

Aspecte privind uscarea biomaterialelor granulare în procedee intensive

II. Uscarea granulelor de malț în strat fluidizat în prezență de material inert

MONICA MARE^{a1}, GABRIELA ISOPENCU¹, COSMIN JINESCU², PAUL VASILESCU¹, GHEORGHIȚA JINESCU¹

¹ Universitatea Politehnică București, Departamentul de Inginerie Chimică, Splaiul Independenței, Nr. 313, 77206 București, România

² Universitatea Politehnică București, Departamentul de Inginerie Mecanică, Splaiul Independenței, Nr. 313, 77206 București, România

Present paper have like objective the experimental study regarding the intensification of the drying process of malt using like drying agent the atmospheric air at ambient temperature and at 45°C, in flotation-fluidized bed. To reduce the operating drying period by using the fluidization agent at 45°C, it was studied the drying in mixt bed, formed by inert particles (sand, $d_p = 150\mu\text{m}$, smashed malt,) and wet malt grains (in flotation state). Comparing the drying periods and the final moistures obtained at the malt drying in fixed bed (fixed mixt bed) with those obtained in fluidized mixt bed was establish that: the drying in fluidized conditions conduce at an uniform final moisture product; the economical operating conditions for a final moisture (4 - 6%) imposed by the technological process.

Keywords: drying process , malt, flotation-fluidized bed, drying in mixt

Procedeele de uscare a biomaterialelor granulare utilizate în prezent se realizează în diferite tipuri de uscătoare cu funcționare continuă sau discontinuă, agentul termic gazos fiind în cazuri frecvente aerul cald, și selectiv uneori gaze de ardere, gaze inerte.

Tipurile de uscătoare întâlnite la scară industrială sunt:

- uscătoare clasice discontinue, cu grătare orizontale fixe sau cu grătare verticale basculante (1-3 grătare), mono sau multi-compartimentate, funcționând cu tiraj natural sau forțat;

- uscătoare discontinue cu tambur și taler de răcire;
- uscătoare continue cu tambur sau sferice;
- uscătoare cu benzi suprapuse.

Uscătoarele cu funcționare continuă sunt recomandate pentru operațiuni de tratare termică la temperaturi mai mari, în special pentru prăjirea boabelor de cafea, cacao sau malț (malț caramel) [1].

Principalele dezavantaje ale acestor tipuri de uscătoare sunt [2, 3]:

- randamente energetice mici (ținând cont la uscătoarele continue și de energia necesară rotirii tamburului);
- calitate neuniformă a produsului de uscare (mai accentuată la uscătoarele discontinue);
- durata de staționare neuniformă a particulelor în uscătoarele rotative;
- degradări termice ale produsului;
- degradări biochimice determinate de xerolabilitate în cazul biomaterialelor;
- dimensiuni mari ale aparatelor;
- capacități de producție relativ scăzute;
- costuri de operare și fabricație mari, raportate la o tonă de produs finit.

Procedeele intensive de uscare a materialelor solide granulare fac parte din procedeele de uscare convectivă care continuă să rămână și în prezent cel mai cunoscut și răspândit procedeu de eliminare a umidității dintr-un

material, atât datorită simplității procesului cât mai ales multiplelor posibilități de a obține cu cheltuieli reduse și eficiență termică ridicată, o calitate bună și constantă a produsului uscat, într-un timp de operare relativ scurt, recomandabile pentru biomaterialele granulare sunt tehnica stratului fluidizat simplu [4-6], stratul fluidizat modificat prin:

- utilizarea pulsațiilor agentului de uscare [7];
- prin vibrarea unor structuri interne, a suportului stratului solid sau a întregului aparat de uscare [8-10];
- prin utilizarea de material inert [11-13].

Operația de uscare în procedeele intensive de contactare particule solide-agent de uscare este din punct de vedere al fenomenelor de transfer un proces complex în care transferul simultan termic și de masă este puternic dependent de condițiile dinamice determinate de prezența forțelor oscilatorii sau de prezența unor materiale inerte, suport pentru flotația granulelor de material.

Studiul proceselor simultane de transfer de masă și căldură în operațiile de tratare termică a biomaterialelor a făcut în ultimul deceniu obiectul unor ample cercetări teoretice și experimentale pe plan internațional [14, 15].

Recentele studii [16-18] au relevat, de exemplu, în cazul uscării în strat vibro-fluidizat comparativ cu uscarea în strat fluidizat a produselor termosensibile de origine vegetală, o reducere a duratei de uscare cu până la 40% pentru un conținut de umiditate final al produsului de 15%, precum și o creștere a concentrației de substanțe termodegradabile (de exemplu la uscarea β -carotenului), față de cazul aplicării procedeelor de uscare convenționale.

În procedee intensive de uscare, se urmărește realizarea unui contact uniform între agentul termic și granulele de biomaterial care se realizează în structuri ale stratului relativ omogene. Acest deziderat este impus de faptul că în tratarea termică a biomaterialelor pot avea loc deteriorări semnificative a calității produsului final.

Diferitele tipuri de degradare ce pot avea loc depind nu numai de parametrii procesului de uscare (temperatura,

* email: mona_alina@yahoo.com

Tabel 1
PROCEDEE INTENSIVE DE CONTACTARE

Nr. crt / UM	Tipul de material /amestec	Tehnica/condiții de operare	Proprietăți fizice material			Sursa bibl.
			densitate particula, ρ_p kg/m^3	diametrul particulei, d_p $\times 10^{-3} m$	factor de forma Ψ	
1.	porumb	strat fluidizat cu flotație	1200	7.12	0.65	[21]
	nisip		2650	0.283	0.85	
2.	cilindru morcovi	strat fluidizat cu inert	-	23.67	-	[22]
	bile sticlă		2500	2.7-6.5	-	
3.	porumb	strat fluidizat cu inert	1060	8.3-9.3	-	[23, 24]
	mazăre		1030	7.6-10.5	-	
	bile sticlă		2500	2.7	-	
	bile otel		-	2.7	-	
4	porumb	strat fluidizat cu inert	900	8	1	[25]
	nisip		2460	0.283	1	

natura și debitul agentului de uscare) care influențează dinamica particulelor solide în strat și prin această durată de staționare dar și de caracteristicile fizice ale biomaterialelor, cum ar fi: dimensiunea particulelor, porozitate, higroscopicitate. Pentru obținerea unei calități corespunzătoare și constantă a produsului final, alegerea echipamentului de uscare, a procedurii de contactare agent de uscare/granule și a parametrilor de operare ai procesului, este decisivă.

Strumillo și colaboratorii (1990), clasifică materialele rezultate din procese biotehnologice (**MBT**) în funcție de rolul apei prezente în material în două grupuri distincte [16]:

- MBT în care apa este un element structural decisiv pentru viața microorganismelor și activitatea acestora (bacterii, drojdii, mușcăiuri) sau pentru produsele transformării microbiologice (enzimele). Aceste substanțe sunt caracterizate de o mare sensibilitate la uscare; parametrii lor calitativi se modifică substanțial în cursul uscării;

- MBT în care apa este un solvent, mediu pentru modificările microbiologice și nu este un element structural al biopolimerilor care decid proprietățile MBT (antibiotice, aminoacizi, vitamine). Aceste materiale se caracterizează printr-o rezistență înaltă la uscare; parametrii lor calitativi se modifică extrem de puțin în cursul uscării.

Tutova și Kuts (1987) au clasificat biomaterialele în funcție de influența temperaturii în [19]:

- materiale termolabile: enzime, proteine, fungi, bacterii, drojdii, etc;

- materiale termorezistente: spori, culturi de microorganisme.

Influența conținutului de umiditate în material asupra proprietăților biochimice și enzimatică se exprimă prin xerolabilitate.

Luând în considerare ambii factori – temperatura și conținutul apei prezente în biomaterial Tutova și Kuts (1987) au clasificat MBT în două categorii [19]:

- materialele biotehnologice termo și xerostabile care sunt rezistente termic, viteza de inactivare termică este mai mică, conținutul de umiditate critică (limita la care se pastrează bioactivitatea) fiind de câteva procente. Valorile limită sunt: pentru temperatura, $T \approx 150^\circ C$, pentru umiditate, $X \approx 5-7\%$. Exemple de materiale: aminoacizi, antibiotice, bacterii selectate etc.

- materialele biotehnologice termo și xerolabile, nerezistente termic, cu valori limită pentru temperatura $t \approx 60^\circ C$; pentru umiditate $u \approx 35-40\%$.

Așa cum s-a prezentat în prima parte a lucrării [20], materialul granular selectat în studiu a fost malțul, obținut prin tratarea termică a orzului germinat. Scopul principal al uscării malțului este acela de a asigura o conservare de lungă durată, în condiții normale de depozitare, prin reducerea conținutului de apă. În funcție de tipul de malț (blond sau brun), uscarea trebuie să realizeze:

- reducerea până la minim a proceselor enzimatice (biochimice);

- un anumit grad de modificări chimice care, împreună cu efectele produse de procesele biochimice, determină o anumită culoare și aromă (gust și miros) deci o anumită compoziție a produsului finit;

- îndepărtarea aromei de malț crud și favorizarea îndepărtării radicelelor, care intensifică adsorbția de apă în malțul uscat, în condiții de depozitare necorespunzătoare.

În prezent, pentru uscarea malțului se folosesc uscătoare clasice [3] care prezintă dezavantaje specifice ca:

- reducerea conținutului de umiditate al materialelor granulare, cu procente mici de 3-5%, într-un interval de timp de ordinul zecilor de minute sau orelor;

- necesită elemente constructive suplimentare: site vibratoare, platforme perforate rotative, dispozitive de uniformizare, pentru a realiza un strat stabil și omogen prin dispersarea straturilor de material cu umiditate foarte mare și care tind să se aglomereze.

Cercetările experimentale de uscare a unor biomateriale în strat fluidizat în prezență de material inert cuprind informații specifice sistemelor analizate prezentate în tabelul 1.

Comparând procedeele intensive de uscare a materialelor granulare, pentru granulele de malț s-a selectat procedeul în strat fluidizat în prezență de material inert.

Parametri dinamici pentru realizarea fluidizării incipiente în strat fluidizat cu inert necesari studiului cineticii de uscare, au fost determinați experimental [20]; în lucrarea citată se prezintă și relațiile empirice stabilite pentru viteza minimă de fluidizare, în funcție de fracția masică de material inert, x_i , umiditatea inițială, u_0 , și

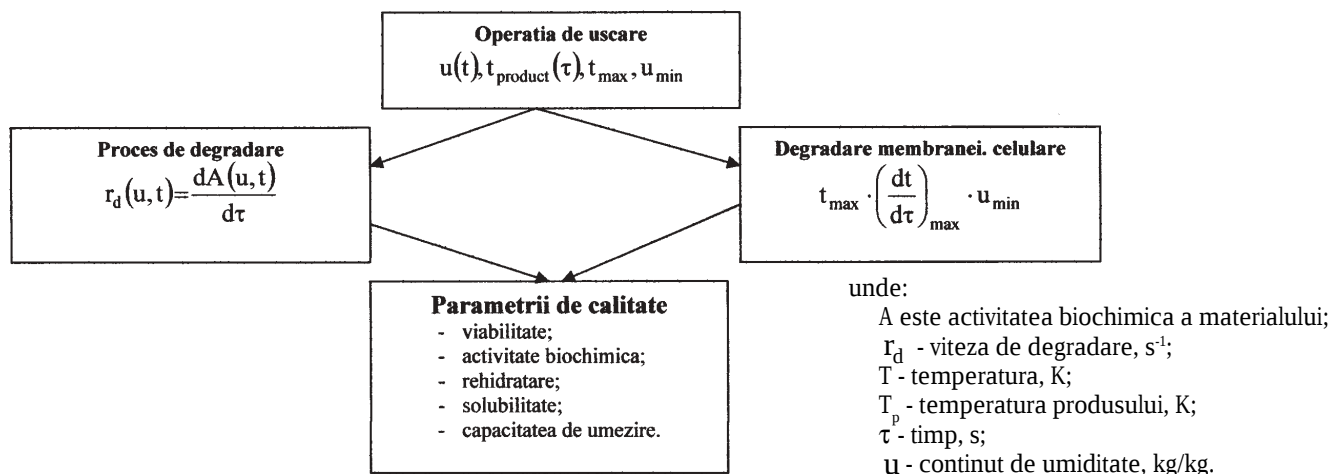


Fig. 1. Interconectarea dintre parametrii de uscare. Caracteristicile de degradare și parametrii de calitate ai produsului [16]

raportul H_0/D_c dintre înălțimea H_0 a stratului fix de material granular și D_c diametrul coloanei cilindrice.

Materialul inert utilizat în seriile de determinări experimentale a fost: nisip cu $d_p = 0,150$ mm și granule de malț măcinat (MS1) cu $d_p = 0,375$ mm.

Obiectivele cercetării au fost:

- stabilirea gradului de degradare a proteinelor la diferite temperaturi pentru selectarea domeniului de temperatură în care poate fi utilizat agentul de uscare, corelat cu termostabilitatea și xerolabilitatea materialului granular utilizat;

- studiul de cinetica uscării convective în strat fluidizat în prezența de material inert comparativ cu uscarea în strat fix simplu și mixt cu agent termic la temperatura selectată.

Cinetica de degradare

În timpul uscării, diferite proprietăți fizice (structura), chimice și biochimice suferă schimbări, care pot fi dorite (de exemplu pentru eliminarea bacteriilor patogene) sau nedorite deoarece pot conduce la degradarea produsului. Domeniul lor de variație este o funcție de temperatura, activitatea apei și durata de uscare.

Tipul și domeniul reacțiilor de degradare depind de compoziția biomaterialului și de tehnologia de uscare.

Mecanismul important la uscarea biomaterialelor este denaturarea proteinelor, componente de bază ce există atât în microorganisme vii cât și în celelalte biomateriale. Procesul de degradare este un proces ce alternează structura reversibilă cu cea ireversibilă a moleculei proteice. Din cercetările experimentale ale lui Tutova și Kuts (1987) se demonstrează că mecanismul de degradare pentru materialele termolabile este reprezentat de denaturarea proteinelor, lipide, glucide, vitamine, iar pentru cele termorezistente, de rupere a peretelui celular sau distrugerea moleculei [16].

În cazuri extreme aceasta implică hidrolizarea – fragmentarea moleculei ca urmare a ruperii legăturilor dintre aminoacizi. Efectul denaturării proteinelor este observabil la creșterea viscozității și scăderea umidității produsului. În general o proteină suferă un proces de denaturare între 40 și 80°C.

Adesea se pot minimiza, în urma unei alegeri corespunzătoare, parametrii externi (temperatură, presiune, timp) sau se pot scădea dimensiunile particulelor pentru a menține acea uscare “miez - umed” și pentru a evita degradarea. Suprafața materialului se menține la temperatura miezului –umed (sub 55°C) și apoi are loc

evaporarea rapidă cu pierderi minime și cu modificări structurale (strângerea materialului) [16, 26].

Cinetica procesului de degradare este dependența de parametrii procesului de tratare termică și indicatorii de calitate finali (fig. 1).

Cinetica de degradare poate fi descrisă de o ecuație de ordinul I [19]:

$$r_d = \frac{dA}{d\tau} = -k_d A \quad (1)$$

unde k_d este constanta de degradare data de o relație de tip Arrhenius:

$$k_d = k_{\infty} \exp\left(-\frac{E_d}{RT}\right) \quad (2)$$

Mărimile specifice din ecuația 2 sunt prezentate pentru cele două clase de material în tabelul 2 [16, 19].

Partea experimentală

Uscarea malțului se realizează în curent de aer cald și cuprinde, din punct de vedere al dinamicii îndepărtării apei, indiferent de tipul de uscător folosit, două faze:

- în prima fază de uscare, de la umiditatea inițială a malțului de 30-35% și până la umiditatea de 19% (punctul de higroscopicitate), îndepărtarea apei se realizează ușor la temperaturi scăzute, iar aerul utilizat se saturează în umiditate; în această fază malțul se comportă ca o suprafață de apă, iar potențialul de uscare a aerului este în întregime folosit;

- în cea de a doua fază de uscare de la punctul de higroscopicitate și până la umiditatea de 3 - 4% în cazul malțului blond și 1,5 - 3% la malțul brun, malțul cedează din ce în ce mai greu umiditatea, deoarece acționează în sens contrar forțelor capilare și coloidale, astfel încât este necesar să se mărească temperatura aerului de uscare. Odată cu scăderea umidității malțului de la 19% până la umiditatea finală are loc o micșorare a umezelii relative a aerului utilizat, diminuându-se astfel potențialul său de uscare.

La atingerea unei umidități a malțului de circa 2% se ajunge la un echilibru stabil care nu poate fi deplasat decât prin folosirea unor temperaturi de uscare de peste 100°C [27].

Instalația experimentală. Variabilele cercetării experimentale

Instalația experimentală concepută și utilizată pentru uscarea granulelor de malț în strat fix și fluidizat cu suport de material inert este prezentată în figura 2.

Tabelul 2
MARIMILE SPECIFICE DIN ECUATIA 2

Clasa de material	Coeficientul k_{∞}	Domeniul de variație k_{∞}	Domeniul de variație, E_d	Temp. T	Umiditatea, u
U.M.	s^{-1}	s^{-1}	kJ/mol	$^{\circ}C$	%
Termo labile	$\ln k_{\infty} = -3.24 + 0.36E_d$	$10^{20} - 10^{80}$	100 – 900	61	35 – 40
Termo rezistente	$\ln k_{\infty} = -4.26 + 0.25E_d$	$10^6 - 10^{10}$	30 - 100	208	8 – 9 (spori) 5 – 6 (antibiotice)

unde k_{∞} este constanta caracteristica produsului și este o funcție de conținutul de umezeală; E_d este

energia de dezactivare a produsului, care de asemenea este o funcție de conținutul de umezeală.

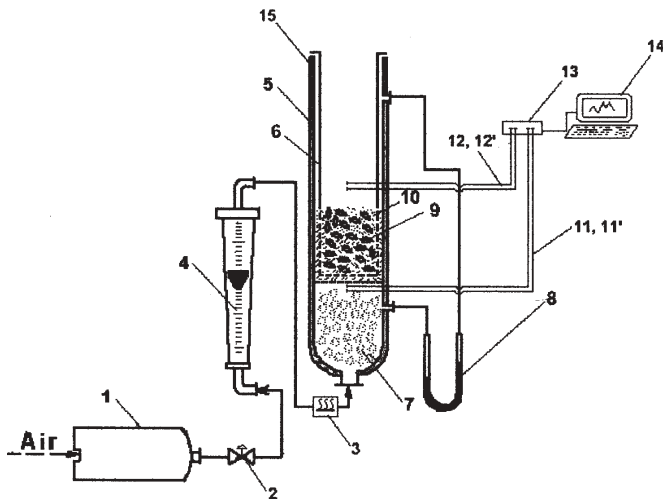


Fig. 2. Schișa instalației experimentale

Instalația experimentală este alcătuită din două componente:

-traseul de agent de uscare: alimentat de la o sursă de aer (1); debitul de aer este reglat cu ventilul (2) și măsurat cu ajutorul rotametrului (4). Încălzirea aerului se realizează într-un încălzitor electric (3). Umiditatea inițială/finală a aerului este măsurată pe principiul psihrometrului (termometru uscat și umed) utilizând senzorii de temperatură 10, 10' și 11, 11', al căror semnal este înregistrat

on-line la sistemul de achiziție (13) conectat la computerul (14).

-uscătorul în strat fluidizat, reprezentat de o coloană de sticlă (5) prevăzută cu zona de distribuție (7) a agentului de uscare care să permită susținerea materialului inert și cu izolație termică (15). Materialul granular este introdus în coloană cu ajutorul suportului cilindric perforat (6) cu diametrul exterior mai mic cu 1 mm decât diametrul interior al uscătorului și cu diametrul orificiilor mai mare decât diametrul materialului inert.

Se studiază cinetica de degradare a proteinelor din malț la diferite temperaturi de uscare în scopul stabilirii temperaturii optime de operare la uscare în strat fix și strat fluidizat.

Etapele de lucru pentru studiul cineticii de uscare prezintă succesiunea:

- se determină umiditatea totală inițială a granulelor de malț prin uscare în etuva până la greutate constantă;
- se circulă agent de uscare prin coloană la temperatura de uscare stabilită până la atingerea regimului termic staționar;
- se introduce materialul inert și se menține starea de fluidizare incipientă determinată pentru diferitele materiale inerte studiate [20] până la atingerea unui echilibru termic, deoarece acestea au rol de purtători termici;
- se introduce materialul granular supus uscării în coloană cu ajutorul suportului cilindric perforat;

Tabelul 3
PARAMETRII VARIABILI AI SERIILOR DE DETERMINARI EXPERIMENTALE

Nr. crt.	Material	Masa stratului de material	Fractia masica inert	Structura stratului	Procedeu de uscare	Raport H_0/D_c	Debit de aer		Grad de fluidizare	Caracteristicile agentului de uscare	
			x_i				G_v	$W = \frac{W}{W_{mf}}$	temperatura	umiditatea initiala	
									t	u_0	
U.M.		g	-				l/h	$10^{-3} m^3/s$	-	$^{\circ}C$	$kg_{apa}/kg_{mat\ usc}$
1	Granule de malt	10	-	Strat fix	in etuva	-	-	-	-	45	-
										60	
										100	
										120	
2	Granule de malt	10	-	Strat fix	in coloana	1	550	0.15	0.275	45	0.013
							1100	0.30	0.5		
							1800	0.50	0.9		
3	Amestec malt – nisip (N)	10	0.94	Strat fix-mixt	in coloana	1	550	0.15	0.275	45	0.013
		150					1100	0.30	0.5		
							1800	0.50	0.9		
4	Amestec malt – nisip (N)	10		Strat fluidizat cu flotatie	in coloana	1	2000	0.55	1	45	0.013
		150					2200	0.61	1.1		
							2400	0.67	1.2		
5	Amestec malt – malt macinat (MS1)	35	0.58	Strat fluidizat cu flotatie	in coloana	1	2000	0.55	1	45	0.013
		25					2200	0.61	1.1		
							2400	0.67	1.2		

-se determină conținutul de umiditate al agentului de uscare la intrarea în coloană și variația conținutului de umiditate la ieșirea din coloană, în timp, utilizând metoda psihrometrică, prin citirea temperaturilor agentului de uscare la termometrul umed și uscat, iar din diagrama psihrometrică se citește umiditatea, y ;

-se determină temperatura agentului de uscare la ieșirea din strat prin citire la termometrul umed, respectiv uscat, din 5 în 5 min, până când acestea rămân practic constante;

-se calculează viteza de uscare din variația conținutului de umiditate al agentului de uscare;

La sfârșitul operației de uscare se oprește alimentarea cu agent de uscare, se descarcă materialul solid și se cântărește pentru verificarea conținutului total de apă îndepărtat în procesul de uscare; în cazul fluidizării materialului granular în prezență de material inert (nisip-N, și malț măcinat - MS1, de granulație fină [20]), se separă mai întâi granulele de malț, de particulele fine de inert (prin ridicarea suportului perforat).

În tabelul 3 se prezintă variabilele studiului experimental și domeniul de valori utilizate.

Rezultate și discuții

Studiul experimental pentru cinetica de degradare

Dintre tipurile de enzime, endo-enzimele sunt rezistente la temperaturile ridicate de uscare, astfel încât pierderile de activitate sunt mici sau chiar nule, în timp ce majoritatea exo-enzimelor suferă o inactivare mai mult sau mai puțin pronunțată, în funcție de regimul de uscare utilizat.

Comportarea individuală a enzimelor indică un comportament diferit al enzimelor în funcție de temperatura de uscare. Astfel dacă α -amilaza prezintă o creștere a activității enzimice la temperaturi scăzute (circa 50°C) și conținut relativ mare de umiditate și o scădere semnificativă a activității la scăderea umidității (la sfârșitul uscării), β -amilaza își pierde activitatea enzimatică la scăderea umidității materialului (în ultima perioadă a uscării).

Dintre enzimele proteolitice, endopeptidazele, prezintă la uscare un comportament similar cu α -amilaza. Carboxipeptidazele și aminopeptidazele sunt termostabile și xerostabile, ele prezentând o inactivare redusă în perioada finală de uscare.

Activitatea hemicelulazelor prezintă evoluții diferite pe parcursul uscării. Astfel, β -glucanaza prezintă activitate ridicată la temperaturi de circa 50°C și umiditate ridicată, în ultima perioadă a uscării scade activitatea lor (sunt xerolabile). Exo- β -glucanaza este termolabilă, deci activitatea ei scade chiar și la temperaturi de 50°C.

O altă enzimă termolabilă sunt fosfatazele. Pierdere în activitate este de 10-15% la temperaturi scăzute, ea crescând cu creșterea temperaturii (75% pierdere la uscare la 100°C).

Lipazele sunt enzime termostabile, dar prezintă un prag de inhibiție în prima perioadă de uscare, până se atinge conformația stabilă optimă unei activități enzimice mari [25, 27].

În cadrul experimentelor privind studiul de degradare a proteinelor din granulele de malț s-a urmărit stabilirea cantitativă a gradului de precipitare al acestora în funcție de temperatura de uscare în etuvă și temperatura de fierbere a probelor de malț.

Modul de lucru

Probele de malț, cu umiditate cunoscută, uscate la temperaturile de 45, 60, 100, 120°C în etuvă, se macină se

amestecă cu apă și se fierb la aproximativ 50°C. Durata de fierbere este de 5, 15, 25, 45 min. Amestecurile rezultate se filtrează pentru îndepărtarea deeurilor grosiere. Filtratul obținut se supune centrifugării și precipitatul se usucă și se cântărește.

Cantitatea de substanță uscată obținută în funcție de temperatura de uscare a probelor de malț la diferite temperaturi de fierbere este prezentată în figura 3. Se observă că odată cu creșterea temperaturii de uscare crește masa de substanță uscată (deci scade activitatea enzimatică).

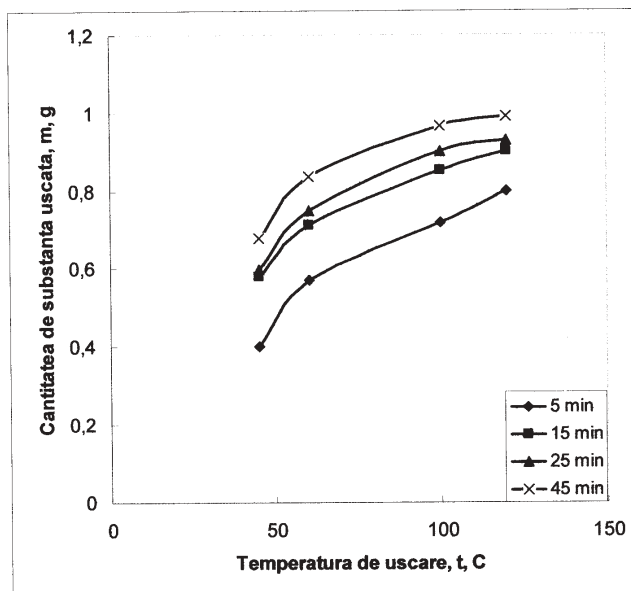


Fig. 3. Variația cantității de substanță uscată cu temperatura de uscare a malțului

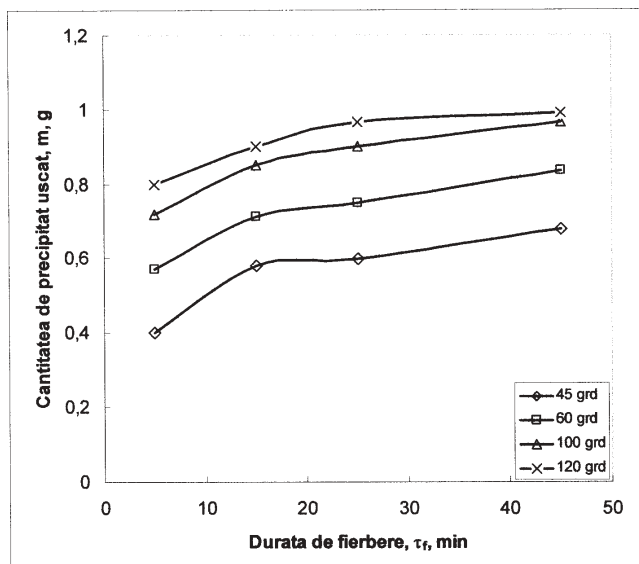


Fig. 4. Variația cantității de substanță uscată cu durata de fierbere

O inactivare substanțială se observă și cu creșterea duratei de fierbere a preparatului apos (fig. 4).

Din datele experimentale obținute se propune pentru calculul masei de substanță uscată, m_s , o relație empirică de calcul în funcție de temperatura de uscare a probei, t (exprimată în grade Celsius) și durata de fierbere a preparatului, τ .

$$m_s = C \cdot t^{0.573} \cdot \tau^{0.195} \quad (3)$$

în care $C=0.016 \text{ kg (s grd)}^{-1}$ este o constantă dimensională determinată funcție de condițiile experimentale.

Relații de calcul pentru prelucrarea datelor experimentale

Relația de calcul pentru umiditatea inițială u_0 , este:

$$u_0 = \frac{m_i - m_f}{m_f} \quad (4)$$

în care:

m_i este masa inițială a probei de malț introduse în etuvă;
 m_f – masa probei de malț, finală.

Instrumentele de măsură cu care a fost echipată instalația experimentală au permis măsurarea debitului volumetric G_v , l/h, de aer, umiditatea aerului la intrarea y_0 ieșirea din coloană.

Viteza de uscare, $du/d\tau$, s-a calculat cu relația:

$$\frac{du}{d\tau} = \frac{G}{m_s} \cdot [y(\tau) - y_0] \quad (5)$$

Umiditatea materialului, $u(\tau)$, la un moment dat s-a calculat cu relația:

$$u(\tau) = u_0 - \frac{G}{m_s} \cdot [y(\tau) - y_0] \cdot \tau, \text{ kg}_{\text{apa}}/\text{kg}_{\text{mat.uscat}} \quad (6)$$

în care:

u este umiditatea materialului granular la un moment τ dat, $\text{kg}_{\text{apa}}/\text{kg}_{\text{mat.uscat}}$;

G – debitul masic de aer uscat, kg/s ;

τ – durata uscării, min;

$y_{0,\tau}$ – umiditatea aerului la intrarea, respectiv la ieșirea din strat la momentul τ , $\text{kg}_{\text{apa}}/\text{kg}_{\text{aer.uscat}}$;

m_s – masa de substanță uscată din stratul de particule, kg .

Debitul masic de solid, G , s-a calculat cu relația:

$$G = \frac{G_v \cdot \rho_{\text{aer.umed}}}{(1 + y_0) \cdot 60 \cdot 10^3}, \text{ kg/min} \quad (7)$$

unde:

$$\rho_{\text{aer.umed}} = \rho_{\text{vap. apa}} \cdot y_0' + \rho_{\text{aer}} \cdot (1 - y_0') \quad (8)$$

$y_0' = \frac{y}{1 + y}$, umiditatea aerului în $\text{kg}_{\text{apa}}/\text{kg}_{\text{aer.umed}}$;

y – umiditatea aerului în $\text{kg}_{\text{apa}}/\text{kg}_{\text{aer.uscat}}$ determinată din diagrama psihrometrică în funcție de temperatura termometrului umez și uscat.

Înlocuind $\rho_{\text{vap. apa}}$ și ρ_{aer} în relația (3) rezultă $\rho_{\text{aer.umed}} = 1,18 \text{ kg/m}^3$.

Determinarea umidității inițiale

Uscarea malțului în etuvă s-a realizat în scopul determinării umidității totale a granulelor de malț din starea inițială.

Valoarea finală constantă a umidității materialului solid în funcție de durata staționării probelor în etuvă, a fost stabilită prin cântăriri succesive la intervale de timp din 5 în 5 min pentru primele 20 min și din 10 în 10 min până la valoare constantă a masei de granule. În figura 5 se prezintă variația umidității malțului funcție de durata de uscare în etuvă la diferite temperaturi.

Din figura 5 rezultă că viteza de uscare în etuvă crește cu creșterea temperaturii de uscare.

Uscarea în etuvă a indicat că valoarea umidității inițiale a malțului este $u_0 = 0,35 \text{ kg}_{\text{apa}}/\text{kg}_{\text{mat.uscat}}$; această valoare a fost menținută aproximativ constantă pentru toate seriile de determinări experimentale.

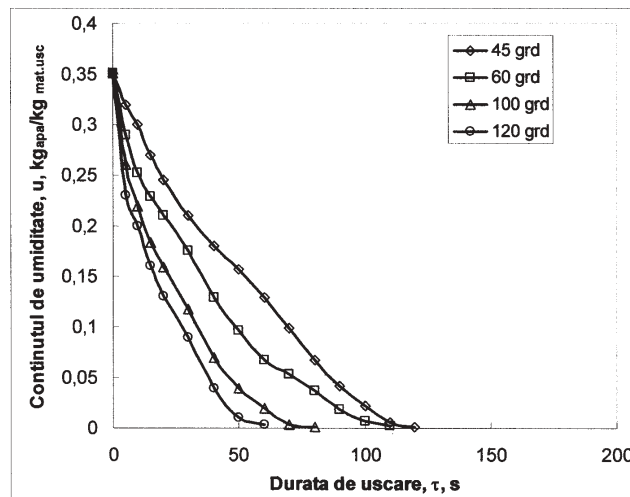


Fig. 5. Variația conținutului de umiditate funcție de durata de uscare, la diverse temperaturi

Valoarea finală a umidității, umiditatea de echilibru pentru granulele de malț, determinată la uscarea în etuvă este de 6%. Se recomandă pentru determinarea umidității inițiale și de echilibru operarea la 120°C și o durată de uscare de 55-60 min.

Cinetica de uscare

Studiile de cinetică de uscare au fost realizate în strat fluidizat cu inert; pentru studiul eficienței uscării s-au realizat studii de cinetică în strat fix a granulelor de malț și în strat fix a amestecului granule de malț cu inert.

- uscare în strat fix

În figurile 6, 7 se prezintă variațiile $u = f(\tau)$ și respectiv, $du/d\tau = f(u)$ pentru debitele operaționale de aer la uscarea în strat fix a granulelor de malț.

În aceleași condiții de circulație a aerului în strat fix s-a determinat cinetica de uscare a granulelor malț în amestec cu particule fine de nisip ca inert, în scopul evidențierii rolului inertului ca mediu de difuziune a umidității de la granulele de malț în procesul de uscare.

În figurile 8 și 9 se prezintă variația vitezei de uscare $u = f(\tau)$, $du/d\tau = f(u)$, la uscarea amestecului malț – material inert (nisip) la uscarea în strat fix (strat fix mixt).

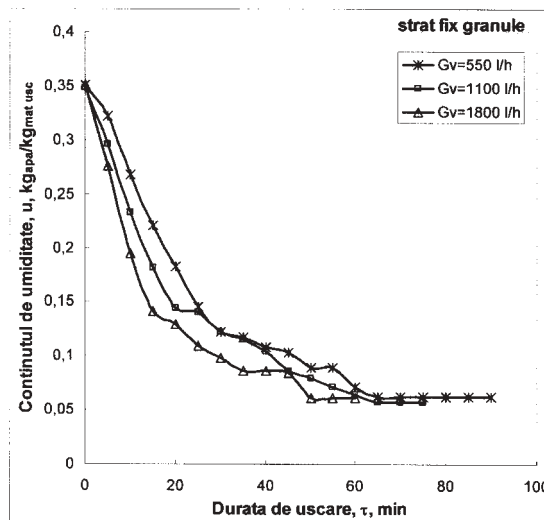


Fig. 6. Variația conținutului de umiditate cu durata la uscarea în strat fix a granulelor de malț la diverse valori ale debitului agentului de uscare (sistem 2, tabelul 3)

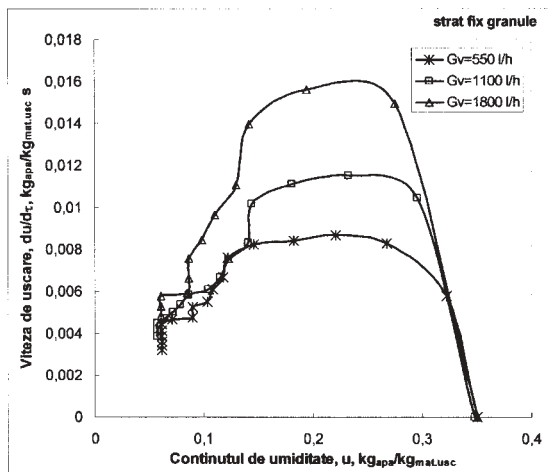


Fig. 7. Variația vitezei de uscare cu conținutul de umiditate la uscarea în strat fix a granulelor de malț la diverse valori ale debitului agentului de uscare (sistem 2, tabelul 3)

Analizând uscarea în strat fix a granulelor de malț și a granulelor de malț în amestec cu inert se observă că duratele de uscare până la atingerea stării de echilibru sunt mai mari la uscarea granulelor de malț. Funcție de debitul agentului de uscare acestea sunt de 50, 60, 65 min pentru debite de 1800, 1100 și respectiv 550 L/h, față de uscarea granulelor de malț în amestec cu material inert, când se obțin durate de 35, 40, 55 min pentru aceleași debite ale agentului de uscare (fig.8).

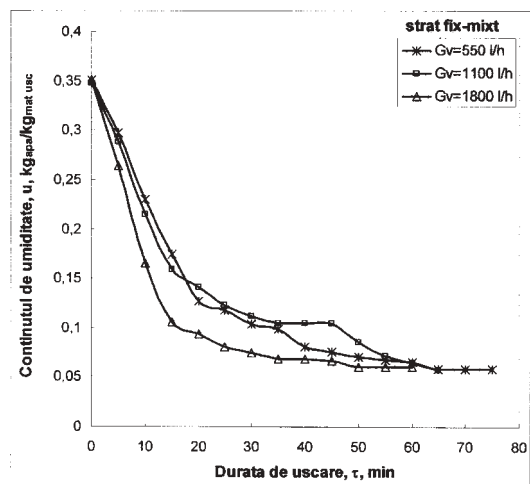


Fig. 8. Variația conținutului de umiditate cu durata la uscarea în strat fix a granulelor de malț în amestec cu material inert la diverse valori ale debitului agentului de uscare (sistem 3, tabelul 3)

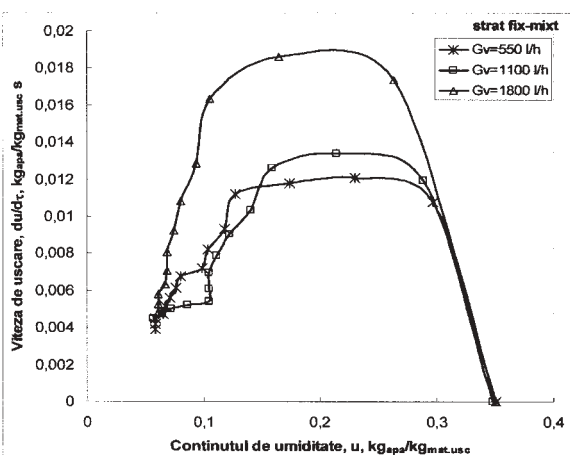


Fig. 9. Variația vitezei de uscare cu conținutul de umiditate la uscarea în strat fix mixt la diverse valori ale debitului agentului de uscare (sistem 3, tabelul 3)

De asemenea, pentru viteza de uscare se constată o creștere de 26% la uscarea granulelor de malț în strat fix cu inert față de uscarea malțului în strat fix (fig. 9).

Un alt aspect important este reducerea duratei de uscare cu viteza constată pentru amestecul malț inert, față de uscarea în strat fix a granulelor de malț, ceea ce indică o redistribuire prin difuziune a umidității externe între granulele de malț și particulele de inert, determinând astfel o creștere a suprafeței efective de transfer de termic și de masă.

- uscare în strat fluidizat

În scopul intensificării uscării malțului s-au realizat experimente de uscare în strat fluidizat a materialului inert cu flotajie granulelor de malț. Un prim set de determinări experimentale a utilizat ca material inert nisipul, cu comportament nehiproscopic.

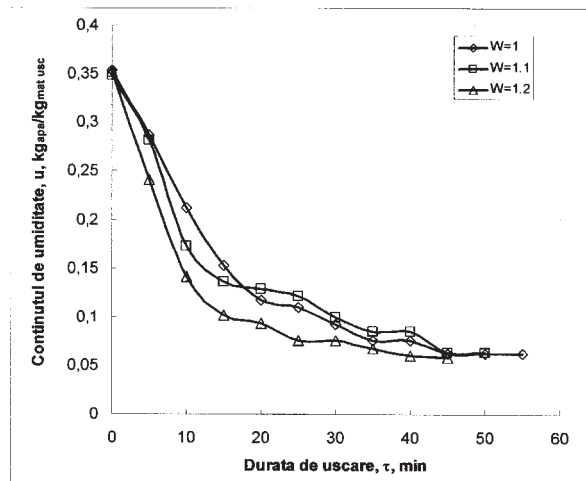


Fig. 10. Variația conținutului de umiditate cu durata la uscarea în strat fluidizat cu flotajie a amestecului granule de malț - nisip la diverse grade de fluidizare (sistem 4, tabel 3)

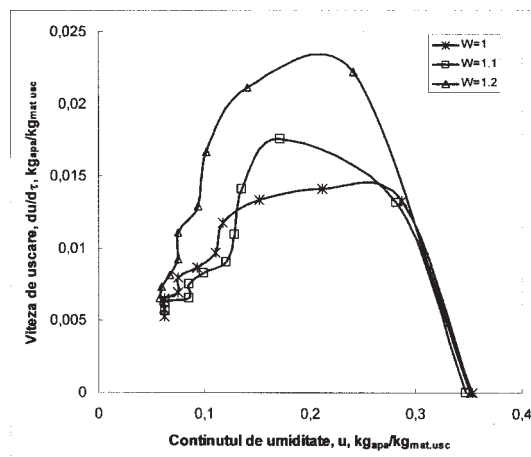


Fig. 11. Variația vitezei de uscare cu conținutul de umiditate la uscarea în strat fluidizat cu flotajie a granulelor de malț în amestec cu materialul inert (nisip) la diverse grade de fluidizare (sistem 4, tabel 3)

În figurile 10 și 11 sunt redată variația conținutului de umiditate cu durata de uscare respectiv $u=f(\tau)$, variația vitezei de uscare cu conținutul de umiditate $du/d\tau=f(\tau)$ în strat fluidizat cu flotajie a amestecului malț - material inert (nisip).

În figurile 12 și 13 sunt redată variația conținutului de umiditate cu durata de uscare $u=f(\tau)$, respectiv, variația vitezei de uscare cu conținutul de umiditate $du/d\tau=f(\tau)$ în strat fluidizat cu flotajie a amestecului malț - material inert

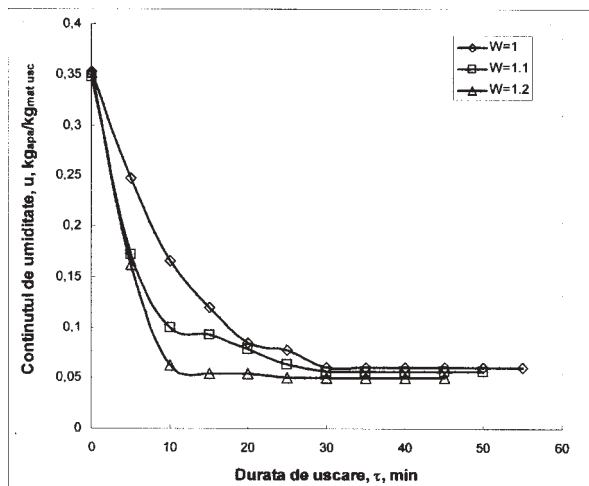


Fig. 12. Variația conținutului de umiditate cu durata la uscare în strat fluidizat cu flotație a amestecului granule de malț-MS1 la diverse grade de fluidizare (sistem 5, tabel 3)

MS1 (malt măcinat cu comportare de material higroscopic) [18].

În figura 12 se observă că pentru amestecul granule de malț-MS1 durata totală a operației de uscare este redusă comparativ cu utilizarea nisipului ca inert. Comparând rezultatele experimentale obținute la uscare în strat fluidizat cu flotație utilizând ca material inert nisipul și respectiv malțul măcinat, se constată că în condițiile utilizării materialului inert, ne higroscopic, duratele de uscare la diferite grade de fluidizare sunt mai mici de 40 min, în timp ce în cazul utilizării ca material inert a malțului măcinat, higroscopic, durata de uscare scade până la 30 min. Datorită distribuției umidității între granulele de malț și malțul măcinat, transferul de masă are loc cu viteză mai mare datorită compatibilității morfo-structurale ale celor două componente ale amestecului. Totodată durata de uscare scade cu creșterea gradului de fluidizare al materialului inert.

În figura 13 se observă că vitezele de uscare cresc semnificativ la uscare în strat fluidizat cu flotație utilizând ca material inert malțul măcinat comparativ cu utilizarea ca material inert a nisipului. Astfel, se constată o creștere de 77 % a vitezei de uscare în strat cu material inert higroscopic și grad de fluidizare 1,2.

Fără de uscare în strat fix a granulelor de malț, tehnica utilizată în industria alimentară, uscare în strat fluidizat cu flotație a granulelor de malț în prezența de material inert nisip prezintă o creștere a vitezei de uscare de 6% pentru un grad de fluidizare 1. Uscare în strat fluidizat cu flotație în prezența de material inert higroscopic prezintă o creștere de 37,5 % a vitezei de uscare, la un grad de fluidizare 1, față de uscare în strat fix a granulelor de malț.

Concluzii

S-a studiat uscare materialele granulare (malț) în strat fix, strat fix mixt și strat fluidizat cu flotație (în prezența de material inert) în condițiile hidrodinamice stabilite experimental în prima parte [18] pentru geometria de strat $H_0/D_0 = 1$, în scopul reducerii efectului de perete. Pentru studiul comparativ al cineticii de uscare al granulelor de malț în prezența de material inert s-au ales materiale ne higroscopice, nisipul (N), și higroscopice, malțul măcinat MS1.

Din studiul de termodegradare al proteinelor din malț s-a stabilit temperatura optimă de uscare. Astfel, funcție de domeniul de temperatură în care se constată

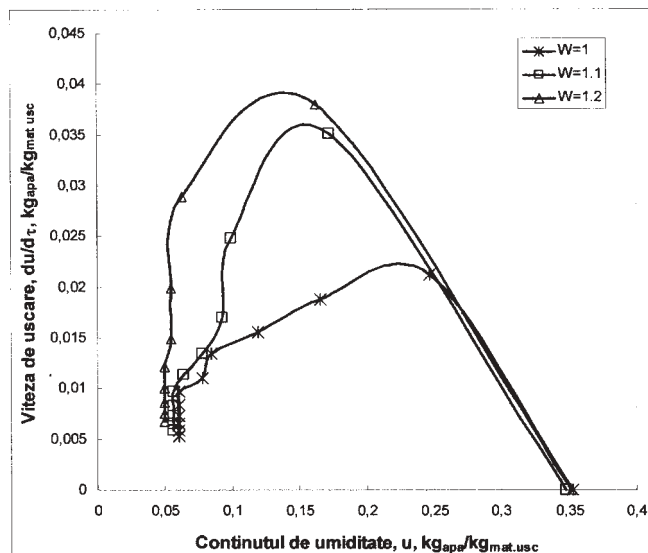


Fig. 13. Variația vitezei de uscare cu conținutul de umiditate la uscare în strat fluidizat cu flotație a amestecului granule de malț-MS1 la diverse grade de fluidizare (sistem 5, tabel 3)

termostabilitate proteică, s-a ales temperatura de uscare a malțului de 45 °C. Pentru determinarea gradului de degradare a proteinelor s-a stabilit o relație între masa de substanță uscată, temperatura și durata de fierbere.

Pentru granulele de malț, materialele dificil de uscat în strat fluidizat simplu, cinetica operației de uscare realizată la 45°C în strat fluidizat cu flotație a evidențiat obținerea de durate de uscare reduse, cu menținerea calității proteice a produsului final. Se recomandă utilizarea MS1 ca material inert deoarece uscare în strat fluidizat cu flotație în prezența acestui material inert, higroscopic, prezintă o creștere de 37,5 % a vitezei de uscare, la un grad de fluidizare 1, față de uscare în strat fix a granulelor de malț. Pe de altă parte, față de metoda de uscare în care se utilizează ca material inert, nisipul, care adere pe suprafața granulelor de malț, impurificându-le, utilizarea malțului măcinat nu impune separarea din amestecul de granule de malț în procesele tehnologice agroalimentare, metoda fiind mai eficientă din punct de vedere economic.

Bibliografie

1. BANU, C., STOICESCU A., RĂSMERIDĂ, D., VIZIREANU C., POP, M., PANCU M., TOFAN, I., VERESCU, V., Tratat de tiința și tehnologia malțului și a berii, I, II, Seria Inginerie alimentară, Ed. AGIR, București, 2000
2. STRUMILLO, C., Bazele teoriei și tehnicii uscării, Ed. tehnica, București, 1984
3. BANU C. și colab, Manualul inginerului de industrie alimentară., II, Ed. Tehnică, București, 1999
4. JINESCU G., Rev. Chim.(București), **23**, nr.1, 1972, p.41
5. JINESCU G., Rev. Chim.(București), **19**, nr.9, 1968, p.522
6. JINESCU G., VASILESCU P., Rev. Chim.(București), **28**, nr.4, 1977, p.383
7. JINESCU G., BALABAN C., MITITELU M., Rev. Chim.(București), **33**, nr.8, 1982, p.750
8. JINESCU G., TEBRENCU C., IONESCU E., PETRESCU M., JINESCU, C., IDS'2000, 27-31 august, 2000, Olanda, Noordwijkerhooft, CD-ROM, 2000
9. BRATU A.EM., JINESCU G., Rev. Chim., **20**, nr.9, 1969, p.547
10. BALABAN C., JINESCU G., Rev. Chim., **25**, nr.6, 1974, p.479
11. JINESCU G., VASILESCU, P., PETRESCU M., ISOPENCU G., Proceedings of 10th Drying Symposium, Lodz, Polonia, 2003, p.519
12. JINESCU G., VASILESCU, P., ISOPENCU G., PETRESCU M., Proceeding of International Drying Symposium, IDS'2002, Beijing, China, A, 2002, p.596
13. JINESCU G., VASILESCU, P., ISOPENCU G., PETRESCU M., IDS'2000, 27-31 august, 2000, Olanda, Noordwijkerhooft, CD-ROM, 2000

14. COBBINAH, S., ABID, M., LAGUERIE, C., GIBERT, H., *Drying'87*, Hemisphere, New-York,, section I, 1987, p.24
15. MOURAD, M., HEMATI, M., LAGUERIE, C., *Int. J. Heat Mass Transfer*, **40**, 5, 1997, p.1109
16. STRUMILLO, C. MARKOWSKI, A., ADAMIEC, J., *Selected aspects of drying biotechnological products*, 10th International Congress CHISA, August 26-31, Praha, pp. 1 – 14, 1990.
17. LIU, X.D., STRUMILLO, C., ZBICINSKI, I., *Drying'96*, 1996, p.1237
18. KUDRA, T., MUJUMDAR, A.S., 2000, *Advanced Drying Technologies*, Marcel Dekker, New York
19. TUTOVA, E.G., KUTS, P.S., *Drying of products of microbiological industry*, Agropromizdat, Moscwa, 1987
20. MARES A. M., ISOPESCU G., JINESCU, C., *Rev. Chim.(Bucure°ti)*, **59**, nr. 1, 2008, p. 79
21. MOURAD, M., HEMATI, M., LAGUERIE, C., *Chem.Eng.J.*, **59**, 3, 1995, p.221
22. HATAMIPOUR, M.S., MOWLA, D., *J. Food Eng.*, **55**, 2002, p.247
23. HATAMIPOUR, M.S., MOWLA, D., *J. Food Eng.*, **59**, 2003, p.221
24. HATAMIPOUR, M.S., MOWLA, D., *Food and Bioproducts Processing*, **84**(C3), 2006, p.220
25. MOURAD, M., HEMATI, M., STEIMETZ, D., LAGUERIE, C., *Drying Technol.*, **15**, 9, 1997, p.2195
26. ZARNEA, ST., MENCINICOPSCI, GH., BRĂGĂREA, ST., *Bioingineria preparatelor enzimactice microbiene*, Ed.Tehnică, Bucure°ti, 1980
27. BERZESCU, P., DUMITRESCU, M., HOPULELE, T., KATHREIN, I., STOICESCU, A., *Tehnologia berii °i a mal°ului*, Ed.CERES, Bucure°ti, 1981

Manuscript received: 20.02.2008