub> (0...10) % vol				2,26 / 20,8	6,00x	mplex
	CO (0...1000) ppm						
	NO (0...3000) ppm						
	SO <sub>2</sub> (0...500) ppm						
	H <sub>2</sub> (0...4) % vol						
	valori calculat CO <sub>2</sub> m <sup>3</sup>						
	0,40 DEFO0214/110, 149133/02						

Locul și data verificării metrologice

Costul și taxa verificării metrologice în valoare de (cinci și) lei

220,05 lei

Taxa 159,90  
TVA 35,13  
Total genera 220,03

Verificator metrolog  
Nume, prenume  
Semnătura  
Todor Elena

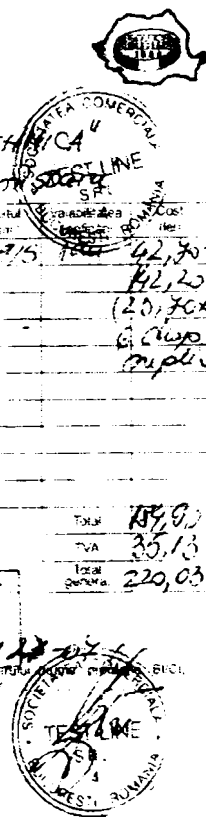
INSTITUTUL NAȚIONAL DE METROLOGIE  
Căminul de laborator  
Nume, prenume  
Semnătura

Prozonul solicitat de verificare, împreună cu mijlocul de măsurare verificat

Data 6.05.2008

semnătura RK 229116

Notă: Se pot realiza în cazul măsoarelor de măsurare pentru care se aplică reglementările în vigoare  
Căminul de laborator TEST LINE SRL prezintă la prezentarea acestui raport de verificare, este "ACREDITAT" în  
Sistemul Național de Certificare a Sistemelor de Măsurare (SNCM) în domeniul metrologiei și este



**Titluri recent publicate în colecția „TEZE DE DOCTORAT”  
seria 8: Inginerie Industrială**

---

1. **Liliana Daniela Moșteoru** – *Contribuții la îmbunătățirea performanțelor termice și la ecologizarea aparatelor de sterilizare a instrumentelor medicale*, ISBN 978-973-625-441-3, (2007);
2. **Mariana Ilie** – *Etude de l'interaction laser matière dans le cas des polymères semi-transparents: applications au soudage des polymères*, ISBN 978-973-625-449-9, (2007);
3. **Puiu Câneparu** – *Contribuții privind îmbunătățirea performanțelor echipamentelor mecanizate de tăiere termică*, ISBN 978-973-625-478-9, (2007);
4. **Marius Cătălin Grămescu** – *Aspecte privind strategii de dezvoltare specifice întreprinderilor mici și mijlocii în vederea alinierii la cerințele Uniunii Europene*, ISBN 978-973-625-486-4, (2007);
5. **Corina-Dana June** – *Optimizarea procesului de încărcare prin sudare în mediu de gaz protector cu rată mare de depunere – încărcarea prin sudare mag cu electrod bandă*, ISBN 978-973-625-501-4, (2007);
6. **Gheorghe Marcel Mocuța** – *Contribuții la reducerea intensității energetice în județul Bihor*, ISBN 978-973-625-517-5, (2007);
7. **Marius Iulian Tamas** – *Studiul măririi capacităților de producție ale mașinilor de prototipare rapidă prin prelevare de material*, ISBN 978-973-625-611-0, (2008);
8. **Cristian Cosma** – *Studii privind optimizarea tehnicii de Reverse Engineering la realizarea produselor injectate din materiale plastice*, ISBN 978-973-625-612-7, (2008).
9. **Cristian Dan Duran** – *Aspecte privind evaluarea riscului ca sursă a deciziei la nivelul firmei*, ISBN 978-973-625-554-0, (2008).



EDITURA POLITEHNICA