

Gyümölcsök konvekciós szárításának modellezése

Modeling of the Convective Drying of Fruits

Modelarea cineticii uscării convective a fructelor

ANDRÁS Csaba Dezső, SZÉP Al. Sándor, BARTÓK Simon

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Kolozsvár,
Műszaki Tudományok Intézete-Csíkszereda

ABSTRACT

Fruit sample with different shapes and sizes was drayed in a laboratory convective dryer at constant temperature and constant initial air humidity. Measuring mass loss evolution, we estimate the moisture dependency vs. time and by data analysis we established the exponential kinetic model, specifying their parameters. Graphical method was used also to determine the temperature and shape factor on the drying parameter for different species of fruits (birch, pear and apple). The results were evaluate in 3D graphics model.

Keywords: fruits, convective drying, kinetic model, kinetic parameters

ÖSSZEFOGLALÓ

Megszabott formájú és méretű, különböző fajtájú gyümölcsminták szárítási sebességét mértük egy konvekciós laboratóriumi berendezésben állandó hőmérsékleten és állandó belépő nedvességtartalommal. A minták tömegváltozásából kiszámított nedvesség-idő összefüggésekhez exponenciális modelleket illesztettünk, meghatározva azok paramétereit. Grafikus módszerrel meghatároztuk a hőmérséklet és az alakotényező hatását a különböző állagú gyümölcsök (alma, birs, körte) szárítása esetén. Az eredmények kiértékelésére 3D grafikai modellt használtunk.

Kulcsszavak: konvekciós szárítás, gyümölcs, kinetikai modell, kinetikai paraméter

1. BEVEZETÉS

A vízakaktivitás csökkentésének egyik régóta ismert módszere a szárítás. A kontakt és a hőszugárzáson alapuló szárítás mellett a konvekciós szárítást kíméletesebb volta és nagyobb hatékonysága következtében sok területen alkalmazzák [1]. Ilyen terület az élelmiszeripar, ahol az alapanyagok tartósításától kezdve egészen a termékek minőségének biztosításáig megtaláljuk a technológiai folyamatokban [1,2]. Az ipari szárítóberendezések termelékenységéhez kötött méretezésében nagy jelentősége van a szárítási kinetikának. Ez nem csak a fűtőközeg minőségétől függ, hanem a szárítandó anyag állagától, geometriájától, valamint a hő-, illetve a komponenstranszport sebességétől is [3-5]. Kutatásunk fő célja meghatározni a gyümölcsök konvekciós szárítását leíró matematikai modellt, a forma, a hőmérséklet illetve a növényfajta függvényében egyedi részecskék szárítása esetén.

2. ALKALMAZOTT ANYAGOK ÉS MÉRÉSI PARAMÉTEREK

Méréseinket ugyanazon körülményeken, ugyanannyi időtartamon tárolt jonatán alma, császárkörte és birsalma mintákkal végeztük egy laboratóriumi szárítóban. A konvekciós laboratóriumi, keresztáramlású kamra 610×180×180 mm méretű. A hőmérséklet mérését két pontban végeztük, a kamrába beáramló szárító levegő és a mintatartó feletti tér hőmérsékletét mérve. A kénessavas felületi kezelés után meghatároztuk a minták nedvességtartalmát (De Longi recirkulációs szárítoszekrényt alkalmazva a tömegállandóság meghatározására). A formákat kézi műanyagformázóval alakítottuk ki. A szárítást kocka, henger illetve téglatest alakú mintákkal végeztük izoterm körülmények között, 24, 45, 85 °C hőmérsékleten, állandó abszolút nedvességtartalmú levegővel. A stacionárius állapot tbeálltával, a mintákat a kamrában lévő mintatartóra helyeztük, beindítva a kro-

nométert és a háromtizedes pontosságú mérleget. Meghatározott időintervallumban leolvastuk a minták tömegét és a két hőmérő kijelzését.

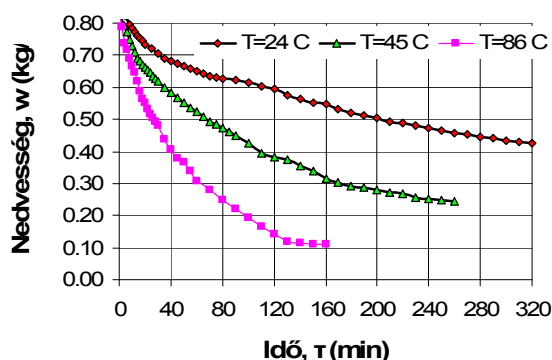
A mért tömegvesztés segítségével, alkalmazva az (1) összefüggést, meghatároztuk a minták adott pillanatban elért nedvességét.

$$w = \frac{m^0 w_{sz} - \Delta m}{m^0 (1 - w_{sz})} \quad (1)$$

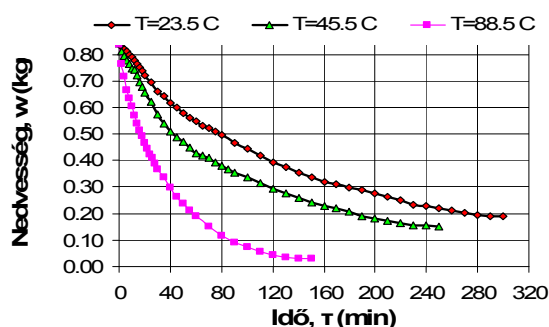
ahol: w_{sz} - a szárítószekrényben mért nedvesség, kg/kg nedves anyag,
 m^0 - a minta kezdeti tömege, g,
 Δm - a mért tömegváltozás, g.

3. EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉS

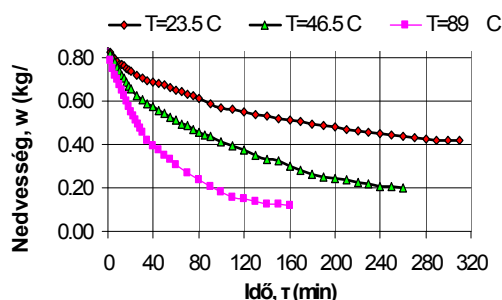
A mérési eredményeket legelőször nedvesség-idő kinetikai görbék formájában dolgoztuk fel. Az 1-3. ábrán bemutatott görbék a hőmérséklet hatását tükrözik a különböző formájú alma minták szárítási sebességére, míg a 4-6 ábrákon az alakhatás hatása van feltüntetve, izoterm szárítási körülmények között. Az ábrákról jól kivehető, hogy a hőmérséklet hatása mindegyik gyümölcs esetén a vártnak megfelelő. Az ábrákból (különösképp a 8. ábrából) megállapítható, hogy leggyorsabban az alma, majd ezt követően a körte és leglassabban a birs minták száradtak. Ez a gyümölcsök különböző állagának következménye. Elemezve az alakhatás hatását a szárítási görbék formájára (egyúttal a becsült szárítási sebességre), megállapíthatjuk, hogy a henger és kocka alakú minták lassabban száradtak, míg a téglatest alakú gyümölcsök gyorsabban veszítették a nedvességet. Ez az egységnyi tömegre vonatkoztatott felület méretével magyarázható, t.i. a téglatest alakú minták fajlagos felülete meghaladta a henger illetve a kocka alakúakét.



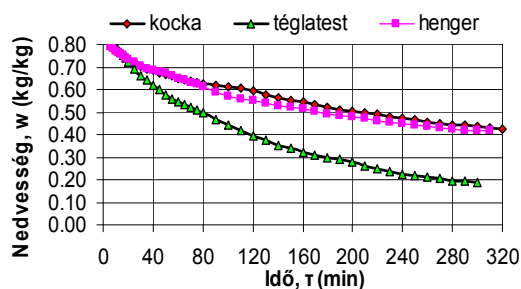
1. ábra
A 21×21×10 mm téglatest alakú
alma szárítási görbéi



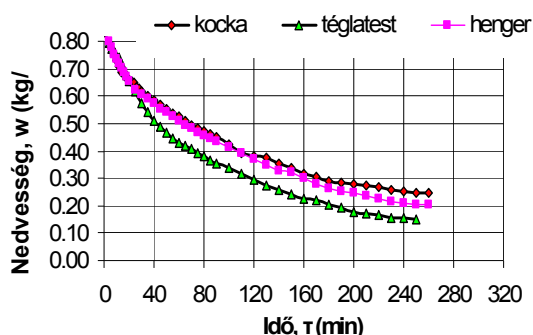
2. ábra
A 26×18 mm henger alakú alma szárítási görbéi



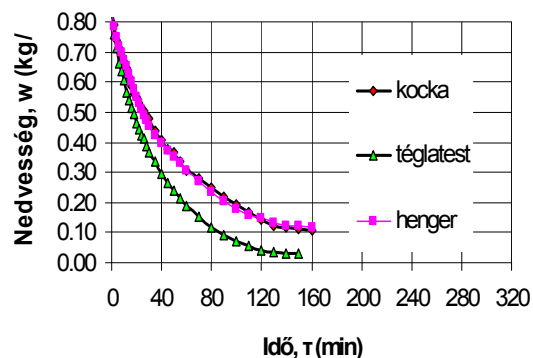
3. ábra
A 13×13×33 mm-es téglatest alakú
alma szárítási görbéi



4. ábra
Különböző alakú almaminta szárítási görbéi,
T=25 °C



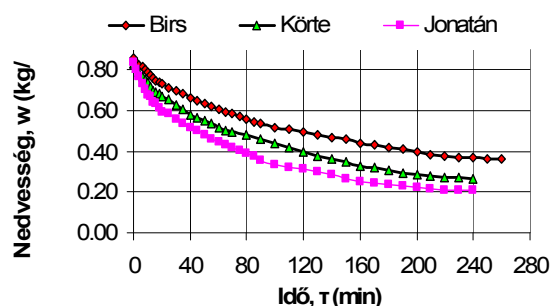
5. ábra.
Különböző alakú almaminta szárítási görbéi,
 $T=45\text{ }^{\circ}\text{C}$



6. ábra.
Különböző alakú almaminta szárítási görbéi,
 $T=85\text{ }^{\circ}\text{C}$

4. A MATEMATIKAI MODELL

Elemelve a szárítási szakirodalmat, azt tapasztaltuk, hogy a mérési eredményeink sem a nedves szemcsehalmoz [3] vagy nedves porózus anyag [6], sőt még a gélek [6] szárítási viselkedéséhez sem hasonlóak. Viselkedésükben, vagyis a nedvesség-idő görbék alakjában inkább egyéb növényi, sejtes felépítésű termékek szárítására utalnak, nagy hasonlóságot mutatva a zöldség- és gombaszeletek szárítási viselkedésével [7, 8]. Ezen megállapítás arra utal, hogy a gyümölcszsárításkor nagyon nehezen lehet elválasztani a nedvesség felületi párolgásának, folyadék belső diffúziójának és a gőzzé alakult nedvesség diffúziójának szakaszait, ami azt jelenti, hogy az állandó sebességű szárítási zóna nagyon rövid idő alatt megszűnik, és a változó sebességű szárítás dominál mindaddig, amíg a zsugorodott sejtfal áteresztőképessége lesz a sebesség meghatározó. A görbék alakjából azt feltételezhetjük, hogy a mérési intervallumban nincs egy olyan szakasz sem, ahol a sebességegyenlet lineáris lenne, kivéve a kezdeti sebesség nagyon rövid szakaszát. A konvekciós gyümölcszsárítási kinetika nagyon sokféle sebességegyenletet alkalmaz. Ezekből ad egy rövid áttekintést az 1. táblázat.



7. ábra.
 $A\ 20\times 19\times 19\text{ mm}$ kockaszerű gyümölcsök
szárítási görbéi, $T=45\text{ }^{\circ}\text{C}$

1. táblázat. Konvekciós szárítási sebességegyenletek

Egyenlet megnevezése	Sebességegyenlet	Forrás
Newton	$W = \exp(-kt)$	[7, 9-14]
Page	$W = \exp(-kt^n)$	[7, 9-14]
Exponenciális	$W = a \exp(-kt)$	[7, 9-14]
Logaritmikus	$W = a \exp(-kt) + c$	[9-14]
Hatvány	$W = 1 + at + bt^2 + ct^3$	[9-11, 13, 14]

Alkalmazva a Page-féle exponenciális modellt, meghatároztuk a (2) sebességegyenletet:

$$\frac{dw}{d\tau} = a \cdot e^{-b\tau} \quad (2)$$

ahol: w – a minta nedvessége (kg nedvesség/kg nedves anyag),
 τ – szárítási időben,
 a, b – modell-állandók.

Nemlineáris numerikus illesztési módszert alkalmazva (Statistica for Windows® 6.0) meghatároztuk minden egyes minta esetében a (2) modellnek megfelelő állandók értékét. Ezek – amint a 2 és 3. táblázatokból jól látható – hőmérséklet- és alaktényező-függőek.

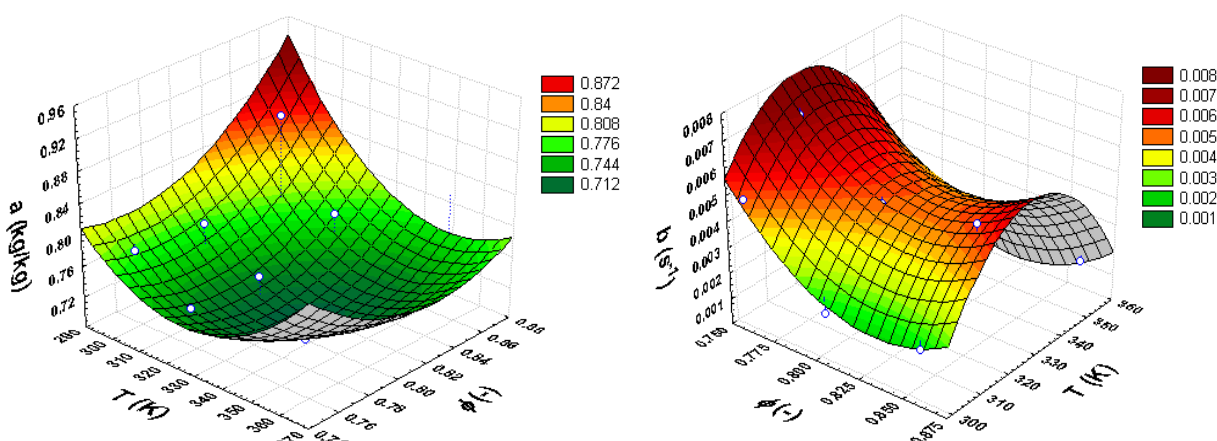
2. táblázat. A hőmérséklet hatása a kinetikai állandókra különböző alakú almaminták esetében.

φ alaktényező	$a = f(T)$	$b = f(T)$
0,806	$a = 4 \cdot 10^{-5} T^2 - 0,0238 T + 4,7085$	$b = -0,0002 T + 0,055$
0,76	$a = 5 \cdot 10^{-5} T^2 - 0,0349 T + 6,5201$	$b = -5 \cdot 10^{-6} T^2 + 0,003 T - 0,4585$
0,8594	$a = -0,0007 T + 0,965$	$b = -0,0002 T + 0,0508$

3. táblázat. Az alaktényező hatása a kinetikai állandókra almaszárítás esetében különböző hőmérsékleten.

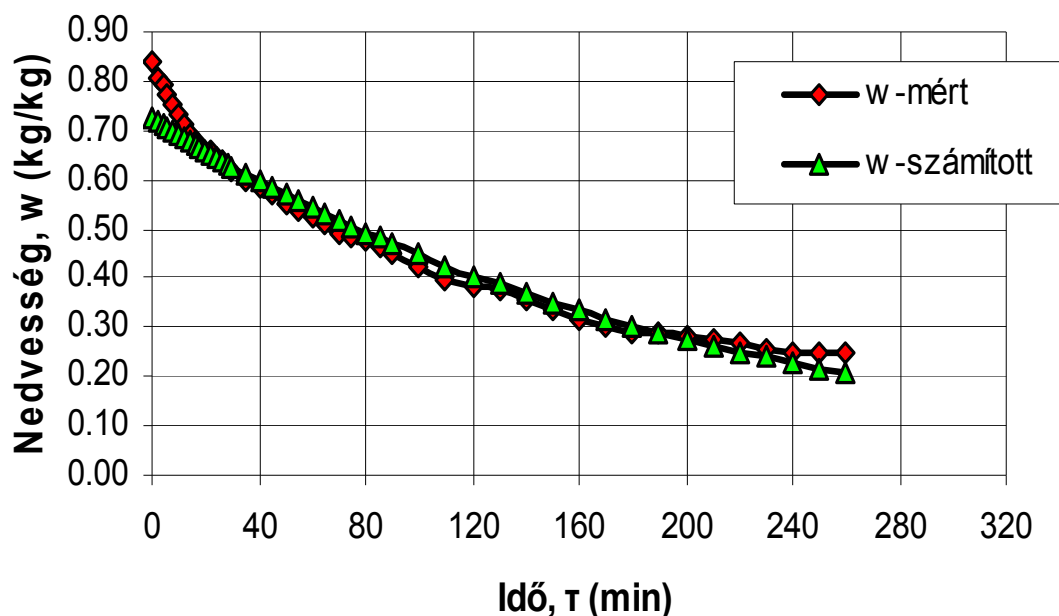
Hőmérséklet, K	$a = f(\varphi)$	$b = f(\varphi)$
298	$a = 1,8221 \varphi^2 - 3,1469 \varphi + 2,1184$	$b = -0,7157 \varphi^2 + 1,1881 \varphi - 0,4947$
318	$a = 3,4572 \varphi^2 - 5,4748 \varphi + 2,8926$	$b = -0,613 \varphi^2 + 1,0078 \varphi - 0,4189$
358	$a = 2,4084 \varphi^2 - 4,2694 \varphi + 2,6074$	$b = -2,0679 \varphi^2 + 3,4514 \varphi - 1,4516$

A 2. illetve a 3. táblázatban feltüntetett hatások együttes ábrázolásából (8. ábra) jól kivehető, hogy míg a preexponenciális állandó egy lokális minimumot eredményez, addig a b változása egy nyereg típusú felületnek megfelelően történik.



8. ábra
A hőmérséklet és az alaktényező befolyása a modell állandóira.

Ennek a kétféle típusú hatásnak köszönhetően a (2) összefüggésből és a 2. illetve a 3. táblázatban meghatározott állandókat definiáló összefüggésekből kialakított modell a kezdeti és végső szárítást kevésbé pontosan írja le, mint a szárítási intervallum többi részét. Ennek ellenére állíthatjuk, hogy a Page-féle kinetikai modell megközelítően jól leírja az alma szárítási kinetikáját. (9. ábra).



9. ábra

A mért és a modell alapján számított értékek összehasonlítása alma esetében.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

- A kísérletek azt bizonyították, hogy a hőmérséklet és a gyümölcsfajta mellett az alaktényezőnek is nagy szerepe van a szárítás kinetikájára;
- A klasszikus száradási kinetikai modellek közül – a belső diffúzió illetve a háromstádiumos modell közül egyik sem írja le pontosan a folyamatot, így a szárítási sebesség matematikai leírására a zöld-ségfélék, gyümölcsök és gombák szárítását leíró exponenciális modell a legmegfelelőbb;
- Az alma esetében meghatározott modell a kezdeti (indukciós) illetve a végső szárítási (belső diffúzió által kontrollált) szakasz kivételével jó megközelítéssel írja le a folyamat kinetikáját, amit a kísérleti és a modellből számított görbék átfedése bizonyít;
- A birsalmának a legkisebb a száradási sebessége, a körte és a jonatán alma száradási görbéi viszonylag közel állnak egymáshoz;
- Míg az a preexponenciális állandó alaktényező és hőmérséklet függése egy minimumot mutató felületet ír le, addig a b időállandó értéke egy nyeregfelületen változik.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] L. Imre: Szárítási kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974, 166-244. p.
- [2] R.T. Toledo: Fundamentals of Food Process Engineering. Chapman & Hall, New York, 1994, 210–221.
- [3] J. Beke: Terményszárítás. Agroinform Kiadóház, Budapest, 1997, 45–62. p.
- [4] Z. Gyaraky: A zöldség- és gyümölcsfeldolgozás előkészítő műveletei. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest, 1977, 56–70. p.
- [5] E. Szenes: Gyümölcsök és zöldségek szárítása, aszalása. Integra-Projekt Kft, Budapest, 1994.
- [6] S. Tomas, D. Skansi, M. Sokele: Convection drying of porous material. *Ceramics International*, 20 (1): 1994, 9–16.
- [7] A. Vega-Gálvez, R. Lemus-Mondaca, C. Bilbao-Sainz, F. Yagnam, A. Rojas: Mass transfer kinetics during convective drying of red pepper var. Hungarian *Capsicum annuum* L.: Mathematical modeling and evaluation of kinetics parameters. *Journal of Food Process Engineering*, 31(1): 2008, 120–137.
- [8] M. Javanmard, J. Endan, K.A. Abbas, F. Arvin: Development of a semi-industrial multi fruit dryer system using simultaneous intelligent control, *American Journal of Applied Sciences*, 7 (2): 2010, 160–166.
- [9] H.O. Menges, C. Ertekin: Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples. *Journal of Food Engineering*, 77 (1), 2005, 119–125.
- [10] D. Velic, M. Planinic, S. Tomas, M. Bilic: Influence of airflow velocity on kinetics of convection apple drying. *Journal of Food Engineering*, 64 (1): 2004, 97–102.
- [11] S. Jokić, D. Velić, M. Bilić, J. Lukinac, M. Planinić, A. Bucić-Kojić: Influence of process parameters and pre-treatments on quality and drying kinetics of apple samples, *Czech Journal of Food Science*, 27 (2), 2009, 88–94.
- [12] R.K. Goyal, A.R.P. Kingsly, M.R. Mannikantan, S.M. Ilyas: Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. *Journal of Food Engineering*, 79 (1): 2007, 176–180.
- [13] E. Meisami-asl, Sh. Rafiee, A. Keyhani, A. Tabatabaeefar: Mathematical modeling of moisture content of apple slices (var. Golab) during drying, *Pakistan Journal of Nutrition*, 8 (6): 2009, 804–809.
- [14] S. Seiedlou, H.R. Ghasemzadeh, N. Hamdami, F. Talati, M. Moghaddam: Convective drying of apple: mathematical modeling and determination of some quality parameters. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12: 2010, 171–178.