



UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI

Facultatea de Ingineria Sistemelor Biotehnice

Catedra de Sisteme Biotehnice

Nr. Decizie din

TEZĂ DE DOCTORAT

**CERCETĂRI PRIVIND IMPLEMENTAREA UNUI SISTEM DE MĂSURARE ȘI
CONTROL ÎN TIMP REAL AL PARAMETRILOR REGIMULUI DE LUCRU AL
DOSPITOARELOR DE ALUAT**

**RESEARCHES ON THE IMPLEMENTATION OF A REAL-TIME CONTROL AND
MEASUREMENT SYSTEM FOR THE WORKING REGIME PARAMETERS OF
DOUGH PROVERS**

Autor: Ing. Adriana Istudor

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Conf.dr.ing. Cristina Ileana Covaliu	de la	Universitatea Politehnica din București
Conducător de doctorat	Prof.dr.ing. Gheorghe Voicu	de la	Universitatea Politehnica din București
Referent	Prof.dr.ing. Daniela Tarniță	de la	Universitatea din Craiova
Referent	Prof.dr.ing. Vasile Pădureanu	de la	Universitatea Transilvania din Brașov
Referent	Prof.dr.ing. Valentin Apostol	de la	Universitatea Politehnica din București

București (2021)

Cuprins

CAPITOLUL 1	12	9
CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND PROCESUL DE PANIFICAȚIE	12	9
1.1. PROCESUL TEHNOLOGIC DE FABRICARE A PÂINII	12	9
1.1.1. Evoluția procesului de fabricare a pâinii	12	9
1.1.2. Etapele procesului de fabricare a pâinii	13	9
1.2. PROCESUL DE FERMENTARE FINALĂ A ALUATULUI DE PÂINE	19	9
1.2.1. Factori de influență în procesul de fermentare finală a aluatului de pâine	19	9
1.2.2. Pierderi în greutate a bucății de aluat pe parcursul procesului tehnologic	28	10
1.2.3. Parametrii operației de fermentare finală	29	10
1.3. CONCLUZII	30	11
CAPITOLUL 2	32	11
METODE DE FABRICARE A ALUATULUI. INSTALAȚII DE FERMENTARE FINALĂ ȘI DE CONDIȚIONARE A AERULUI ÎN DOSPITOR	32	11
2.1. LINII TEHNOLOGICE DE PANIFICAȚIE	32	11
2.2. INSTALAȚII DE FERMENTARE FINALĂ A ALUATULUI	36	11
2.3. INSTALAȚII DE CONDIȚIONARE A PARAMETRILOR DE CONTROL DIN INCINTA DOSPITORULUI	46	12
2.3.2. Soluție propusă pentru climatizarea dospitoarelor continue	49	12
2.4. CONCLUZII	57	13
CAPITOLUL 3	58	13
SINTEZA CERCETĂRILOR TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESUL DE FERMENTARE FINALĂ A ALUATULUI DE PÂINE	58	13
3.1. METODE ȘI APARATE DE DETERMINARE A PROPRIETĂȚILOR REOLOGICE ALE ALUATULUI DIN FĂINĂ DE GRÂU	58	13
3.2. CERCETĂRI PRIVIND INFLUENȚA UNOR COMPUȘI DIN REȚETA DE FABRICAȚIE A PÂINII ASUPRA PROCESULUI DE FERMENTARE FINALĂ	64	14
3.2.1. Influența tipului de drojdie folosită asupra procesului de fermentare finală	64	14
3.2.3. Influența adăugării sării asupra producției de dioxid de carbon	68	14
3.3. CERCETĂRI PRIVIND EVALUAREA PROCESULUI DE DOSPIRE A ALUATULUI DE PÂINE	70	15
3.3.1. Evaluarea producției de dioxid de carbon în aluat, folosind risograful	70	15
3.3.2. Monitorizarea procesului fermentativ al aluatului folosind metode diferite de măsurare	74	15
3.3.3. Utilizarea ultrasunetelor pentru studiul procesului de dospire a aluatului	78	15
3.3.4. Studiul procesului de dospire în termenii expansiunii bulei de gaz	81	15
3.3.5. Modelarea matematică a dezvoltării bulelor individuale de dioxid de carbon în timpul procesului de dospire	82	16
3.3.6. Studii privind creșterea de presiune în timpul procesului de dospire	86	16
3.4. CONCLUZII	89	16
CAPITOLUL 4	91	17
ASPECTE ȘI CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND PROCESUL DE FERMENTARE FINALĂ A ALUATULUI DE PÂINE	91	17

4.1. APARATURA ȘI ECHIPAMENTUL DE LUCRU UTILIZATE PENTRU EFECTUAREA CERCETĂRILOR TEORETICE	91	17
4.2. SIMULAREA CU METODA ELEMENTELOR FINITE A DISTRIBUȚIEI CURENȚILOR DE AER ÎNTR-UN DOSPITOR DE PÂINE	94	18
4.4. MODEL MATEMATIC PENTRU DETERMINAREA CANTITĂȚII DE DIOXID DE CARBON ELIMINAT ÎN TIMPUL PROCESULUI DE FERMENTARE ÎN LABORATOR	104	22
4.5. MODELAREA MATEMATICĂ A CONSUMULUI ENERGETIC LA DOSPIRE FOLOSIND TEOREMA II	110	23
4.6. CONCLUZII	119	24
CAPITOLUL 5	121	25
CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESUL DE DOSPIRE A ALUATULUI DE PÂINE	121	25
5.1. OBIECTIVELE CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE	121	25
5.2. APARATURA ȘI ECHIPAMENTELE UTILIZATE ÎN DETERMINĂRILE EXPERIMENTALE ÎN LABORATOR	121	25
5.3. METODICA DETERMINĂRILOR EXPERIMENTALE PENTRU CERCETĂRILE EFECTUATE ÎN LABORATOR	126	25
5.3.1. Metodica experimentelor efectuate în laborator, folosind variația de presiune	126	25
5.3.2. Metodica experimentelor efectuate în laborator folosind concentrația de dioxid de carbon	129	26
5.4. APARATURA ȘI ECHIPAMENTELE UTILIZATE ÎN EXPERIMENTELE DIN FABRICA DE PÂINE	130	27
5.4.1. Dospitoarele utilizate pentru efectuarea determinărilor experimentale în fabrică	130	27
Sistem specific pentru controlul concentrației de dioxid de carbon în dospitoare	134	28
5.4.3. Metodica experimentelor folosind instalația de climatizare pentru controlul concentrației de CO ₂ în dospitorul de pâine	145	32
5.5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE CU PRIVIRE LA PROCESUL DE DOSPIRE A ALUATULUI DE PÂINE	147	32
5.5.1. Cercetări de laborator folosind variația presiunii în încălț închisă	147	32
5.5.2. Evaluarea concentrației de dioxid de carbon degajată de aluatul de pâine în timpul procesului de dospire la scară redusă	151	35
5.5.3. Cercetări experimentale în fabrică privind dezvoltarea unei metode pentru controlul parametrilor de dospire a aluatului de pâine	155	36
5.5.4. Analiza comparativă a funcționării dospitorului Tibiletti cu instalație convențională de climatizare și cu instalație de climatizare dinamică	161	38
5.5.5. Analiza comparativă a regimului de lucru pentru trei dospitoare de aluat	170	41
5.5.6. Influența parametrilor de dospire asupra produsului finit	178	44
5.6. VALIDAREA MODELELOR MATEMATICE PROPUSE PENTRU APRECIEREA PROCESULUI DE DOSPIRE A ALUATULUI DE PÂINE	180	45
5.6.1. Validarea modelului matematic de determinare a vitezei optime a curenților de aer în dospitor	180	45
5.6.2. Validarea modelului matematic propus pentru evaluarea eficienței energetice la dospire	182	46
5.6.3. Validarea modelului matematic propus pentru estimarea volumului de dioxid de carbon în timpul procesului de fermentare, în condiții de laborator	183	47

5.6.4. Analiza costului pentru energia consumată la dospire, cu și fără recuperator de energie	186	48
5.7. CONCLUZII	188	49
CAPITOLUL 6	191	49
CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	191	49
6.1. CONCLUZII GENERALE	191	49
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	197	53

CUVÂNT ÎNAINTE

Consumul produselor de panificație ocupă un loc fruntaș în România, iar industria manufacturieră se află în proces intensiv de automatizare, tehnologizare și eficientizare. Totuși, odată cu progresele făcute în industria de panificație, din punct de vedere tehnic și tehnologic, numărul personalului calificat în acest domeniu scade vertiginos.

Deși procesul de dospire este cea mai mare etapă a procesului de preparare a pâinii și desfășurarea lui trasează o parte însemnată a caracteristicilor produsului finit, acest subiect a intrat în atenția cercetătorilor foarte recent, iar evaluarea nivelului de fermentare a aluatului în fabricile de panificație se realizează preponderent organoleptic.

Așadar, identificarea soluțiilor de control automat al etapelor definitorii de preparare a pâinii, cu monitorizare umană minimă, devine o necesitate tot mai crescândă.

Teza de doctorat „Cercetări privind implementarea unui sistem de măsurare și control în timp real al parametrilor regimului de lucru al dospitoarelor de aluat” prezintă o sinteză a cercetărilor efectuate de autoare cu privire la evaluarea procesului fermentativ al aluatului de pâine și posibilitatea de a implementa o instalație care să controleze automat procesul de dospire în orice tip de dospitor industrial de pâine.

Lucrarea este structurată în 6 capitole, dezvoltate într-un număr de 225 pagini și conține 187 de figuri și grafice, 101 relații matematice, o bibliografie cu 235 referințe. De asemenea, lucrarea conține și o listă de notații și simboluri și o serie de anexe (13 pagini).

Obiectivul general al temei de cercetare din cadrul proiectului îl reprezintă evaluarea teoretică și experimentală a procesului de dospire, atât în laborator, cât și în mediul industrial, în vederea identificării unei soluții de control automat, în timp real al parametrilor regimului de lucru al dospitoarelor de pâine, în corelație permanentă cu caracteristicile dorite ale bucatărilor de aluat.

În **capitolul 1** numit „Considerații generale privind procesul de panificație” sunt prezentate aspecte generale ale procesului de panificație, cuprinzând etapele fluxului tehnologic de preparare a pâinii, descrierea operațiilor de obținere a produselor de panificație, analiza factorilor de influență în procesul de fermentare finală a aluatului și prezentarea parametrilor de dospire.

Capitolul 2, denumit „Metode de fabricare a aluatului. Instalații de fermentare finală și de condiționare a aerului în dospitor” reprezintă o sinteză a liniilor tehnologice de preparare a pâinii și a soluțiilor constructive moderne de echipamente necesare desfășurării corespunzătoare a procesului de dospire. Sunt prezentate variante constructive de dospitoare și se pune accentul pe modelele moderne. De asemenea, sunt prezentate instalații de condiționare a aerului din dospitor și soluția completă propusă de instalație de climatizare, care folosește concentrația de dioxid de carbon pentru controlul parametrilor de dospire în dospitor industrial. Alături de acestea, mai este prezentat și recuperatorul de energie cu tuburi termice, care recuperează căldura gazelor arse evacuate pe coșurile cuptorului de pâine și care, integrat în sistemul de funcționare al climatizării dospitorului, poate reprezenta o soluție viabilă de reducere de costuri în ceea ce privește consumul energetic la dospire și nu numai.

În **capitolul 3**, intitulat „Sinteza cercetărilor teoretice și experimentale privind procesul de fermentare finală a aluatului de pâine” se prezintă diferite metode și aparate de determinare a proprietăților reologice ale aluatului, precum și sinteza cercetărilor teoretice și experimentale la

nivel mondial, referitoare la evaluarea procesului de dospire a aluatului. Sunt prezentați sintetic și analitic, factorii care influențează proprietățile reologice ale aluatului, în raport cu procesul de dospire (rețeta de fabricație, calitatea glutenului, calitatea drojdiei). De asemenea sunt analizate diferite metode de evaluare a procesului fermentativ, atât în laborator cât și cu potențial de aplicare industrială.

În **capitolul 4**, denumit „*Aspecte și contribuții teoretice privind procesul de fermentare finală a aluatului de pâine*” se prezintă un model matematic propus pentru determinarea volumului de dioxid de carbon degajat în timpul procesului de dospire a aluatului și care folosește variația de presiune în incintă etanș închisă. Această metodă este validată ulterior cu ajutorul măsurărilor în timp real a dioxidului de carbon.

Este propus un model matematic pentru determinarea consumului energetic la dospire în mediu industrial, pentru trei moduri de funcționare, iar rezultatele sunt validate ulterior de măsurători în timp real ale consumului energetic.

De asemenea, este prezentată simularea numerică tridimensională a curenților de aer în dospitor tip tunel cu 4 etaje, analizând influența dimensiunilor gurilor de refulare a aerului recirculat asupra vitezei aerului și distribuției temperaturii pe etajele dospitorului. Modelul dospitorului a fost proiectat în programul Solid Works, iar simularea tridimensională a fost efectuată în programul ANSYS CFX Fluent.

Capitolul 5, intitulat „*Cercetări experimentale privind procesul de dospire a aluatului de pâine*” este structurat în două subcapitole principale: experimente în laborator și experimente în fabrica de pâine, pentru care, în prima parte, s-au prezentat echipamentele și metodele utilizate în determinările experimentale. Cercetările experimentale realizate au avut ca scop, identificarea, evaluarea, stabilirea caracteristicilor optime și implementarea unei soluții mai bune de control al parametrilor regimului de lucru al dospitoarelor industriale de aluat.

Sunt prezentate succesiv, clar și obiectiv, rezultatele cercetărilor experimentale privind determinarea concentrației de dioxid de carbon, ca parametru de referință în evaluarea procesului de dospire și posibilitatea de a controla automat parametrii de temperatură și umiditate în corelație cu aceasta.

S-a analizat comparativ funcționarea unei climatizări convenționale și a celei propuse de autoare.

Au fost efectuate determinări experimentale în dospitor la scară redusă, precum și în două dospitoare industriale cu panacode de construcție similară, dar de capacități diferite și un dospitor industrial tip spirală.

Rezultatele prezentate se referă atât la modul de funcționare al instalațiilor sub aspectul variației parametrilor regimului de lucru, cât și la influența acestora asupra caracteristicilor produselor finite obținute (dimensiuni, volum, porozitate).

În **capitolul 6**, numit „*Concluzii generale. Contribuții personale. Direcții viitoare de cercetare*”, sunt prezentate concluziile esențiale rezultate din partea de documentare, cât și cele din capitolul de contribuții teoretice și cele rezultate în urma cercetărilor experimentale, punând accent pe necesitatea înțelegerii factorilor de influență în procesul de dospire al aluatului din făină de grâu, precum și pe importanța identificării unei soluții complete de control al procesului de dospire, în contextul evoluției tehnice și tehnologice.

IMPORTANȚA TEMEI ȘI OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Obiectivul general al tezei de doctorat este studiul teoretic și experimental al procesului de dospire a aluatului de pâine, vizând implementarea unei instalații de control automat al regimului de lucru al dospitoarelor de aluat.

Obiectivele specifice sunt:

- Identificarea factorilor care influențează procesul de dospire a aluatului;
- Analiza soluțiilor constructive de dospitoare de aluat;
- Analiza soluțiilor constructive de instalații de condiționare a aerului în dospitor;
- Sinteza cercetărilor teoretice și practice cu privire la comportarea reologică a aluatului în timpul procesului de dospire;
- Utilizarea simulării pentru evaluarea distribuției curenților de aer în dospitor de tip tunel, folosind programe asistate pe calculator (Solid Works, Ansys);
- Modelarea matematică a procesului de dospire, folosind variația de presiune în incintă închisă;
- Modelarea matematică consumului energetic la dospire într-un dospitor de tip tunel;
- Cercetări experimentale privind concentrația de dioxid de carbon degajată în timpul procesului fermentativ în dospitor de capacitate redusă;
- Cercetări experimentale în fabrica de pâine, privind implementarea unei instalații de control al parametrilor de dospire a aluatului de pâine;
- Efectuarea testelor experimentale pentru stabilirea nivelului de acuratețe la funcționarea instalației pentru controlul procesului de dospire;
- Evaluarea influenței parametrilor de dospire asupra produsului finit;
- Validarea modelelor matematice pentru evaluarea procesului de dospire a aluatului.

SIMBOLURI ȘI NOTĂȚII

S – suprafață, [cm²]

UB (UF) – unități Brabender (farinografice)

t – timp, [s]

p – presiune, [Pa, bar]

V – volum, [m³]

R – constanta gazelor, [J/mol·K]

ρ - densitate, [kg/m³]

v – viteză, [m/s]

CAPITOLUL 1

CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND PROCESUL DE PANIFICAȚIE

1.1. PROCESUL TEHNOLOGIC DE FABRICARE A PÂINII

1.1.1. Evoluția procesului de fabricare a pâinii

Procesul de fabricare a pâinii poate fi privit ca o serie de stadii de aerare, în care bule de aer sunt încorporate în timpul frământării, acestea sunt umflate cu dioxid de carbon în timpul dospirii, iar structura aerată rezultată este stabilizată prin coacere, [152].

Cunoașterea intrinsecă a elementelor de influență asupra procesului fermentativ și perfecționarea sistemelor care facilitează dospirea în condiții controlate, reprezintă astăzi puncte cheie în obținerea produselor de calitate superioară.

1.1.2. Etapele procesului de fabricare a pâinii

Pentru transformarea materiilor prime și auxiliare în produse de panificație, se impune efectuarea unor operații tehnologice la intervale bine definite, fiecare operație având rolul său bine stabilit în vederea obținerii unui produs finit superior din punct de vedere calitativ, [86].

Aceste operații presupun: depozitarea materiilor prime în buncăre speciale (vrac) sau în saci; pregătirea materialelor prime și auxiliare (condiționarea); prepararea aluatului în una, două sau trei etape; prelucrarea aluatului prin divizarea în bucăți a acestuia, cu ajutorul divizoarelor de aluat și controlul masei bucății de aluat într-un interval prestabilit, în funcție de masa finală a produsului finit și de pierderile în proces; fermentarea finală a aluatului (dospirea), realizată în incinte închise, în care aerul este tratat; condiționarea bucăților de aluat (crestarea și umectarea), cu rol estetic și de a controla cantitatea de gaze eliberată; coacerea produselor până la atingerea în miezul pâinii a temperaturii minime de 92°C; răcirea pâinii până la temperatura de 27 °C în miez, efectuată în spire de răcire; ambalarea produselor proaspete de panificație (în lăzi și cărucioare), iar cele cu termen mărit de valabilitate sunt feliate și ambalate cu ajutorul mașinilor dedicate, în condiții controlate.

1.2. PROCESUL DE FERMENTARE FINALĂ A ALUATULUI DE PÂINE

1.2.1. Factori de influență în procesul de fermentare finală a aluatului de pâine

Procesul de fermentare al aluatului este condiționat de: procesul tehnologic adoptat, rețeta de fabricație, temperatura aluatului la intrarea în dospitor, parametrii de dospire, capacitatea de reținere și de formare a gazelor, acumularea compușilor generați în urma fermentațiilor alcoolice și lactice și de culoarea cojii.

A) Materia primă și materialele auxiliare utilizate în procesul de fabricare a pâinii

Făina de grâu este cea mai utilizată în procesul de preparare a pâinii deoarece este singura cereală capabilă de a oferi o structură aerată în produsul finit, [23].

Cantitatea de apă adăugată la făină este definită de capacitatea de hidratare a făinii (procent raportat la cantitatea de făină), adică proprietatea făinii de a absorbi apa.

Drojdia de panificație aparține genului *Saccharomyces*, specia *Saccharomyces cerevisiae*, fiind considerată drojdie de fermentație superioară, prin echipamentul său enzimatic. Aceasta se dezvoltă optim la 25-30 °C și fermentează optim la 35 °C.

Sarea (clorură de sodiu), pe lângă aportul organoleptic deosebit de important, influențează decisiv proprietățile reologice ale aluatului prin întărirea structurii glutenice și stabilizarea procesului fermentativ.

B) Procesele care au loc la fermentarea aluatului

În cadrul fermentării aluatului au loc procese biochimice, microbiologice și coloidale.

C) Capacitatea aluatului de a forma și a reține gazele de fermentare

Capacitatea de a forma și de a reține gazele este proprietatea aluatului din făină de grâu care permite ca, în timpul dospirii, să fie eliberată și reținută o cantitate de gaze ce conduc la creșterea volumului odată cu scăderea densității.

1.2.2. Pierderi în greutate a bucății de aluat pe parcursul procesului tehnologic

Pierderile în greutate pe parcursul procesului tehnologic de obținere a pâinii prezintă o deosebită importanță, deoarece au un impact financiar direct în economia unității de producție.

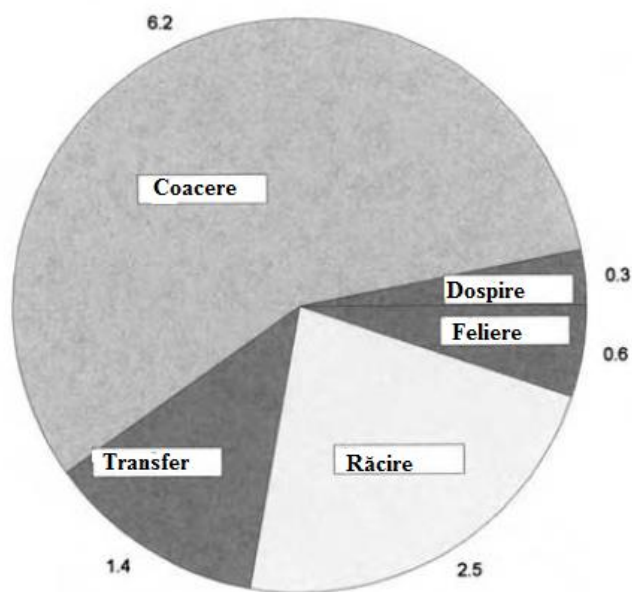


Fig. 1.12. Pierderile din masa bucății de aluat pe parcursul procesului tehnologic (%), [24]

1.2.3. Parametrii operației de fermentare finală

Parametrii spațiului de fermentare finală (dospire) sunt durata (timpul) de fermentare finală, temperatura și umiditatea relativă a mediului. Fiind un mediu poros, între bucata de aluat și mediu are loc transferul de căldură și umiditate.

Durata (timpul) de fermentare finală a bucăților de aluat variază în limite foarte largi, de la 15 la 90 min în funcție de o serie de factori, precum: masa bucății de aluat, dimensiunea dospitorului, tehnologia de preparare a aluatului.

Temperatura aerului din dospitor se determină în concordanță cu timpul de dospire, rețeta de fabricație și procesul tehnologic adoptat, astfel încât să poată fi controlată viteza procesului de fermentare.

Umiditatea relativă a aerului din dospitor se stabilește în funcție de temperatura de lucru și viteza curenților de aer, astfel încât să fie evitată uscarea excesivă sau crearea unei pelicule de apă la suprafața bucății de aluat. Valorile uzuale practicate în tehnologie variază între 70-75%.

1.3. CONCLUZII

Fermentarea aluatului reprezintă etapa procesului tehnologic cu ponderea cea mai mare, având loc de la frământare până la prima parte a coacerii. Ea se datorează în principal fermentației alcoolice produsă de drojdie (*Saccharomyces cerevisiae*), care consumă o parte din glucidele puse la dispoziție și eliberează dioxid de carbon și alcool etilic, producând creșterea în volum a bucății de aluat.

CAPITOLUL 2

METODE DE FABRICARE A ALUATULUI. INSTALAȚII DE FERMENTARE FINALĂ ȘI DE CONDIȚIONARE A AERULUI ÎN DOSPITOR

2.1. LINII TEHNOLOGICE DE PANIFICAȚIE

O linie tehnologică de preparare a pâinii este concepută pornind de la specificul sortimental al produselor, iar schema tehnică a liniei urmărește etapele procesului tehnologic, [155].

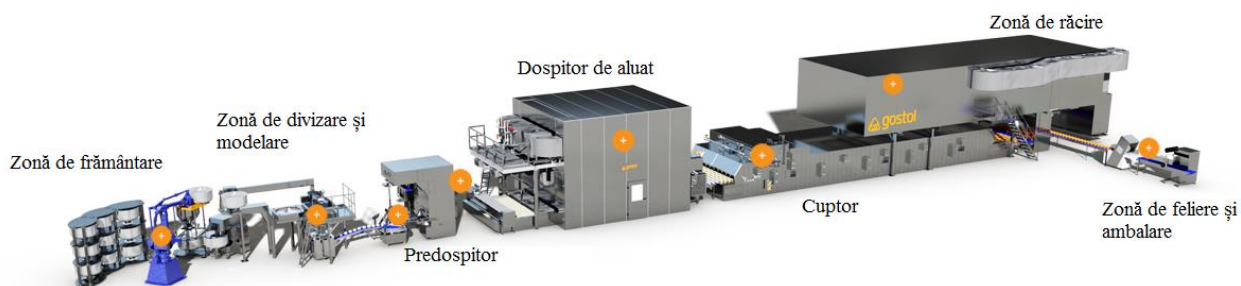


Fig. 2.2. Linie tehnologică modernă pentru fabricarea pâinii, cu fermentarea aluatului la cuvă

Liniile tehnologice care folosesc procedeul direct de preparare a aluatului sunt cele mai întâlnite în industria de panificație. Toate ingredientele sunt introduse în cuva malaxorului, iar aluatul frământat poate fi ținut ulterior între 2 - 4 ore de fermentare la cuvă sau înlocuită complet cu o perioadă scurtă de odihnă a aluatului de 10 – 20 minute, în acest caz, fiind necesară ajustarea cantității de drojdie adăugată în rețeta de fabricație, pentru compensarea scurtării timpului.

2.2. INSTALAȚII DE FERMENTARE FINALĂ A ALUATULUI

Instalațiile de fermentare finală, denumite în practică, dospitoare, pot fi cu funcționare continuă sau cu funcționare discontinuă.

Capacitatea de încărcare a modelelor industriale de dospitoare se determină în funcție de suprafața ocupată de o bucată de aluat Δs , distanța dintre bucăți, numărul de bucăți încărcate în unitatea de timp N_0 și timpul de fermentare finală T_{FF} pentru Δs și N_0 constanți ($S=f(T_{FF})$, $S=f(\Delta s, N, T_{FF})$).

Dospitoarele continue sunt utilizate în spațiile industriale cu producție ridicată și în care fluxul tehnologic de producere a produselor de panificație este de obicei continuu, mecanizat, iar succesiunea operațiilor este înlanțuită.

Dospitoarele industriale utilizate pot fi de tip tunel sau cu leagăne. Dospitoarele moderne de pâine păstrează structura de bază a modelelor prezentate mai sus, dar acestea sunt complet automatizate și prevăzute cu sisteme de operare cu puncte setabile ale diferiților parametri și vizualizarea alarmelor.

Principiul de funcționare al dospitorului poate fi împărțit în patru faze: încărcare, fermentare, descărcare, uscarea și dezinfectarea alveolelor.

2.3. INSTALAȚII DE CONDIȚIONARE A PARAMETRILOR DE CONTROL DIN INCINTA DOSPITORULUI

Majoritatea dospitoarelor industriale din prezent, au în dotare un **sistem de climatizare** care să asigure cel puțin un minim necesar de temperatură și umiditate în incinta dospitorului.

2.3.2. Soluție propusă pentru climatizarea dospitoarelor continue

Pentru a condiționa aerul într-un dospitor se folosește o centrală de tratare a aerului ca cea din figura 2.32 și o instalație de distribuție a acestuia ca cea din figura 2.33. Centrala de tratare a aerului poate funcționa pe principiul aerului recirculat sau poate folosi amestec cu aer exterior.

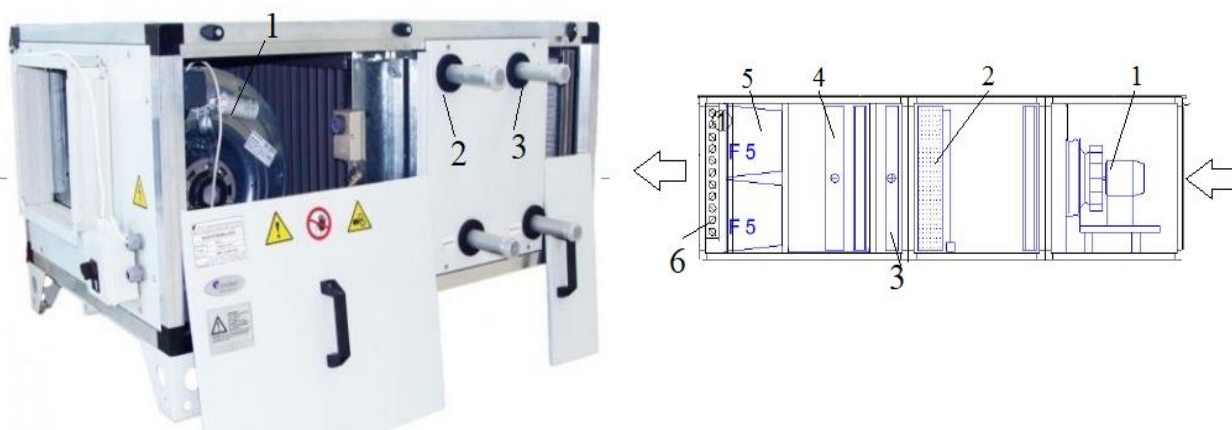


Fig. 2.32. Centrală de tratare a aerului folosită pentru condiționarea aerului în dospitorul de pâine, [213]

ventilator; 2. picurător; 3. schimbător de căldură cu plăci alimentat cu apă rece; 4. schimbător de căldură cu plăci alimentat cu apă caldă; 5. filtru Hepa; 6. clapetă cu grile

Centralele de tratare a aerului folosite pentru condiționarea aerului în dospitor au în componență un schimbător de căldură cu plăci, alimentat cu apă caldă, unul cu apă rece, picurător

Sistem de măsurare și control în timp real al parametrilor regimului de lucru al dospitoarelor de aluat de apă cu scopul eliminării condensului din CTA, filtre HEPA cu rolul filtrării aerului din dospitor, o instalație de umidificare a aerului și un ventilator.

2.4. CONCLUZII

Dospitoarele moderne se diferențiază de cele clasice, prin automatizarea întregului proces mecanic, inclusiv a sistemelor de încărcare și descărcare a aluatului, din care rezultă eficientizarea clară a desfășurării etapelor procesului de dospire.

Rolul sistemelor de climatizare este de a asigura un necesar minim de temperatură și umiditate în incinta dospitorului. Cele mai utilizate metode de climatizare ale unui dospitor modern pentru modificarea parametrilor de funcționare se bazează pe distribuirea de aer tratat în incinta unde are loc procesul de fermentare.

Optimizarea procesului tehnologic de fabricație a pâinii în contextul creșterii productivității și a obținerii unui produs de calitate superioară este o necesitate a societății actuale.

CAPITOLUL 3

SINTEZA CERCETĂRIILOR TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESUL DE FERMENTARE FINALĂ A ALUATULUI DE PÂINE

3.1. METODE ȘI APARATE DE DETERMINARE A PROPRIETĂȚILOR REOLOGICE ALE ALUATULUI DIN FĂINĂ DE GRÂU

Comportarea mecanică a aluatului poate fi studiată cu ajutorul metodelor și a aparatelor reologice.

Aluatul din făină de grâu prezintă următoarele proprietăți reologice: elasticitate, plasticitate, vâscozitate și timp de relaxare. Acestea influențează volumul și structura finală a produsului, elasticitatea cojii și a miezului, [105,147].

Metoda alveografică analizează rezistența la întindere a unei foi subțiri de aluat, umflată până la rupere cu ajutorul presiunii aerului, [36,174,175,210].

Metoda extensografică presupune măsurarea rezistenței la întindere a aluatului în formă cilindrică, după ce a fost dospit în condiții specifice (timp de 90 sau 135 minute), [176,204].

Rezultatele de la testul cu extensograful sunt utile în determinarea tăriei glutenului și estimarea caracteristicilor de panificație ale făinii. Pot fi evaluate, de asemenea, efectul timpului de fermentare și a aditivilor asupra performanței aluatului.

Reofermentometrul Chopin (fig.3.5) măsoară caracteristicile aluatului în timpul fermentării, prin măsurarea variației de presiune într-un volum cunoscut (fig. 3.6), [177,178].

Dispozitivul trasează un grafic al formării și retenției gazelor de către aluat, precum și un grafic al dezvoltării aluatului, (fig.3.7).



Fig. 3.5. Reofermentometrul Chopin, [196]

1-aparat; 2-camera de fermentare; 3-corpul pistonului; 4-bucată de aluat

3.2. CERCETĂRI PRIVIND INFLUENȚA UNOR COMPUȘI DIN REȚETA DE FABRICAȚIE A PÂINII ASUPRA PROCESULUI DE FERMENTARE FINALĂ

3.2.1. Influența tipului de drojdie folosită asupra procesului de fermentare finală

Voica D., în lucrarea [151] a studiat comportarea aluatului la fermentare folosind reofermentometrul Chopin. S-a monitorizat capacitatea aluatului de a produce și reține gaze de fermentare.

Conform rezultatelor obținute, într-un interval de 3 ore, atât producția de gaz, cât și retenția acestuia înregistrează valori mai mari în unitate de timp la procesul fermentativ cu drojdie comprimată.

3.2.2. Influența adaosului de fibre solubile și antioxidanți în aluat asupra procesului fermentativ

Datorită interesului tot mai crescut cu privire la aportul nutrițional al alimentelor și pentru că pâinea este un aliment de bază consumat în cantități ridicate, introducerea în produsele de panificație a fibrelor și antioxidanților a căpătat amploare în ultima perioadă, [67,135].

3.2.3. Influența adăugării sării asupra producției de dioxid de carbon

Luchian M și Canja C.M. (2010) au studiat efectul adăugării sării asupra producției de gaz în aluatul de pâine într-un proces fermentativ cu durată de 100 minute, folosind cantități diferite de soluție salină de 25% concentrație (0 %, 6 %, 12%, 20 %).

Conform rezultatelor obținute, dublarea procentului de sare adăugată în aluat, determină scăderea cu peste 30 % a producției de gaz în aceeași unitate de timp.

3.3. CERCETĂRI PRIVIND EVALUAREA PROCESULUI DE DOSPIRE A ALUATULUI DE PÂINE

3.3.1. Evaluarea producției de dioxid de carbon în aluat, folosind risograful

G.E Rattin și colaboratorii, (2009) au efectuat măsurători ale producției de dioxid de carbon în aluat, folosind dispozitivul Risograf. Recipientele sunt imersate într-o baie de apă a cărei temperatură este controlată.

Institutul de cercetare a drojdiei de panificație, VH Berlin, (Versuchsanstalt der Hefeindustrie) a testat un sistem experimental pentru determinarea capacității de fermentare a aluatului, ANKOM Gas Production System, folosind metoda SOP H 04, conform ISO/IEC 17025:2005, [179]. Rezultatele obținute au fost comparate cu cele obținute folosind fermentograful standard SJA și metoda Brabender. Principul fermentografului SJA este prezentat în figura 3.19.

Pentru efectuarea testelor, s-au folosit două rețete: una standard alcătuită din 300 g făină, 4.5 g sare, dizolvată în apă, 7.5 g drojdie proaspătă și una îmbogățită, la care s-au adăugat 45 g de sucroză, de asemenea dizolvată în apă.

Pentru efectuarea testelor individuale, s-au folosit mostre de aluat de 350g, iar pentru teste simultane s-au folosit porții de 100 g de aluat.

3.3.2. Monitorizarea procesului fermentativ al aluatului folosind metode diferite de măsurare

A. Ktenioudaki și colaboratorii (2009) au monitorizat densitatea dinamică a aluatului din făina de grâu în timpul fermentării finale, folosind trei metode de măsurare: înregistrarea schimbărilor în masa aparentă a bucății de aluat scufundată în ulei de silicon la 35 °C, monitorizarea procesului în condiții reale folosind tehnica iluminării structurate; evaluarea procesului de fermentare folosind reofermentometrul Chopin.

Aceste metode pot fi utilizate pentru evaluarea procesului de dospire a aluatului, însă tehnicile aplicate influențează într-o măsură rezultatele obținute, iar acest aspect trebuie luat în considerare la utilizarea metodelor prezentate, [49, 79, 136].

3.3.3. Utilizarea ultrasunetelor pentru studiul procesului de dospire a aluatului

Utilizarea ultrasunetelor și aplicarea metodelor prezentate constituie mecanisme viabile pentru analiza comportării aluatului în timpul procesului de fermentare, sub aspect reologic, structural și să conducă la identificarea unor metode mai eficiente de control al procesului de fabricație a pâinii.

3.3.4. Studiul procesului de dospire în termenii expansiunii bulei de gaz

Distribuția bulelor de gaz și modificările de stabilitate în decursul procesului de fabricație a pâinii sunt cauzate de două mecanisme fundamentale: *disproporționarea* și *coalescența* (contopirea). Pe măsură ce bulele de gaz se extind, are loc o diminuare a numărului total de bule de gaz, prin contopirea acestora, [159].

3.3.5. Modelarea matematică a dezvoltării bulelor individuale de dioxid de carbon în timpul procesului de dospire

Dezvoltarea bulelor de gaz în timpul procesului de dospire este influențată de patru factori: producția de dioxid de carbon facilitată de către conținutul de drojdie; retenția de gaz a aluatului; difuzia dioxidului de carbon din faza lichidă în bulele de gaz; rata de coalescență a bulelor.

Modelul matematic propus de Shah și colaboratorii descrie rata de dezvoltare, luând în considerare rata de transfer de masă în celulă, Q , în termenii efectului asupra numărului de moli ai gazului existent, n și deci, a dimensiunii bulei de gaz, [132]:

$$Q = \frac{dn}{dt} = f\left(\frac{dD}{dt}\right) \quad (3.7)$$

3.3.6. Studii privind creșterea de presiune în timpul procesului de dospire

Cea mai frecventă modalitate de evaluare a procesului fermentativ industrial este măsurarea debitului de dioxid de carbon care părăsește vasul (spațiul) de fermentare, [39,51].

Erfan Mohagheghian și colaboratorii (2015), în lucrarea [101], au dezvoltat un model matematic pentru determinarea factorului de compresibilitate a dioxidului de carbon, într-un program statistic (eng. least square support vector machine –LSSVM), folosind metoda celor mai mici pătrate (MCMMP).

În urma experimentelor s-au identificat 5 faze de tranziție a bucății de aluat, în timpul procesului fermentativ, sub aspectul variației de presiune măsurate, prezentate în fig. 3.36 și comparate cu determinările experimentale folosind alveograful și fermentometrul Chopin, în condiții similare.

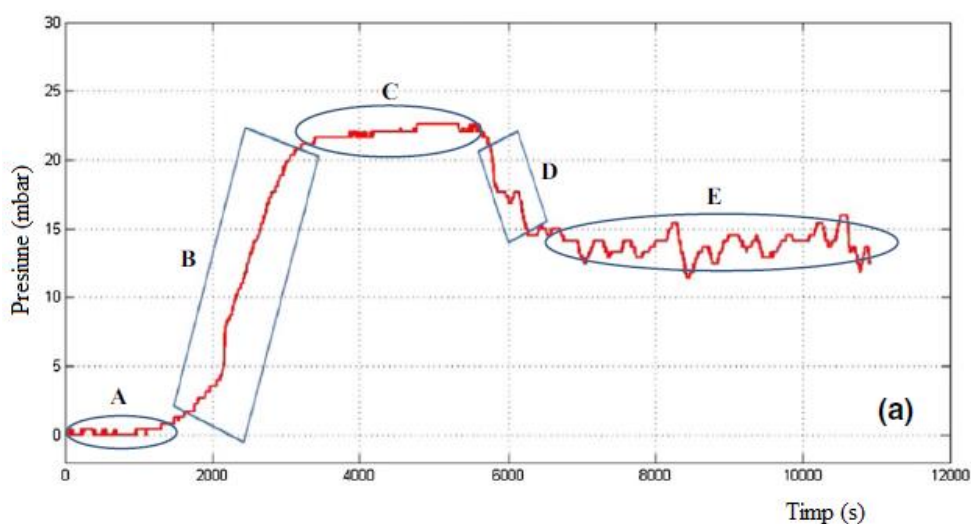


Fig. 3.36. Variația presiunii în timpul procesului de dospire: A. perioada de staționare; B. perioada de dezvoltare (producere gaz); C) perioada de stabilitate; D) perioada de cădere (pierdere gaz)

3.4. CONCLUZII

Abordări recente asupra studiului modificărilor structurale ale aluatului în timpul fermentării implică folosirea ultrasunetelor și a rezonanței magnetice.

Cel mai vizibil efect al fermentării este creșterea în volum a bucății de aluat, însă există modificări și ale proprietăților reologice și de curgere.

Volumul dorit al produselor de panificație fermentate este obținut doar dacă aluatul asigură condițiile necesare pentru înmulțirea drojdiei și desfășurarea procesului fermentativ din care rezultă dioxidul de carbon și, în același timp, posedă matricea glutenică capabilă de reținere maximă de gaz.

Moleculele de aer introduse în aluat în timpul frământării reprezintă bulele în care se acumulează dioxidul de carbon în procesul de fermentare, determinând expansiunea acestora.

Dioxidul de carbon în aluat difuzează din faza apoasă (unde este dizolvat) în celula de gaz, iar fenomenul nu necesită suprasaturarea fazei lichide a aluatului cu dioxid de carbon.

O diferență de +10 °C poate dubla viteza procesului fermentativ și a producției de gaz.

CAPITOLUL 4

ASPECTE ȘI CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND PROCESUL DE FERMENTARE FINALĂ A ALUATULUI DE PÂINE

4.1. APARATURA ȘI ECHIPAMENTUL DE LUCRU UTILIZATE PENTRU EFECTUAREA CERCETĂRIILOR TEORETICE

A) Construcția dospitorului cu 4 benzi, TCH, Technobit Automatizări, România

Acest model a fost utilizat atât în simularea tridimensională pentru analiza distribuției curenților de aer, cât și pentru determinarea consumului energetic la dospire. Dospitorul are o capacitate de 4000 buc x 0,36 kg/h, iar climatizarea aerului din dospitor poate asigura temperatura maximă de lucru – 40 °C și umiditatea relativă – 80 %. În funcție de stabilirea vitezei benzilor transportoare, în corelație cu cea a cuptorului, timpul de dospire poate varia între 60 și 90 minute.

B) Recuperatorul de energie

Linia de fabricat pâine de la firma ALX ROM, Rusănești, Olt are în componență un dospitor cu 4 benzi cu capacitate de 4000 buc x 0.36 kg/h, construit de firma Technobit Automatizari [195] și firma Biotehnologiceativ [55] din România și un cuptor de pâine care folosește peleți ca și combustibil și este construit de firma J4 din Cehia (fig. 4.3), [138].

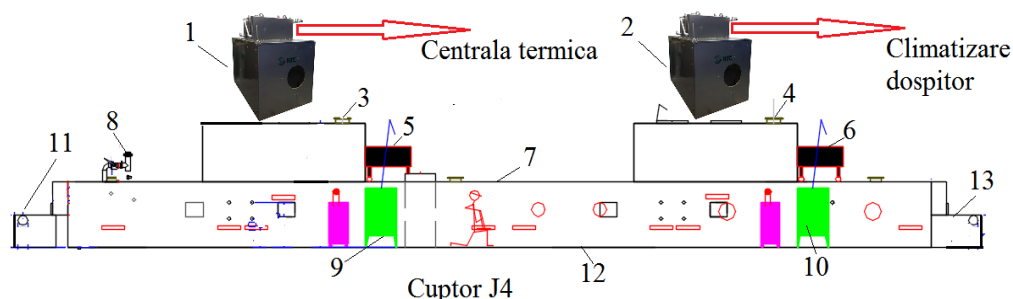


Fig. 4.3. Poziționarea recuperatoarelor la cuptorul J4 pe peleți

1. recuperator gaz-apă pentru zona 1 de coacere; 2. recuperator gaz-apă pentru zona 2 de coacere; 3. coș evacuare gaze arse zona 1; 4. coș evacuare gaze arse zona 2; 5. arzător pe peleți zona 1; 6. arzător pe peleți zona 2; 7. Operator; 8. alimentare cu abur; 9. rezervă peleți zona 1; 10. rezervă peleți zona 2

4.2. SIMULAREA CU METODA ELEMENTELOR FINITE A DISTRIBUȚIEI CURENȚILOR DE AER ÎNTR-UN DOSPITOR DE PÂINE

Doar în ultimul deceniu și jumătate, CFD a fost aplicat și în industria alimentară, [11].

Într-o primă etapă, s-a utilizat un program computațional de simulare tridimensională CFD ANSYS FLUENT, pentru un singur etaj în care se află bucățile de aluat, iar în cea de-a doua etapă modelul a fost aplicat la scară reală cu valorile determinate în prima etapă.

S-au aplicat apoi următoarele ipoteze cu ajutorul cărora modelul a fost rulat și în final a fost generat modelul discretizat: spațiul interior liber este plin cu aer, presiunea este constantă, ($p=101325$ Pa), aerul este introdus în incinta spațiului printr-o parte laterală (stânga) și este aspirat prin cealaltă parte laterală (dreapta). Simularea a fost rulată la 3 viteze ale aerului: 0,2, 0,4, respectiv 0,6 m/s, [70].

În a doua etapă de simulare s-a proiectat la scară reală un dospitor de pâine cu scopul de a analiza dacă se poate obține o distribuție uniformă a temperaturii aerului la viteza de 0.6 m/s, pe toate etajele dospitorului.

Dospitorul are o instalație de climatizare care folosește o centrală de tratare a aerului (1) dotată cu un ventilator de 2200 m³/h și o instalație de distribuție a aerului (fig. 4.10).

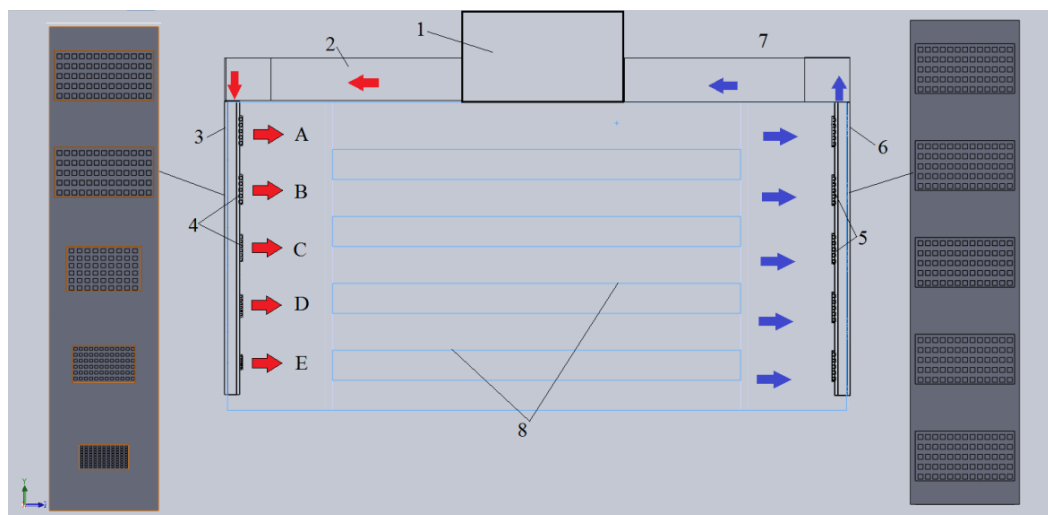


Fig. 4.10. Schema instalației de climatizare a dospitorului

1-centrala de tratare a aerului (CTA); 2-tubulatură exterioară de refulare a aerului; 3-tubulatură interioară de refulare a aerului; 4-grile de refulare a aerului; 5-grile de aspirație a aerului; 6-tubulatură interioară de aspirație a aerului; 7-tubulatură exterioară de aspirație a aerului; 8-etajele dospitorului cu benzi

Aerul este introdus printr-o parte a dospitorului, așa cum se poate observa în fig. 4.10 și este aspirat prin cealaltă parte, după ce trece printre etajele acestuia. Distribuitorul exterior de refulare (2) și cel de aspirație (7) au un diametru de 0.09 m², acestea fiind conectate la 12 distribuitoare interne de aer, pentru refulare (3), respectiv aspirație (6) dispuse pe lungimea dospitorului din 2 în 2 m. Fiecare distribuitor intern are 5 grile (4, 5), câte una pentru fiecare etaj și una pentru golul dintre ultima bandă și sol. Pe lungimea dospitorului nu au fost înregistrate diferențe ale vitezelor aerului refulat prin grile, [70].

Pentru identificarea unei soluții optime care să asigure viteze de refulare ale aerului în urma cărora bucățile de aluat nu sunt afectate din punct de vedere reologic și are loc o omogenizare a temperaturii în dospitor, s-au analizat următoarele variante: distribuția vitezelor aerului și a

temperaturii folosind grile de refulare de dimensiuni egale; distribuția vitezelor aerului și a temperaturii folosind dimensiuni diferite ale grilelor de refulare; influența modificărilor debitelor de aer prin modificarea frecvenței ventilatorului de la 20 la 70 Hz, din 10 în 10 Hz.

Pentru ca aluatul să fie cât mai puțin afectat de curenții de aer din interiorul dospitorului, de o foarte mare importanță este determinarea curenților minimi de aer la care temperatura recirculată este uniformizată în interiorul etajelor dospitorului (fig. 4.11).

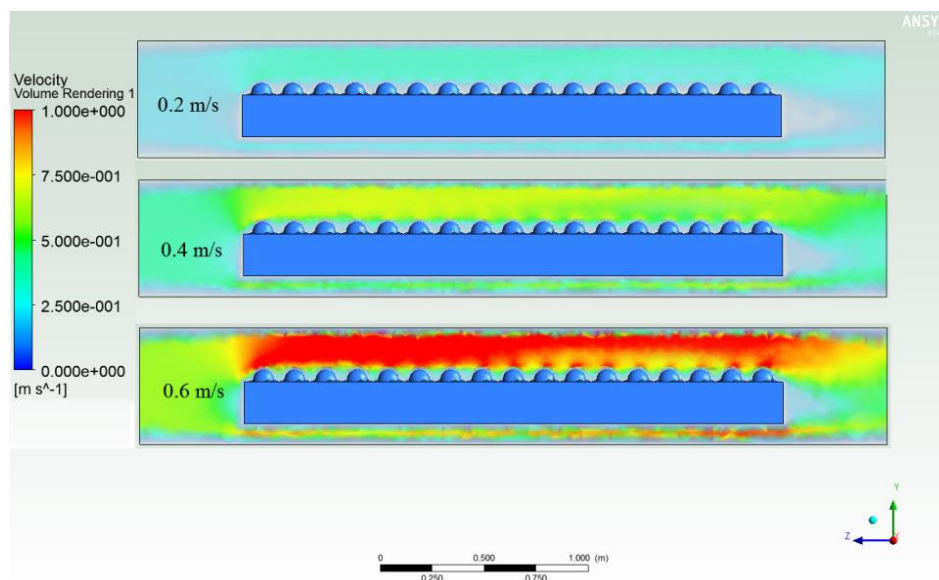


Fig. 4.11. Distribuția vitezei aerului în camera de dospire în funcție de debitul de aer introdus de ventilator în dospitor

Au fost efectuate teste de optimizare a curgerii aerului în incinta dospitorului prin modificarea secțiunilor de trecere a aerului refulat, în urma cărora s-au obținut rezultate îmbunătățite.

În primul caz, grilele de refulare au avut aceleași dimensiuni: $L=400$ mm și $l=200$ mm. Au fost efectuate simulări pentru 3 debite diferite de aer. Debitul de aer a fost modificat prin modificarea frecvenței ventilatorului. Grilele de aspirație au avut toate $L=400$ mm și $l=200$ mm. În anexele 3 și 4 se pot observa graficele generate de program, în simularea distribuției curenților de aer, folosind guri de refulare de dimensiuni egale.

În al doilea caz analizat, grilele de refulare au avut dimensiunile (de sus în jos): A- $L=400$ mm și $l=200$ mm; B- $L=400$ mm și $l=200$ mm; C- $L=300$ mm și $l=180$ mm; D- $L=250$ mm și $l=150$ mm, E- $L=200$ mm și $l=100$ mm, iar grilele de aspirație au avut dimensiuni egale: $L=400$ mm și $l=200$ mm. Au fost efectuate simulări pentru 4 debite diferite de aer. Debitul de aer introdus în dospitor a fost modificat prin modificarea frecvenței ventilatorului.

Deoarece viteza aerului nu atingea $0,6$ m/s în toată incinta dospitorului s-a încercat funcționarea cu ventilatorul la frecvențe de 50 Hz, 60 Hz și, respectiv, 70 Hz. Debitul de aer recirculat a crescut de la 2200 m³/h la 3950 m³/h. Debitul a fost determinat prin măsurare, cu ajutorul anemometrului Testo.

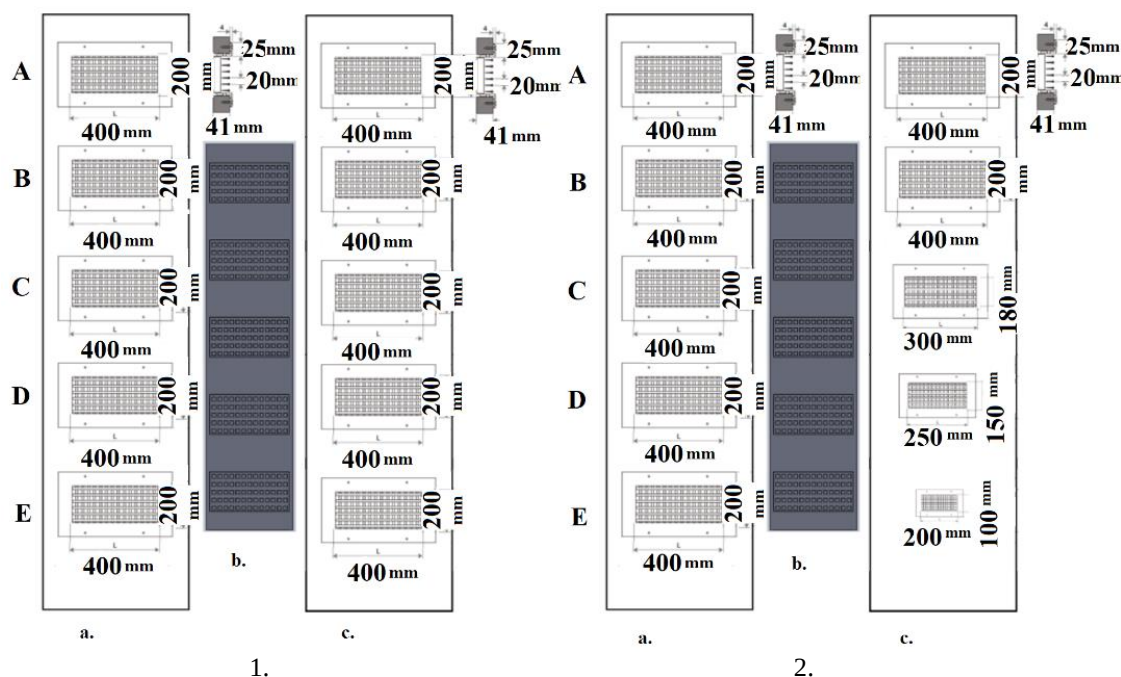


Fig. 4.13. 1.a.Primul caz: tubulatura interioară de aspirație, b. tubulatura interioară de refulare proiectată în Solid Works, c. tubulatura interioară de refulare; 2. Al doilea caz: a. tubulatura interioară de aspirație, b. tubulatura interioară de refulare proiectată în Solid Works, c. tubulatura interioară de refulare

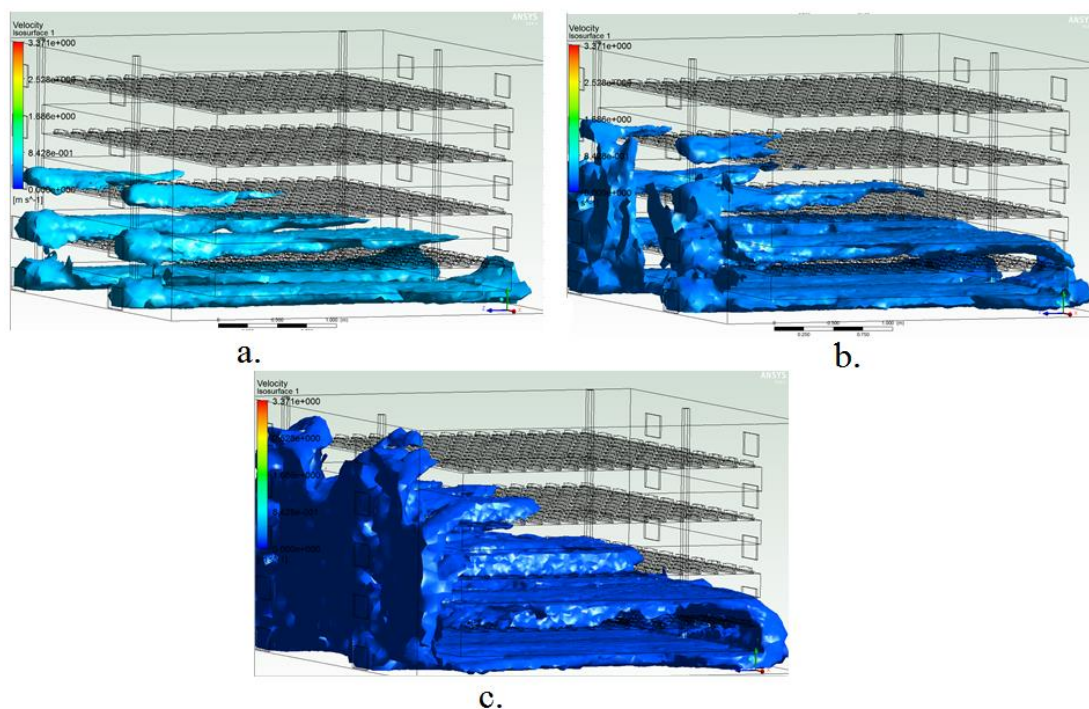


Fig. 4.14. Distribuția vitezelor aerului în punctele în care acesta atinge 0.6 m/s
a-simulare cu ventilatorul în funcționare la 50 Hz; b-simulare cu ventilatorul în funcționare la 60 Hz; c-simulare cu ventilatorul în funcționare la 70 Hz

La 50 Hz, ventilatorul recirculă un debit de aer de 2200 m³/h. Odată cu mărirea frecvenței ventilatorului se observă o creștere a vitezei curenților de aer în partea de jos a dospitorului, exemplificată prin culoarea albastră din fig. 4.14.

Au fost efectuate mai multe serii de încercări cu redimensionarea grilelor C, D și E, în vederea echilibrării presiunilor și implicit a fluxului de căldură vehiculat prin incinta dospitorului.

Pentru a verifica dacă viteza aerului în dospitor de 0,6 m/s și frecvența ventilatorului de 50 Hz sunt valori optime, s-au făcut simulări cu mai multe debite de aer recirculat în dospitor. S-a plecat de la un debit de 1650 m³/h și o frecvență de 20 Hz, până la un debit de 2200 m³/h și o frecvență de 50 Hz.

Prin modificarea grilelor s-a obținut o distribuție a aerului mult mai uniformă în tot dospitorul. Vitezele mai mari ale aerului au fost înregistrate tot la grilele C, D și E, dar datorită micșorării suprafeței prin care aerul este refulat, debitul de aer în partea de jos a dospitorului a fost înjumătățit și a crescut pe celelalte etaje.

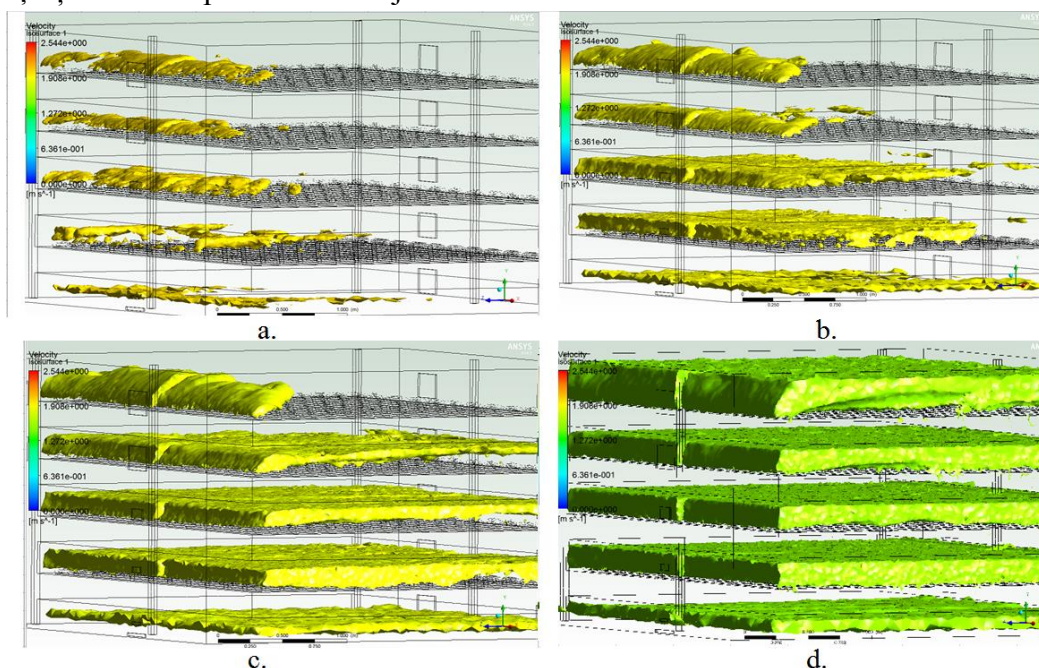


Fig. 4.17. Distribuția vitezelor aerului în punctele în care acesta atinge 0.6 m/s:
a-simulare cu ventilatorul în funcționare la 20 Hz; b-simulare cu ventilatorul în funcționare la 30 Hz; c-simulare cu ventilatorul în funcționare la 40 Hz; d-simulare cu ventilatorul în funcționare la 50 Hz

4.3. MODELAREA MATEMATICĂ A CONSUMULUI ENERGETIC LA DOSPIRE

În vederea analizării consumului energetic la dospirea aluatului în dospitoarele moderne din România, a fost dezvoltat un algoritm de calcul, folosind programul Mathcad, pentru un dospitor de pâine tunel cu 4 benzi, cu o capacitate de producție de 4000 buc x 360 g aluat/h. Au fost determinate: *fluxul de aer*, respectiv *umiditatea*, necesare pentru a ridica parametrii de temperatură cu 15 °C, respectiv umiditate, cu 20%; *fluxul de aer* necesar pentru a menține constantă temperatura setată în dospitor și pentru a încălzi structura dospitorului; de asemenea, au fost calculate pierderile de temperatură prin pereții dospitorului.

Relația de calcul a entalpiei (h), în funcție de umiditatea absolută a aerului (x) se scrie sub forma, [45,71,193]:

$$h = c_{pa}t + x(r_v + c_{pv}t), \text{ [kJ/kg aer uscat]}, \quad (4.5)$$

unde: căldura specifică a aerului uscat este $c_{pa}=1.004 \text{ kJ/kgK}$; căldura latentă de vaporizare a apei la temperatura de 0°C este $r_v=2500 \text{ kJ/kg}$; căldura specifică a vaporilor de apă supraîncălziți este $c_{pv}=1,863 \text{ kJ/kgK}$.

Pentru determinarea fluxului de căldură (kW), respectiv a fluxului de umiditate (kg/s), este necesară calcularea debitului masic de aer vehiculat de o instalație, $\dot{m}$, [kg/s], în starea termodinamică 2, [45,195]. Astfel, [71]:

$$\dot{Q}_{12} = \dot{m} \cdot \Delta h, [\text{W}], \quad (4.8)$$

$$\dot{G}_{12} = \dot{m} \cdot \Delta x, [\text{kg/s}] \quad (4.9)$$

Debitul de căldură necesar pentru a atinge starea termodinamică 2 pentru parametrul de 33°C este $\dot{Q}_{aer} = 15,85 \text{ kW}$. În mod analog calculat, debitul de umiditate $\dot{G}_{12} = 0,005 \text{ kg apă/s}$, adică 18 kg abur/h . Luând în considerare că un cazan de abur consumă 201 kW pentru a produce 300 kg abur/h , consumul de energie aferent ridicării umidității de la 55% la 75% într-o oră, este de $C_{abur}=12.06 \text{ kW}$.

Fluxul necesar de căldură pentru încălzirea structurii metalice a dospitorului, alături de pierderile prin pereți și pardoseală, sunt: $\dot{Q}_{dospitor} = 10,89 \text{ kW}$.

Fluxul total de căldură necesar pentru aducerea dospitorului în parametrii solicitați de temperatură și umiditate, alături de fluxul necesar pentru încălzirea structurii și luând în considerare pierderile inerente prin pereți și pardoseală, pentru prima oră de funcționare a liniei tehnologice, este: $\dot{Q}_{modul1} = 26,7 \text{ kW}$.

În mod analog, s-au efectuat determinări ale: fluxului de căldură necesar pentru a menține temperatura setată a aerului în dospitor, pentru un $\Delta t=4^\circ\text{C}$; menținerea temperaturii structurii, pentru un $\Delta t=2^\circ\text{C}$; menținerea valorii umidității, pentru un $\Delta \phi=5\%$. Finalmente, s-a determinat fluxul necesar pentru a ridica temperatura în miezul bucăților de aluat cu $\Delta t=6^\circ\text{C}$.

Astfel, s-au obținut următoarele rezultate: $\dot{Q}_{men\breve{t},aer} = 9,78 \text{ kW}$, $\dot{G}_{23} = 0,0035 \text{ kg/s}$, adică 12 kg abur/h , echivalent a $C_{abur2}=8 \text{ kW}$; $\dot{Q}_{men\breve{t},structur\breve{a}} = 2,625 \text{ kW}$. Pierderile de căldură prin pereți și pardoseală se mențin constante. Fluxul necesar de căldură pentru a menține parametrii în dospitor are valoarea, $\dot{Q}_{modul II} = 12,79 \text{ kW}$.

Fluxul de căldură se calculează în mod analog cu cel al determinării pierderilor de căldură. Parametrii stabiliți, sunt: masa aluatului, $m_{al}=1440 \text{ kg}$; temperatura bucății de aluat la intrarea în dospitor, $t_{ial}=27^\circ\text{C}$, respectiv de ieșire a bucății de aluat, $t_{fal}=33^\circ\text{C}$; timpul de dospire este $\tau=3600 \text{ s}$; căldura specifică medie a aluatului este $c_{al}=1,9 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$. Astfel, s-a determinat că pentru ridicarea temperaturii în miezul bucății de aluat, pentru 1440 kg , în decurs de 3600 s , cu un $\Delta t=6^\circ\text{C}$, este $\dot{Q}_{al} = 4,56 \text{ kW}$.

Așadar, pentru a menține parametrii de temperatură a aerului, respectiv a structurii și pentru a ridica temperatura în miezul bucăților de aluat cu 6°C , este necesar un flux de căldură, cu valoarea de $\dot{Q}_{total} = 17,354 \text{ kW}$, [71].

4.4. MODEL MATEMATIC PENTRU DETERMINAREA CANTITĂȚII DE DIOXID DE CARBON ELIMINAT ÎN TIMPUL PROCESULUI DE FERMENTARE ÎN LABORATOR

Modelul matematic propus pentru determinarea volumului specific de dioxid de carbon folosește variația de presiune în incintă închisă ermetic, în urma degajării dioxidului de carbon în

timpul procesului de dospire în condiții controlate. Pentru dezvoltarea modelului matematic, s-a pornit de la ecuația termică de stare a gazelor reale, în care se utilizează factorul de compresibilitate Z , dependent de presiune, temperatură și natura gazului.

Așadar, legea gazului real se poate scrie ca, [1]:

$$pV = ZnRT \quad (4.18)$$

Pentru a calcula volumul specific de dioxid de carbon din transformarea presiunii formate în reactor s-a folosit ecuația:

$$V_{CO_2} = \frac{P_{CO_2} \cdot V_g \cdot M_{CO_2}}{RT} * 1/Z \quad (4.24)$$

În fig. 4.19 este prezentată analiza comparativă a volumului specific de dioxid de carbon calculat pentru aluaturile din făina FA₁-650, respectiv FI-1850, fermentate la 40 °C, folosind ecuația gazelor ideale (valorile necorectate), respectiv cu adăugarea în calcul a factorului de compresibilitate, Z .

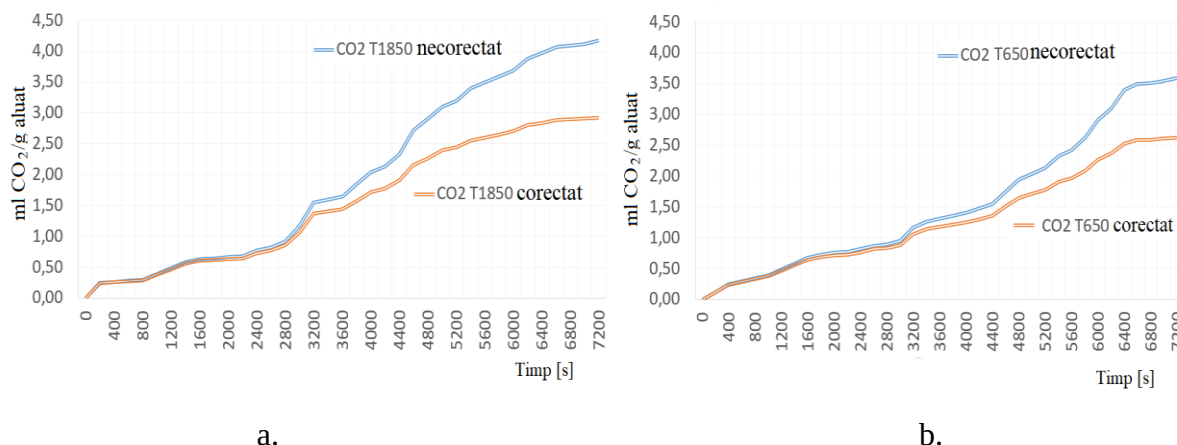


Fig. 4.19. Analiza comparativă a volumelor de dioxid de carbon calculate la folosirea făinurilor FA₁-650, respectiv FI-1850, în procesul fermentativ la 40°C, cu și fără introducerea factorului de compresibilitate, Z , [73]

Volumul specific de dioxid de carbon calculat în cele 7200 s folosind doar ecuația gazelor ideale a dat un rezultat de 4,17 ml CO₂/g aluat pentru făina FI-1850, respectiv 3,59 ml CO₂/g aluat pentru făina FA₁-650. Valorile calculate folosind și factorul de compresibilitate au fost de 2,92 ml CO₂/g aluat pentru făina FI-1850, respectiv 2,62 ml CO₂/g aluat pentru făina FA₁-650, [73].

4.5. MODELAREA MATEMATICĂ A CONSUMULUI ENERGETIC LA DOSPIRE FOLOSIND TEOREMA II

Pentru modelarea matematică a consumului de energie la dospire a fost aplicată teoria analizei dimensionale. Din teoria analizei dimensionale a fost aplicată teorema π , enunțată de către Buckingham, [139]. Conform acestei teoreme *numărul de criterii independente din funcția criterială este dat de diferența $n-r$, unde n este numărul variabilelor și constantelor dimensionale, iar r este rangul matricei dimensionale, care este egal cu numărul mărimilor fundamentale în*

funcție de care se pot exprima variabilele luate în analiză. Numărul mărimilor fundamentale este relativ restrâns și depinde de complexitatea fenomenului.

Din cercetările teoretice și experimentale ale procesului de dospire, au fost considerați în studiu un număr de 7 parametri principali care influențează procesul de dospire:

- energia consumată la dospire, E ($\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$);
- timpul de dospire, t (s);
- masa aluatului, m (kg);
- densitatea aluatului, ρ (kg/m^3);
- înălțimea bucăților de aluat, h (m);
- viteza benzii transportoare a dospitorului, v_b (m/s);
- volumul de CO_2 acumulat în aluat, V_{CO_2} (m^3);
- umiditatea relativă a mediului de dospire, u_r (kg abur/kg aluat);

O variantă mai simplificată a relației este:

$$E^{a-1} = k^* \cdot \rho^a \cdot V_{\text{CO}_2}^{a-\frac{1}{2}b-\frac{1}{3}c} \cdot v_b^{2a+b-2} \cdot t^b \cdot h^c \cdot u_r^d \cdot m^{-1} \quad (4.77)$$

Notând:

$$\alpha = a - \frac{1}{2}b - \frac{1}{3}c ; \beta = 2a + b - 2 \quad (4.78)$$

Se obține:

$$E^{a-1} = k^* \cdot \rho^a \cdot V_{\text{CO}_2}^\alpha \cdot v_b^\beta \cdot t^b \cdot h^c \cdot u_r^d \cdot m^{-1} \quad (4.79)$$

4.6. CONCLUZII

Simularea numerică tridimensională a permis analiza distribuției curenților de aer în dospitorul tip tunel cu 4 etaje sub aspectul determinării vitezei necesare a aerului și dimensionarea corectă a grilelor de refulare pentru a asigura o distribuție cât mai uniformă a temperaturii pe toate etajele dospitorului.

Programul de simulare numerică poate fi folosit la proiectarea unor instalații de climatizare mai eficiente, deoarece se pot vizualiza imediat efecte asupra transportului energetic în dospitor atunci când se modifică: tubulaturi, geometrie dospitor, secțiuni de refulare, etc.

Variația de presiune în recipient închis poate fi utilizată pentru evaluarea procesului fermentativ și calcularea cantității de dioxid de carbon produse, folosind legea gazelor ideale și factorul de compresibilitate, Z .

Cu ajutorul acestui reactor se poate analiza interdependența între producția de dioxid de carbon din timpul procesului fermentativ a aluatului și presiunea, temperatura, umiditatea la care este supus acesta, studiu care poate reprezenta precursorul modelării matematice a unui proces fermentativ la scară industrială.

Calcularea consumului energetic la dospire în cele trei etape a relevat necesarul orar de energie pentru obținerea produselor dospite de panificație. Algoritmul de calcul prezentat pentru determinarea consumului energetic la dospire cu privire la asigurarea parametrilor de temperatură și umiditate relativă, poate fi utilizat pentru toate tipurile de dospitoare existente, prin înlocuirea parametrilor inițiali necesari rulării algoritmului în programul Mathcad.

CAPITOLUL 5

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESUL DE DOSPIRE A ALUATULUI DE PÂINE

5.1. OBIECTIVELE CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE

Obiectivul general al acestei teze de doctorat este dezvoltarea și implementarea unei instalații de control automat al regimului de lucru al dospitoarelor de aluat, *folosind concentrația de dioxid de carbon degajată în incinta acestora pentru controlul procesului de fermentare finală a bucăților de aluat.*

Dintre obiectivele specifice, se pot menționa:

- identificarea valorilor optime ale concentrației de CO₂ degajat în timpul procesului fermentativ pentru sortimentele de pâine fabricate;
- identificarea valorilor optime ale parametrilor de temperatură și umiditate relativă pentru fermentarea fiecărui sortiment de pâine fabricat pe o linie tehnologică existentă;
- creșterea stabilității întregului proces fermentativ prin asigurarea unui program individual de fermentare, specific sortimentului vizat;
- monitorizarea procesului de fermentare printr-un program adecvat asistat de calculator.

5.2. APARATURA ȘI ECHIPAMENTELE UTILIZATE ÎN DETERMINĂRILE EXPERIMENTALE ÎN LABORATOR

Determinările experimentale au fost efectuate atât în laboratorul propriu, dezvoltat împreună cu firma Mg Biotech (București, România), cât și în fabricile de panificație Panifcom, - Iași și ALX-ROM, - Rusănești, Olt.

5.3. METODICA DETERMINĂRILOR EXPERIMENTALE PENTRU CERCETĂRILE EFECTUATE ÎN LABORATOR

Schema de lucru pentru obținerea datelor experimentale în laborator este ilustrată în figura 5.8.

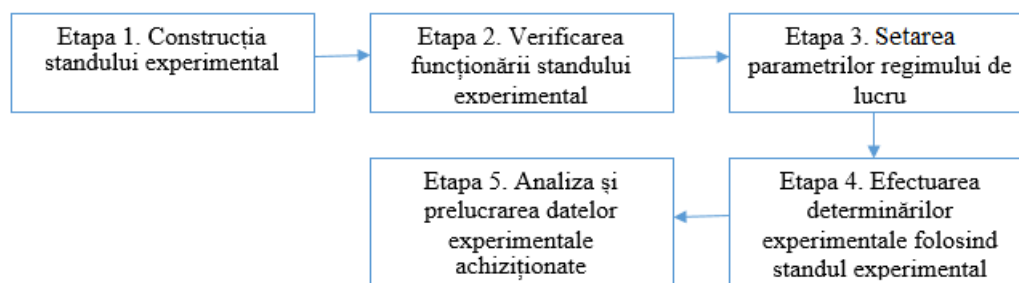


Fig. 5.8. Etapele de obținere a datelor experimentale folosind standul experimental

5.3.1. Metodica experimentelor efectuate în laborator, folosind variația de presiune

Prin determinările experimentale efectuate la diferite temperaturi și cu diferite tipuri de făină *s-a urmărit posibilitatea dezvoltării unei metode de analiză a procesului fermentativ în condiții controlate.*

S-au efectuat două seturi de experimente:

- a) măsurarea presiunii în recipientul etanș în care a fost introdusă o bucată de aluat cu rețetă standard (făină, apă, sare, drojdie), ca urmare a procesului fermentativ;
- b) măsurarea concentrației de dioxid de carbon degajate în timpul procesului fermentativ, în aceleași condiții, cu ajutorul unui dispozitiv dedicat.

Rolul analizei procesului fermentativ folosind standul experimental din fig. 5.9 a fost acela de a stabili posibilitatea corelării presiunii măsurate în reactor cu cantitatea de dioxid de carbon produsă de bucata de aluat supusă experimentului, în anumite condiții controlate de temperatură și umiditate.

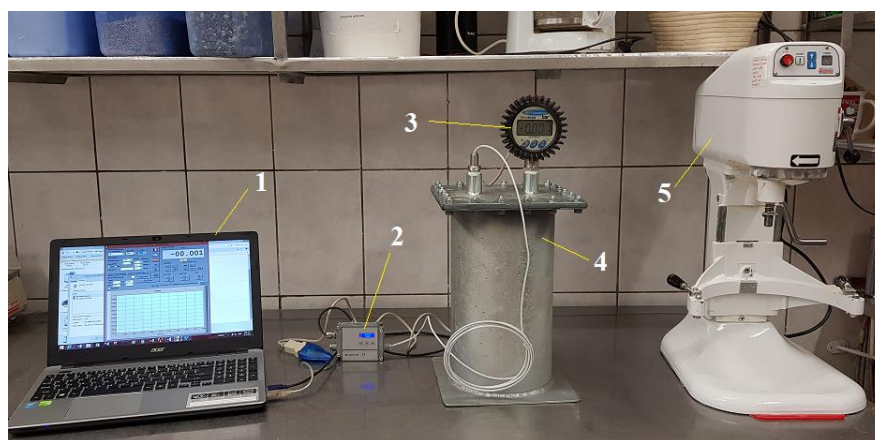


Fig. 5.9. Stand experimental pentru studiul procesului fermentativ al aluatului

1. laptop; 2. aparat de măsură cu infraroșu și înregistrarea temperaturii; 3. aparat de măsură și înregistrare a presiunii; 4. recipient cilindric; 5. malaxor

5.3.2. Metodica experimentelor efectuate în laborator folosind concentrația de dioxid de carbon

Evaluarea procesului fermentativ al aluatului din făină de grâu sub aspectul concentrației de dioxid de carbon a fost efectuat și la scară redusă, folosind cuptorul Miwe Aeromat cu capacitatea de 10 tăvi, de dimensiuni 400 x 600 mm, cu dospitor și panou integrat de comandă pentru temperatură și umiditate. Măsurătorile de dioxid de carbon au fost efectuate cu dispozitivul Trotec CO₂ BZ25, (Trotec, Anglia). Temperatura și umiditatea relativă de lucru au fost monitorizate suplimentar, folosind un termo-higrometru verificat metrologic. Echipamentul este prezentat în fig. 5.11, [72].

Fiecare experiment de dospire a fost efectuat pentru 3600 secunde, la temperatură controlată, timp în care dispozitivul de măsurare a CO₂ a înregistrat valorile concentrației din camera de dospire din 10 în 10 secunde. Mai întâi a fost măsurată concentrația de dioxid de carbon fără încărcarea dospitorului. La fiecare experiment, concentrația inițială măsurată a fost de 586 ppm.

De asemenea, s-au determinat dimensiunile produselor finite obținute, imediat după coacere și volumul acestora, folosind metoda Fornet, conform STAS 91-83, la 4 ore după coacere.

5.4. APARATURA ȘI ECHIPAMENTELE UTILIZATE ÎN EXPERIMENTELE DIN FABRICA DE PÂINE

Determinările experimentale din fabrica de pâine Panifcom, Iași, România, au fost efectuate în martie - iunie 2020 folosind dospitoarele din dotarea fabricii (un dospitor tip spirală, Tecnopool, Italia, două dospitoare cu plăci, Werner Pfleiderer, Germania). De asemenea, au fost utilizate diverse echipamente de măsură și control, precum și instalația de condiționare a aerului, proiectată și realizată de autor pentru aplicarea metodei "MACDA", împreună cu firma Mg Biotech.

5.4.1. Dospitoarele utilizate pentru efectuarea determinărilor experimentale în fabrică

A fost analizat procesul fermentativ al aluatului în două dospitoare Werner de același tip, dar cu capacități diferite de fermentare, 2500 buc/h, respectiv 3750 buc/h. Diferența de capacitate este dată de numărul de plăci. Pe fiecare placă încap câte 24 de bucăți de aluat de 0,300-0,565 kg.

A) Dospitorul Tecnopool (Italia), (fig.5.12), de tip spirală, are o capacitate de 2500 buc x 0,300-0,500 kg/buc de aluat / h, iar timpul de fermentare este de 60 minute.

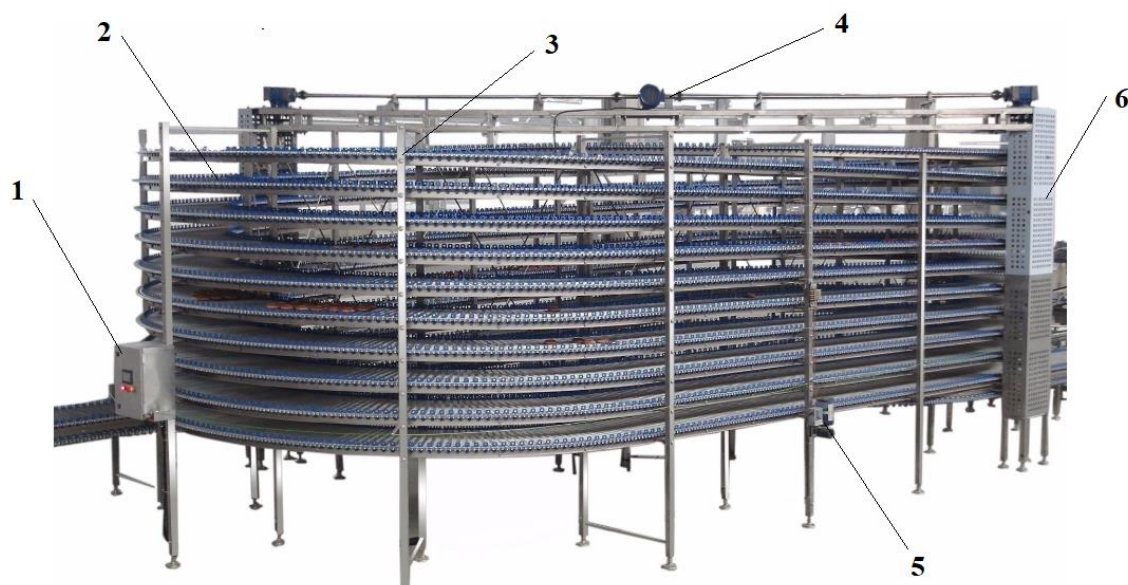


Fig. 5.12. Dospitor de tip spirală, Tecnopool, [183]

1. tablou de comandă; 2. bandă transportoare; 3. cadru; 4. transmisie pe orizontală; 5. sistem de ungere a lanțului benzii; 6. transmisie pe verticală

B) Dospitorul cu plăci Werner Pfleiderer, Germania, [215] prezintă capacități de lucru diferite, în funcție de model.



Fig.5.15. Dospitor cu plăci Werner Pfleiderer, [215]

1. incintă de dospire; 2. ecran tactil de vizualizare a parametrilor dospitorului; 3. tablou de comandă; 4. modelator pentru aluat cu formă lungă

Sistem specific pentru controlul concentrației de dioxid de carbon în dospitoare

Experimentele pentru determinarea posibilității de control automat al procesului de fermentare a aluatului au fost efectuate cu o instalație de condiționare a aerului, care este de concepție originală și care face obiectului brevetului de invenție nr. 133450 din data 27/11/2020, acordat de OSIM România, [108].

În fig. 5.17 și 5.18 sunt prezentate schematic părțile componente ale instalației și sistemul logic de funcționare.

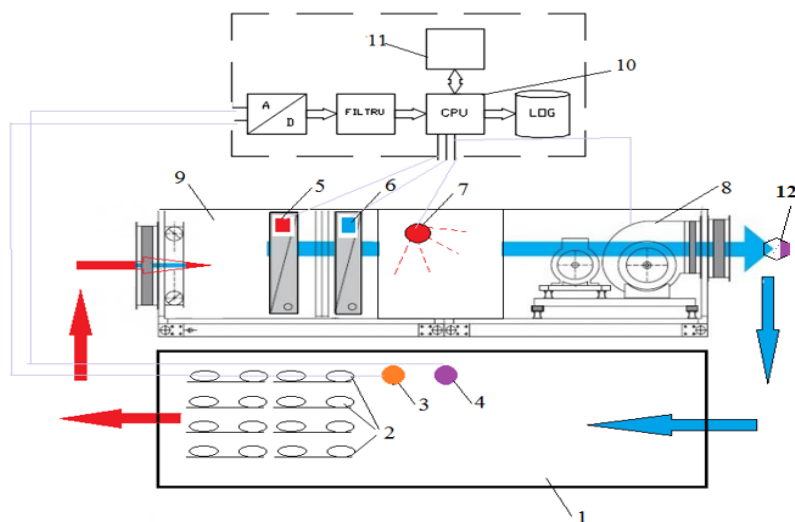


Fig. 5.18. Părțile componente ale sistemului de climatizare pentru controlul concentrației de dioxid de carbon în dospitoarele de aluat, [74]

1. cameră izolată a dospitorului; 2. bucăți de aluat; 3. senzor de temperatură; 4. senzor de umiditate; 5. schimbător de căldură pentru apă caldă; 6. schimbător de căldură pentru apă rece; 7. senzor de măsurare a dioxidului de carbon; 8. ventilator; 9. centrală de tratare a aerului; 10. PLC; 11. ecran tactil; 12. umidificator

Sistemul se referă la o metodă de control al procesului de dospire a aluatului de pâine (reglarea nivelului de fermentare a bucăților de aluat) în dospitoarele industriale cu flux continuu, prin modificarea temperaturii și umidității relative în funcție de concentrația de CO₂ măsurată. Pentru a corela nivelul de fermentare a bucăților de aluat (cu ajutorul dimensiunilor și a texturii exterioare), metoda folosește un senzor de CO₂ (7) care se află în tubulatura de evacuare a aerului din dospitor cu scopul de a obține o valoare medie a concentrației de dioxid de carbon din interiorul dospitorului. Totodată, sunt modificate automat și valorile de temperatură și umiditate relativă până la o valoare medie setată în programul de lucru.

A) Instalația de climatizare pentru controlul concentrației de dioxid de carbon în dospitoarele de aluat

Traductoarele sunt echipamente periferice care au rolul de a prelua semnale electrice și a transmite către un PLC mărimile măsurate. Sistemul utilizează următoarele tipuri de traductoare:

Senzorul de CO₂ SACO₂, (Siemens, Germania, fig. 5.19)

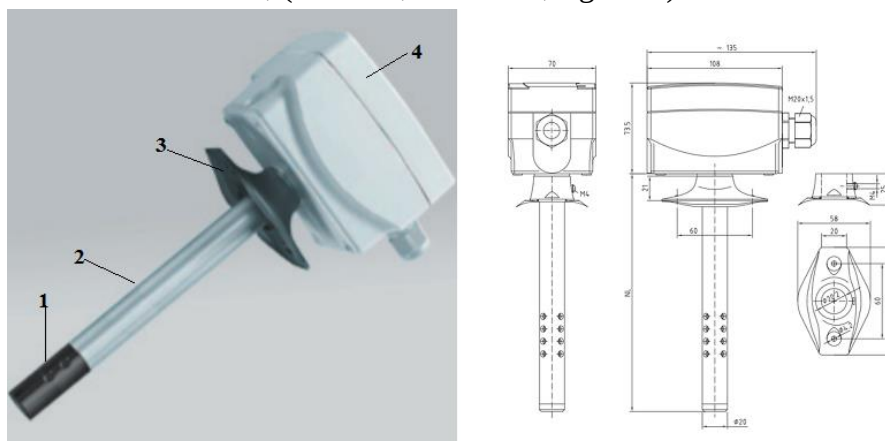


Fig. 5.19. Senzorul de CO₂ SACO2, (Siemens, Germania), [224,225]

1. senzorul de măsurare a concentrației de CO₂ din aerul recirculat în dospitor; 2. tija traductorului care se montează în tubulatură; 3. element de etanșare; 4. carcasa componentelor electronice care transmit datele măsurate în timp real

Senzorul de temperatură și umiditate relativă Siemens QFM 2171, Germania (fig. 5.20).

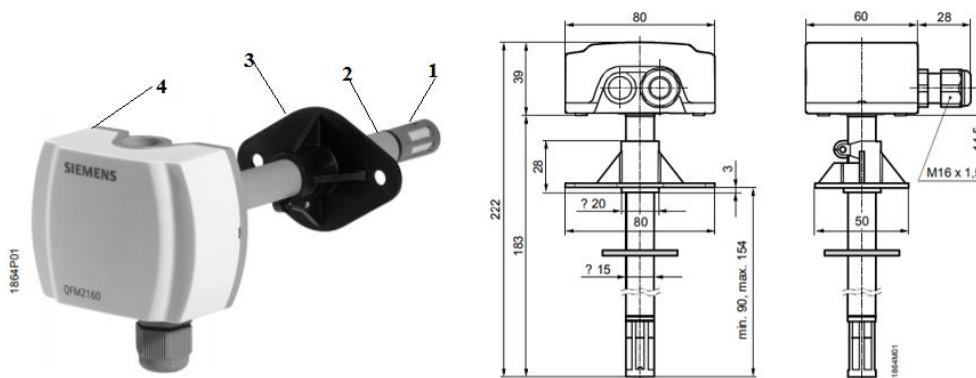


Fig. 5.20. Senzorul de temperatură și umiditate relativă Siemens QFM 2171, Germania, [226]

1. traductor de temperatură și umiditate din aerul recirculat în dospitor; 2. tija traductorului care se montează în tubulatură; 3. element de etansare; 4. carcasa componentelor electronice

Pentru a controla temperatura și umiditatea relativă din interiorul dospitorului se folosește o centrală de tratare a aerului. Centrala de tratare a aerului (CTA), montată pe dospitoarele analizate, care încălzește, răcește, filtrează și umidifică aerul este construită de firma Biotehlogicreativ, [214].

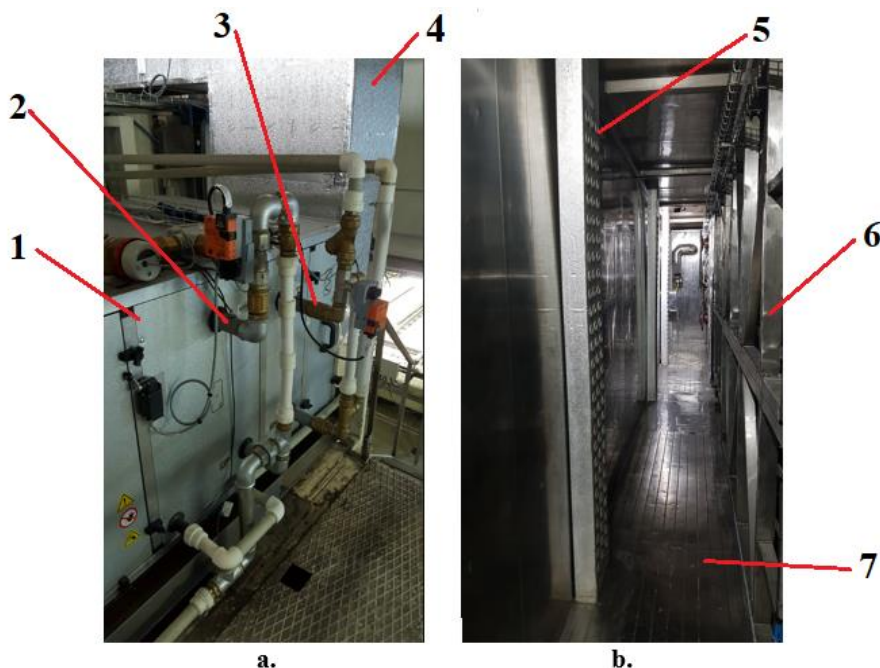


Fig. 5.25. Elemente constructive ale instalației de climatizare

- a. alimentarea cu apă caldă și rece a CTA; b. tubulatura internă a dospitorului:
1. centrală de tratare a aerului (CTA);
 2. schimbător de căldură pentru apă caldă;
 3. schimbător de căldură pentru apă rece;
 4. tubulatură de aspirație a aerului din dospitor;
 5. tubulatură de refulare a aerului în interiorul dospitorului;
 6. cadru;
 7. interior cameră de fermentare

B) Descrierea procesului de control al concentrației de dioxid de carbon în dospitor

În figura 5.29 este prezentată interfața principală din tabloul de comandă al instalației, care afișează următoarele sub-meniuri și parametri:

1. Buton de selecție regim manual (28) sau automat (1). În regimul manual operatorul setează temperatura și umiditatea în secțiunea programelor de lucru și instalația asigură acești parametri, prin interfața tactilă a unității de comandă a instalației de climatizare.



Fig. 5.29. Ecranul de comandă a instalației de control dinamic al fermentării aluatului

În regimul automat operatorul setează valoarea concentrației de dioxid de carbon degajat în dospitor în timpul procesului de fermentare, corelată cu volumul dorit al produsului vizat. În funcție de această valoare, instalația modifică dinamic valorile de lucru ale parametrilor de temperatură și umiditate relativă.

2. Butonul de OFF/ON oprește sau pornește instalația; atunci când instalația funcționează, ventilatorul (24) de pe ecran este intermitent;

3. Temperatura măsurată în dospitor pentru nivelul inferior; senzorul de temperatură care este montat pe tavanul primului etaj de dospire transmite panoului de comandă valoarea măsurată, iar aceasta este afișată pe ecranul tactil în timp real;

4. Temperatura măsurată în dospitor pentru nivelul intermediar; valorile de temperatură măsurate de senzorul montat pe acest nivel sunt de comandă;

5. Temperatura măsurată în dospitor pentru nivelul superior; senzorul de temperatură montat pe tavanul ultimului etaj de dospire transmite valoarea măsurată în timp real;

6. Temperatura setată din operarea manuală;

7. Umiditatea relativă setată din operarea manuală;

8. Umiditatea relativă măsurată în dospitor pentru nivelul superior;

9. Umiditatea relativă măsurată în dospitor pentru nivelul intermediar; valorile măsurate ale umidității relative de pe acest nivel sunt de comandă;

10. Umiditatea relativă măsurată în dospitor pentru nivelul superior;

11. Concentrația de dioxid de carbon măsurată în dospitor;

12. Concentrația de dioxid de carbon stabilită pentru un anumit program de lucru;

13. Comanda pentru electrovalva de apă caldă;

14. Comanda pentru electrovalva de apă rece;

15. Comanda pentru electrovalva de abur;

16. Meniul Home (interfața de bază) (fig. 5.29)

17. Tasta Back (înapoi);

18. Istoric de alarme;

19. Alarme active;

20. Diagrame de temperaturi, umidități și dioxid de carbon pentru ultimele 2 ore de funcționare a dospitorului (figura 5.30);

21. Meniul de creare și memorare programe de lucru;

22. Setare oră și dată;

23. Setări de bază ale instalației; această funcție este parolată;

24. Iconița care indică funcționarea instalației atunci când ventilatorul este intermitent;

25. Numele programului de lucru;

26. Numărul programului de lucru;

27. Frecvența la care funcționează ventilatorul;

28. Iconița care arată starea de funcționare a instalației;

Valorile temperaturilor, umidităților relative și a dioxidului de carbon sunt înregistrate din secundă în secundă și stocate pe un card extern.

În fig. 5.32 este prezentat un model de program de lucru. Când valoarea de dioxid de carbon măsurată ajunge la 1500 ppm, cererea de răcire a sistemului este 100% și cea de încălzire - 0%. Când valoarea de dioxid de carbon măsurată ajunge la 1100 ppm, cererea de răcire a sistemului

Sistem de măsurare și control în timp real al parametrilor regimului de lucru al dospitoarelor de aluat este 0% și cea de încălzire - 100%. Când valoarea de dioxid de carbon măsurată ajunge la 1300 ppm, atât cererea de răcire a sistemului, cât și cea de încălzire este de 50%.

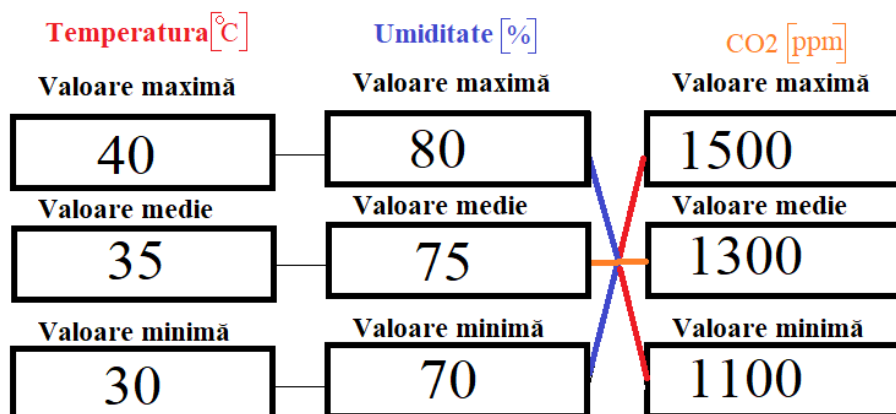


Fig. 5.32. Exemplu de program de lucru

5.4.3. Metodica experimentelor folosind instalația de climatizare pentru controlul concentrației de CO₂ în dospitorul de pâine

Schema de lucru pentru obținerea datelor experimentale folosind instalația de dospire pentru aplicarea metodei MACDA este prezentată în figura 5.33.

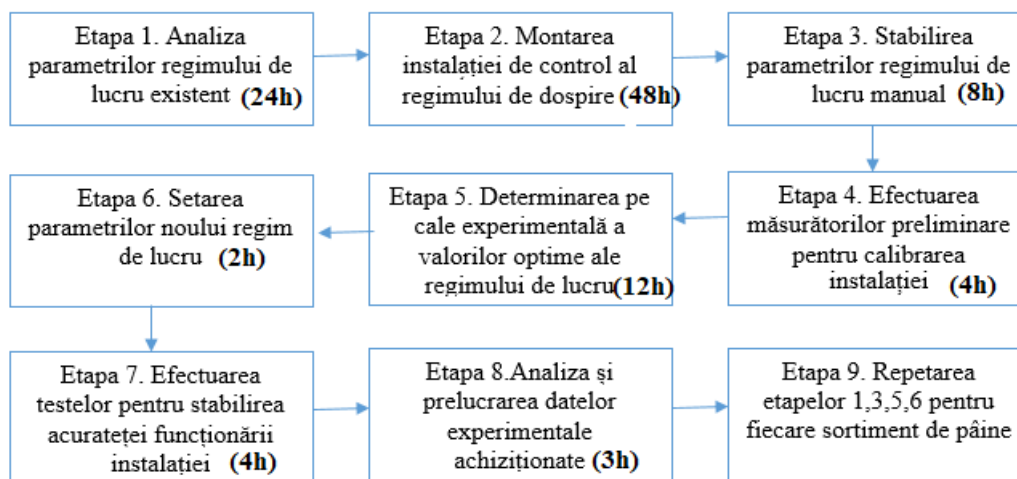


Fig. 5.33. Etapele implementării instalației de control al parametrilor regimului de lucru la dospire

5.5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE CU PRIVIRE LA PROCESUL DE DOSPIRE A ALUATULUI DE PÂINE

5.5.1. Cercetări de laborator folosind variația presiunii în incintă închisă

Studiul prezintă analiza comparativă între diagramele de presiune și cele de variație a dioxidului de carbon degajat, obținute după măsurarea a două procese fermentative efectuate cu

aluaturi din făinuri de grâu cu extracție diferită, tip FA 650, respectiv FI 1850 (grâu întreg). Măsurătorile efectuate au fost utilizate pentru verificarea unui model matematic pentru determinarea cantității de dioxid de carbon produse în timpul fermentării, folosind creșterea de presiune într-un recipient cu închidere etanșă (reactor), prezentat în cap.4.

Din figura 5.35 se poate observa, că odată cu creșterea cantității de aluat crește proporțional și presiunea finală la care se oprește experimentul în secunda 7200. Stabilirea timpului de probă, de 7200 s, a avut la bază timpul de fermentare finală practicat de sistemele industriale, care variază între 40 și 120 minute.

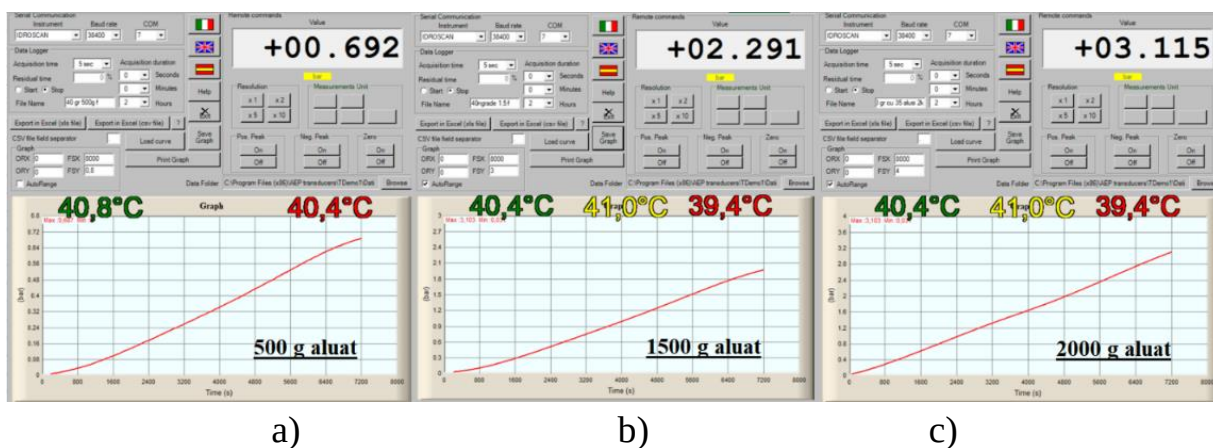


Fig. 5.35. Variația presiunii în reactor pentru trei cantități de aluat diferite
a-500 g aluat 5s; b-1500 g aluat; c-2000 g aluat

Testele următoare au fost efectuate cu o cantitate de 2000 g de aluat pentru a obține un răspuns amplificat al rezultatelor, dar la finalul experimentelor s-a folosit o masă de 350 g de aluat pentru standardizare, deoarece aceasta corespunde cu masa de aluat divizată în mod uzual în fabricile de panificație pentru sortimentul de pâine albă tip franzelă.

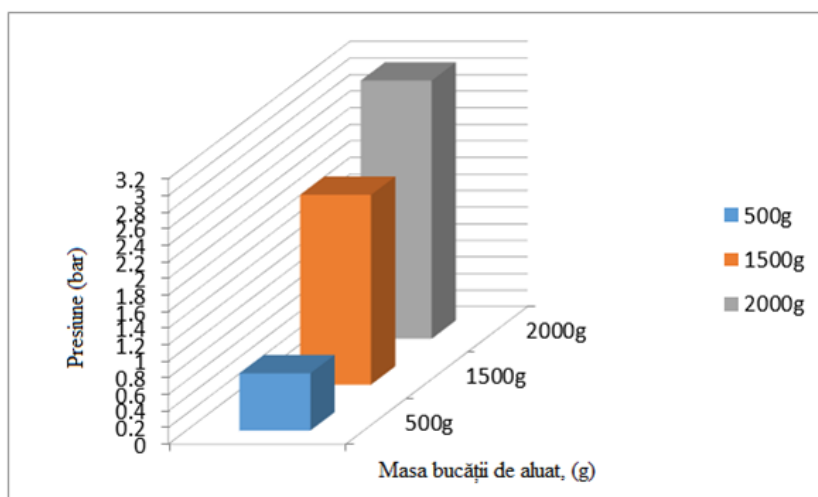


Fig. 5.36. Presiunea în incinta experimentală pentru cantități de aluat diferite

Un alt set de teste efectuate au avut ca rol determinarea presiunii în incintă pentru mai multe loturi de făină tip FA-650, de la mori diferite (fig. 5.37). Aluaturile au fost efectuate în

Sistem de măsurare și control în timp real al parametrilor regimului de lucru al dospitoarelor de aluat

aceleași condiții și s-au folosit: făină tip 650 (FA_1 650) - moara ILSA, tip 650 (FA_2 650) - moara Hora și făină tip 650 (FA_3 650) - moara Gusturi Românești; caracteristicile fizico-chimice ale acestor făinuri se pot observa în tabelul 5.1.

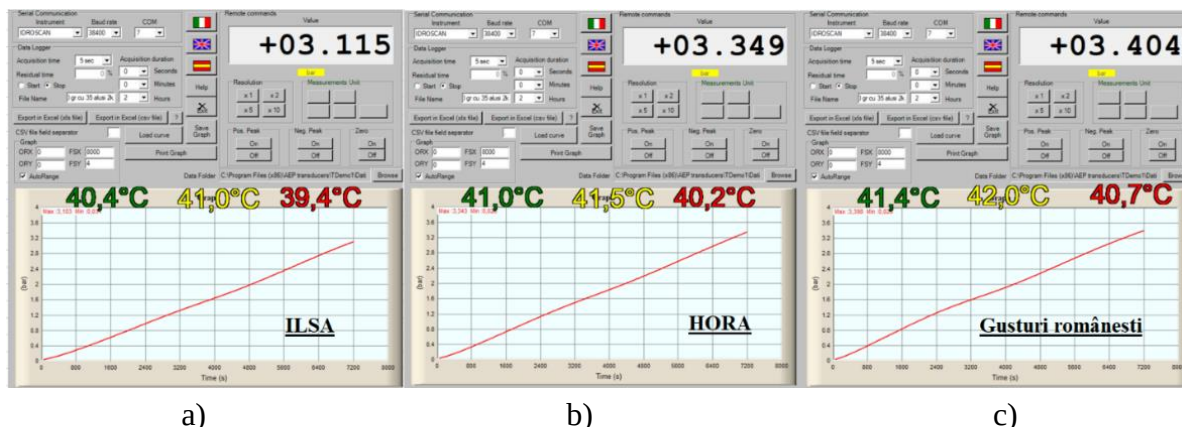


Fig. 5.37. Presiunea în reactor pentru trei sortimente de făină tip FA-650
a-Făină ILSA ; b-Făină Hora ; c-Făină Gusturi Românești

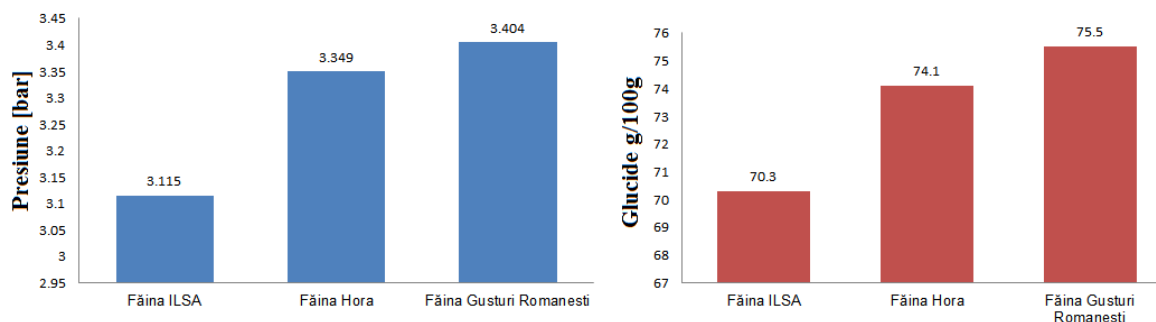


Fig. 5.38. Presiunea în reactor și variația cantității de glucide pentru făină FA-650 de la mori diferite

A fost, de asemenea, analizată variația de presiune datorată utilizării făinurilor de extracție diferită, respectiv: făină tip FA-650 de la moara ILSA și tip FI-1850, de la moara 7Spice (fig. 5.39).

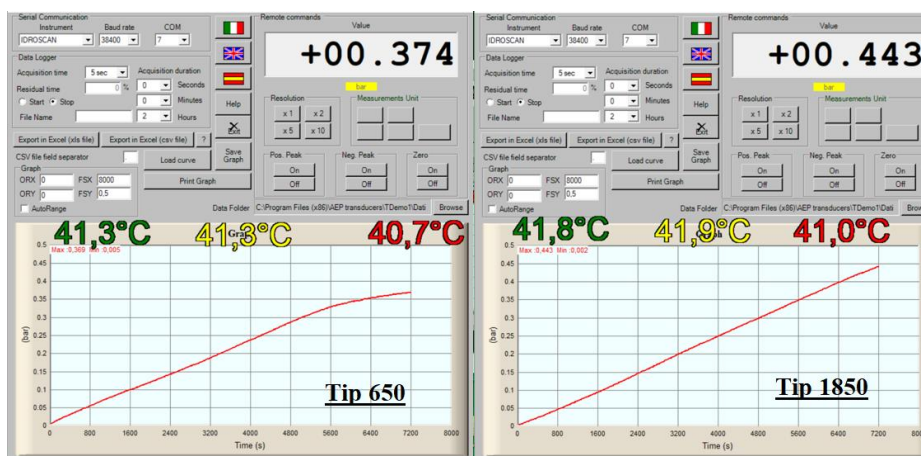


Fig. 5.39. Presiunea în reactor la utilizarea făinurilor de extracție diferită: stânga-tip 650; dreapta-tip 1850 (conținut de cenușă)

5.5.2. Evaluarea concentrației de dioxid de carbon degajată de aluatul de pâine în timpul procesului de dospire la scară redusă

Acest subcapitol prezintă analiza procesului de dospire a aluatului din făină de grâu, cu scopul de a stabili o corelație între concentrația de dioxid de carbon (ppm) degajată și parametrii regimului de lucru (timp și temperatură).

Pentru stabilirea nivelului de fermentare în corelație cu concentrația de dioxid de carbon eliberată în timpul procesului fermentativ și cu temperatura de lucru, au fost măsurate dimensiunile pâinilor (lungime, lățime, înălțime) obținute după fiecare experiment și comparate cu cele din STAS 91/1983 pentru pâinea albă de 300 g (lungime – 28-30 cm, lățime – 10-11 cm, înălțime – 7-8 cm).

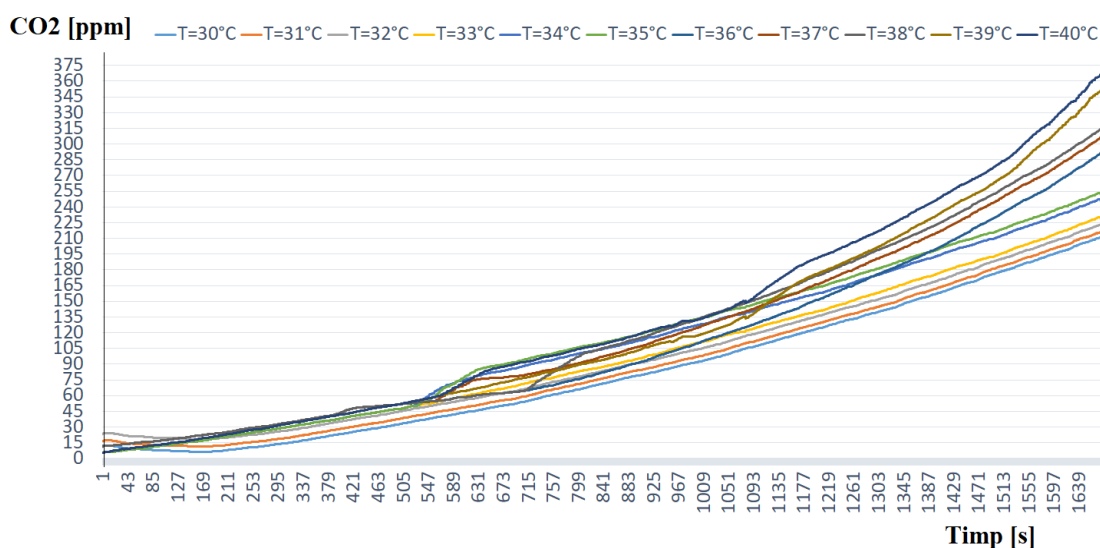


Fig. 5.41. Valorile de CO₂ înregistrate în timpul procesului de dospire pentru o bucată de aluat la 11 temperaturi diferite (din grad în grad), [72]

Analizând graficele din fig. 5.41, se poate observa că pentru intervalul de 30 -33 °C, curbele de dezvoltare a dioxidului de carbon sunt exponentiale iar diferența pentru intervale de 1 °C nu depășește 6 ppm la finalul procesului de dospire.

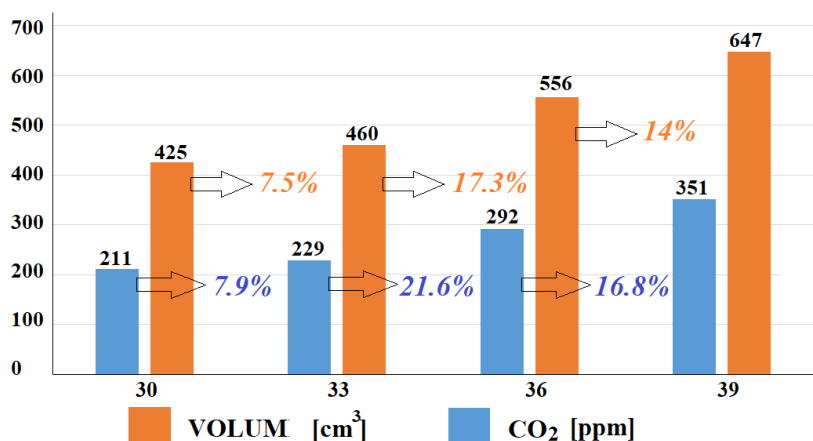


Fig. 5.43. Valorile comparative ale volumului pâinilor și concentrației de CO₂ înregistrate pentru 4 procese de dospire

În figura 5.42 sunt prezentate diferențele dintre valorile finale ale concentrației de dioxid de carbon înregistrate în timpul determinărilor, la finalul procesului de dospire (3600 s).

Luând în considerare rezultatele obținute în prima etapă a experimentelor, au fost stabilite valorile relevante ale temperaturilor de dospire pentru desfășurarea cercetărilor experimentale din a doua parte: 30°C, 33°C, 36°C și 39°C. În figura 5.43 sunt prezentate valorile comparative ale concentrației de dioxid de carbon degajată în timpul procesului de dospire și volumul pâinilor obținute, precum și diferența (în procente) dintre valorile succesive ale volumului pâinilor, respectiv concentrației de CO₂.

Se poate observa că există o corespondență între valorile de CO₂ și volumul pâinilor. Astfel, la 33 °C, comparativ cu 30°C, concentrația de CO₂ degajat și volumul pâinilor obținute cresc cu 7,9 %, respectiv 7,5 %. La 36°C, concentrația de CO₂ crește cu 21,6 %, iar volumul pâinii cu 17,3 %. De la 36°C la 39°C, creșterea în volum se reduce la 14 %, iar concentrația de CO₂ la 16,8 %.

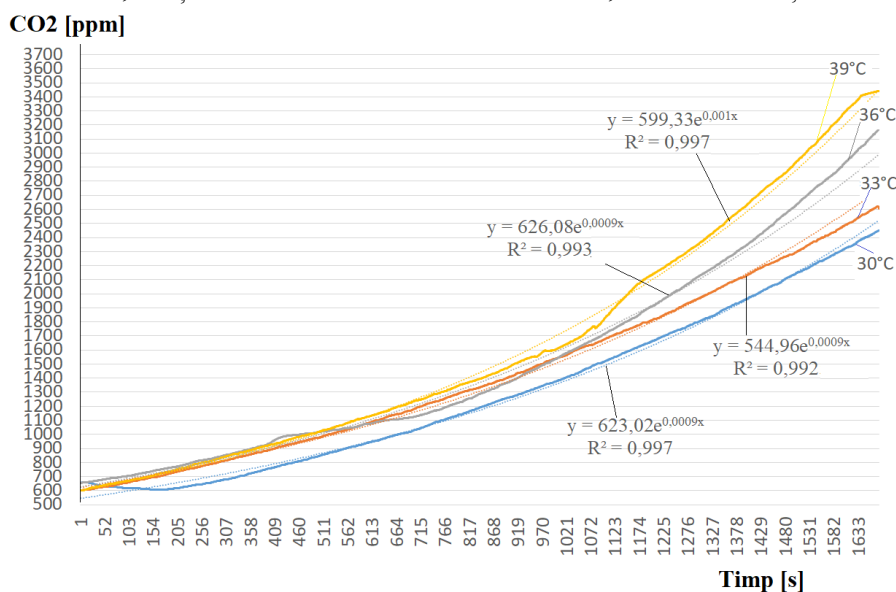


Fig. 5.44. Variația CO₂ degajat pentru 9 bucăți de aluat la 4 temperaturi de dospire diferite, [72]

Deși cel mai mare volum al bucății de aluat s-a obținut pentru aluatul fermentat la 39 °C, se poate observa în tabelul 5.19 că dimensiunile produsului nu corespund cu standardul de calitate (lungime – 28-30 cm, lățime – 10-11 cm, înălțime – 7-8 cm, conform STAS 91/1983). Luând în considerare acest aspect, cea mai bună dezvoltare a aluatului, în corelație cu concentrația de CO₂ a fost înregistrată la temperatura de dospire de 36 °C, [72].

5.5.3. Cercetări experimentale în fabrică privind dezvoltarea unei metode pentru controlul parametrilor de dospire a aluatului de pâine

Determinările experimentale au fost efectuate în cadrul fabricii de pâine Panifcom, Iași, în perioada mai 2018 – iunie 2019.

A) Determinări experimentale folosind dospitorul Werner (cu panacoadă)

După montarea instalației de climatizare dinamică a dospitorului și verificarea funcționalității din punct de vedere tehnic, s-a trecut la analiza regimului de lucru al dospitorului liniei Werner, cu capacitatea de 3750 buc/h. În figura 5.46 se poate observa variația concentrației de dioxid de carbon degajată în dospitor de la începerea măsurărilor, pentru un ciclu de 90

Sistem de măsurare și control în timp real al parametrilor regimului de lucru al dospitoarelor de aluat minute, dospitorul având o capacitate nominală de încărcare cu 2069 kg aluat (graficul corespunde datelor de la Anexa 11).

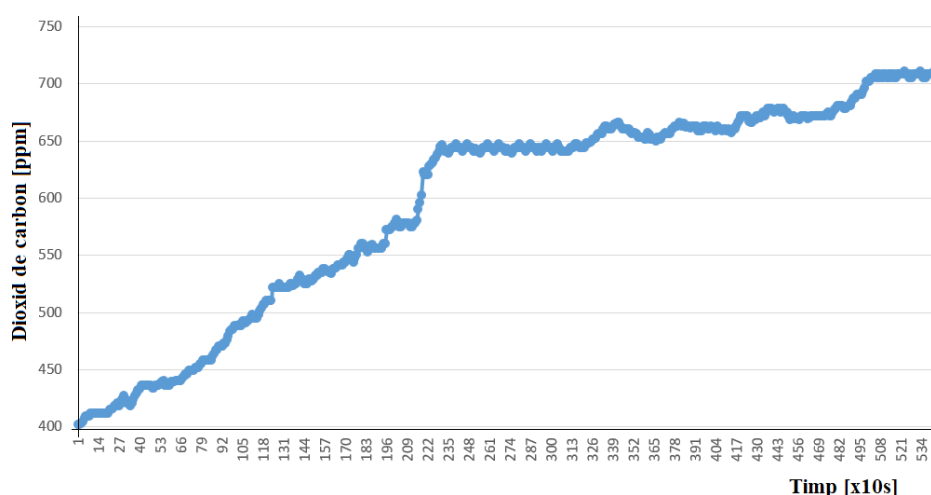


Fig. 5.46. Variația dioxidului de carbon degajat pentru primele 90 minute de funcționare ale dospitorului Werner, cu controlul climatizării în modul manual

Variațiile de temperatură înregistrate în centrul bucăților de aluat au o medie de 0,4 °C, ce poate duce la diferențe de până la 6% în volumul produselor finite (Anexa 11).

B) Determinări experimentale folosind dospitorul Tibiletti (cu panacode)

Parametrii regimului de lucru practicați de producător în dospitorul discontinuu cu panacode, **afereți liniei Tibiletti** sunt: temperatura - 35°C, umiditatea relativă - 75%, timpul de dospire - 60 minute.

În figura 5.48 se poate observa variația concentrației de dioxid de carbon degajată în dospitor de la începerea măsurărilor, pentru un ciclu de 60 minute, dospitorul fiind încărcat cu aproximativ 887 kg aluat.

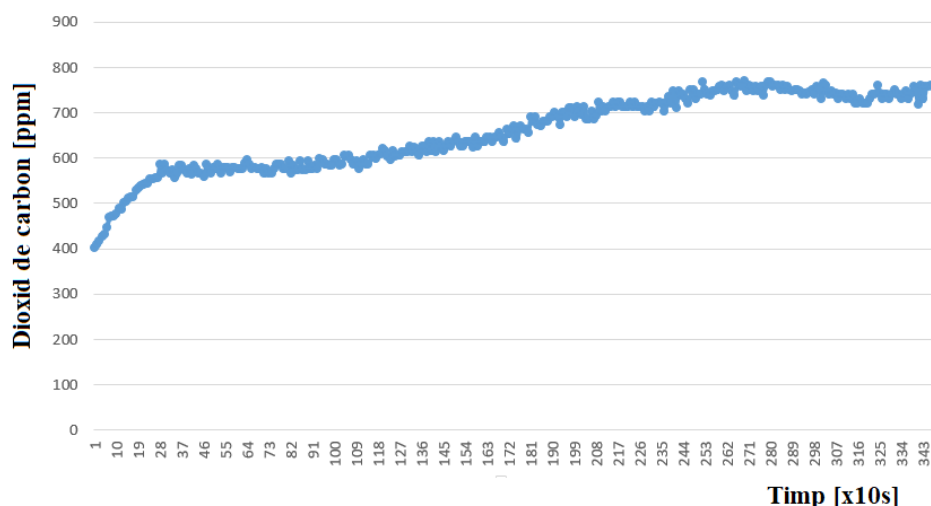


Fig. 5.48. Variația CO₂ degajat pentru primele 60 minute de funcționare ale dospitorului Tibiletti, în modul manual

Analizând figura 5.48, se poate observa că valoarea concentrației de dioxid de carbon ajunge după încărcarea dospitorului cu aluat, la valori în jurul a 770 ppm.

C) Determinări experimentale folosind dospitorul continuu Tecnopool

Parametrii regimului de lucru practicați de producător în **dospitorul continuu tip spirală**, Tecnopool, sunt: temperatura - 33 °C, umiditatea relativă - 74%, timpul de dospire - 60 minute. Dospitorul este adus în parametri înainte de introducerea bucăților de aluat, cu aproximativ 30 minute.

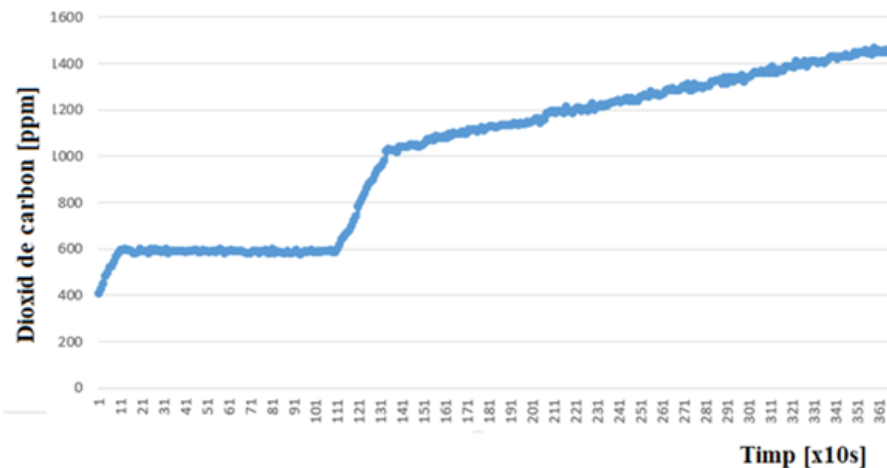


Fig. 5.50. Variația concentrației de dioxid de carbon pentru primele 60 minute de funcționare ale dospitorului Tecnopool în modul manual

5.5.4. Analiza comparativă a funcționării dospitorului Tibiletti cu instalație convențională de climatizare și cu instalație de climatizare dinamică

A fost efectuată analiza variației parametrilor de lucru la dospitorul cu panacode de tip Werner Pfleiderer, aferent liniei Tibiletti, înainte și după optimizarea acestuia prin montarea climatizării bazate pe măsurarea cantității de dioxid de carbon degajată în timpul procesului fermentativ.

În figura 5.53 este prezentată variația temperaturii și umidității în interiorul dospitorului, la nivelul bucăților de aluat. Se constată că temperatura variază în limitele 28 – 36 °C, și umiditatea între 48 – 80 %.

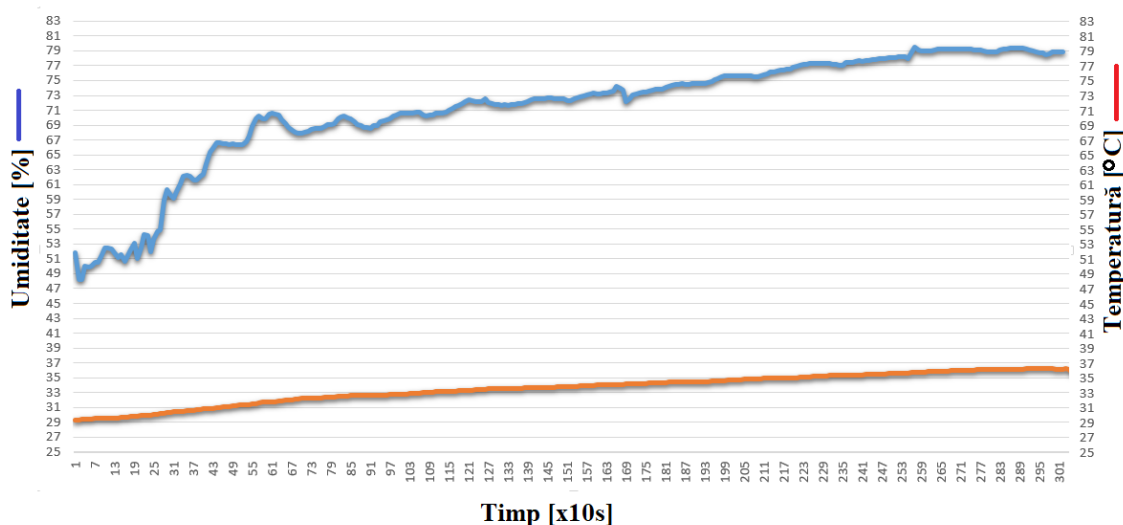


Fig. 5.53. Variația temperaturii și umidității în interiorul dospitorului pe parcursul procesului de fermentare, la funcționarea cu climatizare convențională, [74]

După montarea noii instalații de climatizare care folosește degajarea de dioxid de carbon în controlul procesului de dospire, și a senzorilor de temperatură (3 buc), umiditate (3 buc) și dioxid de carbon (1 buc), precum și conectarea tabloului de comandă la pompele de apă caldă, respectiv rece și la electrovalva de abur și ventilator, în programul de lucru s-a introdus valoarea concentrației de dioxid de carbon dorită pentru fermentarea produsului "Pâine albă de 300 g", precum și temperatura și umiditatea relativă de referință (concentrație CO_2 - 750 ppm, temperatură - 35°C , umiditate relativă - 75 %).

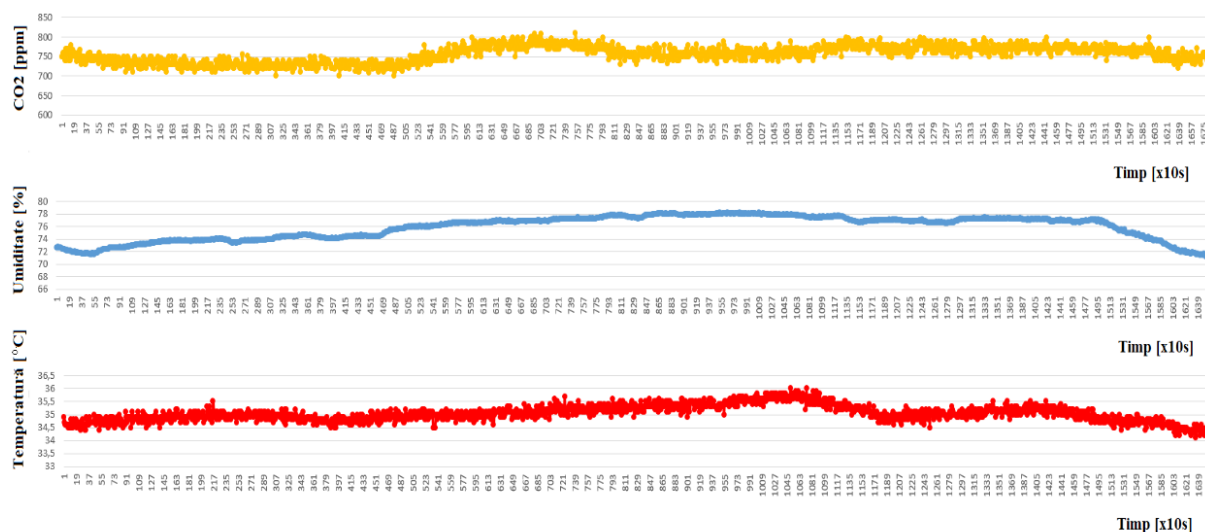


Fig. 5.55. Variația temperaturii, umidității și concentrației de dioxid de carbon la funcționarea dospitorului cu instalația de climatizare cu control dinamic, [74]

Din figura 5.55 se poate observa o uniformizare mai bună a valorilor de temperatură și umiditate pe tot parcursul timpului de dospire, ceea ce asigură un proces fermentativ constant pe toată durata sa și implicit o variație mult mai mică a volumului produselor finite obținute după coacere. Variația între minim și maxim a temperaturii a fost de sub 1°C și a umidității de maxim 3%, iar variația cantității de dioxid de carbon nu depășește valoarea de 100 ppm, [74].

În figurile 5.56, respectiv 5.57 este prezentată variația volumului produselor finite, atât pentru dospitorul cu climatizare convențională, cât și pentru cel cu instalația de climatizare cu control automat al procesului de dospire.

În figura 5.56a este prezentată deviația de la standardul de volum pentru fiecare volum mediu al produselor obținute la dospitorul cu climatizare convențională. Se poate observa că cea mai mare abatere de la standardul de calitate a fost de $+35\text{ cm}^3/100\text{g}$ și cea mai mică a fost de $-35\text{ cm}^3/100\text{g}$. În figura 5.56b, se pot observa diferențele de volum ale produselor obținute la aceeași oră, în zile diferite, înregistrându-se diferențe chiar și de 12 %, la aceeași rețetă de fabricație și aceeași parametri de reglaj.

În figura 5.57a, este prezentată deviația de la standardul de volum pentru fiecare volum mediu al produselor obținute pentru dospitorul cu climatizare cu control automat al procesului de dospire. Cea mai mare abatere de volum de la standardul de calitate a fost de $+3\text{ cm}^3/100\text{g}$ și cea

mai mică a fost de $-10 \text{ cm}^3/100\text{g}$. În figura 5.57b, sunt prezentate diferențele de volum ale produselor obținute la aceeași oră, în zile diferite.

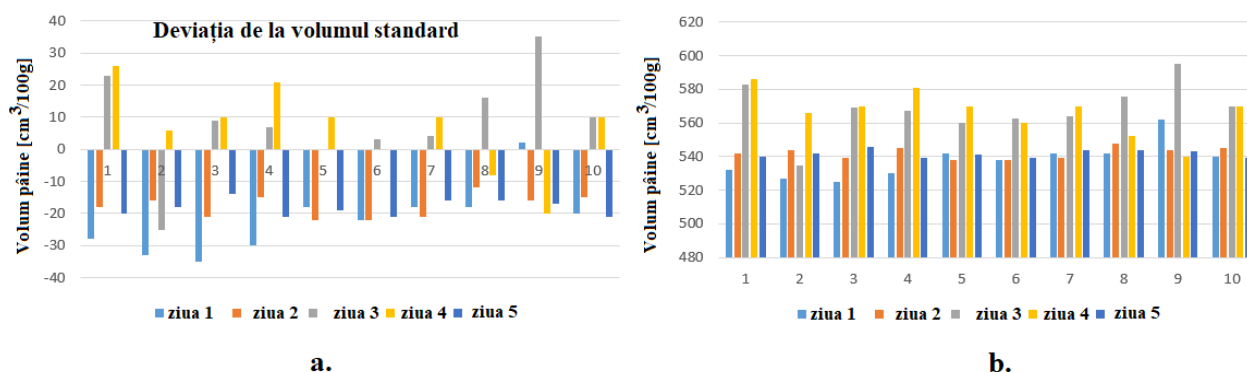


Fig. 5.56. Variația volumului pâinilor obținute pentru dospitorul cu climatizare convențională
a. variația volumului pâinilor pe o perioadă de 5 zile obținute cu o instalație de climatizare convențională a unui dospitor; b. volumul pâinilor aferente, monitorizat pe o perioadă de 5 zile

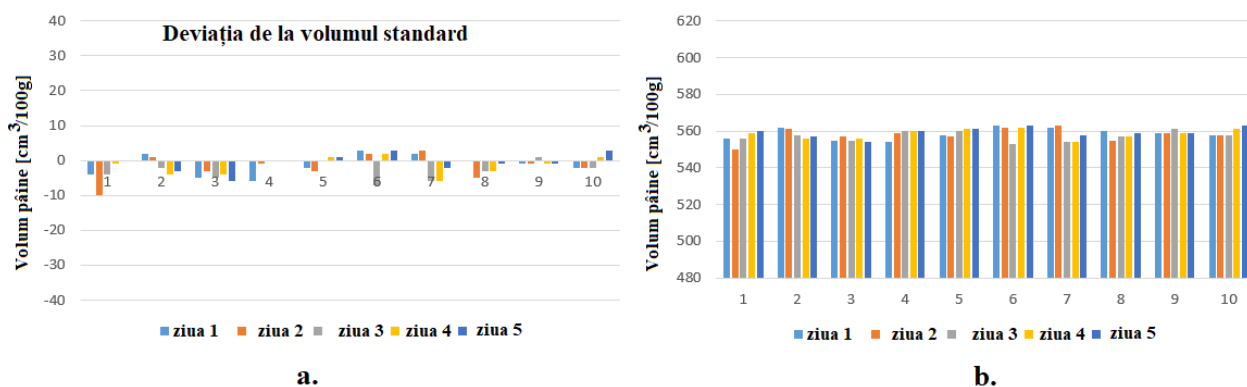


Fig. 5.57. Variația volumului pâinilor obținute pentru dospitorul cu climatizare controlată automat
a. variația volumului pâinilor pe o perioadă de 5 zile obținute cu instalația de climatizare dinamică a dospitorului; b. volumul pâinilor aferente, monitorizat pe o perioadă de 5 zile

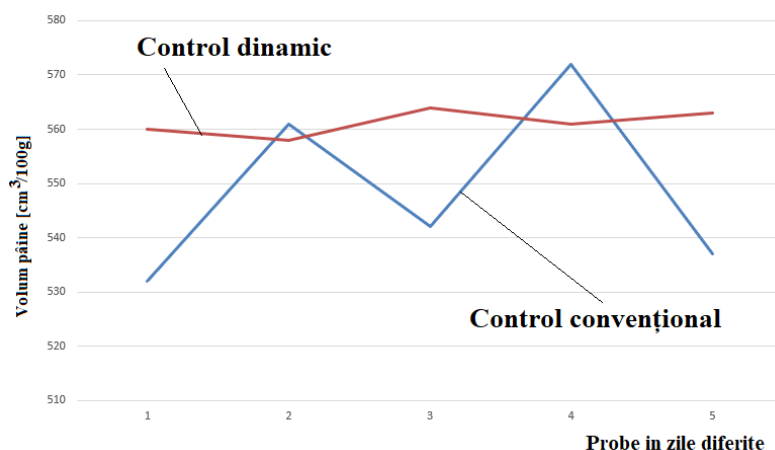


Fig. 5.60. Analiza comparativă între volumul pâinilor obținute cu controlul climatizării dinamice versus controlul climatizării convenționale

Analizând graficele din fig. 5.60 se poate observa o uniformizare mai mare a volumului produselor finite obținute după coacere atunci când a fost utilizată climatizarea dinamică.

Datele obținute în urma măsurării volumului pâinilor (tabelele 5.8, 5.9) au fost analizate folosind **metoda statistică ANOVA cu doi factori**. Rezultatele obținute se pot observa în tabelele 5.10, 5.11, 5.12.

Tabelul 5.12. Analiza ANOVA propriu – zisă

ANOVA						
<i>Sursa variației</i>	<i>Suma pătratelor</i>	<i>Grade de libertate</i>	<i>Media pătratelor</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Interacțiunea între probe	4651,86	4	1162,965	19,364	1,6E-11	2,473
În interiorul probelor	5405,3	90	60,058			
Total	15362,75	99				

Deoarece $F > F_{crit}$, iar valoarea lui $p < 0.001$, ipoteza H_0 este respinsă, cu grad de semnificație de 99,9% și se alege ipoteza H_1 , conform căreia există diferențe cu grad înalt de semnificație între cel puțin două medii ale volumelor pâinilor analizate.

5.5.5. Analiza comparativă a regimului de lucru pentru trei dospitoare de aluat (două de aceeași construcție, dar de capacități diferite și unul de construcție diferită)

Pentru a verifica funcționarea optimă a instalației de climatizare dinamică, aceasta a fost monitorizată pe 3 tipuri de diferite de dospitoare, din punct de vedere constructiv. Standardul analizat a fost valoarea CO_2 (în ppm), respectiv, cât de aproape de valoarea setată în program a fost media valorilor CO_2 măsurate în dospitor pe o perioadă de funcționare de 4 ore.

Trebuie menționat că, până la atingerea valorilor regimului de lucru (temperatură, umiditate relativă, CO_2), stabilite în program, climatizarea funcționează în regim manual, iar la atingerea valorilor stabilite, climatizarea trece automat în modul de funcționare automat.

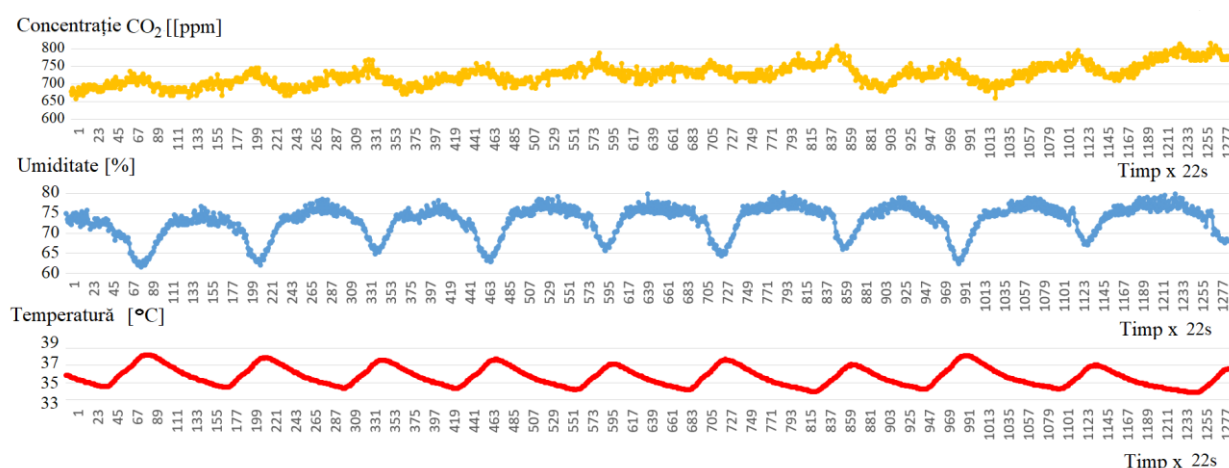


Fig. 5.60. Controlul temperaturii și umidității, în funcție de valoarea CO_2 la dospitorul liniei Tibiletti

❖ Al doilea dospitor cu plăci, al liniei Werner, are aceeași construcție ca dospitorul liniei Tibiletti, dar timpul de dospire a aluatului este de 90 minute

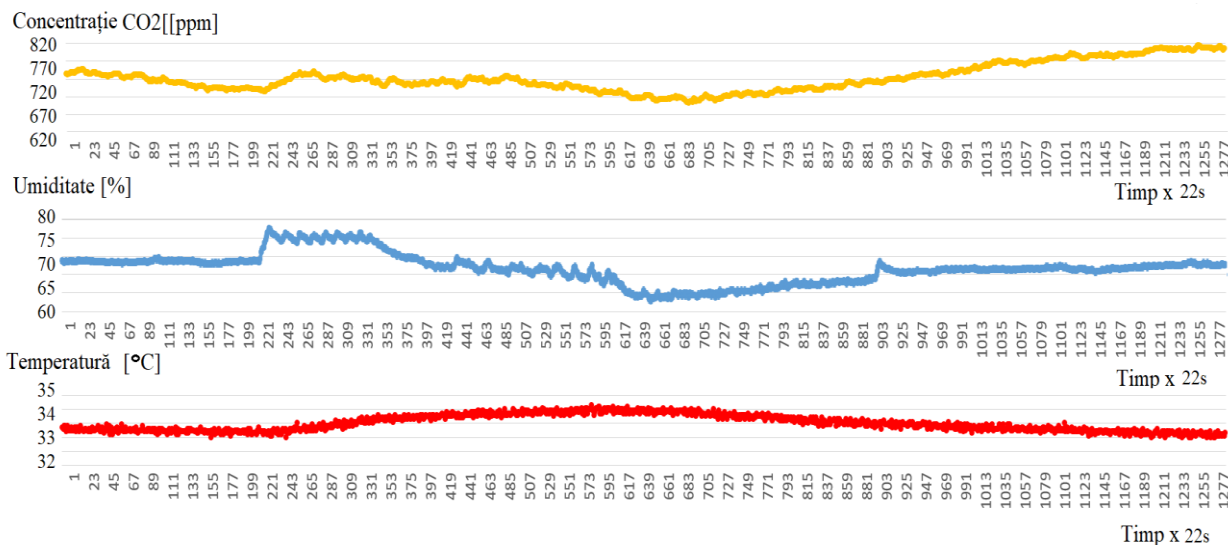


Fig. 5.61. Controlul automat al temperaturii și umidității în funcție de valoarea CO₂ degajat la dospitorul liniei Werner

Analizând variațiile de temperatură, umiditate relativă și concentrație de CO₂ din figura 5.61, pentru o funcționare a dospitorului de aproximativ 8 ore, se poate observa că timpul mai lung de dospire permite stabilirea unor intervale mai restrânse de variație ale parametrilor de lucru.

❖ Al treilea dospitor, produs de Tecnopool, Italia, este de tip spirală și are un timp de dospire de 60 minute.

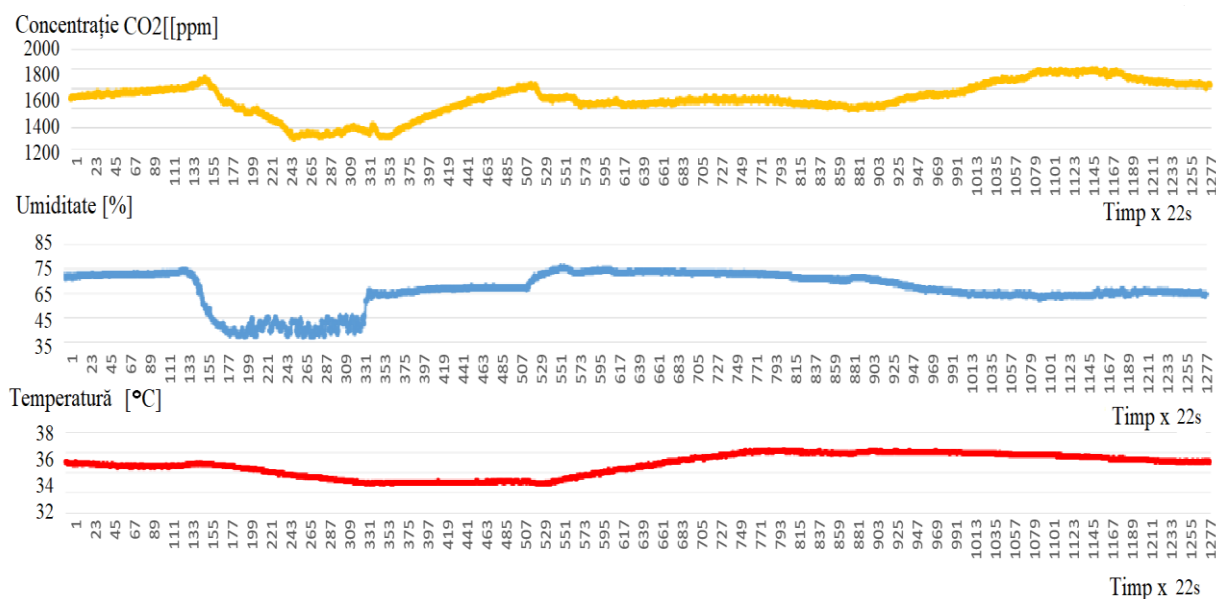


Fig. 5.63. Controlul automat al temperaturii și umidității în funcție de valoarea CO₂ degajat la dospitorul de tip spirală, Tecnopool

Din analiza graficelor de reglaj pentru dospitorul Tecnopool, reiese o disfuncționalitate în controlul automat al parametrilor regimului de lucru, deoarece parametrii de temperatură și umiditate nu răspund în corelație cu variația concentrației de CO₂.

S-a constatat că poziționarea senzorului în camera de dospire și nu în tubulatură ca la celelalte două dospitoare, precum și prezența unor curenți de aer foarte mici în dospitor, conduc la stratificarea pe înălțime a parametrilor de temperatură și umiditate în limite foarte largi.

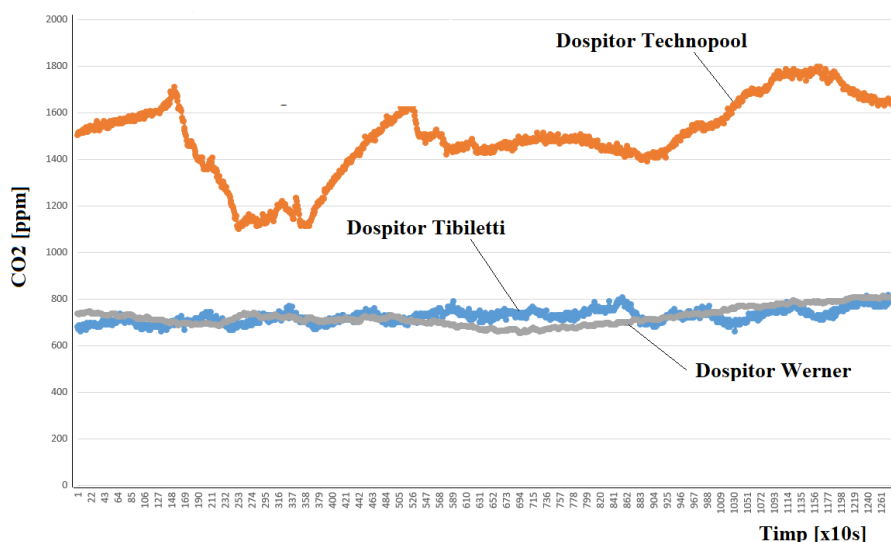


Fig. 5.64. Concentrațiile de dioxid de carbon înregistrate în cele 3 dospitoare timp de 4h

- Analiza datelor experimentale folosind metoda statistică ANOVA cu un singur factor

Tabelul 5.14. Analiza ANOVA propriu – zisă

ANOVA						
Sursa variației	Suma pătratelor	Grade de libertate	Media pătratelor	F	P-value	F crit
Interacțiunea între probe	512665294	2	256332647	25745,099	0	2,998
În interiorul probelor	38621499	3879	9956,5607			
Total	551286793	3881				

Deoarece $F > F_{crit}$, iar valoarea lui $p=0$, ipoteza H_0 este respinsă, cu grad de semnificație de 99,9% și se alege ipoteza H_1 , conform căreia există diferențe cu grad înalt de semnificație între mediile valorilor de dioxid de carbon măsurate în timpul procesului fermentativ în cele trei dospitoare analizate, cauza principală fiind poziționarea senzorului de dioxid de carbon pentru efectuarea măsurătorilor.

În figura 5.66 sunt prezentate comparativ, valorile de dioxid de carbon setate în programele de lucru față de mediile a 1294 de valori măsurate, în condițiile funcționării climatizării în regim automat, la parametrii de lucru stabiliți în subcapitolul 5.4.3.

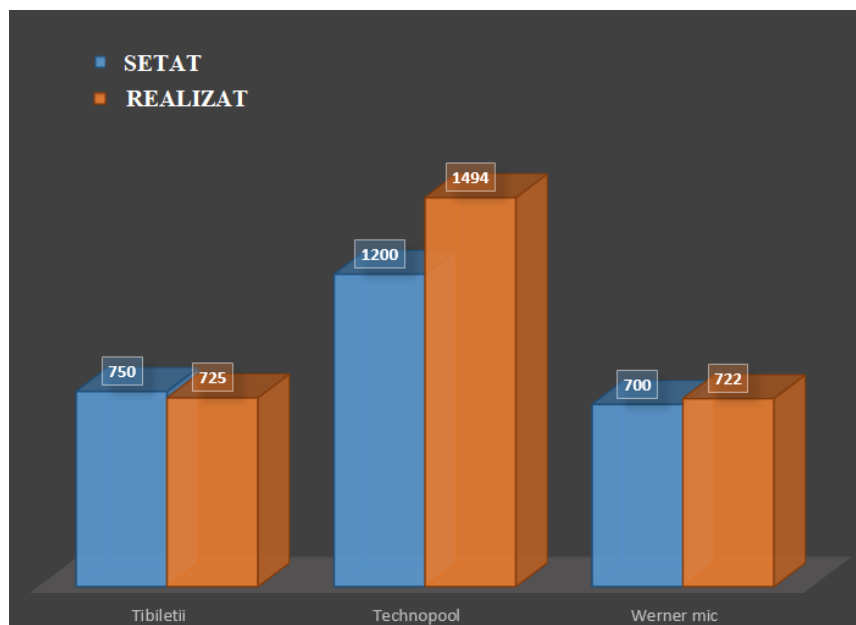


Fig. 5.66. Valorile CO₂ setate și media celor măsurate, pentru cele 3 dospitoare de aluat

Dospitorul Tibiletti a avut o abatere de la valoarea setată în programul de lucru, de 3.7%, dospitorul Werner a avut o abatere de la valoarea setată de 3.5% și dospitorul Tecnopool a avut o abatere de la valoarea setată, de 25%, pe parcursul celor 4 ore de funcționare analizate.

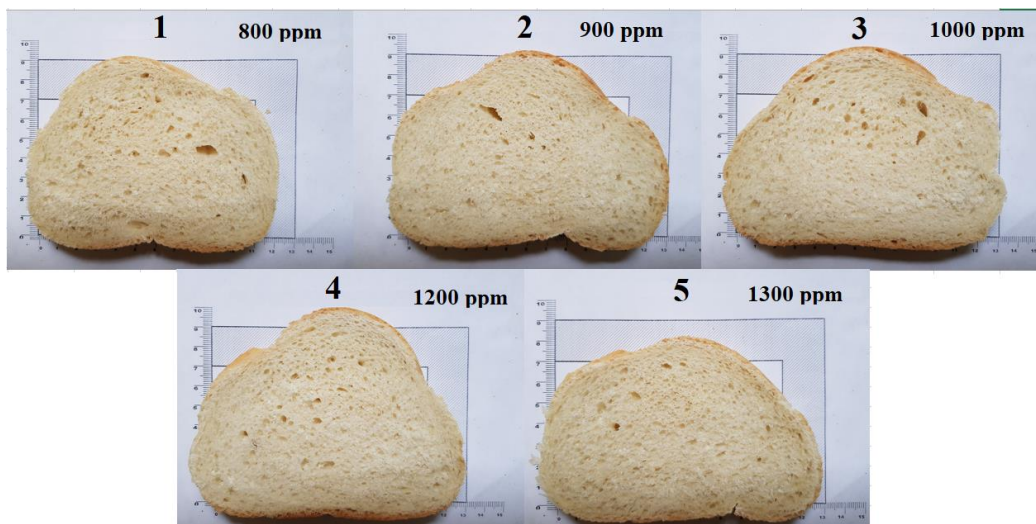


Fig. 5.67. Dimensiuni ale produselor finite la diferite concentrații de dioxid de carbon degajate în camera de dospire

5.5.6. Influența parametrilor de dospire asupra produsului finit

În figura 5.69 se pot observa diagramele de variație a volumului pâinii în cele două cazuri analizate.

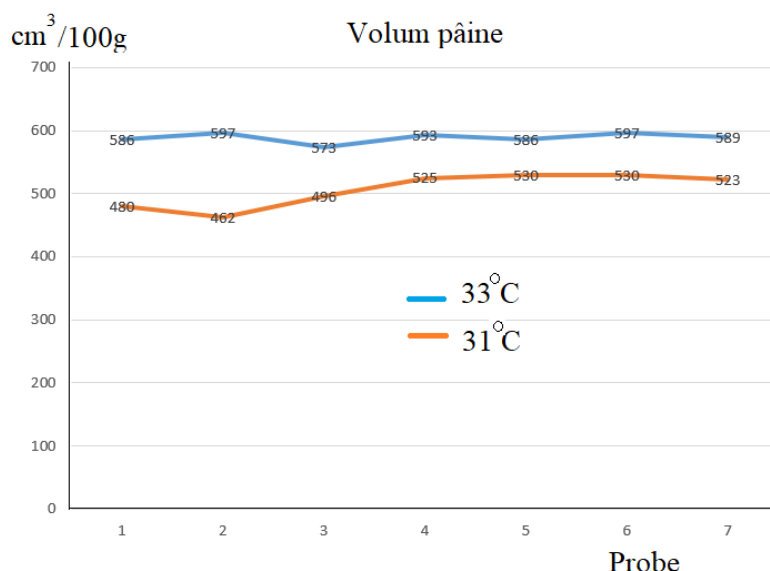


Fig. 5.69. Variația volumului produsului finit folosind parametri diferiți de dospire

5.6. VALIDAREA MODELELOR MATEMATICE PROPUSE PENTRU APRECIEREA PROCESULUI DE DOSPIRE A ALUATULUI DE PÂINE

5.6.1. Validarea modelului matematic de determinare a vitezei optime a curenților de aer în dospitor

Pentru verificarea acurateții simulării tridimensionale (din subcapitolul 4.2.) privind distribuția curenților de aer și a temperaturii într-un dospitor industrial de pâine de tip tunel, cu 4 etaje (prezentat în subcapitolul 4.1.), s-au efectuat măsurători reale ale vitezei aerului în trei puncte diferite ale fiecărui etaj al dospitorului: la gura de refulare, în mijlocul etajului – la nivelul pâinii și la ieșirea de pe etaj.

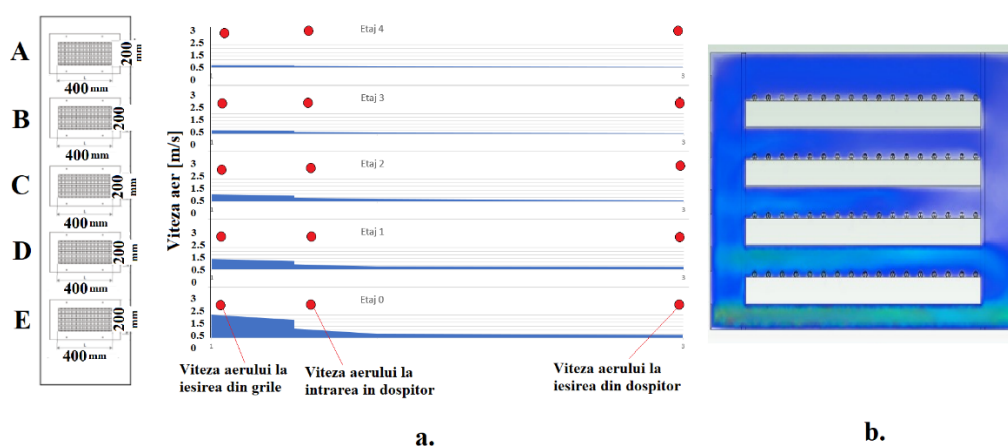


Fig. 5.71. Reprezentarea grafică a valorilor vitezei aerului măsurate pe fiecare etaj al dospitorului, folosind distribuția aerului prin grile egale

a. variația valorilor vitezei aerului pe fiecare etaj al dospitorului și marcarea punctelor de măsurare a vitezei aerului; b. modelul generat în programul Ansys

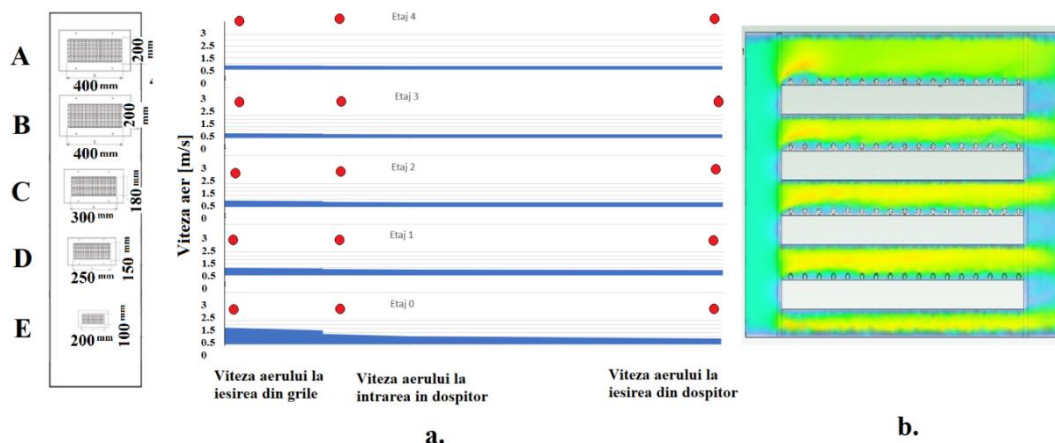


Fig. 5.72. Reprezentarea grafică a valorilor vitezei aerului măsurate pe fiecare etaj al dospitorului, folosind distribuția aerului recirculat prin grile de dimensiuni diferite

a. variația valorilor vitezei aerului pe fiecare etaj al dospitorului și marcarea punctelor de măsurare a vitezei aerului; b. modelul generat în programul Ansys

Comparând cele 2 imagini în secțiune a dospitorului se poate observa diferența de densitate a punctelor în care viteza aerului are viteza de 0,6 m/s. Acolo unde suprafața grilelor a fost modificată, distribuția vitezei aerului pe înălțime s-a îmbunătățit prin reducerea valorilor vitezelor aerului la partea inferioară și creșterea la partea superioară.

5.6.2. Validarea modelul matematic propus pentru evaluarea eficienței energetice la dospire

În figura 5.73 se poate observa comparativ consumul de energie calculat, respectiv măsurat pentru obținerea parametrilor necesari în dospitor în cele 3 etape de funcționare ale dospitorului. În anexele 8, 9, respectiv 10, sunt prezentate valorile măsurate ale consumului de energie în toate cele 3 moduri analizate.

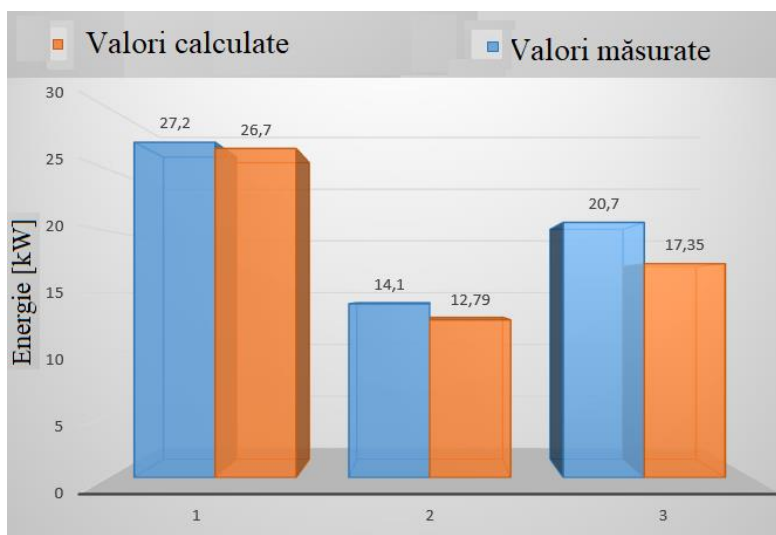


Fig. 5.73. Consumul de energie măsurat, respectiv calculat pentru climatizarea dospitorului, în cele 3 moduri de funcționare, [71]

După cum se poate observa, în cazul modului I de funcționare, se înregistrează cele mai mici diferențe între valorile calculate și cele măsurate, deoarece în acest calcul este introdus numărul cel mai mic de variabile, comparativ cu celelalte două moduri.

5.6.3. Validarea modelului matematic propus pentru estimarea volumului de dioxid de carbon în timpul procesului de fermentare, în condiții de laborator

Pentru validarea modelului matematic cu ajutorul căruia se poate estima întregul volum de dioxid de carbon degajat în procesul fermentativ, pe baza presiunii înregistrate în interiorul reactorului unde are loc procesul, rezultatele obținute prin calcul au fost comparate cu măsurătorile direct efectuate în timpul aceluiași experiment, cu un aparat de măsură a concentrației de dioxid de carbon, produs de firma Extech.

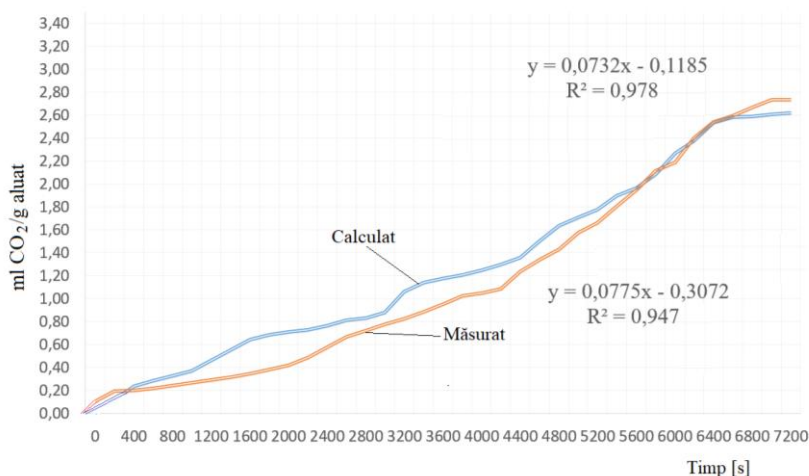


Fig. 5.74. Verificarea modelului matematic după ce a fost introdus factorul de compresibilitate Z la făina FA₁-650, [73]

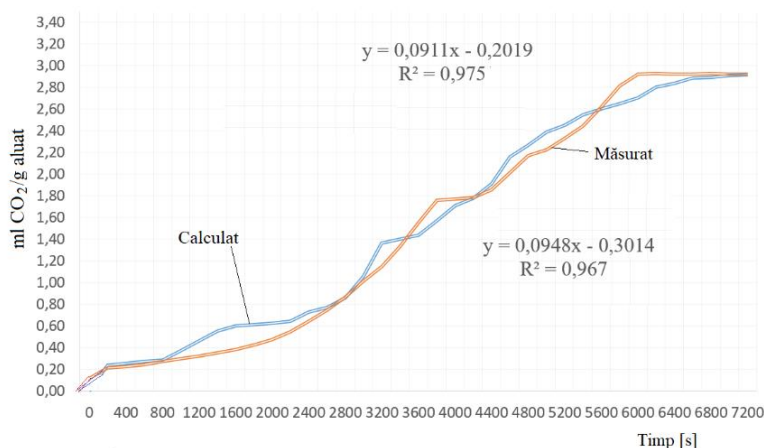


Fig. 5.75. Verificarea modelului matematic după ce a fost introdus factorul de compresibilitate Z la făina FI-1850, [73]

Se poate observa o diferență între cele 2 diagrame, aceasta rezultând din faptul că aparatul Extech măsoară volumul de CO₂ degajat în incinta de dospire, iar în modelul matematic s-a considerat volumul total de CO₂.

Gradul de similitudine a rezultatelor obținute prin aplicarea modelului matematic cu valorile obținute în urma măsurărilor efectuate indică posibilitatea aprecierii volumului de dioxid de carbon degajat în timpul procesului fermentativ, folosind variația de presiune dintr-un reactor (recipient închis etanș) ce însoțește fenomenul studiat.

Valorile finale ale volumelor specifice de dioxid de carbon măsurate în cadrul experimentelor au dat următoarele rezultate: 2.92 ml CO₂/g aluat pentru făina neagră FI-1850, respectiv 2.74 ml CO₂/g aluat pentru făina FA₁-650.

Valorile finale ale volumelor specifice de dioxid de carbon calculate în cadrul experimentelor au dat următoarele rezultate: 2.92 ml CO₂/g aluat pentru făina FI-1850, respectiv 2.62 ml CO₂/g aluat pentru făina FA₁-650.

5.6.4. Analiza costului pentru energia consumată la dospire, cu și fără recuperator de energie

În figura 5.77 se poate observa diagrama temperaturilor de intrare, respectiv de eșire, în recuperator, pe perioada a 3 zile de funcționare a recuperatorului, pentru un debit de apă recirculată de pompa recuperatorului de energie gaz-apă de 1,2 m³/h. Temperaturile au fost monitorizate cu ajutorul a 2 sonde PT 500 montate în conductele de intrare și ieșire a apei recirculate în/din recuperator.

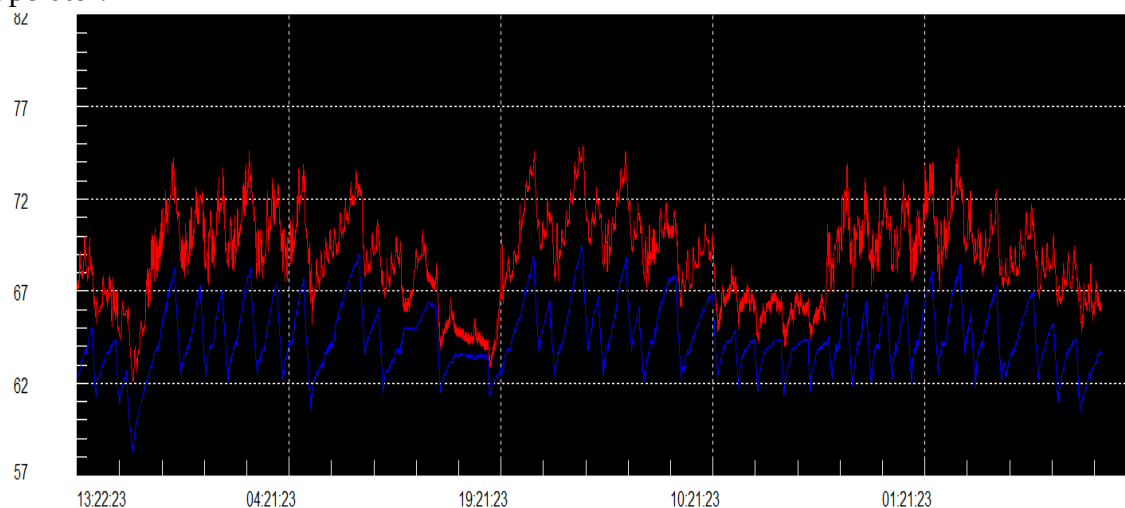


Fig. 5.78. Temperatura apei la intrare în recuperator (culoare albastră), respectiv la ieșirea din recuperator (culoare roșie), măsurate timp de 3 zile

Se poate observa o anumită similaritate a variației celor două temperaturi înregistrate. Cele mai mici valori sunt înregistrate la pornirea liniei de fabricație (când cuptorul este rece), iar cele mai mari după ce dospitorul a ajuns la temperatura de referință. De asemenea, au fost efectuate măsurători cu un contor de energie termică pentru a stabili cantitatea de energie recuperată, care este de până la 9% din energia produsă de arzător. La închiderea cuptorului, recuperatorul produce energie pentru încă aproximativ 2h, până când temperatura gazelor arse scade sub 50 °C.

Prin consumul energiei de la centrala termică timp de 1 h este luată în calcul perioada de încălzire a cuptorului, timp în care gazele arse nu au o temperatură din care se poate extrage surplusul de energie. După ce cuptorul s-a încălzit, temperatura gazelor arse evacuate asigură producerea a cel puțin 25kWh energie cu care se asigură necesarul schimbătorului de căldură din CTA.

Tabelul 5.16. Costul energiei lunare consumate pentru dospire, cu și fără recuperator de căldură

Funcționare 20 h/zi	Consum energie de la centrala termică timp de 1 h [kWh]	Consum abur 1h [kWh]	Consum energie de la centrala termică; 19 h [kWh]	Consumul de abur pentru creșterea umidității în 19 h [kWh]	Consum pentru răcire 1 h [kWh]	Consum pentru răcire 19h [kWh]	TOTAL Consum [kWh]	Total lună [kWh]	Cost Ron/ kWh	Total Cost [Ron]/ lună
CTA fără recuperare	27.2	12	393.3	152	4.5	85.5	718.2	21546	0.16	3447
CTA cu recuperare	27.2	12	0	152	4.5	85,5	324.9	9747	0,16	1559

5.7. CONCLUZII

Cercetările cu privire la volumul produsului finit în funcție de parametrii de dospire au scos în evidență că prin creșterea temperaturii cu 2 °C și a umidității cu 20%, volumul produsului finit pentru sortimentul de pâine albă de 300 g, crește cu o medie de 86 cm³/100g, adică 17% mai mult decât volumul pâinii obținute în condițiile anterioare.

Funcționarea optimă a instalației de control dinamic al parametrilor de temperatură și umiditate din dospitor a fost verificată și validată prin montarea acestora pe cele trei dospitoare și analiza funcționării pe perioade de 4 h, fiecare. Standardul analizat a fost valoarea de CO₂ (în ppm) setată în programul de lucru, mai exact, cât de aproape de valoarea setată a fost media valorilor de CO₂ măsurate în dospitor.

De asemenea, în urma analizei ANOVA efectuată pe datele experimentale, s-a concluzionat că există diferențe cu grad înalt de semnificație (99,9%) între mediile valorilor de dioxid de carbon măsurate în timpul procesului fermentativ în cele trei dospitoare analizate, cauza principală fiind poziționarea senzorului de dioxid de carbon pentru efectuarea măsurătorilor.

Actualmente, metoda MACDA, care stă la baza funcționării instalației de climatizare dinamică a parametrilor de temperatură și umiditate relativă din dospitor deține **brevetul de invenție nr. 133450 din data de 27.11.2020, autoarea tezei fiind unul dintre co-autori.**

Analiza costului pentru consumul de energie la dospire, cu și fără recuperare energetică pentru dospitorul tunel cu 4 benzi, Technobit Automatizări, România, cu o capacitate de producție de 4000 buc x 360 g aluat / h și un timp de producție de 20 h/zi a scos în evidență o scădere a costului lunar necesar pentru asigurarea parametrului de temperatură în dospitor cu 55%, dacă se utilizează energia recuperată.

CAPITOLUL 6

CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUTII PERSONALE SI DIRECTII VIITOARE DE CERCETARE

6.1. CONCLUZII GENERALE

Deoarece un proces industrial de panificație eficient este optimizat atât sub aspectul calității produselor finite, cât și din considerente economice, a fost dezvoltat un model matematic pentru

determinarea consumului energetic la dospire pentru un dospitor de tip tunel cu 4 etaje, climatizat, cu capacitatea de 4000 buc aluat x 360 g/oră. Rezultatele obținute prin calcul au fost comparate cu măsurători reale efectuate în flux. De asemenea, a fost analizat și consumul energetic la dospire, prin refolosirea unei părți din energia recuperată cu ajutorul recuperatorului de căldură montat pe tubulatura de evacuare a gazelor arse și care poate recupera până la 9 % din puterea arzătorului.

Rezultatele obținute prin calcul nu au înregistrat diferențe majore față de cele măsurate, acestea prezentând abateri cuprinse între 2 – 16 %, cele mai mari abateri putând fi justificate prin multitudinea de variabile (temperaturi diferite ale mediului, pierderi suplimentare prin zonele de alimentare/descărcare a aluatului) care nu au fost luate în considerare la efectuarea calculului. Totuși, modelul matematic reprezintă o estimare foarte apropiată de consumurile de energie reale pentru asigurarea parametrilor de dospire.

Utilizarea energiei recuperate poate scădea costul necesar asigurării parametrilor de dospire, cu peste 55 %.

Un alt parametru important în stabilirea unui proces de dospire corespunzător este distribuția curenților de aer în dospitor și vitezele acestora pe etajele dospitorului. Simularea tridimensională a scos în evidență necesitatea stabilirii experimentale a dimensiunilor gurilor de refulare a aerului și a vitezei aerului în dospitor, în corelație cu influența acestuia asupra caracteristicilor aluatului și cu necesitatea asigurării distribuției uniforme a temperaturii pe toate etajele dospitorului. Cele mai bune rezultate s-au obținut la o viteză a aerului de 0,6 m/s și o configurație a gurilor de refulare ca cea prezentată în fig. 4.13 și 5.72 din capitolele 4 și 5.

Testele efectuate pe 3 dospitoare, 2 cu panacode de construcție similară, dar capacitate diferită și unul de tip spirală, au scos în evidență următoarele aspecte:

- valoarea etalon de dioxid de carbon (ppm) se atinge odată cu încărcarea dospitorului cu aluat la capacitatea nominală, iar până atunci, instalația funcționează după parametri ficși de temperatură și umiditate, asemenea unei instalații convenționale de climatizare;

- în primul ciclu de dospire, diagrama concentrației de dioxid de carbon prezintă o dezvoltare ascendentă, pornind întotdeauna de la valoarea medie a concentrației de dioxid de carbon din mediul ambiental;

- parametrii de dospire se stabilesc în corelație cu temperatura dorită în bucata de aluat. Experimental, s-a determinat că, pentru un timp de dospire de cca. 90 minute, temperatura în bucata de aluat la finalizarea ciclului de dospire va fi foarte apropiată de valoarea medie a temperaturii regimului de lucru, iar pentru un timp de dospire de 60 minute, temperatura medie în bucata de aluat la finalul dospirii, va fi cu aproximativ 2° C mai mică decât valoarea parametrului de temperatură; așadar, la stabilirea parametrilor regimului de lucru, este necesară luarea în considerare a timpului de dospire;

- diagramele rezultate pentru temperatură, umiditate relativă și concentrație de dioxid de carbon, în urma analizei funcționării climatizării cu metoda automată de control scot în evidență modalitatea de reglare a parametrilor, după logica PID (proporțional-integrator-derivator), iar înscrierea parametrilor în valorile stabilite în programul de lucru validează funcționalitatea sistemului.

Totodată, în urma analizei ANOVA efectuată pe datele experimentale, s-a concluzionat că există diferențe cu grad înalt de semnificație (99,9%) între mediile valorilor de dioxid de carbon măsurate în timpul procesului fermentativ în cele trei dospitoare analizate, cauza principală fiind poziționarea senzorului de dioxid de carbon pentru efectuarea măsurătorilor. Prin urmare, s-a

stabilit că cea mai bună poziționare a senzorului de măsurare a concentrației de dioxid de carbon este în tubulatura de aspirație a aerului din dospitor.

Utilizarea instalației de climatizare dinamică a parametrilor de temperatură și umiditate relativă din dospitor aduce beneficii vizibile în desfășurarea procesului de obținere a pâinii, prin controlul parametrilor de lucru și limitarea influenței variabilelor externe (consistență, temperatură aluat etc) asupra calității produsului finit.

Actualmente, metoda MACDA, care stă la baza funcționării instalației de climatizare dinamică a parametrilor de temperatură și umiditate relativă din dospitor deține **brevetul de invenție nr. 133450 din data de 27.11.2020, autoarea tezei fiind unul dintre co-autori.**

6.2. CONTRIBUȚII PERSONALE

Menționez aici câteva din contribuțiile personale aduse procesului de dospire a aluatului și a controlului parametrilor acestuia în timpul dospirii:

- 1) Demonstrarea utilității temei de doctorat care a avut ca obiectiv principal controlul procesului de fermentare finală a aluatului de panificație, prin implementarea unui sistem care să controleze parametrii de temperatură și umiditate din incinta oricărui tip de dospitor, pe baza concentrației de dioxid de carbon degajat în acesta, în timpul procesului de dospire.
- 2) Realizarea unui studiu documentar privind caracteristicile fizico-chimice și reologice care influențează comportarea aluatului la fermentare.
- 3) Realizarea unui studiu documentar privind metodele de control și stadiul actual al echipamentelor și sistemelor ce facilitează controlul procesului de fermentare finală a aluatului.
- 4) Conceperea și realizarea unui stand experimental alcătuit dintr-un reactor cu închidere etanșă, senzori de temperatură, presiune și dioxid de carbon și soft de achiziție a datelor pe calculator, pentru a calcula volumul specific de dioxid de carbon degajat în timpul procesului fermentativ.
- 5) Dezvoltarea unui model matematic, folosind creșterea de presiune în reactor, pentru identificarea unei metode de analiză a procesului fermentativ în condiții controlate.
- 6) Evaluarea procesului de dospire a aluatului de pâine, folosind concentrația de dioxid de carbon degajată în dospitor, la scară redusă.
- 7) Dezvoltarea unui model matematic pentru calculul consumului energetic la dospire pentru un dospitor tunel cu 4 benzi cu capacitate de producție de 4000 buc x 360 g aluat / h și un timp de producție de 20 h/zi.
- 8) Verificarea acurateței modelului matematic prin măsurarea consumului de energie al dospitorului în timpul funcționării, prin montarea unui contor de energie termică pe returul instalației de condiționare a aerului.
- 9) Evaluarea reducerii consumului energetic al dospitorului, în urma utilizării pentru încălzirea incintei, a căldurii recuperate de pe coșul de evacuare a gazelor arse ale cuptorului, cu ajutorul unui recuperator de energie tip gaz-apă.
- 10) Elaborarea unui model de simulare tridimensională a distribuției curenților de aer într-un dospitor industrial de pâine, tip tunel, cu 4 benzi transportoare. Determinarea dimensiunilor optime ale grilelor de aspirație și refulare și a frecvenței optime a ventilatorului pentru uniformizarea vitezei aerului în dospitor.
- 11) Analiza variației volumului produsului finit în funcție de parametrii procesului de dospire.

- 12) Conceperea și realizarea unui sistem de control al procesului de fermentare, cu ajutorul a 3 senzori de temperatură, respectiv umiditate, un senzor de dioxid de carbon și un sistem de operare dotat cu ecran tactil, cu ajutorul căruia parametrii de temperatură și umiditate din dospitor sunt controlați dinamic în funcție de concentrația dioxidului de carbon în incinta dospitorului.
- 13) Testarea funcționalității sistemului prin controlul procesului fermentativ al aluatului de pâine în două dospitoare cu panacoadă de capacități diferite și într-un dospitor spiral.
- 14) Dezvoltarea unui produs de serie cu denumirea sistem de control al fermentării aluatului.
- 15) Rezultatele cercetărilor efectuate pe perioada pregătirii doctorale au fost valorificate prin elaborarea și publicarea a 10 lucrări științifice în reviste de specialitate (indexate BDI, din care 2 SCOPUS) sau în volumele unor conferințe internaționale (2 indexate ISI, 2 SCOPUS, 3 alte BDI) în calitate de autor și coautor, conform listei anexată la finalul tezei. De asemenea, a fost acordat de către OSIM și brevetul de invenție cu nr. 133450/27.11.2020, la care sunt coautor.

6.3. RECOMANDĂRI ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

1. Pentru reducerea consumului energetic la dospire, se recomandă utilizarea energiei recuperate de pe coșurile de evacuare a gazelor arse, care pot furniza necesarul aproape integral de căldură pentru parametrul de temperatură din dospitorul de pâine.
2. Pentru asigurarea unei uniformizări mai bune a parametrilor de temperatură și umiditate din dospitoarele de pâine, în corelație cu viteza aerului recirculat, constructorii de astfel de echipamente de panificație pot pune mai mult accent pe reproiectarea sistemelor de distribuție a aerului.
3. De asemenea, pentru prevenirea obținerii de loturi necorespunzătoare de pâine pe termen lung, se recomandă integrarea în funcționarea dospitorului și/sau a climatizării, a unor sisteme de alarmare în cazul în care parametrii regimului de lucru nu mai pot fi asigurați (defecțiuni tehnice în centrala termică, integritatea tubulaturii aerului ș.a.).

Cercetările viitoare în acest segment pot viza:

1. Continuarea cercetărilor și monitorizarea în timp real a valorilor de temperatură, umiditate și dioxid de carbon din sistemele de climatizare cu control automat montate în fabricile de panificație, cu scopul de a le integra într-un sistem de alarmare sub formă de mesaj text pe telefon la depășirea domeniului de măsurare setat în programele de lucru.
2. Continuarea cercetărilor și monitorizarea în timp real a valorilor de temperatură, umiditate și dioxid de carbon, cu scopul de observa diferențele apărute în funcționarea sistemului de automatizare dinamică, datorită tipurilor diferite constructiv de dospitoare de aluat.
3. Continuarea cercetărilor teoretice și practice prin analiza valorilor înregistrate în cloud, pe termen lung, cu scopul de a observa modificări care au loc în procesul fermentativ la schimbarea anotimpurilor.
4. Dezvoltarea unor cercetări în domeniul controlului automat al parametrilor procesului de lucru pentru alte categorii de echipamente de pe fluxul de panificație.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [1] Adisoemarta P., Frailey S.M., Lawal A.S., *Measurement of Z-Factors for Carbon Dioxide Sequestration*, Texas Tech University, <http://folk.ntnu.no/skoge/prost/proceedings/aiche-2004/pdf/papers/167bc.pdf>, accesat la data de 23.06.2018;
- [11] Bin Xia, Da-Wen Sun, Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the food industry: a review, *Comput. and electronics in Agriculture*, vol.34, 2002, pag.5–24;
- [17] Brujan E.A, *Ventilația și condiționarea aerului*, Editura Printech, București, 2004;
- [23] Campbell G.M., Herrero-Sanchez R., *Cell growth during proving of bread dough: simulation and experimental validation of the effect of proving temperature*, Proceedings of 6th World Congress of Chemical Engineering, University of Melbourne, Australia, 2001;
- [24] Cauvain Stanley P., Linda S. Young, *Technology of breadmaking*, Second edition, Editura Springer Science+Business Media, 2007;
- [42] Dobraszczyk B.J., Smewing J., Albertini M., Maesmans G., Schofield J.D., *Extensional rheology and stability of gas cell walls in bread doughs at elevated temperatures in relation to breadmaking performance*, *Cereal Chemistry*, vol.80, nr.2, 2003, pag.218-224;
- [29] Chiotellis E., Campbell G.M., *Proving of bread dough II: measurement of gas production and retention*, *Transaction of the Institution of Chemical Engineers*, nr. 81, 2003, pag. 207-216;
- [49] Elmehdi H.M., Page, J.H., Scanlon M.G., *Evaluating dough density changes during fermentation by different techniques*, *Cereal Chemistry*, vol.84. nr3, 2007, pag.250–252;
- [60] Gras P.W., Carpenter H.C., Anderssen R.S., *Modelling the developmental rheology of wheat flour dough using extension test*, *Journal of Cereal Science*, vol.31, 2000, pag.1-13;
- [66] Hirsch C., *Numerical computation of internal and external flows, Computational methods for inviscid and viscous flows*, vol. 2, 1990, pag. 604-606;
- [87] Luchian M., Canja C.M., *Effect of salt on gas production in bread dough*, *Bulletin of the Transilvania University of Brasov*, vol.3, nr.52, 2010, pag.167-170;
- [94] Meiță V., Georgescu E.S., Miron C., Miron L., *Ghid de bună practică pentru proiectarea instalațiilor de ventilație și condiționare în clădiri*, mai, 2012;
- [106] Muscalu Gh., *Studii și cercetări privind implementarea unui sistem de măsurare și control în timp real al consumului energetic al frământătoarelor de aluat*, Teza de doctorat, 2018;
- [108] Muscalu Gh., **Istudor A.**, *Metodă de control dinamic al parametrilor de temperatură și umiditate dintr-un dospitor industrial de pâine cu flux continuu*, Brevet de invenție acordat de OSIM România cu nr 133450/27.11.2020;
- [110] Nagi M., Bancea O., Dorhoi S., *Ventilarea și climatizarea clădirilor*, Colecția student, Editura Politehnica Timisoara, 2007;
- [114] Nazeri Fatemeh Sadat, Mahdi Kadivar, Iman Izadi, *A Sensing System for Continuous Monitoring of Bread Dough During Fermentation*, *Sensing and imaging*, vol 22, 2021;
- [132] Shah P., Campbell G.M., McKee S.L. (graduate), Rielly C.D., *Proving of bread dough: modelling the growth of individual bubbles*, *Institution of Chemical Engineers Trans IChemE*, vol.76, 1998 pag.73-79;
- [139] Stanciu C., *Analiza dimensională generală*, Ed. Tehnică, București, 1976;
- [160] Wehrle K., Arendt E.K., *Rheological changes in wheat sourdough during controlled and spontaneous fermentation*, *Cereal Chemistry*, vol.75, nr.6, 1998, pag.882-886;

CURRICULUM VITAE

INFORMAȚII PERSONALE

Istudor Adriana



București, România

0762985300

istudor.adriana@yahoo.com

Sexul Feminin | Data nașterii 25.03.1989 | Naționalitatea Română

EXPERIENȚA PROFESIONALĂ

22.06.2020 – prezent

Director General

SC DOARGRANE SRL, Strada Pucheni nr 15, sector 5 București;

- Coordonarea întregului proces de fabricație la nivelul secției;
- Coordonarea, organizarea și instruirea personalului direct productiv;
- Responsabil cu problemele de producție privind: Siguranța alimentelor, proceduri ISO, HACCP.

Tipul sau sectorul de activitate : Panificație - Producție

01.09.2016 – 01.06.2020

Specialist Îmbunătățiri procese

SC BiotehlogicreativSRL, Șoseaua Dudești-Pantelimon, nr. 42,
www.biotehlogicreativ.ro

- Evaluarea proceselor industriale de panificație din punct de vedere tehnic și tehnologic și identificarea soluțiilor complete de îmbunătățire a acestora;

Tipul sau sectorul de activitate : Consultanță Panificație

04.06.2014 – 01.06.2016

Inginer în industria alimentară

SC Vel Pitar SA, P.L București Berceni , Str. Emil Racoviță, nr.3-5, sector 4,
www.velpitar.ro

- Coordonarea întregului proces de fabricație la nivelul secției;
- Coordonarea, organizarea și instruirea personalului direct productiv;
- Întocmirea documentelor specifice activității de producție;

Tipul sau sectorul de activitate : Panificație – Producție

EDUCAȚIE ȘI FORMARE

10.2016 -prezent

Doctorat

Universitatea Politehnica București, Facultatea Ingineria Sistemelor Biotehnice , Școala doctorală "Inginerie Mecanica"

- Tehnologii avansate în industria de panificație

10.2012 -07.2014

Master

Universitatea Politehnica București, Facultatea Ingineria Sistemelor Biotehnice ,
Specializarea Ingineri și managementul procesării și păstrării produselor agroalimentare

- Tehnologii avansate în industria alimentară, Tehnologia prelucrării produselor agricole, Metode moderne de ambalare a produselor agroalimentare

10.2008 -07.2012

Licență

Universitatea Politehnica București, Facultatea Ingineria Sistemelor Biotehnice ,
Specializarea Ingineria dezvoltării rurale durabile

- Tehnologii de procesare și pastrare a produselor alimentare, Termodinamică tehnică, Mecanica fluidelor, Acționări hidraulice și pneumatice, Desen tehnic

LISTA DE LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE ÎN DOMENIUL TEZEI

Drd. Ing. Istudor Adriana

1. **Istudor A.**, Voicu Gh., Muscalu Gh., *Tridimensional numerical simulation of air currents in an industrial bread tunnel prover* care urmează a fi publicat în Buletinul Științific al U.P.B, Indexat SCOPUS
2. Muscalu Gh., Voicu Gh., **Istudor A.**, *Bread dough kneading process optimization in industrial environment, using a device for dough consistency control*, U.P.B. Sci. Bull. Series D, vol.79, nr.3, 2017, pag.225-236, ISSN 1454-2358, Indexat SCOPUS
3. Muscalu Gh., Voicu Gh., **Istudor A.**, Tudor P., *Bread dough rheological behavior under the influence of the geometry of the kneading arms*, Revista de chimie, vol.71 nr.9, pag.295-307, ISSN: 2668-8212, 2020, doi.org/10.37358/RC.20.9.8340, Indexat BDI: CAS, SJR, WORLD CAT
4. **Istudor A.**, Voicu Gh., Muscalu Gh., Munteanu M.G., *Power consumption optimization for bread dough prover*, Proceedings of the 18th International Scientific Conference Engineering For Rural Development, pag.739-744, Jelgava, Latvia, 2019, ISSN: 1691-3043, WOS:000482103500110
5. Muscalu, G., Voicu, G., Stefan, M. E., **Istudor, A.**, *Simulation of dough kneading process, for a kneader with vertical arm and mobile vat*, Proceedings of the 44th International Symposium on Agricultural Engineering: Actual Tasks on Agricultural Engineering, Opatija, Croatia, 23-26 February 2016, pag.359-370, ISSN 1848-4425, WOS:000432240900032
6. **Istudor A.**, Voicu Gh., Muscalu Gh., Tudor P., *Evaluation of carbon dioxide released by bread dough during proving stage*, E3S Web of Conferences 180, ISSN: 2267-1242, 03012, 2020, 7 pages, doi.org/10.1051/e3sconf/202018003012, Indexat SCOPUS
7. **Istudor A.**, Voicu G., Stefan M., Constantin G., Muscalu, G., *Evaluation of wheat dough fermentation process using a reactor and mathematical modelling*, 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 2018, pag.161-170, ISSN: 1314-2704, DOI: 10.5593/sgem2018V/6.4/S08.021, Indexat SCOPUS
8. **Istudor A.**, Voicu Gh., Muscalu Gh., *Wheat dough proving process analysis using the carbon dioxide concentration*, 48th Symposium "Actual Tasks on Agricultural Engineering", Opatija, Croatia, 2021, pag. 425-433, ISSN 1848-4425, Indexat BDI: Clarivate analytics, ISTEP, CAB International
9. **Istudor A.**, Voicu Gh., Muscalu Gh., Munteanu M.G., *Final bread dough fermentation – requirements, conditions, equipment. A Short Review*, Symposium ISB–INMA-TEH, “Agricultural and Mechanical Engineering”, 2017, pag.519-526, București, România, ISSN 2344 – 4118, Indexat BDI: Cabi Copernicus, Ebsco Host, Research Databases, ASI, SIS
10. Muscalu Gh., Voicu Gh., Ștefan E.M, **Istudor A.**, Munteanu M.G., *Optimisation of bread baking process for tunnel-oven types* - 5th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development, 2016, pag.361-366, Golden Sands, Bulgaria, ISSN 2457 – 3302, Indexat BDI: Copernicus, Ebsco Host, Research Databases, ASI, SIS

Brevet acordat:

1. Muscalu Gh., **Istudor A.**, Metodă de control dinamic al parametrilor de temperatură și umiditate dintr-un dospitor industrial de pâine cu flux continuu, Brevet de invenție acordat de OSIM România cu nr 133450/27.11.2020, https://osim.ro/wp-content/uploads/Publicatii-OSIM/BOPI-Inventii/2020/bopi_inv_11_2020.pdf