

Ing. ZDENĚK BERAN, Výzkumný ústav chemických zařízení, Brno

Úvod

Výroba suchého pekařského droždí je příklad sušení, které vyžaduje mimořádně šetrné zacházení se sušeným materiálem. Je nutno postupovat tak, aby zůstala zachována vitalita buněk po opětovném zvlhčení produktu, a to v průmyslovém měřítku, tzn. velké výkony a přiměřené ekonomické parametry. Sušení ve fluidní vrstvě patří do skupiny intenzivních metod sušení v tzv. vzno-su. Částice sušené hmoty se během procesu vznášejí, resp. padají v proudu sušicího prostředí, a to buď pouze vždy část sušicího cyklu nebo stále. Do této skupiny lze zahrnout také sušení v bubnové sušárně a ve vibrační nebo vibrofluidní vrstvě.

Výroba suchého pekařského droždí v bubnové sušárně a ve vibrofluidní vrstvě byla rozpracována do průmyslového měřítka a již po řadu let je provozována s větším či menším úspěchem v různých zemích [1]. Sušení pekařského droždí ve fluidní vrstvě však nebylo do nedávné doby v provozním měřítku úspěšně zavedeno a většina technických řešení zůstávala v modelovém laboratorním měřítku. Publikované výsledky z laboratorie nebylo možno konfrontovat s výsledky provozu a jejich použitelnost pro návrh provozního procesu a zařízení, určeného k průmyslovému využití, byla malá. Na autorském pracovišti, které mělo za úkol vyvinout provozní zařízení s fluidní vrstvou pro sušení droždí, bylo nutno proto provést značně rozsáhlé práce v laboratoři a v poloprovozním měřítku. Výsledky této práce a souhrn poznatků a závěrů obecnějšího charakteru z provozního ověření procesu jsou obsahem tohoto článku.

Fluidní vrstva a proces sušení droždí

Fluidní vrstva má vlastnosti velmi příznivé pro sušení biologických materiálů. Částice pevné fáze o velikosti řádově milimetry a menší jsou ve vrstvě, vysoké

zpravidla případ od případu 0,1 až 1,0 m, protékány proudem tekutiny, v našem případě vzduchu — tzv. fluidačního prostředí. Plyn proudí ve směru proti hmotnosti částic, takže je třením nadlehčuje. Rychlost proudění plynu se udržuje v takových mezích, aby hmotnost částic a dynamické působení proudu plynu byly v rovnováze. Částice se „vznášejí“ v proudu plynu, ale nejsou jím unášeny. Za těchto podmínek má vrstva částic — fluidní vrstva — specifické vlastnosti. Chová se podobně jako kapalina, teče, vytváří hydrostatický tlak a pevné částice jsou v neustálém pohybu unášeny, jakoby na „vzduchovém polštáři“. Pochody přenosu tepla a hmoty probíhají v tomto systému mimořádně rychle. U droždí to znamená, že k odsušení z původní sušiny 27 až 30 % hmotnostních na 92 až 94 % hmotnostních dochází v časech řádově 10krát kratších než v mechanicky přesypávané profukované vrstvě, používané např. u bubnové sušárny [2]. Přitom se teplota kvasničné hmoty pohybuje okolo 30 °C a proces probíhá za atmosférického tlaku.

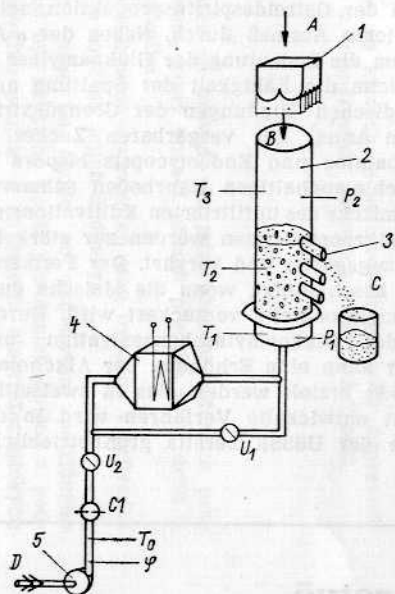
Pro návrh provozní sušicí jednotky s fluidní vrstvou bylo nutno za současného stavu znalostí zjistit a shrnout řadu údajů, které je možno shrnout do několika hlavních skupin:

- řešení úpravy amorfni hmoty droždí po vylisování do formy částic vhodného rozměru,
- určení hydrodynamických podmínek pro fluidní vrstvu droždí,
- zjištění teplotního režimu sušení a kinetiky sušení s ohledem na zachování vitality droždí,
- uspořádání procesu sušení s ohledem na specifické podmínky a požadavky na sušené droždí, technickou proveditelnost a ekonomiku provozu.

Otázka granulace droždí patří spíše do oblasti vývoje strojního zařízení a její řešení tvořilo zvláštní skupinu činnosti. Proto se jí na tomto místě nebudeme podrob-

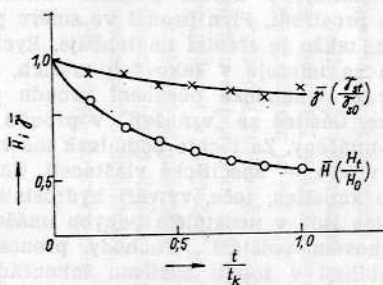
něji zabývat. V principu se droždí granuluje protlačováním přes matrici. Otvary matrice měly v našem případě průměr 1,5 až 3 mm. Vlhké droždí má potom tvar válečků o průměru otvorů matrice a délce 5 až 8 mm.

Pro zkoušky zahrnující ostatní skupiny výše uvedené problematiky sloužilo zařízení, jehož schéma a popis je na obr. 1.



Obr. 1. Schéma zkušebního zařízení

A — lisované droždí, B — vlhké granule, C — suché droždí, D — sušící vzduch, 1 — granulátor, 2 — sušicí kolona, 3 — výstup sušeného droždí, 4 — ohřivač vzduchu, 5 — ventilátor, $T_0 - T_3$ — měření teploty, $P_1 - P_2$ — měření tlaku, $U_1 - U_2$ — regulace průtoku, C_1 — měření průtoku vzduchu, φ — měření relativní vlhkosti vzduchu



Obr. 2. Změny charakteristik vrstvy droždí během sušení

γ — poměrná sypaná hmotnost vrstvy, H — poměrná výška sypané vrstvy, H_t — výška sypané vrstvy v čase t , H_0 — výška sypané vrstvy v čase $t = 0$, t — čas, t_k — doba sušení, γ_{st} — sypaná hmotnost vrstvy v čase t , γ_{s0} — sypaná hmotnost vrstvy v čase $t = 0$

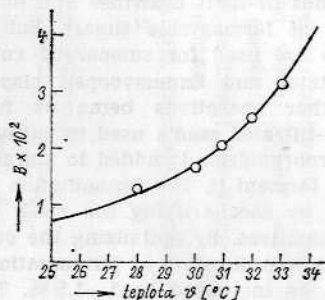
Hydrodynamika fluidní vrstvy droždí

Pro existenci fluidní vrstvy je nutno splnit základní podmínku, aby pevná fáze — droždí — byla ve formě částic vhodného rozměru a vhodných povrchových vlastností, hlavně co se týče lepidlosti. Je třeba konstatovat, že granulované droždí, pokud je odvodněno filtračním zařízením na u nás běžných 28–30 % sušiny, fluidní vrstvu bez potíží nevytvoří. Důvodem je lepidlost povrchu vlhkých granulí. Tento fakt prakticky znemožňuje vsázkové vedení procesu s takovým droždím i v laboratorním měřítku. Proto byla pro zkoušky sušení použita dvoustupňová metoda, popsána v další kapitole.

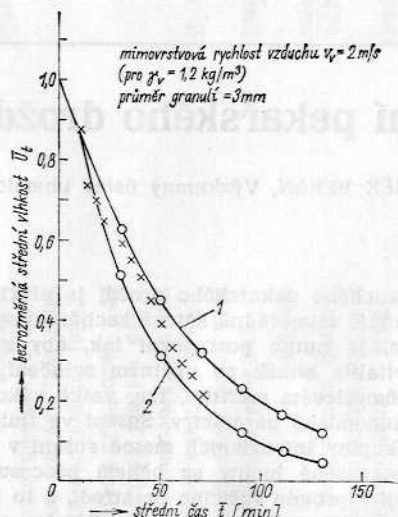
Sušením ztrácí droždí více než 2/3 své hmotnosti ve formě odpařené vody. Mění se podstatně hmotnost jednotlivých částic a dochází ke kontrakci — zmenšování jejich velikosti. Je evidentní, že uvedené změny hmot-

nosti a velikosti granulí znamenají změny konstant, charakterizujících chování částic v proudě plynu, tj. pádové rychlosti, resp. prahové rychlosti fluidace. Vliv změny hmotnosti a velikosti granulí droždí během sušení na charakteristiky vrstvy jsou znázorněny na obr. 2.

Ukázalo se, že prahová rychlost fluidace granulí droždí o průměru asi 2–3 mm se v závislosti na stupni vysušení pohybuje pro běžné droždí v rozmezí 0,5–1,5 m/s. Tomu odpovídají i pracovní rychlosti vzduchu, které jsou v závislosti na stupni vysušení v rozmezí 1,2 až 2,2 m/s.



Obr. 3. Závislost konstanty B na teplotě



Obr. 4. Průběh sušení ve dvou stupních

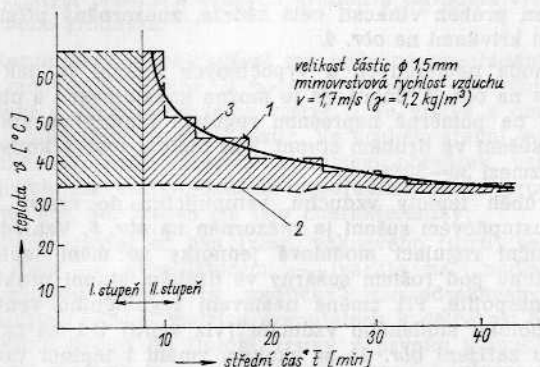
x — naměřené hodnoty, 1 — teplota 30 °C, 2 — teplota 32 °C

V průmyslových podmínkách se jednotlivé „šarže“ droždí svými vlastnostmi značně liší. Droždí je více nebo méně drobivé, lepivé, různě se chová při granulaci. Chování je ovlivněno obsahem vlhkosti, ale hlavně funkcí „přirozených vlastností“ droždí. Proto je vhodné stanovit pracovní rychlosti vzduchu, zahrnující i mezní podmínky provozu. Hodnoty pracovních rychlostí, uvedené v předcházejícím odstavci, se osvědčily jako vyhovující i v provozních podmínkách.

Teplotní režim a kinetika sušení

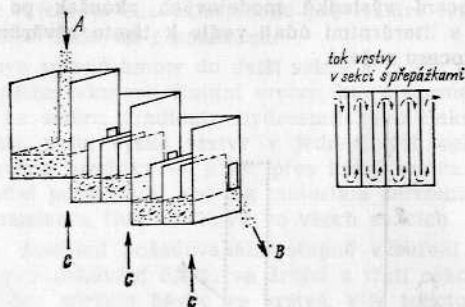
Teplota sušené hmoty ovlivňuje při stejné velikosti granulí rozhodujícím způsobem rychlost sušení. Horní teplotní mez je dána pro fluidní vrstvu droždí s ohledem na zachování vitality droždí zhruba teplotou 35 °C. Hodnotu 35 °C uvádí literatura (např. [3]) a byla i potvrzena experimenty této práce, jak v modelovém, tak provozním měřítku. Při teplotách vyšších nastává za normálních podmínek u běžného droždí ve fluidní vrstvě prudký pokles vitality. Sušení droždí při teplotách nižších než 25 °C při atmosférickém tlaku je provedi-

teelné, avšak rychlost sušení velmi klesá. Při těchto teplotách hrozí také nasycení vystupujícího vzduchu vlhkostí, tj. dosažení rosného bodu a kondenzace vlhkosti v odtahové části sušárny, což může vyvolat značné provozní potíže. Kromě toho při vyšších vlhkostech vzduchu nelze droždí odsušit nad 92 % sušiny. Konečná vlhkost droždí dosáhne totiž prakticky rovnovážné vlhkosti, která za těchto podmínek může být i větší než požadovaných max. 8 % hmotnostních.

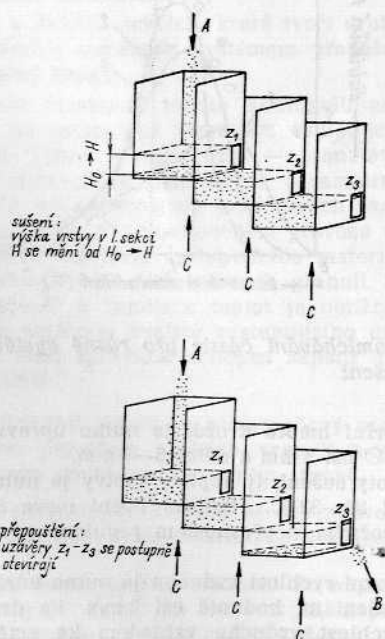


Obr. 5. Průběh teplot při sušení ve dvou stupních

1 — teplota vzduchu na vstupu do vrstvy, 2 — teplota vrstvy, 3 — střední teplota vzduchu na vstupu do vrstvy



Obr. 6a. Schéma kontinuálního procesu



Obr. 6b. Schéma semikontinuálního procesu

$z_1 - z_3$ — uzavěři sekci, A — nepřetržitý vstup granulí do sušárny, B — periodický výstup granulí ze sušárny, C — sušící vzduch

Z uvedeného vyplývá i vliv relativní vlhkosti vzduchu na sušení droždí. Nižší relativní vlhkost vzduchu ovlivňuje příznivě rychlost sušení hlavně v konečné fázi. V našich klimatických podmínkách nepříznivý vliv vlhkosti vzduchu vzhledem k relativně nízkým teplotám nemá rozhodující význam. Teplotní režim sušení je možno uspořádat tak, že sušení probíhá, zvláště v poslední fázi, při teplotách nad 30 °C. V tomto případě je dostatečná rezerva v suchosti vzduchu (rovnovážná vlhkost typického vzorku droždí při 30 °C a relativní vlhkosti vzduchu $\varphi = 60\%$ je asi 3 % hmotn.). V klimatických podmínkách s vyššími teplotami a vlhkostmi vzduchu je nutno počítat se sušením vzduchu vstupujícího do sušárny, což značně zvyšuje jak investiční, tak provozní náklady.

Vedle teploty má rozhodující vliv na rychlost sušení velikost povrchu granulovaného droždí, tj. velikost částic. Při průměru granulí 1,5 mm byla v našem případě doba nutná k vysušení zhruba o 30 až 40 % kratší než při průměru 3 mm. Rozhodující při volbě velikosti částic nakonec ale byla jiná hlediska. Ukázalo se, že příprava velkých množství granulí o malém průměru je značně obtížná. Při protlačování droždí otvory matrice 1,5 mm vznikaly velké odpory a výkony granulátoru byly nízké. Malé granule droždí svým velkým povrchem jsou také zvláště náchylné ke slepování. Kromě toho při vlastním sušení se výhoda velkého povrchu projeví hlavně v první fázi sušení, v níž se odpaří nejvíce vlhkosti. Zde potom hrozí, jak bylo uvedeno, nasycení vzduchu na rosný bod, a to buď při nižších teplotách sušení, nebo při menších rychlostech sušícího vzduchu, resp. průtočných množstvích, což je tento případ.

Z uvedených důvodů byly zvoleny průměry otvorů matrice granulátoru 3 mm. Průměr granulí na vstupu do procesu sušení byl tedy 3 mm a délka 5–8 mm; po vysušení průměr granulí poklesl na 2,3 mm a délka asi o dva milimetry, tj. na 3–6 mm. Pro granule uvedeného rozměru byl sledován na zařízení, znázorněném na obr. 1, průběh sušení v závislosti na teplotě. Mimovrstvová rychlost sušícího vzduchu byla 1,2–2,2 m/s (při měrné hmotnosti vzduchu $\gamma_{\text{vzduch}} 1,2 \text{ kg/m}^3$), teplota vzduchu na vstupu do zařízení 15–20 °C, relativní vlhkost $\varphi = 60\text{--}70\%$.

Vzhledem k vlastnostem droždí (slepování vlhkých granulí) byla pro modelové pokusy zvolena metoda dvoustupňového sušení s kombinací ideálního míšení a pístového toku [4]. Tato metoda umožňuje zpracovávat ve fluidní vrstvě materiály, které při vstupním obsahu vlhkosti nefluidují, nebo pro které z ekonomických či technologických důvodů jednostupňové sušení nevyhovuje. Postup je takový, že se připraví předsádka částečně vysušených částic, která vytvoří fluidní vrstvu. Do této vrstvy se zvolenou rychlostí přivádějí granule vlhkého droždí a částečně vysušený produkt se odvádí stejnou rychlostí z vrstvy. Teplota vrstvy se udržuje na dané hodnotě. Po ustálení podmínek je možno považovat fluidní vrstvu za ideálně promíchávaný průtočný systém. Na požadovanou sušinu se potom dosuší částice droždí tak, že v určitém čase se zastaví průtok částic zařízením a zádrž částic se dosuší jako vsázka až na požadovanou vlhkost. Teplota vrstvy se udržuje na zvolené hodnotě. Sušením „vsázky“ se modeluje ideální případ pístového toku.

Prvního stupně — ideálního míšení — bylo použito v této práci také pro zjištění průběhu sušení střední částice droždí v závislosti na čase. Teplota vrstvy a ostatní fluído-dynamické podmínky byly v průběhu každého pokusu konstantní. Takto získaná závislost poskytuje základní informace o kinetice sušení droždí ve fluidní vrstvě, potřebné pro výpočty a návrh fluidního zařízení. Metoda stanovení uvedené závislosti vychází z těchto vztahů.

Bezrozměrná střední vlhkost*) vrstvy se v ideálně promíchávaném průtočném systému ustálí na charakteristické hodnotě, která je dána vztahem [6]:

$$\bar{U}_t = \int_0^\infty U_t \cdot E(t) \cdot dt \quad (1)$$

kde \bar{U}_t je bezrozměrná střední vlhkost vrstvy,

U_t je bezrozměrná vlhkost individuální střední částice,

$E(t)$ je distribuční funkce charakterizující rozložení dob zdržení částic při průchodu vrstvou,

t je čas.

Pro případ ideálního mísení platí [4]

$$E(t) = \frac{1}{\bar{t}} \cdot e^{-\frac{t}{\bar{t}}} \quad (2)$$

kde \bar{t} je střední doba zdržení částic, přičemž $\bar{t} = \frac{Z}{G}$,

Z je hmotnost zádrže částic v zařízení,

G je hmotnostní průtok částic zařízením.

Aby bylo možno použít rovnice (1) pro určení vlhkosti \bar{U}_t předpokládáme pro zjednodušení, že průběh vlhkosti individuální střední částice U_t v závislosti na čase t je možno v celém rozsahu vlhkosti charakterizovat funkcí

$$U_t = e^{-Bt} \quad (3)$$

V této rovnici je B rychlostní konstanta, která je funkcí fluído-dynamických a sušicích podmínek v dané vrstvě; e v rovnici (3) je stejně jako v rovnici (2) základ přirozených logaritmů. Po dosazení z rovnice (2) a (3) do rovnice (1) a integraci dostáváme vztah [4]

$$\bar{U}_t = \frac{1}{1 + B \cdot \bar{t}} \quad (4)$$

Rovnice (4) určuje hodnotu rychlostní konstanty B v závislosti na střední vlhkosti vrstvy \bar{U}_t a střední době zdržení \bar{t} . Tyto proměnné jsou poměrně snadno měřitelné a tak pomocí vztahu (4) je možno určit pro dané fluído-dynamické podmínky (rychlost vzduchu a velikost částic) hodnoty konstanty B pro různé teploty vrstvy. Z rovnice (3) lze potom vypočítat příslušné hodnoty vlhkosti, resp. křivku sušení.

Na obr. 3 je znázorněna závislost takto stanovené konstanty B na teplotě. Měření bylo prováděno pro uvedenou velikost částic droždí a mímovrstvovou rychlost vzduchu 2 m/s (při měrné hmotnosti vzduchu $\gamma_{vz} = 1,2 \text{ kg/m}^3$).

Obrázek 4 znázorňuje typické změny střední vlhkosti vrstvy \bar{U}_t v závislosti na čase při modelových zkouškách nepřetržitého dvoustupňového sušení. První část křivky (čas 0–12 min) ukazuje průběh vlhkosti vrstvy v prvním ideálně míchaném stupni při teplotě vrstvy 30 °C. Body na grafu znázorňují naměřené hodnoty vlhkosti v druhém stupni při vsázkovém vedení procesu. Teplota vrstvy byla při druhém stupni udržována v rozmezí 30–32 °C.

Průběhy vlhkosti znázorněné křivkami 1 a 2 byly vypočteny z příslušné hodnoty konstanty B pro teploty 30–32 °C. Při výpočtu se vycházelo opět z teoretických

vztahů o rozložení dob zdržení částic při ideálním mísení, a to z tzv. hustoty rozložení vnitřního stáří částic v systému I , která je dána vztahem (5).

$$I = e^{-t} \quad (5)$$

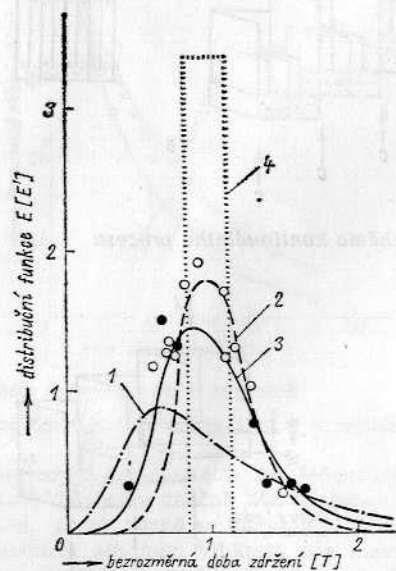
Z rovnice (5) byla určena střední vlhkost každého z konečného počtu váhových dílů zádrže částic v prvním stupni. Z rovnice (3) byly vypočítány průběhy vlhkosti těchto váhových dílů pro hodnoty konstant B 30 °C a B 32 °C v čase t 12–130 min. Integrací byl potom stanoven průběh vlhkosti celé zádrže, znázorněný příslušnými křivkami na obr. 4.

Shoda naměřených a vypočtených hodnot je, jak je vidět na obr. 4, dobrá. Je to možno konstatovat i s ohledem na poměrně nepřesnou regulaci teploty ve vrstvě při sušení ve druhém stupni, kde teplota vrstvy kolísala v rozmezí 30–32 °C.

Průběh teploty vzduchu, vstupujícího do vrstvy při dvoustupňovém sušení je znázorněn na obr. 5. Vzhledem k ruční regulaci modelové jednotky se mění teplota vzduchu pod roštem sušárny ve druhém stupni prakticky nespojitě. Při změně nastavení regulačního ventilu na obtoku studeného vzduchu (viz ventil U1 na schématu zařízení obr. 1) se skokem změní i teplota vzduchu do sušárny. Šrafovaná plocha na obr. 5 určuje spotřebu tepla na sušení při dvoustupňovém procesu.

Uspořádání procesu sušení

Zhodnocení výsledků modelových zkoušek po konfrontaci s literárními údaji vedlo k těmto závěrům pro návrh procesu sušení.



Obr. 7. Promíchávání částic pro různé systémy procesu sušení

— Amorfni hmotu droždí je nutno upravit do formy granulí o \varnothing asi 3 mm a délce 5–7 mm.

— Teploty sušení, tj. teploty vrstvy je nutno udržovat v rozmezí 28–33 °C. (Snížení horní meze 35 °C vzhledem k možným nepřesnostem regulace teploty v provozu.)

— Pracovní rychlost vzduchu je nutno udržovat v první fázi sušení na hodnotě asi 2 m/s. Ve druhé fázi je možno rychlost vzduchu vzhledem ke změnám hmotnosti a velikosti částic snížit na asi 1,5 m/s.

— Doby sušení střední částice uvedeného rozměru a teplotách sušení 28–33 °C se pohybují v rozmezí asi

*) Bezrozměrná vlhkost je definovaná jako $U = \frac{u_t - u_r}{u_o - u_r}$

kde U je bezrozměrná vlhkost,

u_t je vlhkost v čase t ,

u_o je vlhkost v čase $t = 0$,

u_r je rovnovážná vlhkost za daných podmínek.

100–180 min [vypočteno z rovnice (3) s použitím hodnoty konstanty B z obr. 3].

Pro průmyslové sušení byly potom rozpracovány a provozně ověřeny dva systémy procesu sušení. Ověření bylo prováděno v provozním měřítku na zařízení o roštové ploše 3 m^2 s kapacitou až 100 kg suchého droždí za hodinu.

A. Kontinuální sušení — dvoustupňový proces s nepřetržitým přívodem vlhkých granulí a odvodem vysušeného produktu.

Kontinuální proces sušení má obdobné uspořádání jako modelové zkoušky. V podstatě se jedná o kombinaci sušení v ideálně míchané vrstvě a ve vrstvě s omezeným mícháním pevných částic. Ve druhém stupni je promíchávání částic omezeno systémem přepážek, usměrňujících tok vrstvy. Schéma uspořádání tohoto procesu je na obr. 6a. Proces má tyto charakteristiky:

Vlhké droždí od lisu (resp. vakuového filtru) se podávácem — granulátorem — tvaruje na „nudličky“ o průměru 3 mm. Tyto „nudličky“ jsou odsekávány při výstupu z otvoru matrice granulátoru v délce asi 5 mm a volně padají do fluidní vrstvy v prvním stupni. Pro funkci systému je nutno v prvním stupni udržovat stále určité množství předsušených granulí. Proud vzduchu nestačí udržet vlhké granule ve vznosu a hrozilo by zalehnutí materiálu na roštu. Další podmínkou pro stabilitu tohoto systému je intenzivní promíchávání pevných částic, které je charakteristické pro fluidní vrstvu „nestíněnou“ žádnými přepážkami.

Pohyb sušené hmoty do další sekce a celým systémem je zajištěn tekutostí fluidní vrstvy, která normálně přetéká ve směru gradientu hydrostatického tlaku. Výška hladiny, resp. výška vrstvy v jednotlivých sekcích, je udržována hradítky — jízky, přes které vrstva přetéká. Základní podmínkou pro tok materiálu zařízením je potom existence fluidní vrstvy ve všech sekcích.

Pro dosažení požadovaného stupně vysušení je omezeno promíchávání částic ve druhé a třetí sekci. Distribuce dob zdržení částic ve vrstvě, vliv tohoto faktoru na proces sušení a aplikace poznatků v provozním měřítku byly podrobně studovány a popsány při řešení úkolů obecného charakteru [6].

Ve druhé a dalších sekcích, které tvoří druhý stupeň, je průtok vrstvy usměrněn systémem přepážek, vytvářejících lomený kanál.

Nepříznivou vlastností tohoto kontinuálního procesu je citlivost na reologické vlastnosti vstupujícího čerstvého droždí. Výkon prvního uzlu — granulátoru — je při stejné nastavených ovládacích parametrech ovlivňován rozdíly ve vlastnostech jednotlivých šarží droždí. Výkon granulátoru při dlouhodobém provozu potom kolísá. Mění se i množství vystupujícího materiálu, který obsahuje někdy i část nedosušených granulí. Systém se může „rozkývat“ a regulace teplot je obtížná. To vše rezultuje ve sníženou kvalitu vystupujícího droždí. Přitom výroba není zpravidla schopna zajistit droždí rovnoměrné kvality.

B. Semikontinuální sušení — vícestupňový proces s nepřetržitým přívodem vlhkých granulí a přetržitým vypouštěním zádrže z posledního stupně.

Při semikontinuálním procesu se granulované droždí přivádí do první sekce, obsahující popřípadě určité

výška stoupá do zvoleného maxima. Po naplnění sekce se vrstva přepustí do druhé sekce a plnění první sekce se opakuje. Postupně se tak naplní sušárna a vysušený produkt vypouští ven ze zařízení. Doba přepouštění je pro každou sekci asi 1 až 2 min. Schéma uspořádání procesu je na obr. 6b.

Ve srovnání s prvním způsobem vedení procesu sušení má popsaný semikontinuální proces hlavní výhodu v tom, že prakticky odstraňuje popsanou nestabilitu výkonu v závislosti na kvalitě vstupujícího droždí. Kromě toho dále zvyšuje rovnoměrnost distribuce dob zdržení částic v sušárně a umožňuje popřípadě bezprostředně reagovat změnou režimu sušení na změněné vstupní podmínky. Maximální výkon, vztažený na jednotku roštové plochy sušárny, je však poněkud menší, jelikož první sekce je využita pouze zčásti. Kromě toho je systém poněkud náročnější na obsluhu a automatickou regulaci procesu. Ovšem podmínky sušení jsou za běžných provozních podmínek příznivější, takže je zde podstatně menší ohrožení kvasné aktivity produktu.

Vlastnosti obou uvedených systémů sušení z hlediska nerovnoměrnosti v dobách pobytu částic byly proměřovány na provozním zařízení. Bylo při tom použito metody vzruchu a odezvy [7]. Jako stopovací látka sloužilo droždí, obarvené potravinářským barvivem. Výsledky měření jsou znázorněny na obr. 7. Jsou zde průběhy dříve zmíněné distribuční funkce E , charakterizující rozdělení dob zdržení částic v systému v závislosti na bezrozměrném čase T , kde $T = t$.

Křivka č. 1 na obr. 7 znázorňuje teoretický průběh funkce E v třístupňovém aparátu, kde v každém stupni je ideálně promíchávaná vrstva. Křivky č. 2 a 3 jsou experimentálně určené průběhy funkce E , zjištěné v provozní sušárně. Průtok granulí zařízením byl při měření 100 kg/h. Křivka č. 2 znázorňuje distribuční funkci, změněnou pro průtok částic druhou a třetí sekci s usměrňovacími přepážkami. Křivka č. 3 je průběh distribuční funkce při průtoku celým zařízením, tj. včetně první, ideálně míchané sekce. Křivka č. 4 znázorňuje průběh distribuční funkce E' , pro hypotetický srovnávací nepřetržitý proces, který odpovídá podmínkám semikontinuálního kaskádového vedení procesu.

Z průběhu křivek je vidět, že systém přepážek je i při zařazení ideálně míchané dávkovací sekce relativně značně účinný (křivka 3). Při použití pouze vícestupňového aparátu je průběh distribuční funkce podstatně nepříznivější (viz křivka 1). Ovšem jednoznačně nejlepší je z tohoto hlediska systém kaskády s periodickým přepouštěním (křivka 4).

Závěr

Posouzení vlastností obou systémů provozního sušení droždí vedlo k tomu, že jako výhodnější byl uveden do trvalého provozu semikontinuální systém s periodickým vypouštěním vysušeného produktu. Vedení tohoto procesu lze velmi dobře přizpůsobit změněným podmínkám na vstupu vlhkého droždí, a to jak co do kvality, tak i do množství. Sušení probíhá poměrně rovnoměrně a stupeň vysušení jednotlivých částic se k sobě velmi blíží. Při tom je zachována relativní jednoduchost procesu a z hlediska celého pracovního cyklu jeho nepřetržitý chod. Výsledky z trvalého provozu tohoto procesu, zahrnující popis strojního zařízení, jeho funkce a technicko-ekonomických parametrů, budou zpracovány v samostatném článku.

Literatura

- [1] ŠESTÁKOVÁ, M.: Kvasný průmysl 19, 1973, č. 6, s. 127–131.
- [2] ŠIŠACKIJ, J. I., KRAVČENKO, V. M., ČULINA, E. P.: Chleb. i kondit. prom., 1971, č. 12, s. 25–27.
- [3] KUKAIN, R. A.: Mikrobnyje biomasy i ich metabolity, AN. LATV. SSSR. Riga 1972, s. 81–87.
- [4] BERAN, Z., LUTCHA, J.: Chem. Eng., 1975, č. 303, s. 678–681.
- [5] LEVENSPIEL, O.: Teorie a výpočty chemických reaktorů. SNTL Praha 1967.
- [6] BERAN, Z.: Chem. prům. 22, 1972, č. 7, s. 323–326.
- [7] KUNH, D., LEVENSPIEL, O.: Fluidization Engineering, New York, 1969.

Beran, Z.: Sušení pekařského droždí ve fluidní vrstvě. Kvas. prům., 26, 1980, č. 5, s. 109—113.

Souhrn údajů pro návrh provozní sušárny droždí s fluidní vrstvou. Výsledky laboratorních zkoušek, zahrnující hydrodynamiku vrstvy droždí a její specifické vlastnosti, kinetiku a teplotní režim sušení. Metodika stanovení křivky sušení. Zhodnocení vlivu jednotlivých faktorů na proces sušení. Návrh kontinuálního a semikontinuálního procesu sušení. Ověření a zhodnocení procesu na průmyslové jednotce o kapacitě 100 kg suchého droždí za hodinu.

Беран, З.: Сушка хлебопекарных дрожжей в псевдооживленном слое. Квас. прум. 26, 1980, № 5, стр. 109—113.

В статье приведены все данные, нужные для разработки проекта установки для сушки дрожжей в псевдооживленном слое. Рассматриваются: гидродинамика слоя флюидизированных дрожжей, специфические свойства псевдооживленного слоя, кинетика и температурный режим сушки, методика определения кривой процесса сушки, влияние разных факторов на ход сушки. Сравниваются непрерывный и полунепрерывный методы сушки. Дается оценка работы находящейся в эксплуатации установки производительностью 100 кг сухих дрожжей в час.

Beran, Z.: Drying Bakery Yeast in Fluidized Bed. Kvas. prům., 26, 1980, No. 5, pp. 109—113.

The article deals with the results of laboratory yeast drying experiments, with hydrodynamics and specific properties of fluidized bed, as well as with kinetic and thermal conditions of drying. The author analyses the influence of individual factors on drying process and outlines method to be applied to obtain a correct drying rate curve. Continuous and semi-continuous drying processes are compared and evaluated. A pilot plant of 100 kg/hr dry yeast capacity and achieved results are described.

Beran, Z.: Trocknung der Backhefe in der Wirbelschicht. Kvas. prům. 26, 1980, No. 5, S. 109—113.

Der Artikel bringt eine Zusammenfassung der Angaben für den Entwurf eines Betriebshefetrockners mit Wirbelschicht. Ergebnisse der Laborversuche charakterisieren die Hydrodynamik der Hefeschicht und ihre spezifische Eigenschaften, die Kinetik und das Wärme-regime der Trocknung. Methodik der Ermittlung der Trocknungskurve. Bewertung des Einflusses der einzelnen Faktoren auf den Trocknungsprozeß. Vorschlag des kontinuierlichen und semikontinuierlichen Trocknungsprozesses. Erprobung und Auswertung des Prozesses auf einer Betriebseinheit von einer Kapazität von 100 kg Trockenhefe pro Stunde.