

Fermentor 200 m³ s přímým náhonem míchadel koncepce Chepos - VÚCHZ pro výrobu krmných bílkovin

663.1

Ing. PAVEL SEICHTER, CSc., Ing. LUBOŠ PEŠL, Ing. VLADIMÍR SLÁMA, OTO VÍTEK, Ing. JIŘÍ MAZOCH, Výzkumný ústav chemických zařízení Brno, oddělení Fermentačních zařízení

Klíčová slova: fermentor, míchadlo, bílkoviny, krmivo, produkce, ethanol, syntetický ethanol, kyslík, pěna, přenos, odpěňovadlo, olej, výtěžnost

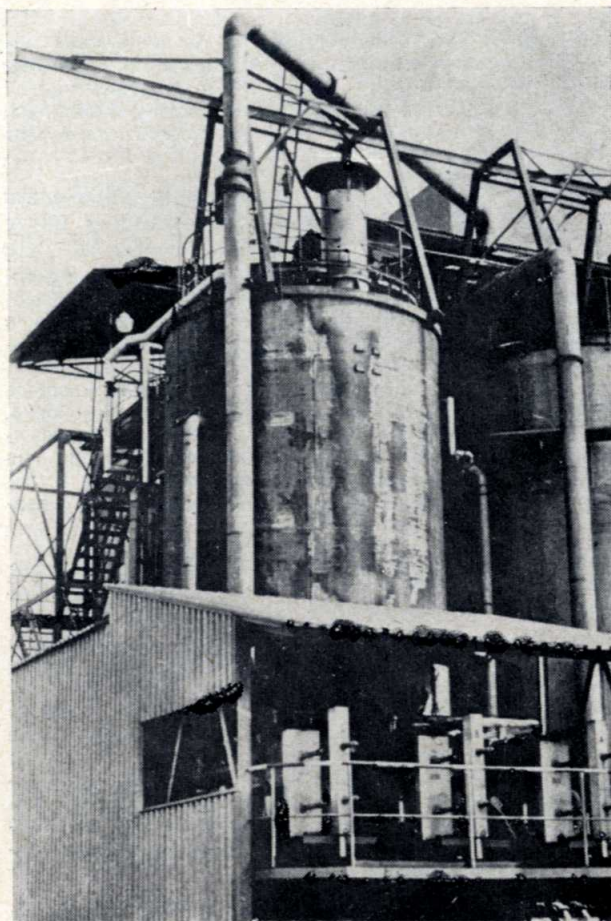
1. ÚVOD

V rámci řešení úkolu „Výzkum fermentorů pro mikrobiální výroby“ byl v závodě Seliko Kojetín ve spolupráci s Výzkumným ústavem chemických zařízení Brno a ZVÚ Hradec Králové postaven nový fermentor 200 m³ pro výrobu krmných bílkovin ze syntetického ethanolu. Jedná se o fermentor s rychloběžným míchacím ústrojím koncepce Chepos-VÚCHZ, který vychází v podstatě ze základního čs. patentu [1]. S touto koncepcí fermentoru, s přímým náhonem míchadel bez převodovky, byla již technická veřejnost seznámena několika publikacemi

[2—6]. Výroba uvedeného typu fermentoru byla zavedena v ZVÚ Hradec Králové (obr. 1).

Návrh fermentoru 200 m³ vycházel z výsledků dlouhodobého výzkumu prováděného ve fermentačních zařízeních o velikosti 0,05, 1 a 10 m³. Vývoj a výzkum zařízení byl zaměřen na intenzitu přenosu kyslíku, homogenizaci fermentační zápary a mechanické odpěňování při dostatečně nízké spotřebě energie na míchání a na dopravu vzduchu. Tímto způsobem se postupně získaly potřebné údaje pro přenos výsledků a zvětšování fermentačního zařízení.

Fermentor byl uveden do zkušebního provozu kon-



Obr. 1. Fermentor koncepce Chepos-VÚCHZ v závodě Seliko Kojetín

cem r. 1982 a do září r. 1984 se uskutečnilo celkem 35 kultivačních zkoušek, které zahrnovaly odzkoušení řady variant míchadel, vestaveb i vzdušnicích věnců.

Tento příspěvek uvádí v podstatě výsledky závěrečné kapacitní zkoušky, která proběhla za přímé účasti pracovníků řešitelského pracoviště VÚCHZ Brno, dále výrobce zařízení ZVÚ Hradec Králové a pod technickým dohledem pracovníků Výzkumného ústavu potravinářského průmyslu a n. p. Seliko Kojetín. Technologický postup, včetně základních technologických údajů a spotřeb živin, byl shodný jako v práci [10].

2. POPIS ZAŘÍZENÍ

Ověřovací zařízení s fermentorem 200 m³ v Seliko Kojetín lze rozčlenit do několika základních částí:

— fermentační nádoba, — pohon míchadel, — externí chladicí okruh zápary, — systém měření a regulace a procesor JPR 12 R, — regulátory VÚCHZ pro ovládání výšky pěny a nátoky do cirkulačních válců, — připojení fermentoru do stávající linky Seliko.

Fermentační nádoba

Fermentor je válcovitá nádoba průměru $D = 5$ m, výšky 9,5 m a celkového objemu 186 m³. Dno nádoby je ploché, podobně jako víko nádoby. Nádoba, potrubí a vestavby jsou z nerezavějící oceli 17 246. Uvnitř nádoby je umístěn cirkulační válec o průměru $D = 1,45$ m, jehož nepohyblivá hrana je v úrovni $H_D = 7,6$ m nade dnem.

Víko fermentoru je opatřeno uzavíratelným montážním otvorem a nástavcem pro odtah plynů a par. Víko rovněž slouží k upevnění systému regulátorů VÚCHZ. Přívod živin a růstových substrátů, včetně vratného média

a doplňkové technologické vody, se zavádí do horní části cirkulačního válce.

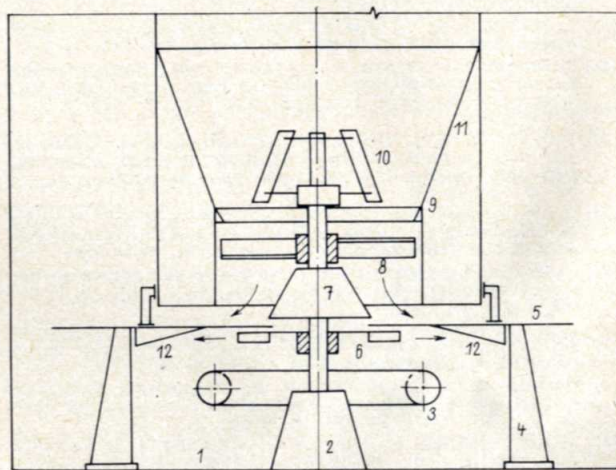
Pohon míchadel

Fermentor je opatřen spodním náhonem s přímým pohonem elektromotorem o instalovaném výkonu 200 kW a s frekvencí otáčení celé soustavy, včetně míchadel, 930 min⁻¹.

Míchací a aerační soustava

Princip funkce míchací a aerační soustavy fermentoru koncepce Chepos-VÚCHZ (obr. 2) spočívá v součinnosti 3 míchadel na jednom hřídeli nad sebou. Spodní míchadlo je turbínového typu a slouží k dispergaci vzduchu na co nejmenější bubliny. Vzduch z distributoru ve vnitřním horním kvadrantu (příčného řezu) se dostává do oblasti vysoké turbulence v blízkosti radiálních lopatek.

Pracovní prostor radiálního míchadla je oddělen od proudu recirkulující zápary, vystupující z prostoru axiálního míchadla, dělicím statickým mezikružím, na němž jsou přivařeny dispergační nárazky. Pod axiálním míchadlem je rotující kužel pro usměrnění toku média.



Obr. 2. Schéma míchací a aerační soustavy

1 — dno fermentoru, 2 — horní část pohonu, 3 — distributor vzduchu, 4 — uchycení dělicího mezikruží, 5 — dělicí mezikruží, 6 — radiální míchadlo, 7 — rotující kužel, 8 — axiální míchadlo, 9 — převáděcí nárazky, 10 — tangenciální míchadlo (vířník), 11 — přechodový kužel, 12 — dispergační nárazky

Tangenciální míchadlo, které je umístěno na hřídeli nejvýše, slouží k vytváření předrotace fermentačního média a jeho mechanickému odpěňování. Převáděcí nárazky, umístěné mezi vířníkem a axiálním míchadlem, vytvářejí v rotujícím médiu axiální složku rychlosti.

Velikosti jednotlivých míchadel byly zkoumány v rozmezí:

radiální míchadlo	$\varnothing d_R = 580-650$ mm
axiální míchadlo	$\varnothing d_{AX} = 650-690$ mm
tangenciální míchadlo	$\varnothing d_T = 400-600$ mm
rotující kužel	$\varnothing d_K = 600$ mm
průměr distributoru	$\varnothing d_D = 950-1260$ mm

Externí chladicí okruh zápary

Podmínky práce a výsledky měření na okruhu jsou rozebrány v samostatné práci [8].

3. ZPŮSOB HODNOCENÍ FERMENTORU

Pro hodnocení funkce fermentoru byly uvažovány čtyři základní ukazatele určující ekonomii provozu zařízení:

a) Stanovení produkce fermentoru

Pro přímé stanovení produkce fermentoru přicházely v úvahu v Seliko Kojetín tři způsoby:

**A. Stanovení produkce na základě měření průtoků zá-
pary na separaci a koncentrace sušiny před separá-
torem**

Metoda byla použita pouze jako informativní, vzhle-
dem k tomu, že měření průtoku napěněné zá-
pary je nepřesné ($\pm 15\%$) a průtok kolísá ($\pm 15\%$).

**B. Stanovení produkce nateklého množství odstředěného
kvasničného mléka a jeho střední koncentrace**

K měření se použily 3 zásobníky kvasničného mléka
o objemu $4,5\text{ m}^3$ s míchadlem. Měřením výšky hladiny od-
pěněného média byl zjištěn objemový přítok za hodinu
a po zamíchání se odebral vzorek k vázkovému stanove-
ní sušiny. Měření opakovali každou hodinu (během 72 h
provozu) pracovníci laboratoře Seliko.

**C. Stanovení produkce na základě výkonu celé výrobní
linky**

Aby bylo možno stanovit produkci fermentoru VÚCHZ
objektivně, byl zastaven po celou dobu zkoušky provoz
ostatních fermentorů Seliko a vyprázdnily se úplně
všechny zásobníky linky (před odparkou i sušárnou).
Přítokování linky z fermentorů Seliko bylo zahájeno až
po skončení zkoušky a po opětovném vyprázdnění všech
zásobníků. V sušárně bylo zaznamenáváno množství usu-
šených krmných bílkovin obchodní jakostí. Při stanovení
produkce absolutní sušiny se uvažovala střední vlhkost
produktu 7 % (v práci [10] byla zjištěna na stejné lin-
ce 5,65 %) a ztráty při čištění separátorů i odparky a
z úletu v sušárně 3 %.

b) Stanovení měrné spotřeby elektrické energie

Při měření proudu metodou B se zjišťovala spotřeba
energie na míchání, čerpání a dmýhání vzduchu.

**c) Stanovení měrné spotřeby odpěňovacího oleje (KON-
TRAMIN)**

Měrná spotřeba odpěňovacího oleje se získala hodi-
novým součtem kalibrovaných dávek směsi ethanol-Kon-
tramin (3:1) při měření produkce metodou B.

d) Stanovení výtěžnosti fermentace

Výtěžnost fermentace se určovala měřením spotřeby
ethanolu průtokoměrem, korigované na 100% obsah
alkoholu při měření produkce metodou B. Po odečtení
vlivu přídavných živných substrátů (asi 10 % podle sdě-
lení pracovníka VÚPP Praha) se zjistila průměrná výtěž-
nost, vztažená pouze na ethanol.

Jako doplňující ukazatele činnosti fermentoru koncep-
ce Chepos-VÚCHZ Brno o objemu 200 m^3 byly dále vy-
hodnocovány:

- e) molární přenos kyslíku [$\text{mol m}^{-3}\text{ h}^{-1}$]
- f) měrná spotřeba kyslíku [$\text{kg O}_2\text{ kg}^{-1}$]
- g) zředovací rychlost [h^{-1}]
- h) měrná produkce [$\text{kg m}^{-3}\text{ h}^{-1}$]
- i) zadrž vzduchu ve fermentační zápaře [%]

4. VÝSLEDKY KAPACITNÍ ZKOUŠKY

Vyhodnocování celé kapacitní zkoušky v době 72 ho-
din nepřetržitého provozu bylo rozděleno do tří 24ho-
dinových úseků, které se navíc samostatně hodnotily.

Fermentor byl inokulován kvasničným mlékem, aby
nebylo do zkoušky zavedeno zvýhodnění fermentace jako
při zahájení procesu z nové propagace.

Při hodnocení fyziologického stavu populace bylo
technologie konstatováno, že kvasničné buňky byly jen
mírně protáhlejší než ve vsádkové kultivaci, dobře pu-
čely a dobře se odělovaly. Pouze asi 5 % buněk bylo
silně protáhlých se sklonem k řetízkování a keřičko-
vání. Tento podíl se po celou dobu kultivace neměnil.

Výsledné vyhodnocení kapacitní zkoušky je shrnuto
v tabulce 1.

Výsledky v tabulce 1 ukazují, že shoda průměrných
produkcí, zjištěných vážením usušeného produktu a
z nátoky odstředěného kvasničného mléka, je velmi dob-
rá (asi 3,4 %) a je úplně v rozsahu odchylky uváděné
v práci [10] pro tyto metody.

Měrná spotřeba odpěňovacího oleje je relativně vy-

**Tabulka 1. Výsledky zkoušky fermentoru Chepos-VÚCHZ
a porovnání s provozními fermentory Seliko**

Parametr	F 200 Chepos-VÚCHZ	F 200 Seliko Kojetín
Výrobce	ZVÚ Hradec Králové	ZVÚ Hradec Králové
Místo provozu	Kojetín	Kojetín
Typ fermentoru	míchaný rychlo- běžně	míchaný pomaluběžně
Základní rozměry	$\varnothing 5 \times 9,5\text{ m}$	$\varnothing 5 \times 9,8\text{ m}$
Substrát	ethanol	ethanol
Produkce [kg h^{-1}] ad B) ad C)	412,8 399	274
Měrná spotřeba energie [kW kg^{-1}]	0,82	0,98
Měrná spotřeba Kontraminu [kg t^{-1}]	8,6*	6,0
Výtěžnost z ethanolu včetně melas. výpalků [kg kg^{-1}]	0,87	0,76
Výtěžnost ze 100% ethanolu [kg kg^{-1}]	0,777	0,69
Molární přenos O_2 [$\text{mol m}^{-3}\text{ h}^{-1}$]	stř. 164,2 max. 215,5	stř. 158 max. 182
Měrná spotřeba O_2 [kg kg^{-1}]	1,26	1,4–1,6
Měrná produkce [$\text{kg m}^{-3}\text{ h}^{-1}$]	4,06	3,11
Objem plnění [m^3]	102	88
Průtok vzduchu [$\text{m}^3\text{ h}^{-1}$]	6 800	8 500
Zadrž vzduchu [%]	35,6	asi 30
Měrná spotřeba energie na přenos O_2 [$\text{kWh kg}^{-1}\text{ O}_2$]	0,65	0,61

* Zvýšení představuje nárůst měrných nákladů na výrobu jen 0,8 %.

soká, po úpravách systému dávkování a při použití dáv-
kování odpěňovacího oleje KONTRAMIN do ethanolu se
dodatečně dosáhlo spotřeby na úrovni stávající spotřeby
oleje KONTRAMIN v závodě Seliko (3–6 kg t^{-1}).

Výtěžnost z ethanolu se blíží teoretickým hodnotám.
Těmto podmínkám odpovídá i velmi nízká měrná spo-
třeba kyslíku.

Na tomto příznivém výsledku zkoušky se podlejí
pravděpodobně velmi účinná cirkulace zá-
pary ve fermentoru umožňující pracovat s velkou zředovací rych-
lostí v rovnováze s růstovou rychlostí, snížená zadrž
vzduchu a vhodně umístěný odtah zá-
pary na separaci.

Hodnoty molárního přenosu kyslíku jsou v průměru na
vysoké úrovni, se zřetelem k vysoké koncentraci odpě-
ňovacího oleje ve fermentační zápaře. Špičkové dosa-
žené hodnoty přesahovaly $200\text{ mol m}^{-3}\text{ h}^{-1}$ (max. krát-
kodobá hodnota $215\text{ mol m}^{-3}\text{ h}^{-1}$). V průběhu 18hodino-
vého cyklu se dosáhlo střední hodnoty $195\text{ mol m}^{-3}\text{ h}^{-1}$
(při nízké koncentraci odpěňovacího oleje).

Výsledky této kapacitní zkoušky ukázaly, že koncepce
přímého náhonu míchacího ústrojí přinesla výrazné
zlepšení dispergační i homogenizační funkce fermentoru
oproti staršímu provedení fermentoru s pomaluběžným
míchacím ústrojím [10]. V tabulce 1 jsou rovněž porov-
nány parametry nového fermentoru koncepce Chepos-
VÚCHZ s citovaným typem [10].

Získané údaje ukazují, že fermentor s rychloběžným
míchacím ústrojím dosahuje vyšších hodnot měrných
produkcí při nižší měrné spotřebě elektrické energie.
Měrná spotřeba elektrické energie vztažená na přenos
kyslíku je u fermentorů s míchadly výrazně nižší než
např. u systému s ponorným paprskem. Z posledního
hodnocení vychází nejlépe fermentor Seliko Kojetín
($0,612\text{ kW kg}^{-1}\text{ O}_2$). Při zkouškách provozního fermen-
toru VÚCHZ se i dlouhodobě dosáhlo $0,6–0,62\text{ kWh kg}^{-1}$
 O_2 , avšak při celkové nižší produkci (asi 350 kg h^{-1}).

Úpravy zařízení a způsob vedení kultivace při této

kapacitní zkoušky rovněž minimalizovaly nebezpečí tzv. keříčkování.

Autoři děkují za cenné rady a obětavou pomoc Ing. M. Rutovi a Dr. L. Adámkovi z VÚPP Praha při vedení technologie a za obětavou spolupráci a trpělivost s. F. Šestákovi ze Seliko, k. p. závod Kojetín.

Lektoroval Ing. L. Chládek, CSc.

Literatura

- [1] KVASNIČKA, J.: Cs. patent č. 148 540.
- [2] KVASNIČKA, J.: Chem. prům. **33/58**, 1983, č. 7, s. 350.
- [3] SEICHTER, P., PEŠL, L., KVASNIČKA, J., SLÁMA, V.: Kvas. prům. **28**, 1982, č. 6, s. 134.
- [4] SEICHTER, P., PEŠL, L., KVASNIČKA, J., SLÁMA, V.: Přednáška na VI. konferenci „Racionalizace kvasných procesů“, Zv'kovské Podhradí, 1981.
- [5] SLÁMA, V., KVASNIČKA, J., PEŠL, L., SEICHTER, P.: Přednáška konference „Michání“, Sborník přednášek s. 58, Velké Karlovice 1982.
- [6] KVASNIČKA, J., SLÁMA, V., SEICHTER, P.: Přednáška celostátního semináře „Pokroky fermentačních technologií v ČSSR“, hotel Baba v Pezinku, 1984.
- [7] MELICHAR, B.: Fermentor s vnitřním cirkulačním válcem, PV 301-84.
- [8] SEICHTER, P., VÍTEK, O., VAŠÁK, P., PĚNČÍK, K., PEŠL, L.: Kvas. prům., v tisku.
- [9] KRIVÁNEK, M., MINÁŘÍK, J.: Přednáška konference CHISA, Štrbské pleso 1984.
- [10] AUNICKÝ, Z., ŠTROS, F.: Kvas. prům. **29**, 1983, č. 6, s. 125.
- [11] SEICHTER, P., SLÁMA, V., PEŠL, L., VÍTEK, O., MAZUCH, J.: Přednáška VII. konference „Michání“, Liptovský Mikuláš, duben 1985.
- [12] PEŠL, L., SEICHTER, P., SVOZIL, P., SLÁMA, V.: Přednáška VII. konference „Racionalizace ferment. procesů“, Pec pod Sněžkou, květen 1985.

Seichter, P. - Pešl, L. - Sláma, V. - Vítek, O. - Mazoch, J.: Fermentor 200 m³ s přímým náhonem míchadel koncepce Chepos — VÚCHZ pro výrobu krmných bílkovin. Kvas. prům. **32**, 1986, č. 9, s. 209—212.

Za provozních podmínek byl proměřen fermentor s rychloběžným míchacím ústrojím koncepce Chepos-VÚCHZ o objemu 186 m³ pro výrobu krmných bílkovin ze syntetického ethanolu. Základní parametry zařízení byly ověřeny 72hodinovou zkouškou za přítomnosti pracovníků VÚCHZ Brno, Seliko Kojetín, Výzkumného ústavu potravinářského průmyslu (VÚPP), Praha a ZVÚ Hradec Králové. Zkouška prokázala, že fermentor je schopen dosahovat dlouhodobě produkce bílkovin 400 kg.h⁻¹ při přenosu kyslíku 536 kg.h⁻¹. Maximální hodnoty produkce bílkovin dosahovaly krátkodobě až 450 kg.h⁻¹. Maximální naměřená hodnota přenosu kyslíku byla 215 mol O₂.m⁻³.h⁻¹ při zkoušce s nižším zaplněním fermentoru a současně s výrazně nižší spotřebou odpěňovacího oleje. (Tato položka však nehraje v celkových měrných nákladech na výrobu významnou roli.)

Сейхтер, П., Пешл, Л., Слама, В., Витек, О., Мазох, И.: Ферментор 200 м³ с прямым приводом мешалок концеп-

ции ХЕПОС-НИИХЗ для производства кормовых белков. Квас. прум. **32**, 1986, № 9, стр. 209—212.

При производственных условиях было проведено измерение ферментера с быстроходным устройством концепции ХЕПОС-НИИХЗ объемом 186 м³ для производства кормовых белков из синтетического этанола. Основные параметры установки проверялись 72 часовым испытанием. Оно доказало, что ферментер способен достигать долговременно продукции белков в 400 кг.ч⁻¹ при передаче кислорода 536 кг.ч⁻¹. Максимальные величины продукции белков кормовых белков кратковременно достигали до 450 кг.ч⁻¹, максимальная величина передачи кислорода составляла 215 мол O₂.м⁻³.ч⁻¹ при испытании с низшим наполнением ферментера и одновременно с выразительно низшим потреблением пеногасильного масла.

Seichter, P. — Pešl, L. — Sláma, V. — Vítek, O. — Mazoch, J.: Fermentor of 200 m³ with Direct Stirrer Drive Developed in Research Institute of Chemical Equipment CHEPOS for Fodder Yeast Production. Kvas. prum. **32**, 1986, No. 9, pp 209—212.

The fermenter with high-speed stirrer drive, that was developed in Research Institute of Chemical Equipment CHEPOS with the volume of 186 m³ for a production of fodder yeast from synthetic ethanol was tested during cultivations. The principal parameters of the equipment were verified in the test lasting 72 hours. The test shows that the fermenter is able to achieve 400 kg of protein per hour with the oxygen transfer rate of 536 kg.h⁻¹ during long-time cultivations. The maximum protein production of 450 kg.h⁻¹ can be achieved for a short-time period. The experiment with a lower fermenter filling shows the maximum oxygen transfer rate of 215 ml O₂.m⁻³.h⁻¹ and contemporary a significantly lower consumption of the antifoam agent.

Seichter, P. — Pešl, L. — Sláma, V. — Vítek, O. — Mazoch, J.: Fermentor 200 m³ mit direktem Mischwerkantrieb nach der Konzeption CHEPOS - VÚCHZ zur Futtereweißproduktion. Kvas. prům. **32**, 1986, Nr. 9, S. 209—212.

Unter Betriebsbedingungen wurde der Fermentor nach der Konzeption CHEPOS-VÚCHZ mit schnellaufendem Mischwerk und Volumen 186 m³ für die Produktion von Futtereweiß aus synthetischem Äthanol überprüft. Die Grundparameter der Anlage wurden in einer 72-Stunden Probe getestet. Die Prüfung bestätigte, daß der Fermentor im Dauerbetrieb eine Eiweißproduktion von 400 kg.h⁻¹ bei einer Sauerstoffübertragung von 536 kg.h⁻¹ erreichen kann. Die maximalen Werte der Futtereweißproduktion erreichten kurzfristig bis 450 kg.h⁻¹, der maximalen gemessenen Wert der Sauerstoffübertragung war 215 ml O₂.m⁻³.h⁻¹ bei dem Versuch mit niedrigerer Fermentorfüllung und zugleich mit einem markant niedrigeren Entschäumungsfettverbrauch.