

Fermentory pro výrobu krmných bílkovin v závodě Kojetín, k. p. Seliko

663.14.033.2 663.127

Ing. ZDENĚK AUNICKÝ, CSc., Konzervárny a lihovary - koncern, Koliprojekt, středisko vývoje a racionalizace Praha

Ing. FRANTIŠEK ŠTROS, CSc., Výzkumný ústav krmivářského průmyslu a služeb, odbor mikrobiálních výrob Praha

I. ÚVOD

V letech 1977–1978 byla v závodě Kojetín provedena rekonstrukce linky pro výrobu krmných bílkovin ze syntetického ethanolu. Byly zde instalovány nové fermentory s míchacím a větracím zařízením odlišného typu, než byly dosud používány. Výrobce zařízení je ZVÚ Hradec Králové. Fermentory byly předem provozně ověřeny v měřítku 1:1. Přesto se zde vyskytla řada problémů, které bylo nutno po najetí řešit během provozu, aby nejen fermentory, ale celá linka splnila předpokládané špičkové parametry. Část potíží byla spojena s vlastním fermentorem, převážná část však byla podmíněna zařízením souvisejícím, tj. zejména stavem automatiky, měřením a regulací a poruchami na lince. Kromě toho bylo nutno řešit některé technologické otázky, které se nevyskytovaly v laboratorním měřítku. Výrobní kapacita linky byla v době najetí 50 % hodnoty uvažované projektem. Vzrůst kapacity probíhal v etapách. Až v roce 1982 bylo provozně prokázáno, že linka je schopna projektovanou kapacitu dosáhnout i překročit. Vývoj kapacity linky (a z ní odvozené kapacity fermentorů) během tří let zkušebního provozu v rozmezí 50 až 100 % projektu je ilustrací, jak jednotlivé výrobní články, řádně provozně ověřené v měřítku 1:1 mohou dlouhou dobu vykazovat nižší výkon v souvislosti s vlastními závadami, poruchami celé linky a energetickými problémy závodu [1, 2].

II. VÝVOJ ZAŘÍZENÍ

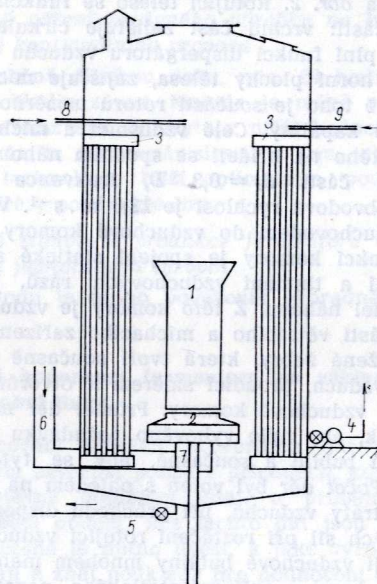
Nejdůležitějším kritériem při hodnocení provozních fermentorů je výrobní kapacita a náklady na energii s provozem spojené. Výrobní kapacita při stabilizované technologii závisí především na přenosu kyslíku a na homogenitě prostředí. Vývoj diskutovaného zařízení byl zaměřen na intenzifikaci přenosu kyslíku při zajištěné homogenitě obsahu a při dostatečně nízké spotřebě energie fermentorem na míchání a na průtok vzduchu. Požadavek zvýšení přenosu hmoty mezi kapalnou a plynnou fází si vyžádal prověření všech dostupných proměnných, vyskytujících se v rovnici difúze plynu v kapalině a v obecné kritériální rovnici (platné pro daný systém) a působících v potřebném směru [3, 4, 5, 6]. Znamenalo to ovlivnit především faktory, porušující fázovou rovnováhu na koncentračním rozhraní, dobu kontaktu, velikost mezifázové plochy, intenzitu turbulence, míru cirkulace a homogenitu prostředí. V té souvislosti byl proveden rozsáhlý soubor pokusů v sedmi velikostních modelech v rozmezí 1 dm³ až 200 m³, tj. v měřítku (1:5 · 10⁻⁶) až (1:1). Pozornost byla zaměřena na zjištění závislosti mezi uvedenými faktory a vlivem průtoku vzduchu, výškou kapaliny, cirkulačním válcem, počtem, polohou a tvarem narážek ve fermentoru, průměrem nádoby, polohou a výškou lopatek míchadel, oddělení dispergační a suspendační funkce, prověření vlivu cirkulace a výtláčné výšky odstředivého míchadla, zmenšování průměru vzduchových bublin statickým a rotačním zařízením, prověřením tvaru, polohy a počtu otvorů pro vstup vzduchu do kapaliny atd. Řešeny byly otázky maximálního a optimálního přenosu

kyslíku z hlediska spotřeby elektrické energie. Souhrn poznatků z těchto pokusů byl přenesen do použitého nového typu větracího zařízení daného fermentoru [7].

III. POPIS ZAŘÍZENÍ [8]

a) Fermentační nádoba

Fermentor je válcovitá nádoba, kde poměr průměru nádoby k jeho výšce, tj. $D:H = 0,52$ a celkový objem je 193 m³. Dno je kuželové. Materiálem nádoby a veškerých vnitřních vestaveb je nerezavějící ocel třídy 17. Uvnitř v ose fermentoru je umístěn cirkulační válec o průměru $d_c = 0,24 D$ a celkové výšce $h_c = 0,38 H$.



Obr. 1. Schéma fermentoru

1 — cirkulační válec, 2 — míchací a vzdušnicí zařízení, 3 — chladicí registry, 4 — odtah při kontinuální kultivaci, 5 — odtah při likvidaci, 6 — přívod vzduchu, 7 — vzduchová komora, 8 — přívod živných substrátů, 9 — fugát

Vrchní část fermentoru je uzavřena víkem, které je opatřeno uzavíratelným montážním otvorem, průlezem a odtahem plynů a par. Přívod živin a všech růstových substrátů, včetně vrácených médií a doplňkové vody je veden do vrchní části cirkulačního válce. Odtah prokvašeného substrátu při likvidaci obsahu fermentoru je veden ze spodní části kužele (obr. 1).

b) Chlazení fermentoru

Fermentor je vybaven pouze vnitřním chlazením, tvořeným devíti trubkovými registry o celkové ploše 198 m². Tři registry tvoří jeden, chladicí vodou samostatně napájený systém. Sběrače rozdělují jednotlivé registry tak, že v každém registru proudí voda ve čtyřech tazích. Čištění vnitřních ploch registrů je prováděno párou, zavedenou do každého registru. Vnější plocha je čištěna sprchou. Chladicí voda je tlaková. Při

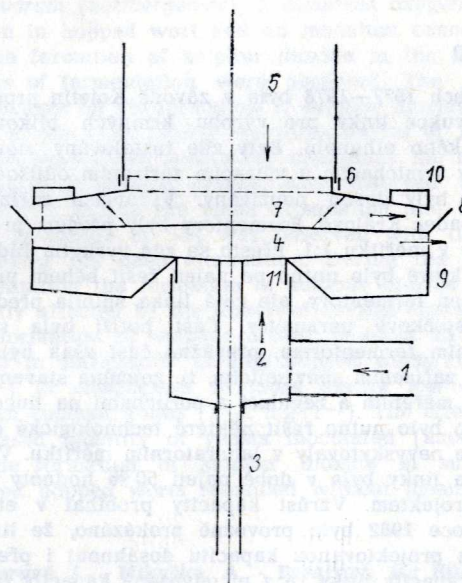
průchodu chladicí vody $160\text{--}200\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ odvedou chladicí registry až $8000\text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$, při předpokládaném oteplení. Chladicí registry v daném případě plní současně funkci narážek, bránících tvorbě středového víru. Tyto narážky — registry nejsou v daném případě umístěny kolmo ke stěně fermentoru, ale jsou natočeny tak, aby směr tekutiny, vytékající z míchadla, byl shodný se směrem těchto natočených registrů, aby nedocházelo k nepotřebné dissipaci energie [9].

c) Vzdušníci a míchací zařízení

Popisované fermentory se liší od všech dosud popisovaných systémů konstrukcí větracího zařízení, které ve funkci míchací navazuje na řadu turbínových míchadel. U dosavadních typů větracích systémů turbínové míchadlo obstarává pouze cirkulaci kapaliny, zatímco vzduch je přiváděn do nepohyblivého děrovaného věnce, vyrobeného z trubky, umístěné pod míchadlem. Nedostatkem této konstrukce je známý jev zahlcení míchadla při zvýšeném průtoku vzduchu a nedostatečně jemné dispergování vzduchu, limitované konstrukcí zařízení. Důsledkem je limit v přenosu kyslíku, který provozně dosahuje hodnot asi $100\text{ mol O}_2\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$. Systém, který byl použit u fermentorů v Kojetíně, podstatně intenzifikuje přenos kyslíku. Schéma větracího zařízení je na obr. 2. Rotující těleso se funkčně skládá z několika částí: vrchní část zajišťuje cirkulaci pěny, střední část plní funkci dispergátoru vzduchu a spodní část, včetně horní plochy tělesa, zajišťuje míchání kapaliny. Kromě toho je součástí rotoru usměrňovač toku provzdušněné kapaliny. Celé vzdušnické a míchací zařízení je umístěno na hřídeli se spodním náhonem. Průměr rotační části $d_r = 0,3 D$, frekvence otáčení: 160 min^{-1} , obvodová rychlost je $12,6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vzduch je přiváděn vzduchovodem do vzduchové komory pod míchadlem. Funkcí komory je spojení statické a rotační části zařízení a tlumení vzduchových rážů. Komorou prochází hřídel náhonu. Z této komory je vzduch veden do střední části větracího a míchacího zařízení, kde je dutina vyztužená žebry, která tvoří současně rozvodné kanály pro vzduch, proudící směrem k otvorům na obvodu rotující vzduchové komory. Průměr děr na obvodu byl volen tak, aby bylo vyhověno požadavku minimálních rozměrů bublin a současně, aby se tyto otvory nezanášely. Počet děr byl volen s ohledem na minimální tlakové ztráty vzduchu, při průchodu dispergátorem. Vlivem tečných sil při roztáčení rotující vzduchové komory vznikají vzduchové bubliny mnohem menších rozměrů, než je tomu u zařízení statického, nezanášející se otvory jako u statických dispergátorů s velmi jemným děrováním. Současně lze použít průtok vzduchu ve velmi širokém rozmezí, bez nebezpečí zahlcení míchadla. Z tohoto hlediska bylo dané zařízení prověřeno až do průtoku vzduchu $10\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, tj. $\text{VVM} = 2,08$, přičemž míchací funkce nebyla negativně ovlivněna. Zařízení pro míchání kapaliny bylo konstruováno tak, aby tekutina měla výtlačnou výšku právě potřebnou pro daný rozměr nádoby a nikoliv vyšší. Zbytek energie je převeden na dosažení maximální hodnoty cirkulace tekutiny. Pro míchání je rotor vybaven obdobně jako běžná turbínová míchadla, ale parametry lopatek byly přizpůsobeny uvedeným požadavkům (tj. úhly lopatek na vstupu a výstupu z oběžného kola a výška lopatek). Nad dispergátorem vzduchu je umístěna část zajišťující cirkulaci pěny, která přepadá cirkulačním válcem do středu rotoru. Kryté vnitřní lopatky pak vytlačují pěnu do fermentoru. Aby neprorážel vzduch kanály míchadla pro cirkulaci pěny zpět do cirkulačního válce, kde je podstatně menší celkový hydrostatický tlak než v celém fermentoru, je rotor na horní hraně části pro dispergaci vzduchu opatřen prstencovým usměrňovacím zařízením, které v horizontálním směru přesahuje kanály pro výstup

pěny. Tím je riziko, spojené s prorážením vzduchu nežádoucím směrem (a vedoucím ke ztrátám vzduchu pro vzdušnění a ke snížení cirkulace) zcela odstraněno.

Dalším důležitým momentem je správná montáž zařízení. Požadavkem je těsné usazení horní hrany rotující části míchadla ve vztahu ke spodní části cirkulačního válce. Montážní práce vyžaduje souosost cirkulačního válce a míchadla a jejich přesné usazení s maximální šterbinou $5\text{--}10\text{ mm}$, kterou je nutno utěsnit vnějším přidavným těsněním.



Obr. 2. Schéma míchacího a vzdušnického zařízení

1 — přívod vzduchu, 2 — vzduchová komora, 3 — hřídel míchadla, 4 — dispergátor vzduchu, 5 — cirkulační válec, 6 — přídavné těsnění, 7 — lopatky pro cirkulaci pěny, 8 — usměrňovací zařízení, 9 — spodní lopatky, 10 — horní lopatky, 11 — těsnění

d) Zdroj vzduchu

Zdrojem tlakového vzduchu pro fermentory jsou turbodmychadla NDR, typ TG 4 NA/14, s nasátým množstvím vzduchu $10\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ a s přetlakem $0,06\text{ MPa}$. Turbodmychadlo je poháněno elektromotorem s instalovaným příkonem 250 kW a s provozním příkonem 200 kW . Spotřeba energie činí $0,02\text{ kW}\cdot\text{m}^{-3}$ vzduchu. Nasátý vzduch prochází vložkovým filtrem typ 2-8 FVM-1 pro čištění vzduchu od prашných částí. Tři fermentory jsou napájeny dvěma turbodmychadly. Regulace průtoku vzduchu je prováděna na vstupu do každého fermentoru.

e) Pohon fermentoru

Míchací a vzdušnické zařízení má spodní náhon a je poháněno motorem spojeným se šnekovou převodovou skříní. Elektromotor typu AG 11 má instalovaný příkon 160 kW , průměrná hodinová hodnota příkonu během kvasného cyklu je 130 kWh . Převodová skříní je typu SAWA WSNVO 360-NSR. Provozní příkon se mírně mění v závislosti na kolísajícím množství kapaliny ve fermentoru a v závislosti na kvalitě a množství pěny.

f) Odtah zralého substrátu

Vzhledem k tomu, že obsah fermentoru je intenzivně provzdušňován a s přihlédnutím ke zcela uzavřenému vodnímu okruhu během $4\text{--}5$ dnů, kdy trvá kvasný cyklus a kdy v prokvašené zápaře stoupá obsah koloidních částic a pěnотvorných látek, je nezbytně nutné správně vyřešit odtah zralého substrátu na separaci v průběhu kontinuální fáze kvasného cyklu. Toto bylo vyřešeno

nahrazením spodního odtahu bočním odtahem, a to za přesně definovaných podmínek. Odstředivé čerpadlo bylo nahrazeno čerpadlem vřetenovým a sací potrubí tohoto čerpadla bylo napojeno přesně v úrovni výtoky tekutiny z míchadla fermentoru. Délka sacího potrubí musela být zkrácena na minimum, tj. byla redukována na dvě přírubby a uzavírací šoupátka. Při tom sací část musí být zásadně vodorovná nebo mít mírně vzestupnou tendenci. Čerpadlo je v daném případě umístěno bezprostředně u fermentoru. Uvedený systém odtahu zralého substrátu z fermentoru je nedílnou součástí celého zařízení. Při provozních zkouškách bylo ověřeno, že zapojení bočního odtahu za daných podmínek, místo spodního odtahu, znamenalo zvýšení průměrné měsíční produkce o 22 % [10].

g) Měření a regulace

Nejdůležitější částí souboru měření a regulace, pro dosažení stabilního a optimálního výkonu fermentoru, je hodnota pH a navazující dávkování ethanolu a amoniakové vody. Byly prověřeny dvě varianty. Na základě kontinuálního měření hodnoty pH byla při zvýšení hodnoty této veličiny automaticky dávkována předvolená dávka amoniakové vody a ve vazbě na tuto dávku dále předvolené množství ethanolu v poměru 1:4, a to tak, aby potřebné hodinové množství bylo přítokováno asi v 6–10 intervalech. Současně bylo zařízení vybaveno korektorem pro případ, kdy pH neklesne za určitou zvolenou dobu na potřebnou hodnotu. Korektor v tomto případě dává pouze ethanol. Jako výhodnější se ukázala druhá varianta, kdy na základě údajů pH metru je dávkována pouze amoniaková voda. Dávkování ethanolu představuje samostatný okruh, regulovaný na základě údajů analyzátorů Metrex [11, 12, 13].

Dávkování roztoku živných solí bylo původně vázáno na dávkování amoniakové vody, a to automaticky s předvolenou dávkou. Toto bylo nahrazeno ručním dávkováním 1krát za hodinu s odměřováním objemu v odměrce. Dále jsou fermentory vybaveny měřením a regulací teploty kultivace a měřením průtoku vzduchu. Regulace průtoku vzduchu je ruční. Projekt dále předpokládá automatickou regulaci hladiny kapaliny ve fermentoru s maximální odchylkou 100 mm. Z technických důvodů se regulace provádí ručně. Tím dochází k větším výkyvům hladiny při odtahu prokvašeného substrátu na separaci a při dávkování vody třemi oddělenými proudy do fermentoru, náhradou za odtahované mléko. Kromě toho měl být fermentor vybaven automatickou regulací hladiny pěny ve spojení s automatickým odpěňováním. Přesná regulace hladiny pěny a kapaliny má zásadní význam pro spotřebu odpěňovacího oleje a správnou funkci cirkulačního válce. Je to jedna ze zásadních podmínek pro dosažení plného výkonu fermentoru.

Celý soubor měření a regulace vykazoval v průběhu najíždění a zkušebního provozu značnou poruchovost ve všech svých prvcích a okruzích a zásadně negativně ovlivňoval provoz fermentorů a tím celé linky, protože řada funkcí tohoto souboru je rozhodující pro řádné vedení kultivace.

IV. ZPŮSOB HODNOCENÍ PROVOZNÍCH FERMENTORŮ

Jednotnost metodiky při hodnocení provozních fermentorů má základní význam v případě vzájemného porovnání různých zařízení. Informace o technickém účinku jednotlivých fermentorů se často liší. Důvody spočívají především v nejednotném přístupu k hodnocení dat a v neúplných informacích, potřebných pro posouzení fermentoru.

V praxi se používají tyto metody:

1. Přímé hodnocení fermentoru

Fermentor je hodnocen za podmínek, kdy je možno oddělit činnost fermentoru od ostatních vlivů výrobní linky a pokud možno i od vlivu technologie. Hodnocení se vztahuje zásadně na období kontinuální fáze kultivačního cyklu.

a) Měření intenzity přenosu kyslíku

Tato metoda je obecně známa. Její výhodou je možnost hodnocení vzdušnicího systému nezávisle na druhu mikroorganismu a vedení fermentace. Při znalosti spotřeby kyslíku na produkci biomasy lze určit maximálně dosažitelnou produkci zařízení. Problémem je přesnost jednotlivých dílčích měření a zejména reprezentativnost vzorků, použitých pro stanovení sušiny biomasy [6, 14, 15, 16].

b) Určení maximálního dosažitelného výkonu fermentoru měřením produkce

Ve sledovaném časovém úseku je určena produkce (na základě údajů objemu kapaliny a koncentrace kvasničné sušiny) v kyslíkem limitovaném úseku jednorázové přítokové kultivace, kdy výkon fermentoru ještě není ovlivňován faktory, které se uplatňují později, při kontinuální kultivaci s recirkulací odstředěného média.

c) Oddělené vážení usušeného výrobku na konci linky, v období kontinuálního provozu

po dostatečně dlouhou dobu, min. 24 hodin, bez výskytu jakýchkoliv závad. Metoda je méně exaktní, ale provozně průkaznější. Poskytuje nižší hodnoty než postup podle 1a, b, a to v závislosti na tom, jak se reálné podmínky technologie blíží optimálním podmínkám a jaké jsou ztráty podél celé linky.

d) Nepřímé stanovení produkce fermentoru na základě spotřeby jednotlivých surovin

Tuto metodu je nutno považovat výhradně za orientační.

2. Nepřímé hodnocení fermentoru na základě výkonu celé výrobní linky

Při zpracování běžných provozních dat lze dospět k hodnotným závěrům pouze v případech, kdy tato data jsou komplexně doplněna údaji o průběhu provozu v hodnoceném období. Bez těchto dat jsou údaje bezcenné. Současně je nutno uvést, k jaké výrobní fázi se data vztahují a znát podklady pro hodnocení těchto fází.

Při výrobě krmných bílkovin v závodě Kojetín, je celková délka kvasného cyklu 4–5 dnů, při zcela uzavřeném vodním okruhu, tj. při úplné recirkulaci vody. Cyklus se skládá ze čtyř fází: období jednorázové, přítokové kultivace až do počátku separace (6–11 h), období kontinuální kultivace (asi 90 h), období likvidace obsahu fermentoru (4–10 h), období mezioperací — až do nového nasazení kvasného cyklu (7–9 h). Při běžném provozu se kromě toho vyskytují drobné poruchy v proměnném množství, dále vznikají rozsáhlejší závady na lince, které zpětně ovlivňují produkci vlastního fermentoru. Kromě toho je nutno respektovat vliv výpadků v dodávkách energií. Při hodnocení provozních dat je nutno posuzovat buď celý kvasný cyklus fermentorů, nebo dostatečně dlouhé období, tj. týden až měsíc. Tato data však nejsou bezprostředně srovnatelná s údaji o maximální produkci fermentorů podle metody ad 1. Je nutno znát dobu trvání jednotlivých fází cyklu u všech fermentorů včetně všech prostojů a technologických závad. Zvlášť je nutno zdůraznit, že je značně náročné správně stanovit technologické důsledky jakékoliv závady a prostoje, protože důsledky vlivu odstavení fermentorů trvají mnohem

délě, než je délka trvání vlastní poruchy. Při zpracování provozních dat je nutno uvést, o jaký druh hodnocení jde:

a) Provozní údaje, vztažené na delší časové období (např. měsíc). Uváděné hodnoty znamenají průměrný provozní výkon celé výrobní linky a zahrnují produktivní i neproduktivní fáze cyklu, závady a poruchy, stav technologických podmínek, ztráty podél celé výrobní linky a vliv organizace práce.

b) Při znalosti délky trvání všech závad a jejich vlivu na produkci ve sledovaném období lze časový fond podle metody 2a) korigovat se zřetelem na jejich vliv. Získaný údaj pak reprezentuje průměrný výkon celé linky.

c) Při podobném sledování lze časově zhodnotit délku jednotlivých fází kvasných cyklů a zhodnotit vliv všech poruch. V tomto případě lze provést přepočít produkce tak, aby byla vztažena pouze na produktivní období. Tento údaj je použitelný pro srovnání s hodnotou, zjištěnou podle metod ad 1. Údaje jsou však nižší a vždy zahrnují vliv stavu technologie, organizace práce, drobné výkyvy v řízení provozu a ztráty na lince.

Podle dosavadních zkušeností lze uvést, že poměr mezi jednotlivými způsoby hodnocení kapacity zařízení je orientačně tento:

1. Přímé hodnocení fermentoru

- | | |
|--|----------|
| a) měření intenzity přenosu kyslíku | 100 % |
| b) maximální výkon fermentoru podle nárůstu sušiny | 95–100 % |
| c) oddělené vážení usušeného produktu | 85–100 % |

2. Nepřímé hodnocení fermentoru

- | | |
|---|---------|
| a) průměrný výkon linky včetně vlivu závad | 50–80 % |
| b) průměrný výkon linky vztažený na celý cyklus | 70–85 % |
| c) výkon linky vztažený na produkční období | 80–95 % |

Metodika hodnocení fermentorů byla v roce 1974 podrobně diskutována ve VÚKPS Praha. Mezi nejdůležitější zásady patří [17]:

a) Provozní fermentory, jejichž parametry lze vzájemně srovnávat, jsou fermentory s obsahem minimálně 100 m³. Výsledky z menších modelů jsou orientační.

b) Pro technologické postupy je nutno použít standardní suroviny a standardní technologie, dodržované v předepsaných parametrech.

c) Pro komplexní hodnocení fermentorů je nutný jejich podrobný popis, aby byly zřejmé rozdíly v konstrukci a materiálech. Je nutno znát vybavenost a stav souboru měření a regulace, protože zásadně ovlivňuje provoz fermentoru, i když není jeho integrální součástí.

d) Je nutno znát výtěžnost, která je jedním z nejdůležitějších ekonomických ukazatelů.

e) Je nutno komplexně zhodnotit energetické nároky fermentoru na míchání, vzdušnění a čerpání záparů při externím chlazení. Stanovit specifickou spotřebu energie na přenos kyslíku a tvorbu biomasy.

f) Mezi nezastupitelné hodnoty, které charakterizují každý provozní fermentor patří: produkce (kg.h⁻¹), sušina (%), způsob určení produkce, použitý substrát, výtěžnost (%), celková energie (kWh), přenos kyslíku (kg O₂.hod⁻¹, mol O₂.m⁻³.h⁻¹), specifická spotřeba energie fermentorem (kWh.kg⁻¹ a. s., kWh.kg O₂⁻¹), údaj o recirkulaci vod.

V. ZJIŠTĚNÉ PROVOZNÍ ÚDAJE FERMENTORŮ V ZÁVODĚ KOJETÍN

V roce 1982 byly realizovány některé požadované záahy do vybavení fermentorů, včetně korekcí technologie. Důsledkem byla možnost provést řádné kapacitní

zkoušky celé linky, a to při nedokončeném stavu některých souborů měření a regulace. Zkoušky trvaly 2–3 kvasné cykly. Dalším zdrojem informací byly provozní údaje získané při provozu jednoho fermentoru. Mimo to v roce 1981 provedl VÚKPS Praha stanovení maximálního výkonu fermentoru podle postupu 1b). Kapacitní údaje fermentorů tak byly ověřeny třemi nezávislými postupy a pracovními skupinami. Přehled a rozklad těchto dat je dále uveden.

1. Určení maximálního výkonu fermentoru — postup 1b) [18]

Měření bylo provedeno u fermentoru 405 C, který byl v té době relativně nejlépe dokončován a vybaven měřeními a regulací. Byl zjištěn průměrný přenos kyslíku 512 kg O₂.h⁻¹, při průtoku vzduchu 6500 m³.h⁻¹ a plnění 88 m³. Tomu odpovídá specifický přenos kyslíku 182 mol O₂.m⁻³.h⁻¹ a maximální hodinová produkce 337 kg t.q.h⁻¹, tj. 318 kg a.s.h⁻¹. Výtěžnostní koeficient 65 %.

2. Vážení usušeného výrobku na konci linky — postup 1c) [19]

Při provozu jednoho fermentoru po dobu dvou kvasných cyklů bez výskytu poruch na lince byla zjištěna průměrná denní produkce 7 t, tj. 292 kg t.q.h⁻¹ a 275 kg a.s.h⁻¹. Údaje odpovídají přenosu kyslíku 443 kg O₂.h⁻¹, tj. 169 mol O₂.m⁻³.h⁻¹. Výkon byl ověřen v pozdějším období při paralelním provozu dvou fermentorů za obdobných podmínek, kdy byla dosažena produkce 14 t za den.

3. Průměrný provozní výkon fermentoru, určený z provozu linky a vztažený na celý kvasný cyklus, včetně drobných poruch (postup 2a) [20]

Při provozních zkouškách celé výrobní linky, při paralelním provozu tří fermentorů po dobu 2–3 kvasných cyklů, za současného výskytu řady drobných závad na lince, byly vážením usušeného produktu a přímým měřením ostatních veličin zjištěny tyto údaje:

a) Průměrná produkce linky byla 16,7 t t.q./den, tj. 696 kg.h⁻¹. Na jeden fermentor připadá průměrná produkce 232 kg.h⁻¹, tj. 219 kg a.s.h⁻¹. Průměrná sušina vzorků byla 94,35 %.

b) Průměrná spotřeba ethanolu byla 1,29 t a. a. na 1 t obchodně suchého produktu, tj. 1,37 t a. a. na 1 t absolutně suchého produktu. Průměrná výtěžnost byla 73 %. Po odečtení vlivu přídavných živných substrátů byla průměrná výtěžnost, vztažená pouze na ethanol, 70 %. Za těchto podmínek je spotřeba 1,61 kg kyslíku na tvorbu 1 kg sušiny biomasy.

c) V období kontinuální kultivace je průměrný průtok vzduchu fermentorem 7000 m³.h⁻¹. To odpovídá spotřebě 140 kWh za hodinu na průtok vzduchu. Energie spotřebovaná na pohon míchadla — dispergátoru byla 130 kWh za hodinu. Celková spotřeba elektrické energie fermentorem při kultivaci je 270 kWh za hodinu.

d) Celková spotřeba elektrické energie fermentorem při kultivaci na výrobu 1 kg produktu, zjištěná v období kontinuální kultivace je nižší, než je spotřeba energie, vypočtená z období celého kvasného cyklu. Tento rozdíl způsobuje neproduktivní období, kdy sádka je míchána a popř. vzdušněna a fermentor při tom neprodukuje. Rozdíl ve spotřebě energie činí 6–18 %, protože délka jednotlivých fází cyklu závisí na technickém stavu navazujícího zařízení a na organizaci práce. V daném případě tento rozdíl byl 9,6 %. Průměrná spotřeba elektrické energie činila 1,085 kWh.kg⁻¹ t. q., tj. 1,147 kWh.kg⁻¹ a. s.

Přehled naměřených dat:

Tabulka 1. Kapacitní údaje

Produkce		Přenos kyslíku		Způsob hodnocení
kg tq. h ⁻¹	kg as. h ⁻¹	[kg O ₂ . h ⁻¹]	[mol O ₂ . m ⁻³ . h ⁻¹]	
337	318	512	182	maximální výkon fer- mentorů (1b) vážení pro- duktu (1c) průměrný výkon linky vztážený na produkční období (2c) průměrný výkon linky vztážený na celý cyklus (2b)
292	275	443	169	
273	258	415	158	
232	219	—	—	

Poznámka: přepočet výkonu 2b (na 2c) byl proveden na základě experimentálně zjištěné hodnoty poměru délky produkčního období k délce celého kvasného cyklu, tj. 85 %

VI. POROVNÁNÍ NĚKTERÝCH DOSAVADNÍCH PROVOZ- NÍCH FERMENTORŮ [21, 22, 23, 24]

Fermentační zařízení trubkové turbínové Vogelbusch
Frings ZVÜ Kojetín

celkový objem [m ³]	100	100	70	155	193
užitečné plnění [m ³]	70	55	35	100	88
průtok vzduchu [m ³ . h ⁻¹]	3300	2350	3500	2400	7006
energie na michá- ní [kWh]	—	75	18	240	130
energie na vzduch [kWh]	67,5	50	43	—	140
energie na čer- pání chlazené zápary [kWh]	—	—	—	37	—
celková spotřeba energie [kWh]	67,5	125	59	277	270
spotřeba energie na 1 m ³ vzdu- chu [kWh . m ⁻³]	0,024	0,0212	0,0123	—	0,020
hodinová produkce [kg as. h ⁻¹]	65	174,5	102	324	274
přenos kyslíku [mol O ₂ . m ⁻³ . h ⁻¹]	29–43	100–130	110–130	105	169–182
přenos kyslíku [kg O ₂ . h ⁻¹]	58,5	157	91,8	249	441
spotřeba energie na kg O ₂ [kWh . kg ⁻¹ O ₂]	1,154	0,796	0,643	1,112	0,612
substrát	melasa	melasa	melasa	melasa	ethanol

VII. CELKOVÉ ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Za provozních podmínek byl proměřen fermentor o obsahu 193 m³ pro výrobu krmných bílkovin ze syntetického ethanolu. Fermentor je vybaven odlišnou konstrukcí vzdušnického systému, zaměřenou na intenzivní přenos kyslíku a tím na maximální produkci. Několika různými metodami byly zjišťovány základní parametry tohoto zařízení.

Bylo zjištěno, že maximální přenos kyslíku v zařízení je 182 mol O₂ . m⁻³ . h⁻¹, tj. 512 kg O₂ . h⁻¹. Tato hodnota je o 40–80 % vyšší, než jsou údaje zjištěné při proměrování jiných typů fermentorů. Dnešní skutečný přenos kyslíku je 169 mol O₂ . m⁻³ . h⁻¹, tj. 443 kg O₂ . h⁻¹. Tento údaj je o 30–70 % vyšší, než jsou obdobné hodnoty jiných typů fermentorů. Spotřeba elektrické energie na přenos 1 kg kyslíku je dnes 0,608 kWh,

Tabulka 2. Energetické údaje

Spotřeba elektrické energie Celková specifická				Způsob hodnocení
[kWh . h ⁻¹]	[kWh . kg ⁻¹ tq.]	[kWh . kg ⁻¹ as.]	[kWh . kg ⁻¹ O ₂]	
270	0,801	0,849	0,527	optimálně dosažitelná hodnota (1b) dnešní stav — kontinuální fáze (1c) dnešní stav — celý cyklus (2b)
270	0,924	0,982	0,608	
296	1,085	1,147	0,713	

v optimálním případě je 0,527 kWh. Tyto hodnoty jsou v relaci s publikovanými údaji špičkových zahraničních fermentorů a jsou podstatně příznivější, než jsou provozní hodnoty u fermentorů, které bylo možno proměřit.

Uvedené fermentory, vyrobené v ZVÜ Hradec Králové, představují v současné době provozní zařízení s nejintenzivnějším přenosem kyslíku a tomu odpovídající kapacitou, které je v ČSSR v provozu. Hlavním jeho nedostatkem je špatný stav souboru měření a regulace.

Literatura

- [1] ŠTOS F., AUNICKÝ Z.: výzk. zpr. C-11-329-011, VÚKPS Praha 1976
- [2] ŠTOS F.: závěr zpr. VÚKPS Praha 1974
- [3] SIKYTA B.: Metody technické mikrobiologie, SNTL Praha 1978
- [4] STREK F.: Mieszanie i mieszalniki, WNT Warszawa 1971
- [5] KASATKIN A. G.: Základní pochody a přístroje chemické technologie SNTL Praha 1952
- [6] AIBA S.: Bioinženýrství, Academia Praha 1972
- [7] AUNICKÝ Z.: závěr zpr. Chemoprojektu Praha, č. 309, 1970
- [8] —: projekční podklady rekonstrukce provozu torula Kojetín
- [9] AUNICKÝ Z.: Kvas. prům. 22, 1978, s. 275
- [10] AUNICKÝ Z., PROKOPEC M.: záv. zpr. č. 31, Koliprojekt Praha 1981
- [11] ŠTOS F., ADÁMEK L., RUT M.: Kvas. prům. 24, 1978, s. 129
- [12] KADLEC K., LABÍK V.: Kvas. prům. 19, 1973, s. 247
- [13] KADLEC K.: Sborník VŠCHT — P-3, 1979, s. 81
- [14] HOSPODKA J., ČASLAVSKÝ Z., ŠTOS F.: záv. zpr. VÚLK-5, 1961
- [15] MADRON F., RUT M., ŠTOS F.: Kvas. prům. 24, 1978, s. 249
- [16] MADRON F., RUT M., ŠTOS F.: Kvas. prům. 24, 1978, s. 268
- [17] —: Metodika hodnocení fermentorů, VÚKPS Praha, 1974
- [18] ŠTOS F., ROSA M.: záv. zpr. v. ú. P 009 VÚKPS Praha 1980
- [19] —: první evidence provozu torula Kojetín
- [20] AUNICKÝ Z.: záv. zpr. č. 38, Koliprojekt Praha 1982
- [21] AUNICKÝ Z., ŠTOS F., ZÁBOJNÍK R.: Kvas. prům. 17, 1971, s. 128
- [22] —: fermentory fy. Frings-firemni podklady
- [23] ŠTOS F., ŠIMEK V., TOMÍŠEK J.: záv. zpr. v. ú. A 7 38-2 VÚKPS Praha 1967
- [24] ŠTOS F., ČASLAVSKÝ Z., TOMÍŠEK J.: Kvas. prům. 14, 1968, s. 109

Aunický, Z. - Štos, F.: Fermentory pro výrobu krmných bílkovin v závodě Kojetín, k. p. Seliko. Kvas. prům., 29, 1983, č. 6, s. 125–130.

V článku je uveden popis, charakteristika a účinnost nového typu provozních fermentorů pro výrobu krmných bílkovin ze syntetického ethanolu. Ve fermentorech o objemu 200 m³ byl použit odlišný typ vzdušnického zařízení, který umožnil intenzifikaci přenosu kyslíku na provozní hodnotu 170–180 mol O₂ . m⁻³ . h⁻¹. Maximální výkon fermentoru, odpovídající uvedenému přenosu kyslíku, je 337 kg obchodně suchých krmných bílkovin za hodinu. Dále je diskutována problematika zpracování provozních údajů a jejich vzájemné porovnávání.

Ауницки, З., Штрос, Ф.: Ферменторы для производства кормовых дрожжей на заводе Селико, к. п. Койетин. Квас. прум., 29, 1983, № 6, стр. 125—130.

Приводится описание, характеристика и эффективность нового типа производственных ферменторов для производства кормовых белков из синтетического этанола. В ферменторах объемом в 200 м³ был применен отличающийся тип воздухоотехнической установки, дающий возможность интенсификации передачи кислорода до производственной величины 170—180 мол. О₂ · м³ · ч⁻¹. Максимальная мощность ферментора, соответствующая приведенной передаче кислорода, составляет 337 кг торговых сухих белковых веществ за час. Далее обсуждается проблематика обработки эксплуатационных данных и их взаимное сопоставление.

Aunický, Z. - Štros, F.: Fermenters for Fodder Protein Production in Factory Kojetín. Kvas. prům., 29, 1983, No. 6, p. 125—130.

A description, characteristics and efficiency of a new type of the large-scale fermenter for fodder protein production from synthetic ethanol is described. The fermenter with the volume of 200 m³ is equipped with a

new type of the aeration system which permits to increase the value of oxygen transfer rate to the level of 170—180 mol O₂ · m⁻³ · h⁻¹. The maximum productivity of the fermenter with this oxygen transfer rate is 337 kg of the cell dry weight per hour. Also an evaluation of process parameters measured is discussed.

Aunický, Z. - Štros, F.: Fermentoren für die Futtereweiß-Produktion im Betrieb Kojetín des Konzernunternehmens Seliko. Kvas. prům. 29, 1983, Nr. 6, S. 125—130.

In dem Artikel wird die Beschreibung, Charakteristik und Wirksamkeit eines neuen Betriebsfermentortyps für die Futtereweißherstellung aus synthetischem Äthanol angeführt. In den Fermentoren (Inhalt 200 m³) wurde ein unterschiedlicher Typ der Belüftungseinrichtung angewandt, der die Intensifikation der Sauerstoffübertragung auf einen Betriebswert von 170—180 mol O₂ · m⁻³ · h⁻¹ ermöglichte. Die maximale, dem erwähnten Sauerstoffübertragungsgrad entsprechende Leistung des Fermentors beträgt 337 kg kommerziell trockenes Futtereweiß pro Stunde. Es wird weiter auch die Problematik der Verarbeitung der Betriebsdaten und ihres gegenseitigen Vergleichs diskutiert.