

HŐ- ÉS ANYAGÁTADÁS ANALÓGIÁJÁNAK VIZSGÁLATA GABONAFÉLÉK SZÁRÍTÁSÁNÁL

DR. ZSIGÓ ISTVÁN*—MARÓTI JÁNOS**

A korszerű technológia alapelve a gyártás során bekövetkező változások, műveletek egyenletekkel való leírása, amelyek segítségével — a minőség és gazdaságosság figyelembevételével — a legkedvezőbb technológiai körülmények meghatározhatók, illetve ellenőrizhetők.

Az egyenletekhez két út vezet. Az egyik a teljes matematikai megoldás, a másik a félempirikus összefüggések alkalmazása. Az előbbi az élelmiszeripart jellemző bonyolult, az általában egyidejű fizikai, kémiai és biológiai változások, továbbá a geometriai viszonyok miatt hosszadalmas és nehézkes, különlegesen magas színvonalú matematikai felkészültséget és berendezéseket igényel. A félempirikus egyenletek a dimenzió nélküli kritériumok alkalmazásával, az ipar számára jól hasznosítható összefüggéseket adnak. Lehetővé teszik a vizsgált művelet esetében a paraméterek rangsorolását, optimalizálását, továbbá a kísérletek alapján nyert adatok széles intervallumban általánosított alkalmazását.

Jelen munkánkban a félempirikus egyenletekből levezetett $j_H = j_D$ — analógiával foglalkozunk [1], amelyet a vegyipar több területen hasznosít, ugyanis sík és hengeres felületekkel, továbbá csövekben párhuzamos lamináris és turbulens áramlás esetére igazolták [2].

A j_H és a j_D — dimenzió nélküli jellemzőket kísérletek mérési adatai alapján külön-külön meghatároztuk, és azonosságukat vizsgáltuk. A kalorikus szemcsehőmérséklet mérése [3] tette lehetővé olyan kísérletek megvalósítását, amelyekkel a j_H és j_D — értékeit meghatározhattuk.

Kísérleteink modell anyagául munkánkban a kukoricát és az árpát adjuk meg, amelyek szárítása jelenleg feladatot jelent a gyakorlat számára [4].

Vizsgálati módszer

A kukoricát és az árpát átáramoltatásos rendszerű nyugvó halmazú, üzemi paraméterértékeket biztosító szárítóberendezésen végeztük. Ezen a berendezésen fejlesztettük ki a szemcsehőmérséklet-mérés kalorikus módszerét gabonafélék esetére, amelyről korábban beszámoltunk, ahol a berendezést és a módszert részletesen ismertettük [3].

* Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék

** Matematika Tanszék

Méréseinkhez 120 °C hőmérsékleten belépő levegőt alkalmaztunk, amely a 20–22 cm magas kukorica-, ill. árparéteget 0,2 $\frac{m}{s}$ áramlási sebességgel hagyta el, amelyet kanalas anemométerrel ellenőriztünk.

A szárítás során mértük az összes mennyiség súlyvesztését, a kilépő levegő hőmérsékletét. Mivel a szárításnak az említett módja nem állandósult hőátadási viszonyokat jelent, a távozó levegő hőmérséklete állandóan változott, ezért percenként mértük, és a kimenő hőmérsékletnek ezek számtani átlagát tekintettük. Hasonló okok miatt a levegő relatív páratartalmát azonos módon mértük és számítottuk, amelyhez Fischer-féle 123 típusú, német gyártmányú, műanyagszálal higrométert alkalmaztunk.

A kalorimetriás szemcsehőmérséklet meghatározására az összes szárított mennyiséget felhasználtuk.

Szárítási kísérleteinket az idő függvényében végeztük, minden szárítási idő t külön előlről kezdett méréssorozatokkal vizsgáltunk. Ezt nemcsak a tényleges viszonyoknak jobban megfelelő eredmények miatt végeztük, hanem azt a kalorimetriás szemcsemérés is indokolta.

A kukoricára vonatkozó mérési eredményeinket az 1., az árpára a 2. táblázatokban foglaltuk össze.

Az 1. és 2. táblázat, továbbá a víztenzió adatainak, a levegőre vonatkozó $i-x$ diagramnak, a kukorica és az árpa anyagi jellemzőinek, valamint a szárító paramétereinek alkalmazásával a következő egyenletek hasznosításával a hő- és az anyagátadási jellemzőket meghatároztuk.

A — hőátadási tényező:

$$\alpha = \frac{Q}{A(t_{lev.} - t_{szemcs.})} \frac{kcal}{\tau m^2 h ^\circ C},$$

ahol:

$t_{lev.}$ — a szárító levegő jellemző hőmérséklete; $t_{lev.} = 0,5 (t_{be} + t_{ki} \text{ átl.})$,

t_{szem} — a szemcse kezdeti hőmérséklete,

Q — az a hőmennyiség, amelyet a szemcsék a szárítás ideje alatt átvettek. A t_{szem} és a Q értékeit a kalorimetriás szemcsehőmérséklet-mérés alapján határoztuk meg [3].

τ — a szárítási idő

A — a szemcsék felülete, amelyet két módon határoztunk meg. Több száz szem főbb méreteinek mérése és átlaga alapján szabályos geometriai testnek képzelve és annak a felületének számításával felületszámítással, másik módon pedig az egyenértékű gömbátmérő alapján felületszámítással. Az így nyert kétféle felületet 1000 g-ra vonatkoztattuk, amely alapján a mindenkor felületet meghatároztuk.

Az egyenletekben az eltérést vizsgáltuk.

$A j_H$ — faktor:

$$j_H = \frac{\alpha}{c_p G} Pr^{2/3},$$

1. táblázat
Kukorica szárítási adatai

Rétegvastagság 220 mm, kezdeti nedv. tart.: 28%.

Mérésorozatszám	τ min	G g	ΔG g	$t_{\text{kimenő levegő}} \text{ } ^\circ\text{C}$ percenként										átlag	$\varphi_{\text{kimenő levegő}} \text{ } \%$ percenként										átlag
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	5	1650	10	25,0	25,0	23,0	23,2	23,5					23,94	76,0	84,0	90,0	92,0	94,0					87,20		
2	10	1650	15	24,2	23,2	23,0	23,0	23,0	23,8	24,0	26,0	27,5	27,5	24,58	82,0	84,0	87,0	90,0	92,0	95,0	95,0	98,0	99,0	99,0	92,10
3	15	1650	28	24,5	23,8	23,5	23,5	23,5	24	25,0	27,0	29,0	29,5	26,89	76,0	84,0	87,0	90,0	94,0	95,0	98,0	98,0	99,0	99,0	94,40
				30,0	30,0	30,0	30,0	30,0					99,0		99,0	99,0	99,0	99,0							
4	20	1650	48	24,3	23,8	23,5	23,5	23,5	24,6	25,0	27,5	28,5	29,0	28,41	80,0	84,0	88,0	90,0	96,0	98,0	98,0	99,0	99,0	99,0	96,41
				30,0	30,5	30,5	31,0	32,0	32,0	32,0	32,2	32,3	32,5		99,0	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	
5	25	1650	66	24,5	24	23,8	23,8	24,0	25,0	25,5	26,8	27,2	30,2	29,34	82,0	85,0	86,0	90,0	97,0	97,0	98	99	99	99,8	97,20
				30,5	31	31,3	31,5	32,0	32,2	32,2	32,2	32,2	32,2		99,5	99,8	99,8	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	
				32,2	32,2	32,2	32,2	32,8					99,9		99,9	99,9	99,9	99,9							

átl. átlag: 26,63

átl. átlag: 93,46

ahol:

- α — hőátadási tényező,
 G — a levegő tömegsebessége $\text{kg/m}^2 \text{ h}$,
 Pr — a Prandt jellemző ($c_p \eta / \lambda$), a levegő fajhő, viszkozitás és hővezetési tényezőiből képzett dimenzió nélküli jellemző.

A k_g — anyagátadási tényező:

$$k_g = \frac{\Delta G}{A \tau \Delta p} \frac{g}{\text{m}^2 \text{ h Hg/mm}},$$

ahol:

- G — a szárítás alatt elpárolgott vízmennyiség,
 A — a szemcsék felülete m^2 ,
 τ — a szárítás ideje h ,
 p — a szemcsék hőmérsékletéhez tartozó víz tenziója p_{szem} (táblázatból [5] és a szárító levegő ki- és belépő vízgőz parciális nyomásának számtani közepének ($p_{lev.} = 0,5 (p_{be} + p_{ki})$) $i-x$ diagramból [6] a különbsége, azaz:
 $p = p_{szemcse} - p_{levegő}$ (Hg/mm).

A j_D — faktor:

$$j_D = \frac{k_g p_{közép} M}{G} Sc^{2/3},$$

ahol:

- k_g — az anyagátadási tényező,
 G — a levegő tömegsebessége $\text{kg/m}^2 \text{ h}$,
 $p_{közép}$ — a $p_{szemcse}$ és a $p_{levegő}$ — logaritmikus középértéke:

$$p_{közép} = \frac{p_{szemcse} - p_{levegő}}{2,303 \lg \frac{p_{szemcse}}{p_{levegő}}} \text{ Hg/mm},$$

- M — az átáramlott levegő tömegének és a levegő átlagos molsúlyának viszonya,
 Sc — Schmidt jellemző ($\eta / \rho D$) a levegő — víz rendszer viszkozitás, sűrűség és diffúziós állandóiból képzett dimenzió nélküli jellemző. A levegő — víz rendszerek esetében széles paraméter intervallumban 0,6 [7].

Kísérleti eredmények

Az 1. és 2. táblázatok mérési adatai alapján, a kukorica és az árpa α , k_g , j_H és j_D tényezőit a szárítási idő függvényében a vázolt módon meghatároztuk. Számításainkat az Élelmiszeripari Főiskola Matematika Tanszéken Cellatron márkájú, R 44 SM típusú számológéppel végeztük. Eredményeinkre a 3. táblázatban illetve a 1. ábrán utalunk.

A szemcsehőmérsékletet kalorimetriásan [3] mértük, amely módszernek és eredményeinek részletes ismertetését mellőzzük.

3. táblázat

Az α , k_g , j_H és j_D meghatározott értékei az idő függvényében

Mérés-sorozat száma	τ min	Kukorica								Árpa							
		$\alpha \left[\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}} \right]$		$k_g \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2 \text{ h Hg/mm}} \right]$		j_H		j_D		$\alpha \left[\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}} \right]$		$k_g \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2 \text{ h Hg/mm}} \right]$		j_H		j_D	
		A_1	A_2	A_1	A_2	A_1	A_2	A_1	A_2	A_1	A_2	A_1	A_2	A_1	A_3	A_1	A_3
1	5	1,203	1,881	4,90	7,35	0,189	0,258	0,478	0,579	0,437	0,976	1,93	4,28	0,097	0,196	0,158	0,351
2	10	0,806	1,231	2,79	4,28	0,125	0,194	0,765	0,374	0,271	0,608	1,36	3,10	0,054	0,121	0,245	0,410
3	15	0,709	1,095	2,60	3,99	0,112	0,170	1,531	0,392	0,234	0,516	1,78	3,97	0,056	0,103	0,602	1,339
4	20	0,624	0,956	2,29	3,52	0,098	0,150	2,320	0,329	0,184	0,403	1,37	3,03	0,036	0,096	0,702	1,544
5	25	0,564	0,859	2,20	3,38	0,087	0,135	3,470	0,289	0,179	0,394	1,19	2,26	0,035	0,788	1,065	2,150
átlag:		0,781	1,204	2,95	5,10	0,122	0,181	1,713	0,392	0,261	0,579	1,52	3,32	0,056	0,101	0,556	1,158

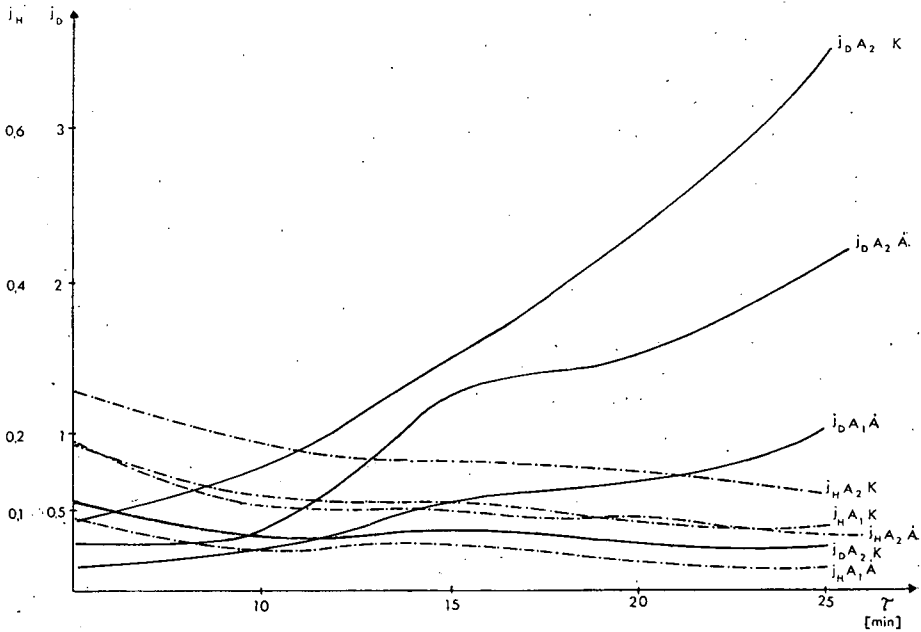
A szemcsék felületére az egyenértékű gömbátmérő meghatározásával, majd alkalmazásával a kísérletünk tárgyát képező kukorica, illetve árpa esetén 1000 g-ra vonatkoztatva:

$$\begin{aligned} A_{\text{kukorica}} &= 0,460 \text{ m}^2, \\ A_{\text{árpa}} &= 1,024 \text{ m}^2 \text{ felületet kaptunk.} \end{aligned}$$

A kukoricaszemcséket csonkagúlának, az árpát két összefordított kúpnak feltételezve és így ezek felületét számítva 1000 g-ra vonatkoztatva:

$$\begin{aligned} A_{\text{kukorica}} &= 0,710 \text{ m}^2, \\ A_{\text{árpa}} &= 2,257 \text{ m}^2\text{-nek adódott.} \end{aligned}$$

A kalorikus egyenletekhez a kukorica és az árpa fajhőjét mértük [8], eredményül kukoricára $0,60 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$, árpára $0,57 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ — értéket találtunk.



1. ábra

Értékelés

A gabonafélék nyugvó halmazának átáramoltatásos konvekciós szárítása esetén a $j_H = j_D$ analógia legfejlebb nagyságrendileg egyezik.

Az eltérés elsődlegesen az instacioner átadási viszonyokra vezethető vissza, ugyanis a hőmérsékletkülönbség a szemcsék és a levegő között időben csökken, amely az α és a j_H egyre kisebb értékét eredményezi. A szemcsék hőmérséklete a szárítási idővel növekedik, a levegő hűl és egyre jobban telítődik, amely az anyagát-

adás intenzitását és így annak számszerű kifejezőit a k_g és a j_D jellemzőket változtatja, ahogyan az az 1. ábrán látható.

Az említett módon meghatározott analógia arra enged következtetni, hogy a gondolatmenet alapját képező határréteg-elmélet és az ezzel kapcsolatos dimezió nélküli kritériumok a gabonafélék szárítása esetén is alkalmazhatók. Az anyagi jellemzők és az áramlási viszonyok ténylegesnek megfelelő figyelembevételét jelenti. A kalorikus szemcsehőmérséklet meghatározás módját és alkalmazhatóságát igazolja.

A heterogén mértékrendszer alkalmazásának elkerülése miatt megkíséreltük az analógiát egyetlen mértékrendszeren belül maradván meghatározni, ez azonban a különösen nagy számszerű eltérések miatt nem járt sikerrel. Feltehetően az irodalomban egységesen alkalmazott mértékegységek, amelyeket jelen munkánkban mi is hasznosítottunk, erre a nagy, analógiától eltérő, azt nem mutató eredményekre vezethetők vissza.

A j_H és a j_D jellemzők fedése a szemcsefelület figyelembevételének korrigálásával tovább javítható, az 1. ábrán látható változások is erre utalnak, ugyanis a kalorikus jellemzők az anyagátadási tényezőknél a felület függvényében kisebb mértékben változnak.

Eredményeink nyugvó halmazra vonatkoznak. Feltehetően a hő- és az anyagátadás vonatkozásában homogénebb mozgató halmazok esetében jobb analógia-egyezés várható, amelynek vizsgálatát a témakörben a következő feladatunknak tekintünk.

Összefoglalás

Az analógia vizsgálatát a kalorikus szemcsehőmérséklet mérés hasznosításával, a hő- és az anyagátadási tényezőknek mérési adatok alapján meghatározott értékeinek összehasonlítása alapján végeztük.

Gabonafélék konvekciós szárítása esetében a hő- és anyagátadás analógiája a j_H és a j_D — faktorokat vizsgálva nagyságrendileg egyeznek.

Az analógia a geometriai viszonyok megfelelő figyelembevételével tovább pontosítható.

A szárítás vizsgálatánál nyert eredmények az analógia hasznosításának lehetőségeire hívják fel a figyelmet és ez a minőségben, a teljesítményben és a gazdaságosságban eredményesebb szárítást jelenthet.

IRODALOM

1. *Ciborowski, J.*: A vegyipari műveletek alapjai, Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1969.
2. *Sherwood T. K.—Pigford, R. L.*: „Absorption and Extraction” 2. kiadás, Mc Graw-Hill, New York, 1952.
3. *Zsigó J.—Maróti J.*: Tudományos közlemények, Élelmiszeripari Főiskola, Szeged, 1971.
4. *Bátyai J.—Zsigó I.*: Félüzemi kísérletek a vibrációs konvekciós szárítás alkalmazására. Élelmiszeripari Ipar 7. 1971.
5. *Hidegkúti Gy.—Kiss L.-né*: Élelmiszeripari műveletek praktikum, Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1967.
6. *Geracs Á.*: Vegyipari műveletek és gépek, Tankönyvkiadó, Bp., 1970.
7. *Marshall, W. R.—Hougen, O. A.*: Trans. Am. Inst. Chem. Engrs. 1942.
8. *Budó Á.*: Kísérleti fizika I. Tankönyvkiadó, Bp., 1968.

ИССЛЕДОВАНИЕ АНАЛОГИЙ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА
ПРИ СУШКЕ ЗЕРНА

Др. Иштван Жиго—Янош Мароти

Исследования аналогии произведены на основании сопоставления результатов измерения температуры зерна и коэффициентов тепло- и массообмена.

Установлено, что при конвективной сушке зерна исследование факторов j_H и j_D показывает, что аналогия тепло- и массообмена тот же порядок.

STUDY OF ANALOGIES OF HEAT- AND MATERIAL-TRANSPORT
IN THE DRYING OF CEREALS

István Zsigó and János Maróti

The analogies were studied on the basis of the comparison of heat- and material-transfer factors determined experimentally with the use of calorific grain-temperature measurement. In the case of the convection drying of cereals, study of the j_H and j_D factors shows the order of magnitude agreement of the heat- and material-transport analogies.

UNTERSUCHUNG DER ANALOGIE VON WÄRME- UND
MATERIALABGABE BEIM TROCKNEN VON GETREIDEN

Von

Dr. I. Zsigó und J. Maróti

Die Analogie-Untersuchung wurde unter Nutzung der kalorischen Körnchen-Temperaturmessung aufgrund des Vergleichs der anhand der Messdaten der Wärme- und Materialübergabefaktoren bestimmten Werte vorgenommen.

Im Falle des Konvektions-Trocknens von Getreiden stimmt die Analogie — bei Untersuchung der j_H — und der j_D — Faktoren — der Wärme — und Materialabgabegrößenmässig überein.