

## Použití tlakových a teplotních rázů v potravinářském průmyslu, zvláště v procesu sušení

M. KOPŘIVA, — M. ADAM

Každý potravinářský výrobek musí být příznivě hodnocen našimi smysly, aby byl schopen splnit základní funkci, pro kterou je určen, totiž konzumaci. Při vlastním jídle zvláště pak vystupují texturální vlastnosti potraviny. I když každému výrobku jsou charakteristická určitá hlediska smyslového hodnocení, lze i obecně uvést, že například houževnatý, vysoce tvrdý nebo lepivý a slizký výrobek nebudeme při žvýkání v ústech hodnotit příznivě a že jej ani nerozkoušeme, nepozříme, natož strávíme. Takový výrobek je z hlediska své funkce tedy bezcenný, nepoživatelný.

Lidé se vždy snažili v tomto směru ovlivňovat svoji potravu. Případně výrobky tak upravovat, aby se dalo dosáhnout vyhovujících texturálních vlastností. Vzpomeňme na výrobu pečiva, chleba, na výběr druhů i zralosti ovoce, zeleniny, na výrobu uzenin a podobně.

Proto na jedné straně se projevuje snaha o tak zvané „zpevňování“ výrobků (například cukrářské krémy, polevy, náplně) a na druhé straně o „zkypřování“ výrobků. Toto zkypření, resp. snížení tvrdosti, houževnatosti, pevnosti atd., se provádí několika způsoby:

1. biochemicky (enzymy, kvas, droždí),
2. chemicky (chemikálie způsobující vznik plynů),
3. fyzikálními způsoby.

Tak například při pečení, resp. kynutí těsta si již ani neuvědomujeme umělost zákroku, který lze zařadit do první skupiny „zkypřování“ biochemickým způsobem.

Do fyzikálních postupů můžeme zahrnout:

1. tlakové přidávání inertních plynů do výrobku při tvarování,
2. expanzi výrobku při, resp. po tvarování,
3. dosažení takového směru gradientu vlhkosti a takové hodnoty sdílení přirozené vlhkosti potraviny, že pronikající páry upraví strukturu látky samy (mikrovlnný ohřev, var ve vodě, var za tlaku apod.).

Proces sušení potravin nemůžeme nikdy oddělit od rekonstituce výrobku, zvláště pak ne u tuhých potravin. Spotřebitel hodnotí texturu rekonstituovaného výrobku a ta by měla být vyhodnocena při konsumu. Jaké je optimum, těžko specifikovat, ale bude se blížit k charakteristice křehkosti, chřupavosti, měkkosti, hladkosti než k charakteristikám gumovitosti, houbovitosti, tvrdosti a hrubosti.

Při posuzování textury potravin jsme si vědomi značné složitosti problematiky. Na začátku celé problematiky, ale v souladu s definicí, že textura je soubor vlastností, jež vychází ze struktury potravin a způsobu, jakým je registrován našimi smysly, zabývali jsme se v našem ústavu některými přírodními charakteristikami struktury: druhem částic, distribucí tvarů, kapilár a tak dále. V tomto směru se také u nás vyvíjí i nové výrobky na bázi extruze a expanze. Jsou tedy zpracovávány ty druhy úpravy produktů, které lze měnit fyzikálními způsoby, tedy výše zmíněnými třemi postupy (přidávání inertních plynů, expanze, změna struktury vyvolaná technologickým postupem).

Proto při ovlivňování hodnocení textury potravin se v našich podmínkách nejčastěji setkáváme se strukturou používaných potravin jakožto jednou z určujících „vnitřních“ podmínek pro další průběhy operací. Tím máme na mysli konkrétní vliv struktury zpracovávaného produktu na hmotové, tepelně-fyzikální a mechanické, případně chemicko-technologické vlastnosti potravinářských materiálů. Vhodnou změnou struktury materiálu lze v některých případech dosáhnout výhodnějších podmínek jak zpracování materiálu v technologickém procesu, tak jeho následného upravení pro další operace či vhodnější a snadnější úpravy pro konečné zpracování při vlastním spotřebě či přímé konzumaci. Jedná se tedy také o intenzifikaci procesů (například následné sušení, použití vyšších teplot při snížení času technologických operací, možnost redukce objemu lisováním, zlepšení rozpustnosti, rehydratace, rekonstituce na hotový produkt a s tím související úspora času při všech následujících technologických operacích). Neméně důležitá je i kontrola dosaženého stupně změny struktury, kterou lze provádět (co se týká našich možností buď měřením poréznosti či mikroskopickými metodami).

Snahou nových technologických procesů je tedy nalézt takové podmínky, které by uvedly do souladu velikost změny struktury, narušení tkáně zpracovávané suroviny a tomu odpovídající zlepšení a zrychlení následujících technologických operací při nezměněných, nebo ještě lépe při zlepšených organoleptických vlastnostech.

Na zlepšení textury materiálu změnou struktury lze použít několika nových postupů založených na použití tepelných a tlakových rázů. V další části stručně zmíním o některých těchto postupech.

### *1. Vysokoteplotní rázy a šoky*

Nechají se zpracovat brambory a ovoce před sušením, přičemž je zaručeno získání produktů s dobou přípravy ne delší než 10 minut. Princip zpracování se zakládá na podrobení kousků brambor a zeleniny krátkodobému intenzivnímu opracování vysokoteplotním nositelem tepla, při kterém dochází k bouřlivému vývinu páry z vlhkosti obsažené v produktu. V důsledku toho získáváme materiál porézní struktury, která zajišťuje intenzifikaci procesů desorpce (při sušení) a sorpce (při kulinářské úpravě používaného produktu).

Krátkodobé vysokoteplotní opracování (tepelný šok) vyvolává efekt expanze, a tím i získání produktu vyžadovaných kvalit.

Cílem práce bylo zjistit optimální podmínky a režimy pro zajištění provozu na tomto principu. Technologický postup je následující: mechanické čištění, rozřezání na krychle s hranou 10 mm, blanšírování párou 95 °C pod dobu 4 a

5 minut, vysokoteplotní ohřev ve vrstvě v termické komoře při rychlosti vzduchu 0,5 m/s a teplotě 140 až 160 °C po dobu 5 až 10 minut. Následuje konvenční sušení při teplotě 80 °C na konečnou vlhkost 10 až 12%. Jako topného média může být použito parovzdušné směsi, přehřáté páry a další agenty.

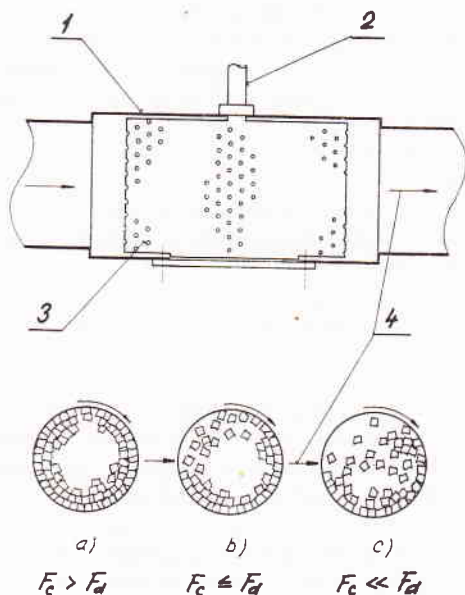
K tomuto způsobu zpracování se přešlo po prostudování pracovních postupů sušení vymrazováním, tlakovými šoky a dalšími faktory. Tyto způsoby nejsou zatím široce rozvinuty hlavně pro složitá technická zařízení a mnohdy i nákladovou nedostupnost.

## 2. Rozvláknování masa metodou expanze

Ve výzkumné laboratoři ministerstva zemědělství USA byla odzkoušena metoda, která umožňuje efektivnější dezintegraci v rozvláknovací typu expanzního zařízení. Vlákna pak mohou být vysušena snadněji a lépe se může odstranit jejich přilnavost způsobená kolageny.

## 3. Odstředivá fluidní vrstva na expandování kouskovitých potravin

Jedná se o novou konstrukci rotačního zařízení o malém průměru a vysoké rychlosti kolmo proudícího vzduchu, kde se časově jednotná technologická operace získá při nízkém tlakovém spádu. Současně tato konstrukce zabezpečuje jisté přiblížení k pístovému toku produktu podél stěn malého rotačního válce. Výhodou zařízení je to, že sušící vzduch proudí přes vrstvu materiálu

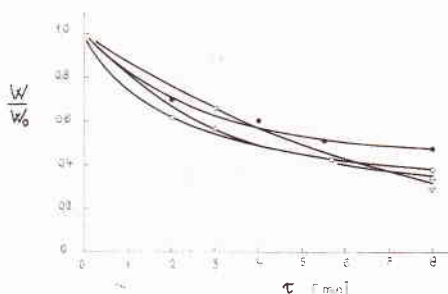


Obr. 1. Konstrukce válce naplněného kouskovitou potravinou a profukovaného proudem sušícího vzduchu. 1 — pevný obal, 2 — hnací hřídel, 3 — rotační děrovaný válec, 4 — proud vzduchu; a — pevné lože, b — zaplněné fluidní lože, c — částice ve vznosu.  $F_c \dots$  odstředivá síla,  $F_d \dots$  unášecí síla.

dvakrát, čímž zvyšuje ekonomii celého procesu.

Při vysokých otáčkách nebo nízké rychlosti vzduchu je odstředivá síla na každý kousek suroviny zvětšena unášející silou vstupujícího proudu vzduchu, takže každá částice je fixována na svém místě. Zvýší-li se rychlost vzduchu nebo sníží-li se otáčky, pak dochází na přívodní straně vzduchového proudu k fluidnímu stavu, protože unášející síla je rovna nebo o trochu větší než odstředivá síla. Zvětší-li se ještě dále rychlost vzduchu, vznikne pohyb částic přes válec (vznos částic).

Konstrukce se využívá pro sušení, blanširování vzduchem před sušením a k expandování kouskovitých potravin. Jako laboratorní pokusy byly odzkoušeny tyto suroviny: mrkev, brambory, jablka, zelený hrášek. Použité podmínky experimentů byly následující: rychlost proudícího vzduchu 7,5 až 16 m/s, teplota přiváděného vzduchu 60 až 130 °C.



Obr. 2. Sušící křivka pro jablka (o), mrkev ( $\Delta$ ), hrášek ( $\Delta$ ), brambory (.). Při rychlosti vzduchu 13 m/s a teplotě 120 °C se odpaří 50 % počáteční hmoty za dobu 6 minut.  $W \dots$  hmotnost částice v čase  $\tau$ ,  $W_0 \dots$  hmotnost částice v čase  $\tau = 0$ .

Expanze produktu je možná teprve tehdy, když intenzita tepelného toku povrchovou vrstvou do částičky potravin přesahuje intenzitu tepelného toku potřebného k odpaření vlhkosti uvnitř materiálu. Podmínky pro expanzi byly tyto: 20 min sušení při 80 °C, rychlost přiváděného vzduchu 7,5 m/s a dále 2 až 3 minuty stejnou rychlostí, ale teplotou 130 °C. Tyto parametry platí pro případ zpracování potravin s homogenní buněčnou strukturou jako například brambor či mrkev. Pro další, nehomogenní materiály, které lze také zpracovat expanzí, jako je zelený hrášek, ovoce, soja, rozinky, fazole a podobně, je nutná expanze probíhající při minimální teplotě 130 °C a některé potraviny musí prodělat ještě následující úpravy.

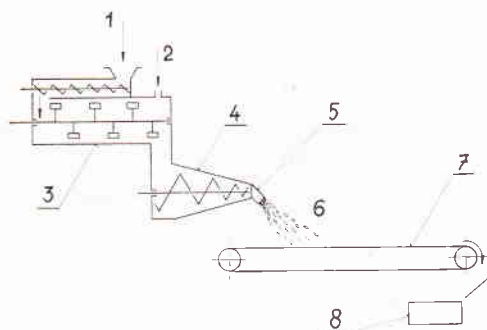
#### 4. Extruzní tepelné opracování

Extruzní tepelné opracování potravin spočívá v násilném průchodu materiálu soustavou protlačovacích trysek, po kterém následuje krájení zajišťující rovnoměrnou velikost a tvar zpracovávaného hotového produktu.

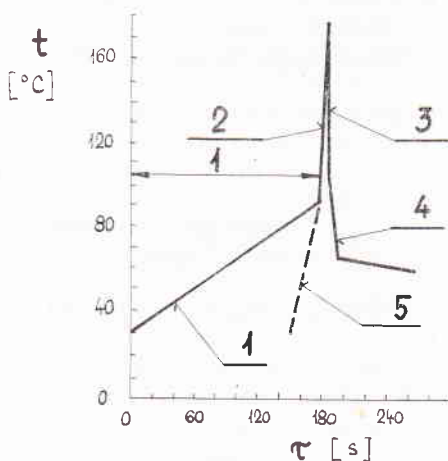
Tlak i teplota materiálu uvnitř extruderu mohou být značně vysoké, takže při výstupu z trysek se projeví vliv náhlé dekomprese a vypaření vlhkosti na expanzi materiálu, který tím získá výhodnou porézní strukturu. Postup je

kontinuální, výhodný pro linkové uspořádání strojního zařízení, použitelný pro polotuhé až pastovité a tekuté látky; existuje možnost obohatit potravinu o výživné látky, vyráběné novými netradičními způsoby (zpracování řas, izolace bílkovin z rybích koncentrátů a podobně), zvýšit obsah proteinů v hotové potravíně. Jako suroviny pro základní operaci se používá obilovin (pšenice, kukuřice, oves, rýže), soje, brambory). Oblast použití potravin zpracovaných extruzí našla i u nás své spotřebitele, i když v některých zemích se tyto pochutiny s vysokým obsahem proteinů konzumují ve velkých množstvích již po několik let. Jsou to v anglické literatuře označovány "snacks", vyráběné v mnoha tvarech a odstínech chuti, barvy a provedení.

Na obr. 3 a 4 jsou uvedeny schémata zařízení na extruzní tepelné opracování a graf závislosti nárůstu teploty v jednotlivých fázích úprav potraviny na čase.



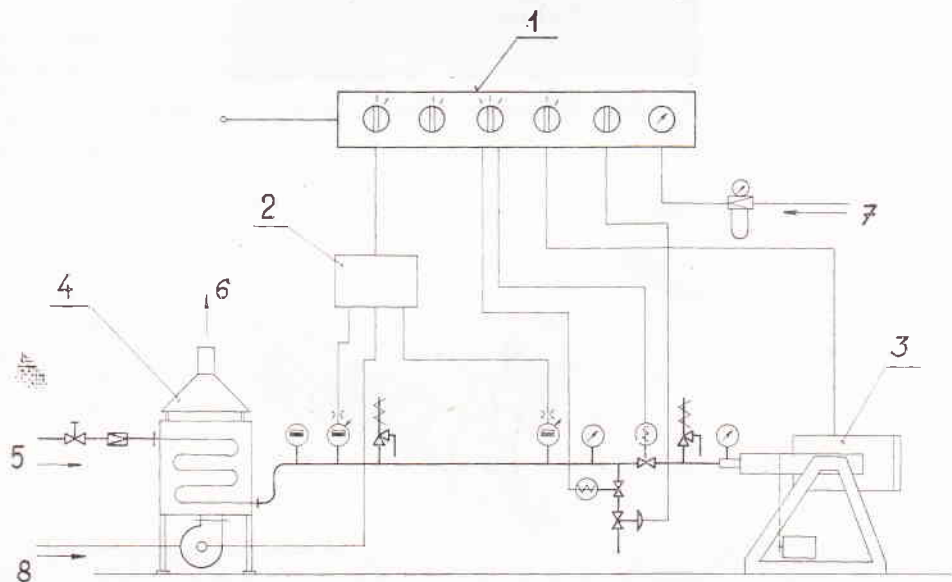
Obr. 3. Schéma extruzního zpracování. 1 — přívod materiálu, 2 — přívod páry, 3 — předváření, 4 — extruze, 5 — krájení, 6 — expanze, 7 — chlazení, 8 — balení.



Obr. 4. Graf závislosti průběhu teploty v čase při extruzi. 1 — parní předváření, 2 — extruze, 3 — expanze, 4 — chlazení, 5 — ohřev třením v extruderu.

K úpravě struktury sušené kořenné zeleniny a brambor bylo použito vložené operace mezi proces teplovzdušného sušení. Je to rázová tlaková a tepelná expanze, k jejíž dosažení se používá „expanzní dělo“. Důležitou podmínkou pro možnost expanze je ohřev produktu a natlakování válce. Je možné použít různé druhy ohřevu, ale pokusy dokázaly, že nejoptimálnější je ohřev přehřátou parou, přiváděnou přímo do válce. Po časové prodlevě nutné k ohřevu materiálu je surovina vymrštěna vnitřním přetlakem (vyrovnání tlaku s obklopujícím prostředím). Zde materiál ztrácí pod vlivem relaxace přebytečného tlaku svou vlhkost a celý proces se dostává do oblasti intenzivního molárního přenosu tepla a hmoty. V tomto případě, kdy uvnitř materiálu musíme uvažovat vnitřní přetlak plynné fáze, řídí se pohyb vlhkosti nikoliv gradientem chemického potenciálu (pouze), ale zvláště gradientem přebytečného tlaku (hydrodynamický odpor — tření). Další vysvětlení a popis těchto jevů bude v následující kapitole teorie přenosu. Popsaný způsob je přetržitý a je tudíž snaha přenést zájem na polo- až zcela kontinuální proces. Tyto snahy vyústily například v návrh semikontinuálního zařízení s řízenou expanzí, zaručující maximální šetrnost proti mechanickému poškození pro expandující produkt. Expanze je regulována řízeným pohybem pístu (obr. 7). Pro tento účel byl také vyvinut nový typ „expanzního děla“.

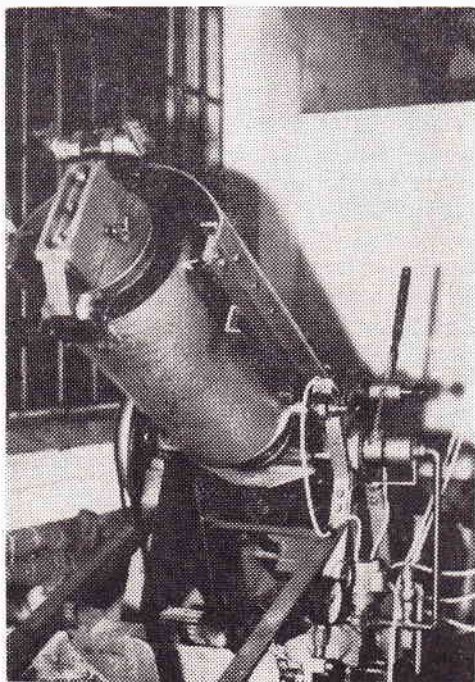
V literatuře se také objevil návrh na tlakové velkoprostorové zařízení pro kontinuální ohřev a expandování produktů. Zařízení je vyobrazeno na obr. 8. Jeho funkce spočívá v tlakovém ohřevu, prováděném ve velkém vyhřívaném bubnu, do kterého je materiál dodáván dávkovačem. Uvnitř, za potřebného tlaku je materiál ohříván a posunován ke dvěma výsypným otvorům, které



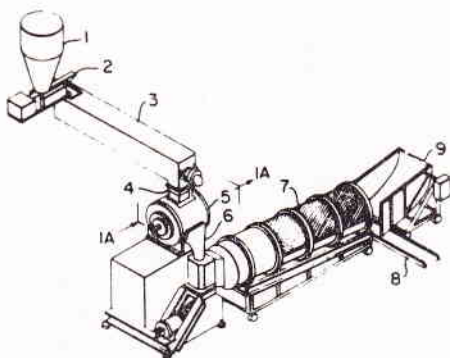
Obr. 5. Schéma zapojení expanzního válce. 1 — ovládací panel, 2 — regulace bořáku, 3 — expanzní válec, 4 — přehřívák páry, 5 — pára, 6 — spaliny, 7 — vzduch, 8 — nafta.



současně tvoří expanzní prostor s rychle otevíratelným uzávěrem. Expanzní děj probíhá střídavě v obou válcích tak, že lze expanzi pokládat za kontinuální. Topné médium je pára procházející v topných hadech, nepřichází tedy do styku s materiálem.

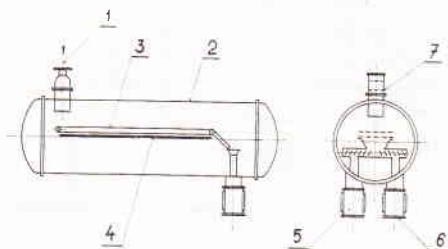


Obr. 6. Fotografie expanzního válce — poloprovoz Litovel.



Obr. 7. Semikontinuální zařízení na zpracování zeleniny. 1 — vstupní výsypka, 2 — objemový dávkovač, 3 — šroubový dopravník, 4 — periodický dávkovač, 5 — tlakový hvězdicový ventil, 6 — tlakové expanzní zařízení, 7 — děrovaný sběrač, 8 — odebírací dopravník, 9 — vibrační, sešikmený zachycovač.

V našem ústavu bylo odzkoušeno několik druhů potravin expanzním cováním. Byly to: mrkev, celer, petržel, brambory, hrášek, houby, bor jablka, hrušky, švestky, okurky a arašidy. Pro podmínky expanze z „ex ního děla“ se ukázaly nejvýhodnější kořenová zelenina a brambory. V vislosti s těmito produkty byly přihlášeny nové výrobky, a sice expando zelenina balená v cukrovém nebo čokoládovém obalu. Výhledově by



Obr. 8. Zařízení pro kontinuální ohřev a expanzi. 1 — materiál, 2 — tlakový 3 — pásový dopravník, 4 — topuý had, 5 — expanzní válec, 6 — rychlouzávěr vzduchotěsný ventil.

zajímavá oblast expanzního zpracování cibule a zeleninových natí. Vše tyto expandované produkty jsou určeny k přímé spotřebě nebo do rychle připravitelných či hotových jídel. Zde vystupuje jejich hlavní před a to rychlá rekonstituce produktu při konečné úpravě poživatiny.

## 6. Expanzní sušení hub

Na expanzní sušení hub byl přihlášen japonský patent. Houby jsou ohřívány pod tlakem a potom vystaveny prudké expanzi za účelem dosažení požadované struktury. Počáteční podíl vlhkosti před expanzí je snížen na 50—60%. Využití tohoto způsobu sušení je dobře možné, avšak nejsou zatím splněny všechny ostatní předpoklady pro jeho rozšíření (dostatek kvalitní suroviny, sezonní sběr, požadavky spotřeby, pracnost přípravných operací).

## 7. Loupání brambor přehřátou parou a expanzí

Expanzní dělo je možné při vhodných technologických podmínkách použít pro jiné způsoby zpracování, např. pro loupání brambor. Podle velikosti teploty a tlaku přiváděné páry a pochopitelně také volbou pracovního tlaku lze ovlivnit a regulovat hloubku odstranění povrchové vrstvy (slupky), kterou je nutné z hlediska dalšího zpracování odstranit. Tento postup byl již ve více než desítkách odzkoušen a s úspěchem použit.

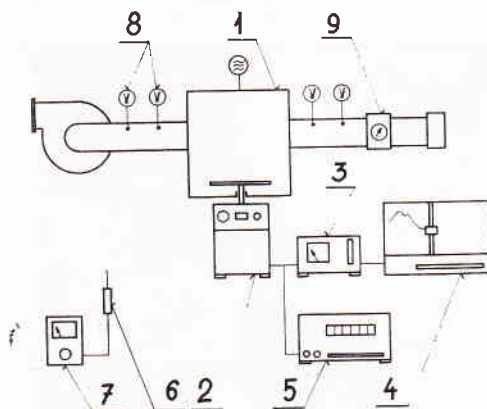
## 8. Expanzní sušení s použitím dielektrického ohřevu v mikrovlnném elektromagnetickém poli

Z laboratorních hledisek byly zpracovány dvě varianty použití mikrovlnné energie, a to za atmosférického tlaku (obr. 9) a za vakua (obr. 11).

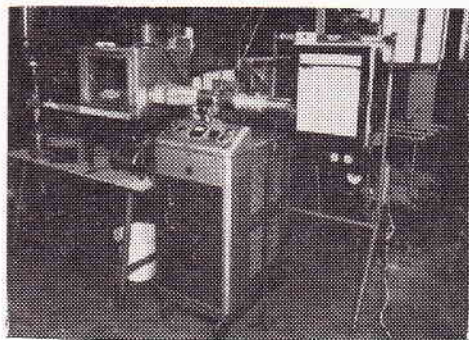
Ohřev materiálu probíhá v časovém limitu přibližně do 60 vteřin, kdy v materiálu narůstá přebytkový tlak. Jakmile stoupne tlak na hranici pevnosti



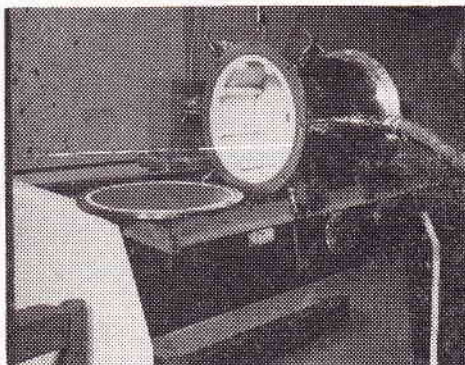
skeletu, nastává expanze a ohřev se přeruší. Póry materiálu se otevrou, parovzdušná směs expanduje na okrajích materiálu rychlostí zvuku a nastává mžikový odpar vlhkosti z kousku potraviny.



Obr. 9. Zařízení pro dielektrický ohřev s kvádrovým rezonátorem. 1 — rezonátor, 2 — váha, 3 — přizpůsobovací jednotka, 4 — souřadnicový zapisovač, 5 — digitální voltmetr, 6 — vpichovací čidlo, 7 — termoelektrický teploměr, 8 — termočlánek, 9 — anemometr.



Obr. 10. Fotografie zařízení s kvádrovým rezonátorem.



Obr. 11. Fotografie zařízení pro dielektrický ohřev s válcovým vakuovým rezonátorem.

Při vakuovém zpracování, kdy se sníží pracovní teplota na 55—60 °C, byly prošetřeny dvě alternativy:

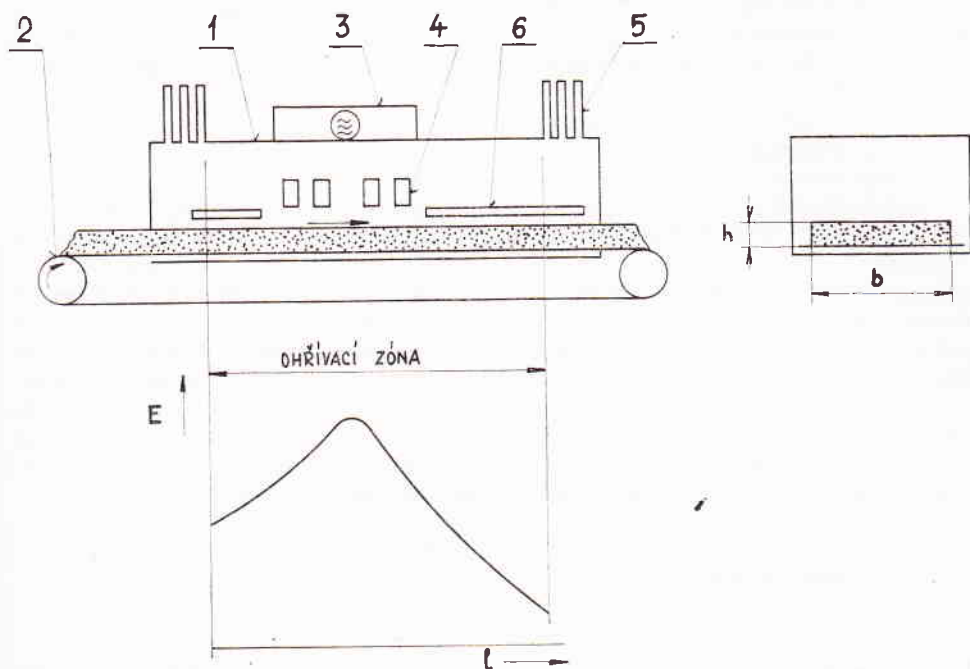
a) materiál byl ohříván stanovenou dobu a poté byla expanzní komora evakuována,

b) doba ohřevu se řídí průběhem tlaku v expanzní komoře v tom smyslu, že ohřev byl prováděn jen tak dlouho, dokud tlak v komoře stoupal, a potom byl materiál vystaven působení vakuu.

Výhodnější je alternativa b). Dokonale sa využije tlaková změna prostředí v materiálu a okolí produktu, což má přímou návaznost na velikost tlakových

gradientů uvnitř produktu a na minimalizaci času k akumulaci potřebné tepelné energie.

Mikrovlnným ohřevem lze zpracovávat jak kořenovou zeleninu, tak zvláště termolabilní potraviny, jako je ovoce (jablka). Pro lepší využití elektromagnetického pole, zvýšení účinnosti magnetronu a zlepšení ekonomiky bylo navrženo kontinuální zařízení pro mikrovlnný dielektrický ohřev. Návrh zařízení je vyobrazen na obr. 12.



Obr. 12. Schéma návrhu kontinuální linky pro dielektrický ohřev v mikrovlnném elektromagnetickém poli. 1 — rezonátor, 2 — dopravník, 3 — mikrovlnný generátor, 4 — vazební otvory, 5 — mikrovlnný filtr, 6 — vstup sušícího média.

### 9. Kombinované metody sušení

V praxi jsou často zaváděny efektivnější a ekonomičtější způsoby kombinovaného sušení. Mohou to být např. tyto kombinace:

- konvekce + radiační sušení,
- konvekce + dielektrický ohřev v mikrovlnném poli,
- konvekce + ohřev v magnetickém poli
- a další kombinace.

Výhody tohoto způsobu sušení proti jednotlivým stávajícím způsobům jsou zhruba tyto: lepší ekonomická výhodnost, kratší čas technologických operací, využití výhod jednotlivých způsobů sušení a odstranění jejich nevýhod, rozšíření působnosti na další druhy produktů.

V krátkém popisu základních teoretických vztahů se soustředíme na oblast expanzního zpracování. Analýza zákonitostí přenosu tepla a hmoty při sušení dokazuje, že tyto zákonitosti jsou konkrétním příkladem obecných zákonů popisovaných fenomenologickou teorií přenosu tepla a hmoty. Použití metody řešení termodynamiky nevratných dějů umožní získat systém diferenciálních rovnic, popisujících přenosové jevy v procesu sušení. Tato metoda v sobě zahrnuje teorie molekulárního přenosu tepla a hmoty (difuze, vedení tepla), množství transformované kapaliny (vnitřní tření) a hydrodynamiku vazkých kapalin při fázových a chemických změnách. Základem pro postup řešení jsou tyto tři zákony:

- zákon zachování energie a hmoty,
- princip přírůstku entropie,
- lineární zákon.

Využitím rázové změny teploty a tlaku při procesu sušení se několikrát zvětší rychlost sušení proti běžnému konvektivnímu způsobu. Fyzikálním základem různých vidů použití tlaku je maximální využití efektu intenzivního malárního přenosu páry a jeho vyvozuující síly — nerelaxujícího gradientu celkového tlaku. Proto se materiál vystavuje působení tlaku a potom jeho rychlému poklesu. Výsledkem akumulovaného tepla v celém tělese je bouřlivá tvorba páry, vedoucí k vytvoření silného molárního toku par. Tento gradient celkového tlaku vzniká i při teplotě nižší než 100 °C. Lze to objasnit molekulárním natékáním suchého vzduchu kapilárami (efuze), který zvyšuje celkový tlak a difuzi skluzu v makrokapilárách, při které vznikne gradient celkového tlaku. Potom tedy tok par vyvozený gradientem tlaku je

$$\vec{j}_r = -k_p \cdot \Delta P$$

a celkový tok hmoty

$$\vec{j}_M = -\lambda m \Delta \Theta - \lambda m \sigma \Delta T - k_p \cdot \Delta P.$$

Uplatníme-li výše zmíněné tři zákony, získáme systém obecných rovnic pro molárně-molekulární přenos tepla a hmoty

$$\frac{\partial \Theta_i}{\partial \tau} + \vec{W} \Delta \Theta_i = \sum_{k=1}^n K_{ik} \cdot \Delta^2 \Theta_k + \Pi_i,$$

$$(i = 1, 2, 3, \dots, n).$$

Pro jednorozměrná, nepohyblivá se tělesa nebo prostředí mají tyto rovnice tvar v bezrozměrné formě:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial Fo} = \sum_{k=1}^n K_{ik}^* \left( \frac{\partial^2 \Theta_k}{\partial x^2} + \frac{\Gamma}{x} \cdot \frac{\partial \Theta_k}{\partial x} \right) + \Pi_i^*.$$

Výhodou zobecněných rovnic, které popisují rázové změny v tělesech podrobených vysokointenzivnímu sušení, je možnost jejich aplikace na různé druhy zpracování (dielektrický ohřev, expanze, ohřev v magnetickém poli, kombinované druhy sušení), na změnu struktury nebo pro úplně nový postup (extruze, rozmělnování).

Přepis zobecněných rovnic a kinetických koeficientů závisí na správné volbě potenciálů přenosu a určení okrajových a počátečních podmínek daného procesu.

Pro zpracování v „expanzním děle“ jsou parametry dosazované do bezrozměrných rovnic tyto:

$$\begin{aligned}\Theta_1 = T &= \frac{t - t^*}{t_p - t^*} & \Theta_2 = \Theta & \Theta_3 = P = \frac{p - p_0}{p_0} & \Pi_i^* &= 0, \\ K_{11}^* &= 1 + \varepsilon Ko P n Lu & K_{12}^* &= \varepsilon Ko Lu & K_{13}^* &= \varepsilon Bu Lup, \\ K_{21}^* &= - Lu P n & K_{22}^* &= Lu & K_{23}^* &= - Lu_p \frac{Bu}{Ko}, \\ K_{31}^* &= - Lu \frac{\varepsilon Ko P n}{Bu} & K_{32}^* &= Lu \frac{\varepsilon Ko}{Bu} & K_{33}^* &= Lu_p (1 - \varepsilon).\end{aligned}$$

a platí zde okrajové podmínky třetího druhu v bezrozměrném tvaru

$$\begin{aligned}\frac{\partial T(1, Fo)}{\partial x} - Bi_q [1 - T(1, Fo)] + (1 - \varepsilon) Ko Lu Bi_m [1 - \Theta(1, Fo)] &= 0, \\ -\frac{\partial \Theta(1, Fo)}{\partial x} + P n \frac{\partial T(1, Fo)}{\partial x} + \frac{Bu Lup}{Ko Lu} \cdot \frac{\partial P(1, Fo)}{\partial x} + Bi_q [1 - \Theta(1, Fo)] &= 0 \\ P(1, Fo) &= 0.\end{aligned}$$

Zjednodušující předpoklady při praktickém výpočtu:

- hlavní roli hraje molární přenos,
- konvektivní člen je zanedbatelný,
- konstantní termodynamické charakteristiky a koeficienty přenosu,
- lineární změna tlaku a teploty v čase.

Při uplatnění těchto zjednodušení máme dostatek předpokladů pro změnu okrajových podmínek ze třetího na první druh (přenos tepla a hmoty v izolovaném prostředí):

$$t_p = f(\tau) \qquad \Theta_p = \Theta \text{ okolí.}$$

Výsledné rovnice pro pole potenciálu přenosu jsou tyto:

$$\begin{aligned}T(X, Fo) &= \frac{(1 - \varepsilon) Ko Ra Lup^2 (1 + \lambda p^*) P dp}{V^2} \cdot F(X, Fo), \\ \Theta(X, Fo) &= \frac{Ra Lup^2 (1 + \lambda p^*) P dp}{V^2} \cdot F(X, Fo), \\ P(X, Fo) &= \frac{Lup \cdot P dp}{V} \cdot F(X, Fo).\end{aligned}$$

Tyto rovnice umožňují nalézt pole potenciálu přenosu analytickou cestou a obejít mnohdy velmi obtížné a někdy neproveditelné měření.

## Souhrn

V přednášce jsou uvedeny metody zpracování potravinářských výrobků, které lze po stránce fyzikální poznat a po stránce matematické popsat. Z tohoto faktu vyplývá možnost hledat optimální podmínky zpracování, jak záměrně měnit (strukturu) texturu při základních technologických operacích. Nejedná se tedy už vůbec o problém „usušit“, ale o problematiku výběru a přístupu k různým způsobům sušení, a tedy o otázku „jak“ usušit.

Применение нагнетательных и резких перепадов температур в пищевой промышленности, особенно в процессе сушки

## Выводы

В докладе приведены методы обработки пищевых изделий, познаваемые с точки зрения физической и описательные с точки зрения математической. Из этого факта вытекает возможность исследовать оптимальные условия обработки, касающиеся направленного изменения (структуры) текстуры в процессе основных технологических операций. Речь идет уже не о проблеме „высушить“, но о проблематике выбора и подхода к разным способам сушки, т. е. о вопросе „как“ высушить.

The use of pressure and temperature impacts in food industry especially in drying process

## Summary

This lecture deals with the methods of the processing which are easy to describe physically and to recognize mathematically. From that follows the possibility to look for optimum processing condition how to change intentionally texture during the basic technological operations.

It is not the matter of “drying” but the problem of the choice and approach to various ways of drying and thus to solve the question “how” to dry up.

## Literatura

1. ANN: Development to watch, *Fd Engng.*, 1970, č. 1, s. 15.
2. BROWN, G. E. — FARKAS, D. F.: Centrifugal fluidized bed. *Fd Technol.*, 1972, č. 12, s. 23.
3. ZALECKIJ — JAROŠEVIČ: *Voprosy tovarovedenija i tehnologii piščevych produktov*. Minsk 1972.
4. KOPŘIVA, M.: Kandidátska dizertační práce. Praha 1973.
5. SUCHÝ a kol.: Extruzní tepelné zpracování potravin. Zpráva ČAZ-VÚPP. Praha 1972.
6. SUCHÝ a kol.: Návrh realizace experimentálního zařízení ke sledování molárního přenosu hmoty. Zpráva ČAZ-VÚPP. Praha 1972.

## Přehled použitých symbolů

$F$	zjednodušující funkce, obsahující řadu	$\vec{j}_p$	hustota filtračního toku
$\vec{j}_m$	hustota toku vlhkosti	$k_p$	koeficient molárního přenosu
		$K_{ik}$	kinetický koeficient



$P$	bezrozměrný potenciál filtračního přenosu		vydělování vlhkosti v kapalně fázi
$T$	bezrozměrný potenciál tepla	$\lambda_m$	koeficient vedení vlhkosti
$t$	teplota	$\lambda_p^*$	poměr molárního vedení hmoty v kapalně a parní fázi
$t_{\text{poč.}}$	počáteční teplota	$\tau$	čas
$t_p$	teplota páry	$\Pi_i$	výkon doplňujících zdrojů
$V$	funkce bezrozměrných kritérií filtračního přenosu		
$X$	bezrozměrná souřadnice		<i>Kritéria</i>
$w$	makroskopická rychlost	$Bi_m$	Biotovo (hmotové)
$\Delta P$	gradient tlaku	$Bi_q$	Biotovo (tepelné)
$\Delta T$	gradient teploty	$Bu$	Buligina
$\Delta \Theta$	gradient vlhkosti	$Fo$	Fourierovo
$\Gamma$	konstanta tvaru	$Ko$	Kosovičovo
$\delta$	Soretův koeficient	$Lu$	Lykova
$\varepsilon$	kritérium fázových změn	$Lu_p$	Lykova (tlakové)
$\Theta$	bezrozměrný potenciál vlhkosti	$Pd_p$	Predvoditeljovo
$z$	koeficient termomechanického	$Pn$	Posnovo
		$Ra$	Ramzina