

Fermentační zařízení typu Vogelbusch

663.132

577.15

Ing. ZDENĚK AUNICKÝ, CSc., Chemoprojekt Praha, Ing. FRANTIŠEK ŠTROS, CSc., VÚKPS, Praha, Ing. ROSTISLAV ZÁBOJNÍK, Severočeské konzervárny a drožďárny Ústí nad Labem

Do redakce došlo 1. 4. 1971

I. Úvodní část

Fermentory s větracím zařízením podle patentů rakouské firmy Patentausswertung Vogelsbusch G.m.b.H. (dispergátor) se v současné době řadí mezi špičková zařízení pro kultivaci pekařských kvasinek. Používají se v drožďárnách řady socialistických i kapitalistických zemí a vykazují velmi dobré ekonomické i produkční výsledky. Úspěch fermentorů spočívá nejen v samostatném poměrně jednoduchém větracím systému, ale i v kompletaci zařízení na automatické dávkování melasové záparty a mechanickým odpěňovačem a v dobrém řešení celkové koncepce kádě (zdroj vzduchu, pohony, chladicí plochy). V souvislosti s připravovanou rekonstrukcí drožďáren je v ČSSR zájem o uvedené fermentační zařízení a moderní kultivační postupy. Proto pokládáme za správné zveřejnit některé bližší a méně známé technické a technologické údaje o fermentorech typu Vogelbusch, včetně dosahované rychlosti přenosu kyslíku.

Jednotlivé fermentory typu Vogelbusch se od sebe liší jak objemem, tak i poněkud odlišným řešením doplňkových zařízení, např. pohonů, chladicích ploch apod. Uváděné údaje byly získány u kádí

s celkovým objemem 50 až 70 m³, mohou však platit i pro jiné fermentory, za předpokladu, že hlavní principy zůstávají zachovány.

II. Popis zařízení

a) Fermentační nádoba a chladicí zařízení

Fermentor č. 1 (obr. 1) má průměr 348 cm, výšku 530 cm, celkový obsah kádě je 50 m³. Zařízení je vyrobeno z nerezavějící oceli. Chlazení tvoří jeden kruhový prstenec a 6 radiálních žeber. Plocha prstence je 19,9 m², plocha žeber je 15,6 m². Plocha skrápěného pláště fermentoru je 57,7 m². Celková maximální plocha pro chlazení je 93,2 m².

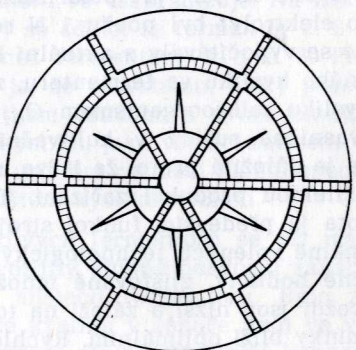
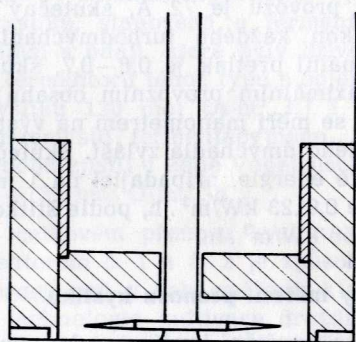
Skutečnost je o něco nižší, neboť u vnitřních radiálních žeber se k chlazení využívá pouze horní a spodní hrana. Dno fermentoru je rovné s mírným spádem ke straně, kde je výpustní otvor. Fermentor č. 2 (obr. 2) má průměr nádoby 3,78 m, výška je 6,2 m a celkový objem 70 m³. Tento fermentor se liší pouze úpravou vnitřních chladičů. Chladič tvoří dva kruhové prstence o celkové ploše 53,6 m², se čtyřmi radiálními žebry celkové plochy 27 m². Fermentor č. 3 (rozměrů shodných s č. 2) má uvnitř chladicí prstenec plochy 29 m² se čtyřmi radiálními

mi žebry plochy 31,5 m². Všechny fermentory mají vnější sprchové chlazení rozdělené do dvou sekcí. Maximální možné chladicí plochy jsou:

Tabulka 1. Chladicí plochy [m²]

	vnitřní	vnější	celkem
fermentor č. 1	35,5	57,7	93,2
fermentor č. 2	80,6	72,6	153,2
fermentor č. 3	60,5	73,5	134,0

Chladicí plocha, vztažena na 1 m³ kvasného prostoru kádě se tedy pohybuje v rozmezí 1,87 až 2,19 m²/m³. Fermentory jsou umístěny na betonových podestách.

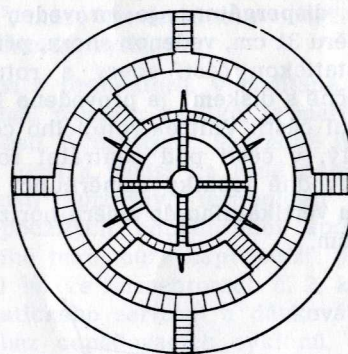
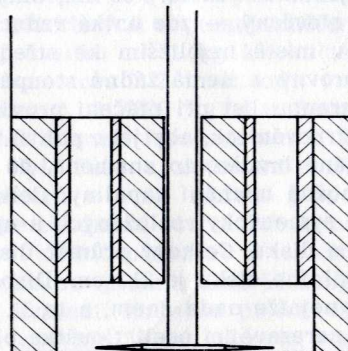


Obr. 1

b) Automatická regulace přítoku melasové zápary

Fermentor je opatřen automatickým zařízením k dávkování melasové zápary podle obsahu etanolu ve fermentoru. Zařízení — autoxymax — měří koncentraci lihových par ve výdechu z fermentoru, která je úměrná obsahu etanolu ve fermentující zápaře, na principu katalytického spalování. Přes pneumatický regulační systém se impulsu z přístroje využívá k regulaci přítoku melasové zápary a tím k udržování minimální koncentrace alkoholu ve fermentujícím médiu. Přístroj i regulační zařízení vyrobila americká firma Honeywell. Čidlo přístroje tvoří komůrka vyplněná zrnitým katalyzátorem a termostátovaná na 210 °C, do které se membránovým čerpadlem přivádí kontinuálně vzduch z výdechového potrubí v množství asi 4 l/min. Přístroj je opatřen kruhovou registrací. Stupnice je rozdělena na 100 dílů a odpovídá výstupnímu na-

pětí čidla 0—3 mV. Přístroj je nastaven na regulaci při 50 dílcích stupnice, což odpovídá koncentraci 0,1 % obj. etanolu v zápaře. Tím se dosahuje bezlihového kvašení a vysokých výtěžků biomasy.



Obr. 2

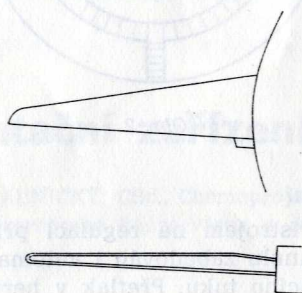
c) Odpěňování

Spolu s přístrojem na regulaci přítoku zápary je v témže panelu zabudován i automatický dávkovač odpěňovacího tuku. Přetlak v hermeticky uzavřeném fermentoru se měří diferenčním manometrem a odpěňovací tuk se dávkuje v okamžiku, kdy přetlak přestoupí nastavenou hodnotu. Starší způsob automatického dávkování odpěňovadla pro případ, kdy cyklón již nedokáže udržet pěnu ve fermentoru, pracuje na principu vodivosti a elektrody jsou umístěny ve vrchní části cyklónu před ústím potrubí pro odtah výdechu. Odpěňovací tuk se tryskami vstřikuje do cyklónu.

Do cyklónu vstupuje pěna se vzduchem tangenciálně. Podstatou operace je působení odstředivého zrychlení na kapalnou fázi přítomnou v systému. Zpěňná kapalina obíhá po obvodu cyklónu. V okamžiku, kdy proud mění svůj směr, snaží se těžší složka systému zachovat původní směr, čímž se rozbíjí pěna a odděluje kapalina. Rychlost separace v cyklónech roste s rychlostí plynu a klesá s růstem poloměru otáčení. U daných cyklónů je poměr výšky k průměru roven 2,42, přičemž plyn vstupuje do cyklónu rychlostí asi 20 m/s. Uvnitř cyklónu je umístěna vestavba a usměrňovací křídla. Rychlost plynu se uvnitř cyklónu mění. Odpěňná zápara se vrací zpět do kádě. V systému se udržuje přetlak 0—200 mm vodního sloupce, a to klapkou ve výdechovém potrubí. Tlak působí příznivě na potlačování pěn.

d) Dispergátor (obr. 3)

Dispergátor je rotační zařízení opatřené ve střední části dutým diskem pro rozvod vzduchu, z něhož vybíhá šest listů dispergačního zařízení. Základním článkem je jeden list dlouhý 60 cm, dutý, na úplavové straně otevřený — zde uniká vzduch. Nejšířší šterbina je v místě nejbližším ke středu otáčení. List je vodorovný a nemá žádné stoupání. Ostrou náběhovou hranou list při otáčení proniká kapalinou. Je konstruován tak, aby jeho pohyb v kapalině byl co nejméně brzděn, to znamená, že způsobuje minimální možné míchání kapaliny. Celkový počet listů je šest, symetricky rozložených a upevněných na centrálním disku. Celkový průměr dispergátoru, včetně centrálního disku je 213 cm. Dispergátor se pohybuje co nejnižše nade dnem, a to 11 až 16 cm. Je vyroben z nerezavějící oceli, tloušťka plechu listů je 3 mm, tloušťka plechu disku je 8 mm. Přívod vzduchu do dispergátoru je proveden centrální rourou průměru 31 cm, vedenou shora, přičemž spojení mezi statickou částí roury a rotující částí roury (společně s diskem) je provedeno kuželovým tvarem spodní části. Vnitřek rotujícího centrálního disku je dutý, v části pod centrální rourou jsou umístěny rozvodné lopatky usměrňující tok vzduchu ze směru vertikálního do směru horizontálního. Lopatek je osm.



Obr. 3

Fermentory mají spodní náhon. Hřídel dispergátorů je členitý a má dva kloubové spoje. Celková délka hřídele (do horní plochy převodovky ke spodní ploše dna fermentoru) je 190 až 240 cm. Těsnění hřídele při průchodu dnem fermentoru je provedeno buď gumovým prstencem, do kterého se přivádí těsnicí voda, nebo je prstenec z teflonu, popř. se používá teflonové šňůry čtvercového průřezu s hranou 1 cm. Je vytvořeno celkem 6 prstenců. Do prostředku se přivádí těsnicí voda, z níž část vytéká po hřídeli do kádě, část teče směrem dolů a odtéká trubičkou do výlevky. Zde je možno vizuálně kontrolovat, zda v této vodě jsou kvasinky.

e) Pohon fermentorů

Dispergátor je poháněn motorem spojeným se šnekovou převodovkou klínovými řemeny. Štítkový příkon motoru je 22 kW, štítkové údaje proudu a napětí jsou 41–43 A, 380 V. Skutečná spotřeba proudu za provozu je 27–28 A a skutečný příkon 16 kW. Otáčky motoru jsou 1465–2945 ot/min, otáčky hřídele dispergátoru 145–160 ot/min, převod 1:9 až 1:20. Spotřeba energie převodovkou

se ponýbuje podle typu převodovky mezi 30 až 50 %. Převodovka s motorem je uložena přímo na betonovém podstavci bez zvláštních opatření. Fermentory s pohonem jsou umístěny buď na volném prostranství, takže vznikající hluk je zcela zanedbatelný, nebo v provozní uzavřené hale. I v tomto případě vzniká poměrně malý hluk, který vůbec neobtěžuje obsluhu, protože jde o spodní náhon a tato spodní část i s pohonem je oddělena od obsluhy plošinou.

f) Zdroj vzduchu

Každý fermentor je napájen samostatným zdrojem vzduchu, přičemž jedno turbodmychadlo je v rezervě. Štítkové údaje motorů: příkon — proud — napětí jsou 125 kW, 175,5 A, 380 V. Proudové zatížení za provozu je 72 A, skutečný příkon je 43 kW. Výkon každého turbodmychadla je 3500 m³/h. Maximální přetlak je 0,6–0,7, skutečný přetlak při maximálním provozním obsahu v kádi je 0,3 at. Tlak se měří manometrem na výstupním potrubí u každého dmychadla zvlášť. Skutečná spotřeba elektrické energie, připadající na 1 m³ vzduchu za hodinu je 0,0123 kW/m³ · h, podle štítkového údaje to je 0,0356 kW/m³ · h.

III. Výsledky měření přenosu kyslíku

Rychlost rozpouštění kyslíku ve fermentorech byla měřena polarografickou metodou, s kombinací elektrod Ag/AgCl, pokrytých polypropylenovou membránou o síle 13 μm, při polarizačním napětí 0,85 V. Jako elektrolyt byl použit 1 N roztok KCl. Hodnoty K_{La} se vypočítávaly z aktuální koncentrace rozpouštěného kyslíku ve fermentoru, z rychlosti přijímání kyslíku mikroorganizmem Q_{O_2} a z koncentrace kvasničné sušiny v kultivačním médiu. Tato metoda je důležitá proto, že jí lze určit maximálně dosažitelnou produkci zařízení. Tato maximální hodnota je především funkcí strojního zařízení a optimálně volených technologických podmínek. Skutečné hodnoty, zjišťované množstvím vyrobeného droždí jsou nižší a záleží na tom, jak se reálné podmínky blíží optimálním. Rychlost přenosu kyslíku byla měřena při čtyřech fermentacích, a to ve třech druzích fermentorů a jednou, kdy autoxymax byl v chodu a jednak, kdy v chodu nebyl.

Tabulka 2. Výsledky měření rychlosti přenosu kyslíku

měření	1	2	3	4
fermentor	2	2	3	1
celkový objem fermentoru [m ³]	70	70	70	50
plnění fermentoru v době měření [m ³]	29	29	25	25
vzduch [m ³ /h]	3500	3500	3500	3300
K_{La} [1/h]	550	508	570	540
	634	570	530	615
	585			520
průměr	589	539	550	555
maximální rychlost rozpouštění [kg O ₂ /m ³ · h]		4,27	4,12	4,18
[mol O ₂ /m ³ · h]		134	129	131
celkový přenos O ₂ ve fermentoru [kg/h]		124	103	105
energie na vzduch [kWh]		43		
energie na míchání [kWh]		16	16	16
celková energie [kWh]		59		

Rychlost přenosu kyslíku je pro každý fermentor vypočítána minimálně ze dvou až tří hodnot K_La a zjištěných v průběhu fermentace. Vzhledem k poměrně improvizovaným podmínkám měření je shoda mezi jednotlivými zjištěnými hodnotami K_La poměrně dobrá. Největším nedostatkem, který mohl v jednotlivých případech způsobit větší odchylky naměřených hodnot, byla nemožnost průběžně registrovat koncentraci rozpuštěného kyslíku ve fermentoru a vyhnout se tak vlivu odpěňování na výsledky měření.

U všech tří zkoušených fermentorů byla zjištěna prakticky stejná maximální rychlost rozpouštění kyslíku. Zjištěné rozdíly jsou v mezích chyb použitého postupu. Maximální specifická rychlost rozpouštění kyslíku, stanovená u fermentoru Vogelbusch souhlasí s údaji, které byly dříve naměřeny ve Vídni u fermentoru téhož typu s objemem 120 m³ (přenos kyslíku 130 mol O₂/m³ . h) i s měřením Institutu przemyslu fermentacyjnego, který diferenční metodou zjistil u kádě Vogelbusch na 116 m³ přenos 118–125 mol O₂/m³ . h.

Rozdíl v celkovém přenosu kyslíku a produkce mezi fermentorem č. 1 a č. 2 je způsoben různým plněním fermentorů v době měření, který vyplývá z rozdílné technologie kultivace droždí. Podle pokusů konaných v ČSSR s turbínovými systémy stoupá se zvyšujícím se plněním poněkud celkový přenos kyslíku, specifický přenos kyslíku, vztažený na 1 m³ plnění se však snižuje. Na základě těchto výsledků by se zdálo, že fermentor č. 2 je poněkud účinnější, než fermentory č. 1 a 3. Pravděpodobnější však je, že u systému, který pracuje s takovým přebytkem vzduchu a s tak nízkým využitím vzdušného kyslíku, jako větrací zařízení typu Vogelbusch, se v určitém rozmezí plnění specifická rychlost rozpouštění kyslíku nemění.

U jednotlivých fermentorů se při měření sledovaly také rozdíly stupně nasycení záparů kyslíkem v různých místech fermentoru. Bylo zjištěno, že koncentrace kyslíku v zápare není ve všech oblastech fermentoru stejná. Nejvyšší koncentrace kyslíku byla ve střední části fermentoru a u hladiny fermentačního média. U stěn fermentoru a směrem ke dnu se koncentrace kyslíku v médiu poměrně rychle snižovala. Rozdíly ve specifickém přenosu kyslíku v nejhůře a nejlépe provzdušněné oblasti činily 10 až 15 %. Pro hodnocení každého fermentoru je správné proměřit přenos kyslíku v řadě bodů v radiálním i axiálním směru a zmapovat tento fermentor čarami s konstantním nasycením kyslíkem. Eventuální konstrukční úpravy je možno pak provádět především na základě znalosti těchto čar.

U fermentoru č. 3 bylo provedeno měření přenosu kyslíku s autoxymaxem a u fermentoru č. 1 bez použití automatické regulace přítoku záparů. Závěry z těchto pokusů jsou velmi důležité především pro výrobu pekařského droždí a ukazují, že autoxymax neovlivňuje rychlost rozpouštění kyslíku a možnou maximální výrobní kapacitu fermentoru, má však rozhodující vliv pro plné využití výrobní kapacity kvasné kádě a především pro dosažení vysoké výtěžnosti. Z naměřených maximálních

rychlostí rozpouštění kyslíku lze u sledovaných fermentorů odhadnout dosažitelnou produkci pekařského droždí D₂₇ při jedné fermentaci. Uvažujeme-li 14hodinovou fermentaci a považujeme-li první a poslední hodinu kultivace za neproduktivní, potom za podmínek, při kterých se konala měření a při spotřebě 1 kg kyslíku na 1 kg kvasničné sušiny, je možno u fermentoru č. 2 dosáhnout výrobu 5500 kg, u fermentoru č. 3 4600 kg a u fermentoru č. 1 4650 kg. Rozdíl mezi fermentorem č. 2 a č. 1 a 3 je, jak již bylo řečeno, způsoben rozdílným plněním fermentorů v době měření přenosu kyslíku. Vzhledem ke shodnosti všech fermentorů je možno při stejném plnění očekávat u všech fermentorů stejnou produkci, tj. minimálně 5500 kg při 14hodinové době kvašení. Konečné plnění všech tří fermentorů je obvykle 35 m³, a proto, rosteli přenos kyslíku s plněním kádě i nad maximálně zkoušených 29 m³, může být teoreticky dosažitelná výrobnost fermentorů i vyšší.

Produktivita fermentorů, vypočítaná z maximálních rychlostí přenosu kyslíku, je měřítkem výrobních možností fermentorů. Skutečně dosažená výroba bývá nižší a závisí na řadě dalších faktorů, např. jakosti suroviny, technologii fermentace, množství použitých odpěňovadel apod. Přídavek odpěňovacího tuku může např. snížit přenos kyslíku až o 20 %. Ve fermentorech č. 2, které pracují bez automatického zařízení a dávkování melasové záparů a bez odpěňovacích cyklónů, zpracuje se v průběhu 14hodinové fermentace 6000 kg melasy a brutto výroba pekařského droždí s 27 % kvasničné sušiny je 5000–5500 kg. Při 1200 kg násadního droždí se čistý přírůstek droždí D₂₇ pohybuje mezi 3800 až 4300 kg. Dosahované výtěžky potvrzují čs. zkušenosti, že se při kultivaci na hustých záparách dosahuje bez autoxymaxu jen ojediněle výtěžnosti vyšší než 70 % (D₂₇ z melasy 50 % P). Fermentory č. 1 a 3 jsou opatřeny odpěňovacími cyklóny a autoxymaxem. Při těchto kultivacích, při zapojeném autoxymaxu se během 14 hodin zpracuje 5300 kg melasy a získá se 7500 kg droždí D₂₇. Po odečtení 2200 kg násadního droždí je čistý přírůstek 5300 kg, což odpovídá výtěžnosti 100 % a spotřebě 1 kg melasy na 1 kg droždí D₂₇.

IV. Porovnání jednotlivých typů fermentorů

Při hodnocení fermentoru typu Vogelbusch je především zajímavé posouzení některých ukazatelů v porovnání s jinými typy zařízení. Pro toto porovnání budou použita data charakterizující fermentační zařízení s turbínovými míchadly a fermentory s trubkovým větráním. Přehled těchto dat je uveden v tabulce 3. Porovnávané fermentory představují tři různé typy větracích zařízení, a to trubkový fermentor je systém pneumaticky míchaný se statickým rozdělovačem vzduchu, Vogelbuschův fermentor je systém pneumaticky míchaný s rotujícím dispergátorem vzduchu a konečně turbina představuje zařízení mechanicky a pneumaticky míchané s rotujícím dispergátorem.

a) Pneumaticky míchané systémy jsou charakterizovány nízkým využitím vzdušného kyslíku, které

Tabulka 3.

Fermentační zařízení	Trubkové	Turbinové	Vogelbuschovo	
			č. 1	č. 2
celkový objem [m ³]	75—100	100—100	50—70	
užitečné plnění konečné [m ³]	55—70	55—55	35—35	
plnění v době měření kyslíku [m ³]	37		25—29	
průtok vzduchu [N m ³ /h]	2500—3300	2350—2350	3300—3500	
specifický průtok vzduchu při měření [m ³ /h na 1 m ³ kapaliny] při konečném plnění	68		130—120	
energie na míchání [kWh]	45—47	43—43	95—100	
energie na vzduch [kWh]	—	54—75	16—16	
a) výpočet	62,5—82,5	59—59	82,5—87,5	
b) skutečnost	55—67,5	50—50	42—43	
spotřeba energie na 1 m ³ vzduchu [kWh/m ³]				
a) výpočet	0,0250—0,0250	0,0250—0,0250	0,0250—0,0250	
b) skutečnost	0,0220—0,0204	0,0212—0,0212	0,0124—0,0123	
celková spotřeba [kWh]				
a) výpočet	62,5—82,5	113—134	98,5—103,5	
b) skutečnost	55,0—67,5	104—125	58—59	
otáčky míchadla [ot/min]	—	160—175	160—145	
produkce kádě za hodinu [kg a. s./h]	60—65	174,5	102—79	
specifický přenos kyslíku [mol O ₂ /m ³ .h]	43—29	100—130	131—132	
produkce z 1 m ³ kvasného prostoru [kg/m ³ .h]	0,80—0,65	1,74	2,04—1,13	
specifická spotřeba na kg a. s. biomasy [kW/kg a. s.]				
a) skutečnost	0,92—1,04	0,60	0,57—0,75	
b) výpočet	1,04—1,27	0,65	0,965—1,31	
specifická spotřeba vzduchu [m ³ /kg a. s.]	42—51	13,5	32,5—44,5	
využití vzdušního kyslíku [%]	8—7	26	11—8	

se pohybuje v rozsahu 7 až 11 %. Mechanicky míchaný systém využívá kyslík asi z 26 %, tj. 2—3X více. Specifická spotřeba vzduchu, potřebná na vznik 1 kg biomasy představuje u mechanicky míchaných systémů pouze 27 až 40 % celkové spotřeby nutné u systému pneumaticky míchaných.

b) Rozhodující jsou údaje charakterizující produkci a spotřebu energie. Produkce z 1 m³ celkového kvasného prostoru za hodinu u Vogelbuschova fermentoru č. 1 je 2,04 kg/h.m³ (tj. 100 %), a to v případě, kdy byl v činnosti autoxymax, cyklón a automatický odpeňovač. U Vogelbuschova fermentoru č. 2 je tato produkce pouze 1,13 kg/m³.h (tj. 55 % předešlé hodnoty). V tomto případě byl vyřazen z provozu autoxymax a cyklón. Dále se zde projevilo menší využití kvasného prostoru (50 %). V případě, že zde bude toto využití stejné jako v předešlém případě, tj. 70 %, bude produkce asi 1,6 kg/m³.h. Určitý vliv lze také připsat odlišnému typu chladiče, který zřetelně jinak ovlivňuje proudění. Fermentor s turbinovým míchadlem (použit bez autoxymaxu a bez cyklónu) vykazuje svou produkcí 1,74 kg/m³.h přibližnou shodu s fermentorem Vogelbuschova typu bez téhož zařízení, za předpokladu využití kvasného prostoru na 70 %, jak bylo uvedeno. Z tohoto hlediska lze tato dvě zařízení považovat za rovnocenná. Fermentory s trubkovým větráním mají produkci 40 % ve srovnání s fermentorem s turbinou a produkci 35 % ve srovnání s fermentorem typu Vogelbuschova s kompletním vybavením.

c) Hodnoty přenosu kyslíku, charakterizované specifickým přenosem kyslíku jsou u fermentorů s turbinou i u Vogelbuschova zařízení prakticky shodné a pohybují se v rozmezí 100—130 mol O₂/m³.h. U trubkového větrání je přenos 30—40 mol O₂/m³.h, tj. 25—40 % předešlé hodnoty.

d) Otázka spotřeby elektrické energie je v tabulce řešena dvojím způsobem. Jednak se zde používá hodnota 0,025 kW/m³, což odpovídá současným jednokolovým radiálním turbodmychadlům ČKD pro kapacitu 8000 m³/h. Tímto údajem jsou přepočítány v a) všechny energetické údaje. Výsledky takto získané umožňují vzájemné srovnání jednotlivých typů zařízení bez zřetele na různé provedení zdroje vzduchu. Energetické údaje uváděné v b) představují skutečné, současné hodnoty a charakterizují celé zařízení.

Posuzujeme-li současný stav zařízení jako celek, pak spotřeba energie, připadající na 1 kg sušiny je nejprůběžnější u kompletního Vogelbuschova zařízení (0,57 kW/kg, tj. 100 %). Jestliže toto zařízení není zcela kompletní (viz připomínky výše) pak je spotřeba energie o 30 % vyšší, tj. 0,75 kW/kg. Specifická spotřeba energie u fermentoru s turbinou je 0,6 kW/kg, tj. o 5 % vyšší než u kompletního Vogelbuschova zařízení. Trubkové větrací zařízení má specifický příkon o 60—80 % vyšší (tj. 0,91—1,04 kW/kg).

Jestliže chceme hodnotit pouze fermentační zařízení (za předpokladu, že ke každému fermentoru lze dodat levnější či dražší zdroj vzduchu, tj. u všech fermentorů lze předpokládat stejně drahý zdroj vzduchu), potom nejprůběžnější výsledky specifické spotřeby energie poskytuje fermentor s turbinovým míchadlem, a to 0,65 kW/kg (tj. 100 %). Kompletní Vogelbuschovo zařízení potom má specifický příkon o 48 % vyšší (tj. 0,965 kW/kg), trubkové větrací zařízení o 54 až 95 % více než turbinový fermentor a nekompletní Vogelbuschovo zařízení dokonce o 100 % větší specifický příkon. Z těchto údajů výrazně vyniká vliv kvality zdroje vzduchu.

V. Zhodnocení

1. Fermentační zařízení typu Vogelbusch dosahuje standardně maximálního přenosu kyslíku $130 \text{ mol O}_2/\text{m}^3 \cdot \text{h}$, což je zde podmíněno především typem větracího zařízení.

2. Použití autoxymaxu a odpěňovacího cyklónu výrazně ovlivňuje výtěžnost, která se zde blíží 100 %. Při kultivaci zápar bez těchto zařízení je výtěžnost asi 70 %. Obdobně se též mění i produkce biomasy z $1 \text{ m}^3/\text{h}$, a to v prvním případě je $2,04 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$, v druhém případě asi $1,6 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ (za předpokladu stejného využití kvasného prostoru).

3. V energetických ukazatelích je Vogelbuschovo fermentační zařízení nejvýhodnější vzhledem k nízkému příkonu na 1 m^3 vzduchu. U těchto fermentorů připadá na 1 m^3 vzduchu asi $0,0125 \text{ kW}$, což je téměř $\frac{1}{2}$ hodnoty našich zdrojů vzduchu (tj. $0,020$ — $0,022 \text{ kW}/\text{m}^3$).

4. Jestliže porovnáme specifickou spotřebu energie jednotlivých zařízení za předpokladu stejně drahého zdroje vzduchu, potom se energetická výhodnost Vogelbuschova zařízení ztrácí a blíží se fermentorům s trubkovým větráním.

5. Na rozdíl od trubkových větracích systémů a zejména systémů s turbinami používá Vogelbuschovo větrací zařízení vysoký specifický průtok vzduchu, a to 120 — $130 \text{ m}^3/\text{h}$ na 1 m^3 kapaliny, což je cca o 100 % více než u ostatních typů zařízení. Tento vysoký průtok vzduchu ve spojitosti s rotujícím dispergátorem a vhodným prouděním umožňuje dosáhnout vysoké produkce biomasy v kádi.

6. Ne zcela vyřešeným se zdá problém homogenního rozptýlu vzduchu v kádi ve vertikálním i horizontálním směru (což ovlivňuje především produkci) problém vzniku velkých bublin ve středu kádě (vliv na využití vzduchu) a poměrně nízká intenzita míchání, která nezaručuje homogenitu u systémů, náročnějších na míchání.

7. Kladem je především komplexnost celého zařízení, jednoduchost vnitřního vybavení, vyřešení určitého typu chladicích ploch, zejména vzhledem k proudění, vysoká produkce a standardní, vysoký specifický přenos kyslíku. Bližší technické údaje, rozbor a kritika jednotlivých kladů a záporů tohoto zařízení, přesahuje rámec tohoto článku.