

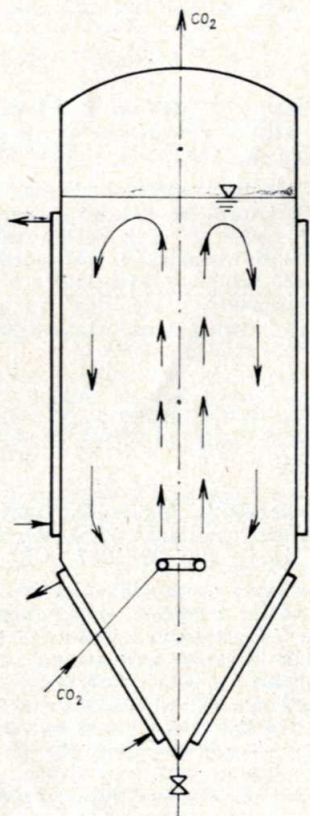
IV. Pneumaticky míchané reaktory s neuspořádaným prouděním kapaliny

Ing. JAN PÁCA, CSc., Vysoká škola chemickotechnologická, katedra kvasné chemie a bioinženýrství, Praha

Klíčová slova: cylindrokónický reaktor, reaktory s trubkovými rozvaděči vzduchu, probublávané kolony, víceetapňové věžové reaktory

Cylindrokónický reaktor

Tento typ reaktoru je v současné době ve světě značně rozšířen při výrobě piva (obr. 1) [1]. Plnění mladinou, odtah sedimentovaných kvasinek i vypouštění piva se provádějí potrubím zaústěným v nejnižším místě reaktoru. Míchání obsahu probíhá v průběhu hlavního kvašení bublinami tvořícího se CO_2 . Dvě samostatné duplikátorové sekce slouží k udržení požadovaných teplot podle progra-

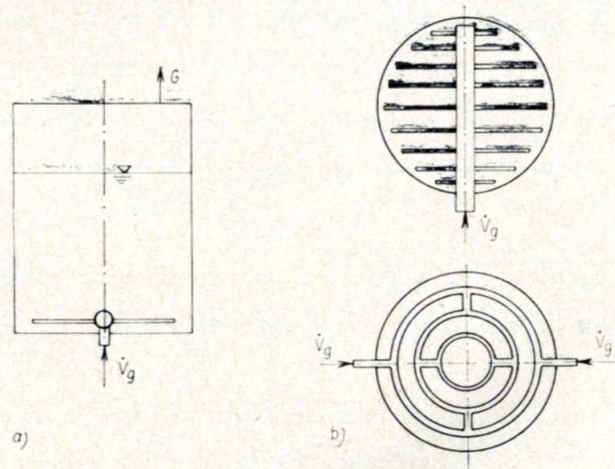


Obr. 1. Cylindrokónický reaktor firmy A. P. V. Company Ltd., Crawley, Velká Británie

mu. V horní části kónického tvaru je umístěn distributor, do kterého se přivádí CO_2 v průběhu dokvašování pro zkrácení této fáze výroby, resp. již při vypouštění sedimentovaných kvasinek. Celkový objem reaktoru je od 5 do 1250 m^3 . **Výhody:** snadné čištění, hygienický provoz, snadný odvod CO_2 , účinná regulace teploty celého obsahu reaktoru, snadná separace kvasinek, menší ztráty piva a nižší investiční i provozní náklady ve srovnání s klasickými nádobami otevřenými s plochým dnem.

Reaktory s trubkovými rozvaděči vzduchu

Trubkové rozvaděče vzduchu se používaly převážně ve fermentorech pro výrobu pekařského droždí [2–4]. Umísťují se u dna fermentoru (asi 10 cm nade dnem) a mohou být provedeny různým způsobem (obr. 2) [5–7].



Obr. 2. Reaktor s trubkovými rozvaděči vzduchu

- Umístění rozvaděčů v reaktoru.
- Rozvaděč s přímými a skrouženými trubkami.

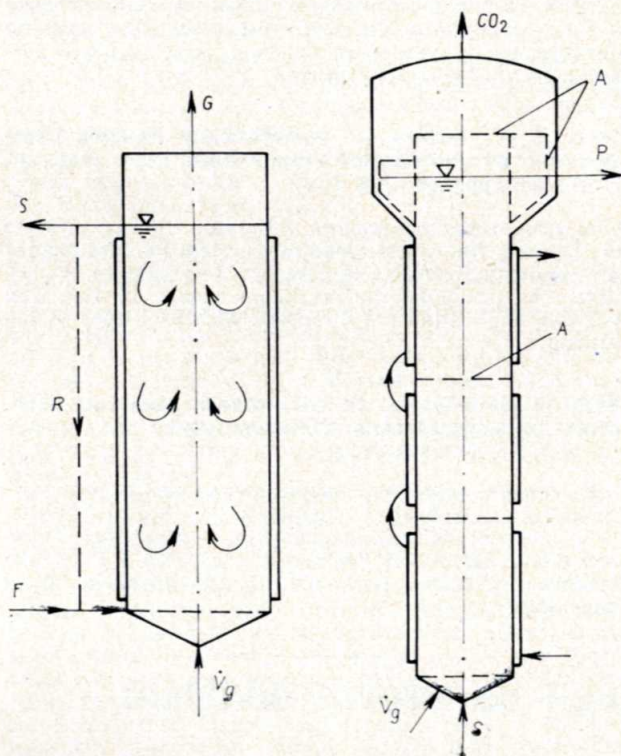
G — odvod plynů, V_g — přívod vzduchu.

Úkolem trubkových rozvaděčů je dosáhnout stejnoměrného vzestupu bublin v celém průřezu reaktoru. Průměr otvorů v trubkách se provádí od 0,3 do 1 mm. Vzniklé proudění je turbulentní, ale neuspořádané. Celkový objem reaktoru s tímto aeračním zařízením je v rozsahu 50

až 400. m³. *Výhodou* je jednoduchost zařízení. *Nevýhody*: velká spotřeba vzduchu, nízké využití kyslíku ze vzduchu, nedostatečná rychlost dodávky kyslíku při použití média s vyšší koncentrací sacharidů (méně zředěná melasa).

Probublávané kolony

Probublávané kolony jsou jednoduchá zařízení bez pohyblivých částí, ve kterých je vzduch u dna dispergován tryskami, porézní přepážkou nebo perforovanou přepážkou (obr. 3). Charakteristickou vlastností těchto reaktorů je neuspořádané proudění. Přestože lokální rychlost kapaliny může být značně velká, je fiktivní rychlost kapaliny malá nebo dokonce nulová podle toho, zda se jedná o kontinuální nebo vsádkový proces. *Výhody*:



Obr. 3. Probublávaná kolona

F — přítok média, G — odvod plynů, S — odtok mikrobiální suspenze, R — eventuální recykl mikrobiální suspenze, V_g — přívod vzduchu.

Obr. 4. Věžový reaktor firmy A. P. V. Company Ltd., Crawley, Velká Británie

A — perforované přepážky, P — odtok piva, S — přítok mladiny, V_g — přívod vzduchu.

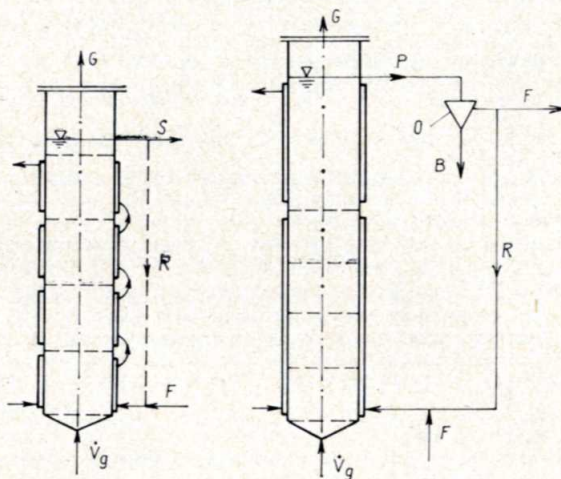
jednoduché zařízení, neporuchové, investičně nenáročné, rychlost přenosu kyslíku na jednotkový příkon je vyšší než u mechanických reaktorů, ale pouze za podmínek, za kterých mohou pracovat [8]. *Nevýhody*: nelze použít u suspenzních médií (nelze zcela eliminovat sedimentaci) ani u médií s vyšší viskozitou (horší promíchávání), velká spotřeba vzduchu, malé využití kyslíku ze vzduchu (koalescence bublin) [9], značné pění média, mohou pracovat jen v úzkém rozsahu provozních podmínek, zvláště s ohledem na velikost aerace (nejdou univerzálně použitelné). Tento typ reaktoru byl ověřen při výrobě pekařského droždí, zpracování odpadních vod [10], výrobě piva a octa [11], kultivaci hub [12] a produkci toxinu záškrtu populací *Corynebacterium diphtheriae* [13]. Použije-li se populace flokulujících buněk, lze docílit vysoké koncentrace biomasy i tvorby metabolických produktů.

Vicestupňové věžové reaktory

Britská firma A. P. V. Company Ltd. vyrábí věžový vicestupňový reaktor pro kontinuální fermentaci piva (obr.

4). Mladina se přivádí do spodní části věže. V dolních sekcích věže je koncentrace kvasinek 350 g.l⁻¹ a probíhá zde účinná konverze sacharidů. Míchání zajišťuje tvoření se CO₂. Horní sekce s podstatně nižší koncentrací kvasinek slouží pro dokvašování, ale hlavně pro separaci kvasinek. Vrchní, rozšířená část věže je opatřena přepážkami, jejichž úkolem je oddělit proud CO₂ a vytvořit klidový prostor (bez proudění) v místě odtoku piva. Věž je ve spodní části opatřena též přívodem vzduchu pro aeraci. Aerace je nezbytná pro počáteční nárůst biomasy v reaktoru a dále se reguluje podle potřeby tak, aby pivo mělo žádanou chuť a kvasinky odpovídající fyziologickou aktivitu. Celkový objem reaktoru je 32 m³. *Výhody*: menší spotřeba sacharidů na růst buněk (vyšší výtěžnost na produkt, rychlejší zrání piva).

Věžové vicestupňové reaktory s perforovanými přepážkami pro aerobní procesy ukazuje obr. 5. Laboratorní velikost tohoto typu reaktoru vyvinula japonská firma



Obr. 5. Věžový vicestupňový reaktor s perforovanými přepážkami

F — přítok média, G — odvod plynů, R — recykl mikrobiální suspenze, S — odtok mikrobiální suspenze, V_g — přívod vzduchu.

Obr. 6. Kombinatorický věžový fermentor

B — odtok koncentrované biomasy, F_{in} — přítok média, F_{out} — odtok prokvašeného média, G — odvod plynů, O — odstředivka, P — odtok buněčné suspenze, R — recykl média, V_g — přívod vzduchu.

Marubishi Tokyo. Použití perforovaných přepážek umožňuje opakovanou dispergaci bublin, větší rychlosti přenosu kyslíku, větší dobu zdržení bublin v médiu a tím lepší využití kyslíku ze vzduchu a celkově lepší distribuci střední doby zdržení suspenze v reaktoru ve srovnání s probublávanými kolonami [14]. Naopak však vzrůstá spotřeba energie v důsledku tlakové ztráty na jednotlivých patrech. Při vhodném návrhu perforované přepážky dosahuje se zde vysokého oddělovacího efektu mezi stupni [15]. Ve srovnání se systémy obsahujícími navíc mechanická míchadla [16] je v reaktoru bez míchadel vyšší spotřeba vzduchu. Tím vzniká větší zádrž plynu, což zmenšuje pracovní (reakční) objem reaktoru. Míchání je horší a vzniká silné pění. Zařízení je však jednodušší, bez pohyblivých částí (menší pravděpodobnost poruchy) a investičně méně náročné (17–21). Ostatní výhody uvedené v literatuře [16] více či méně zůstávají v platnosti.

V některých případech lze s výhodou použít kombinovaného věžového reaktoru [22] opatřeného v dolní části perforovanými přepážkami (vicestupňový systém) a v horní části bez přepážek (probublávaná kolona) (obr. 6). Horní část se může využívat např. k aerobnímu hladovění buněk s cílem snížit obsah nukleových kyselin. Tuto kombinaci lze však použít pouze u mikroorganismů, které nebudou sedimentovat.

Literatura

- [1] RICKETTS, R. W.: Fermentation Systems. In Modern Brewing Technology, Ed. W. P. Findlay, Mac Millan Press, London 1971, s. 83
 - [2] BUTSCHEK, G., KAUTZMANN, R.: Backhe'produktion. In Die Hefen, Bd. II, Ed. F. Reiff, Verlag Hans Karl, Nürnberg 1962, s. 549
 - [3] ROSEN, K.: Proc. Biochem. **12** (3), 1977, s. 10
 - [4] ATKINSON, B., MAVITUNA, F.: Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook, Mac Millan Publishers Ltd., Byleet, 1983, s. 604
 - [5] DEBECZE, G., LIEBMANN, A. J.: Ind. Eng. Chem. **33**, 1944, s. 882
 - [6] ECKENFELDER, W. W.: Chem. Eng. Progress **52**, 1956, s. 283
 - [7] SOLOMONS, G. L.: Materials and Methods in Fermentation, Academic Press, London and New York, 1969, s. 36
 - [8] SCHÜGERL, K., LÜCKE, J., LEHMANN, J., WAGNER, F.: Adv. Biochem. Eng. **8**, 1978, s. 63
 - [9] SCHÜGERL, K., LÜCKE, J., OELS, U.: Adv. Biochem. Eng. **7**, 1977, s. 1
 - [10] VERHAAGEN, J.: LAWPR Specialized Conference on Aeration, Amsterdam, 19–22 Sept. 1978, Preprints, s. 150
 - [11] SMITH, E. L., GREENSHIELDS, R. N.: The Chemical Engineer January 1974, s. 28
 - [12] MORRIS, G. G., GREENSHIELDS, R. N., SMITH, E. L.: Biotechnol. Bioeng. Symp. **4**, 1973, s. 535
 - [13] NIKOLAJEWSKI, H. E. et al.: J. Biol. Standardization **10**, 1982, s. 109
 - [14] KITAI, A., TONE, H., OZAKI, A.: Biotechnol. Bioeng. **11**, 1969, s. 911
 - [15] PROKOP, A., ERICKSON, L. E., FERNANDEZ, J., HUMPHREY, A. E.: Biotechnol. Bioeng. **11**, 1969, s. 945
 - [16] PÁČA, J.: Kvas prům., **33** 1987, s. 111
 - [17] LÜCKE, J., CELS, U., SCHÜGERL, K.: Paper presented at Dechema Conference „Technische Reaktionen“, February 1978, Königsteir/Ts., BRD.
 - [18] KITAI, A., OKAMOTO, R., OZAKI, A.: Proceedings of the 4th IFS: Fermentation Technology Today (IFS, Tokyo, 1972) s. 147
 - [19] GOTO, S., KITAI, A., OZAKI, A.: J. Ferment. Technol. **51**, 1973, s. 582
 - [20] AKIBA, T., FUKIMBARA, T.: J. Ferment. Technol. **51**, 1973, s. 134
 - [21] HSU, K. H., ERICKSON, L. E., FAN, L. T.: Biotechnol. Bioeng. **17**, 1975, s. 499
 - [22] REHM, H. J.: Industrielle Mikrobiologie, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1980, s. 127
- Páča, J.: Bioreaktory. IV. Pneumaticky míchané reaktory s neuspořádaným prouděním kapaliny.** Kvas. prům. **33**, 1987, č. 5, s. 146–148.
- Je popsán cylindrokónický reaktor, reaktory s trubkovými rozvaděči vzduchu, probublávané kolony a vícestupňové věžové reaktory. U každého typu reaktoru je uveden princip, maximální velikost a možná aplikace.
- Паца, Я.: Биореакторы. IV. Пневматически перемешиваемые реакторы с неупорядоченным течением жидкости.** Квас. прум. **33**, 1987, № 5, стр. 146–148.
- Описан цилиндриконический реактор, реакторы с трубчатыми газораспределителями, барботируемые колонки и многоступенчатые башенные реакторы. Для каждого типа реактора приводится принцип, максимальный размер и возможность применения.
- Páča, J.: Bioreactors. IV. Pneumatically Agitated Reactors with Irregular Liquid Flow Pattern.** Kvas. prům. **33**, 1987, No. 5, pp. 146–148.
- A conical bottom reactor, reactors with air spagers in the form for a perforated tube system, bubble columns and multistage tower reactors are described in the article. The principle, the maximum vessel volume and possible application are discussed with each type of the reactor.
- Páča, J.: Bioreaktoren. IV. Pneumatisch gemischte Reaktoren mit ungeordnetem Flüssigkeitsfluß.** Kvas. prům. **33**, 1987, Nr. 5, S. 146–148.
- Es werden folgende Reaktorentypen beschrieben: zylindrokónischer Reaktor, Reaktoren mit Rohr-Luftverteilern, durchbrodene Kolonnen und mehrstufige Turmreaktoren. Bei jedem Reaktortyp wird das Prinzip, die maximale Größe und die Applikationsmöglichkeit angeführt.