

## Kinetika penového sušenia rajčiakového pretlaku pri zníženom tlaku a konštantných teplotách

ANDREJ ŠEPITKA

**Súhrn.** V práci sú zhrnuté výsledky pokusov určenia kinetiky penového sušenia rajčiakového pretlaku pri zníženom tlaku a konštantných teplotách. Stanovovali sme vplyv hrúbky peny od 2 do 5 mm pri teplotách 65, 75 a 85 °C a vákuu 40 kPa na kinetiku sušenia. Najväčší vplyv na kinetiku sušenia rozpeneného rajčiakového pretlaku má hrúbka vrstvy. Pri hrúbke vrstvy 2 mm takmer celý proces sušenia prebehne pri konštantnej rýchlosti sušenia s hodnotou 30 %/min. Teplota v rozsahu 65—85 °C nemá podstatnejší vplyv na kinetiku sušenia, no značne ovplyvňuje kvalitu získaného produktu. Bez rozpeňovania nemožno z rajčiakového pretlaku získať sypký produkt dobrej kvality.

Pri výrobe sušených práškových potravín z roztokov, suspenzií a pást vznikajú špecifické problémy, ktoré vyplývajú z toho, že ide o prevažne biologický a termolabilný materiál, z ktorého treba odvieť veľké množstvo vody, čo sa nedá tak ľahko uskutočniť bez možných ďalekosiahlych dôsledkov.

Známe výhody práškových potravín, ako napr. znížená hmotnosť, dobrá manipulovateľnosť, rýchla rozpustnosť, najmä po instantizácii, ktoré možno získať už dnes bežným rozprašovacím sušením, sú schopné konkurencie a ťažko nahraditeľné.

Mnohé výskumy zamerané na stav a funkciu vlhkosti v potravinách, mechanizmy degradačných zmien, ktorými sa menia nutričné a senzorické vlastnosti potravín počas výrobných procesov a neskôr aj pri skladovaní, znamenali významný prínos ku zdokonaľovaniu súčasných a pre vývoj nových výrobných postupov aj pri dehydratácii potravín.

Existujú už viaceré postupy na sušenie kvapalných a polotekutých potravín [1]. Je to predovšetkým rozprašovacie sušenie, valcové atmosferické a vákuové, sublimačné, spôsob sušenia tzv. Birs, sušenie „explozívne“ a rôzne modifikácie penového sušenia.

Vynález a vývoj sušenia v tvare peny je spojený najmä s problémom získavania rajčiakového prášku vyhovujúcej kvality, pretože výrobok získaný sušením na valcových sušiarňach a rozprašovacím sušením nemal požadované vlastnosti. Podobne to bolo aj s ovocnými práškami, ktoré sú vysoko termoplastické.

Roku 1959 a neskôr uverejnili Morgan a spol. [2, 3] prvé práce o novom spôsobe sušenia kvapalín vo vrstve peny. Základnou charakteristikou sušenia vo vrstve peny

je zmena z kvapalnej alebo polotekutej potraviny do tvaru stabilnej peny. Používajú sa pritom vhodné jedlé napeňovacie činidlá a ešte pred procesom sušenia stabilizátory peny. Podľa väčšiny autorov na prípravu peny sa používajú kvapalné potraviny s minimálnym obsahom sušiny 20 %, pričom horná hranica je daná reologickými vlastnosťami, prípadne konzistenciou kvapalnej potraviny, pričom si musí potravina zachovať vlastnosti kvapaliny.

Podľa našich výskumov [4—7] na stálosť peny a jej vlastností má značný vplyv zloženie kvapaliny, jej koncentrácia, heterogénnosť, viskozita, povrchové napätie a aj hydrodynamické podmienky tvorby peny a kvalita penotvorných činidiel a stabilizátorov peny. Na rozpeňovanie sa nám osvedčila ako činidlo metoxycelulóza a na rozpeňovanie nami vyvinuté rozpeňovacie zariadenie [8].

Pri posudzovaní penového sušenia ako celku, sme zistili, že je pri použití veľmi prispôsobivé. Používa sa preto pri mnohých výrobkoch, ako napr. pri sušení mlieka a mliečnych výrobkov, ovocných štiav, ovocných a zeleninových pretlakov, detskej výživy a pod.

### Experimentálna časť

Pri skúmaní kinetiky penového sušenia rajčiakového pretlaku pri zníženom tlaku a konštantnej teplote sme používali vákuovú sušiareň (obr. 1), do ktorej sa privádzalo teplo potrebné na odparovanie vlhkosti konduktívnym a radiačným spôsobom. Za čas  $\tau$  pri začiatočnom rozdiel teplôt  $t_p - t_m$  ( $t_p$  — teplota ohrievacej platne,  $t_m$  — teplota sušeného materiálu) môže byť odovzdané množstvo tepla  $q$  [9]

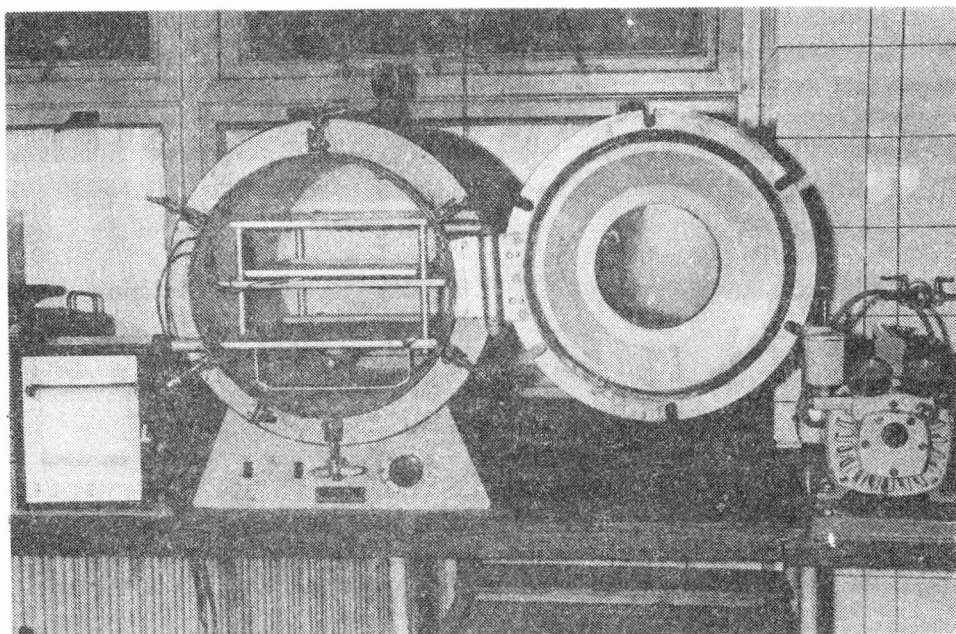
$$q = \frac{1}{\sqrt{\pi\tau}} \sqrt{\lambda c \rho} (t_p - t_m) \text{ [W]}. \quad (1)$$

Pre koeficient prestupu tepla pre naše podmienky platí

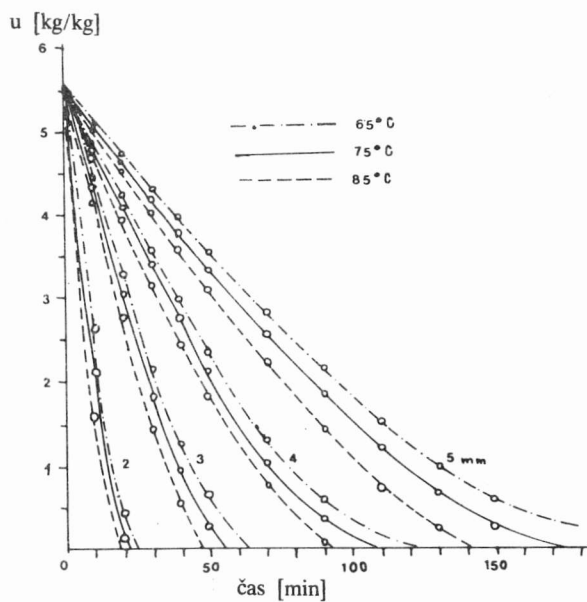
$$\alpha = \frac{2}{\sqrt{\pi\tau}} \sqrt{\lambda c \rho} \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{K)]}, \quad (2)$$

kde  $\lambda$  je koeficient tepelnej vodivosti peny [W/(m.K)],  $c$  merné teplo peny [J/(kg.K)] a  $\rho$  merná hmotnosť peny [kg.m<sup>-3</sup>].

Koeficient prenikania tepla  $\sqrt{\lambda c \rho}$  pri vákuovom sušení treba vypočítať s prihliadnutím na koeficient tepelnej vodivosti, ktorého hodnota s vákuom klesá. Pri hlbokom vákuu koeficient prestupu tepla  $\alpha$  môže klesnúť až na polovicu hodnoty za atmosferického tlaku. Preto sme pri pokusoch vákuového penového sušenia volili iba nízke vákuum (40 kPa).

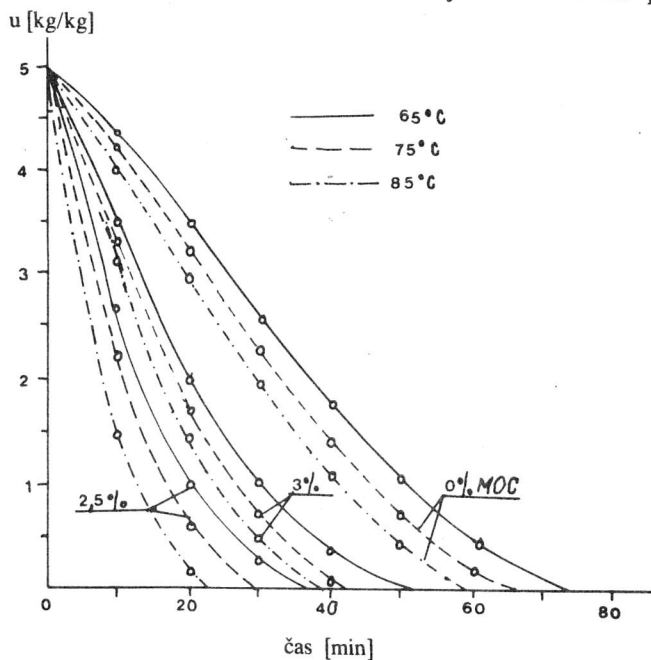


Obr. 1. Laboratórna vákuová sušiareň.



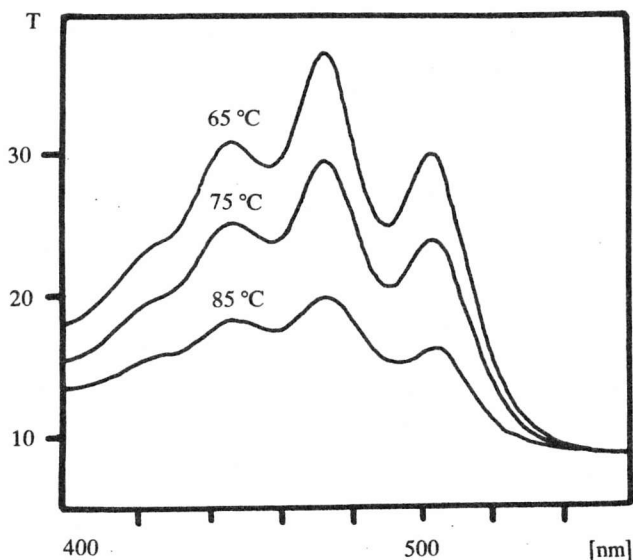
Obr. 2. Vplyv hrúbky vrstvy peny (2, 3, 4 a 5 mm) rajčiakového pretlaku na kinetiku sušenia pri teplotách 65, 75 a 85 °C, pri použití 3 % MOC a vákua 40 kPa.

Pri pokusoch sme použili rajčiakový pretlak, ktorý sme riedili vodou na 20 % sušinu, a po pridaní metoxycelulózy (MOC) V množstve 0—3 % na rozpustnú sušinu sme pretlak napenili v špeciálnom rozpeňovacom zariadení [10]. Merná hmotnosť peny sa pohybovala pri prídavku metoxycelulózy 2,5 a 3 % okolo 0,4 až 0,6 g/cm<sup>-3</sup>. Penu sme nanášali v hrúbke vrstvy 2—5 mm na poteflonované



Obr. 3. Vplyv MOC v množstve 0, 2,5 a 3 % na kinetiku sušenia rozpeneného rajčiakového pretlaku pri teplotách 65, 75 a 85 °C pri hrúbke vrstvy peny 2 mm a vákuu 40 kPa.

hliníkové tácky a sušili vo vákuovej sušiarňi pri teplotách sušeného materiálu 65, 75 a 85 °C. Výsledky pokusov vplyvu hrúbky vrstvy peny na kinetiku sušenia pri teplotách 65, 75 a 85 °C a pri použití 3 % metoxycelulózy ako penotvorného činidla sú uvedené na obrázku 2 a vplyvu pridaného činidla metoxycelulózy v množstve 0, 2,5 a 3 % pri teplotách sušenia 65, 75 a 85 °C pri hrúbke vrstvy 2 mm na obrázku 3. Obrázok 4 znázorňuje spektrofotometrické krivky karotínoidov vyextrahovaných z rajčiakového pretlaku sušeného penovým vákuovým spôsobom pri teplotách 65, 75 a 85 °C, hrúbke vrstvy peny 2 mm a prídavku 3 % metoxycelulózy na rozpustnú sušinu.



Obr. 4. Spektrofotometrické krivky karotínoidov vyextrahovaných z rajčiakového pretlaku sušeného penovým vákuovým spôsobom pri teplotách 65, 75 a 85 °C, prídavku 3 % MOC a vákuu 40 kPa.

### Výsledky a diskusia

Z obrázku 2 vidieť jednoznačný vplyv hrúbky vrstvy peny na kinetiku sušenia. Pri hrúbke vrstvy peny 2 mm takmer celé sušenie prebieha za konštantnej maximálnej rýchlosti sušenia, ktorú pre tento prípad môžeme vypočítať ako tangens uhla sklonu dotýčnice vedenej z bodu dotyku na krivke sušenia, ktorému zodpovedá určitá kritická vlhkosť  $u_k$ .

$$N_{\max} = \left( \frac{d u}{d \tau} \right)_{\max} = 30 \quad [\%/ \text{min}] \quad (\text{pre teplotu } 75 \text{ } ^\circ\text{C}).$$

Zväčšovaním hrúbky vrstvy peny sa skracujú úseky maximálnych konštantných rýchlostí sušenia a znižuje sa aj ich hodnota na 12 %/min pri hrúbke vrstvy 3 mm, 7 %/min pri hrúbke vrstvy 4 mm a pri hrúbke vrstvy 5 mm na hodnotu 4 %/min. Pri zväčšovaní hrúbky vrstvy nad 2 mm proces sušenia ovplyvňujú podstatnejšie difúzne procesy a procesy migrácie vlhkosti zvnútra vrstvy na povrch. Teplota v rozmedzí 65–85 °C nemá taký výrazný vplyv na kinetiku sušenia, najmä pri nižších hrúbkach vrstvy, ako sama hrúbka vrstvy.

Čo sa týka prídavku penotvorného činidla metoxycelulózy, jeho prídavok podstatne vplyva na kinetiku sušenia už aj pri hrúbke vrstvy peny 2 mm (obr. 3).

Optimálnym prídavkom metoxycelulózy možno čas sušenia skrátiť až na tretinu v porovnaní so sušením bez použitia metoxycelulózy.

Okrem nepatrného vplyvu teploty na kinetiku sušenia rozpeneného rajčiakového pretlaku pri hrúbke vrstvy peny 2 mm má teplota značnejší vplyv na kvalitu získaného prášku (obr. 4). Čím je nižšia teplota pri sušení, tým lepšia je kvalita získaného produktu.

Z rajčiakového pretlaku nemožno vákuovým sušením bez predbežného rozpenenia získať sypký produkt, čo možno vysvetliť aj tým, že rajčiakový pretlak obsahuje značné množstvo fruktózy.

## Literatúra

1. ŠEPITKA, A.: Kritický rozbor možností výroby ovocných štiav v prášku. Poľnohosp. potrav. výskum, 4, 1971, s. 30.
2. MORGAN, A. I. et al.: Technique for improving instants. Food Engng, 31, 1959, č. 9, s. 86.
3. MORGAN, A. I. et al.: Recent developments in foam-mat drying, Food Technol., 15, 1961, č. 1, s. 37.
4. ŠEPITKA, A.: Problematika rezeňovania potravín pre penové sušenie. Bull. VÚP—SPA, 9, 1970, č. 1, s. 52.
5. ŠEPITKA, A.—KLINDOVÁ, M.: Štúdium rezeňovania potravín pre penové sušenia. Bull. VÚP—SPA, 10, 1971, č. 1, s. 14.
6. ŠEPITKA, A. et al.: Optimalizácia prestupu tepla a vlhkosti pri dehydratácii potravín. 2. čiastková správa, Bratislava, VÚP—SPA 1974.
7. ŠEPITKA, A. et al.: Optimalizácia prestupu tepla a vlhkosti pri dehydratácii potravín. 3. čiastková správa. Bratislava, VÚP—SPA 1975.
8. ŠEPITKA, A.—KOLÁŘ, S.: Zariadenie na rezeňovanie potravín, A0 175073.
9. ŠEPITKA, A.: Možnosti aplikácie prechodných procesov toku tepla na ohrievanie a chladenie potravín. Bull. VÚP, 5, 1966, č. 2, s. 1.
10. ŠEPITKA, A.: Význam a perspektívy sušenia poľnohospodárskych a potravinárskych surovín. In: Výber vedeckovýskumných prác. Bratislava, VÚP 1975, s. 69—70.

## Кинетика сушки вспененной томатной пасты при пониженном давлении и постоянной температуре

### Резюме

В работе обобщаются результаты опытов по определению кинетики сушки вспененной томатной пасты при пониженном давлении и постоянной температуре. Изучалось влияние толщины слоя пены от 2-х до 5-ти мм при температурах 65, 75 и 85 °C и вакуума 40 кПа на кинетику сушки. Наибольшее влияние на кинетику сушки вспененной томатной пасты оказывает толщина слоя. При толщине слоя 2 мм почти весь процесс сушки протекает при постоянной

скорости сушения с показателем 30 %/мин. Температура в диапазоне 65—85 °C не оказывает существенного влияния на кинетику сушки, но значительно меняет качество полученного продукта. Без вспенивания нельзя получить из томатной пасты сыпучий продукт хорошего качества.

### **Foam-drying kinetics of ketchup at lowered pressure and constant temperatures**

#### **Summary**

The presented work summarizes experimental results of the determination of ketchup foam drying kinetics at lowered pressure and constant temperatures. The influence of foam being 2—5 mm thick at temperature of 65, 75 and 85 °C, and vacuum of 40 kPa on kinetics of drying has been determined. The largest influence on kinetics of foamed ketchup drying is attributable to layer thickness. It has been stated, that at layer thickness of 2 mm, nearly the whole drying process proceeds at a constant drying rate with value of 30 % per minute. The temperature ranging from 65 to 85 °C does not influence more essentially the drying kinetics, but it does influence considerably the quality of products. Without the procedure of foaming it would not be possible to obtain from ketchup a loose product of good quality.