

# Vliv narážek fermentorů na průběh kultivace

Ing. ZDENĚK AUNICKÝ, CSc., generální ředitelství Konzerváren a lihovarů — Koliprojekt, Praha

663.132  
663.14.033

## ÚVOD

Laboratorní i průmyslové fermentory s intenzivním přenosem kyslíku jsou často vybaveny míchacím zařízením — turbínou, která obstarává dispergaci kyslíku a cirkulaci kapaliny. Aby nevznikal centrální vír, zvláště při použití vysokootáčkových míchadel centrálně umístěných v nádrži, jsou do nádoby umístěny narážky. Pro zamezení centrálního víru lze použít kromě narážek též jiných prostředků, např. mimostředné umístění míchadla se svislým hřídelem, šikmá poloha hřídele míchadla vzhledem k ose nádoby apod. [1, 2]. Pro fermentory v průmyslové praxi přicházejí v úvahu narážky upevněné k nádrži ve svislé poloze. (Narážky vodorovné, nebo svislé a umístěné v proudě kapaliny a nikoliv u stěny, nebo křížové narážky na dně nemají dnes v průmyslové praxi širší použití.) Oborová norma [3] výrobce těchto zařízení stanoví šířku narážek vzhledem k průměru příslušných stojatých válcových nádob na 10 % tohoto průměru. Současně doporučuje užít 4 narážky, rozmístěné rovnoměrně u stěny válcové části. Nárazky jsou umístěny kolmo k tečně pláště fermentoru nebo kolmo k tečně centrálně umístěného míchadla.

Narážky bývají obvykle provedeny jako teplosměnné plochy, čímž jejich význam dále roste [4 až 8]. U exotermních reakcí se značným vývinem tepla tato funkce narážek převažuje. V tomto případě dáváme přednost zařazení většího počtu narážek než 4, obvykle bývá použito 6—8 registrů [5, 7, 9]. Rozměry těchto narážek, zejména jejich šířka se zvětšuje. Šířka narážek — registrů dosahuje různých hodnot, a to podle požadavků na přestup tepla a pohybuje se v rozmezí 5—22 % průměru nádoby [5, 8, 9, 10]. Provedení narážek jako teplosměnných ploch bývá realizováno buď deskovými výměníky, nebo sběrači, tvořenými ze svislých trubkových chladičů registrů [4, 7, 9], které jsou spojeny chladičmi trubkami.

## Literární údaje

V současné průmyslové praxi převažuje u fermentorů použití kolmých svislých narážek provedených jako chladičů registry, jejichž počet často převyšuje 4 a jejichž

šířka dosahuje hodnoty až 22 % průměru nádoby. Nárazky mají vliv na děje probíhající ve fermentoru. V literatuře byl sledován vliv narážek na spotřebu energie. Z obecné kritériální rovnice pro stanovení příkonu míchadel vychází, že příkonové kritérium je mimo jiné funkcí šířky a počtu narážek. Pro příslušný invariant této rovnice byl publikován vztah [10]:  $\pi_1 = (I/d)^{0.3}$ , kde  $I$  je šířka narážky,  $d$  — průměr míchadla.

Z experimentálních prací *Rushtona* [11] plyne, že zavedením narážek do proudu míchané kapaliny vzroste spotřeba energie, a to úměrně k rozměrům narážky. Kromě toho byl určen vliv počtu narážek na příkon, a to vztahem:  $\pi_2 = (n/4)^{0.43}$ , kde  $n$  je počet narážek (referenční počet narážek byl zvolen 4).

Energie se spotřebovává na vytvoření lokálního víření za narážkami. Při volbě velikosti narážky je nutno dbát na to, aby tento lokální vír za narážkami podporoval míchání, aby přisával kapalinu k narážce. Někdy může naopak vzniknout izolované víření, které je pro míchání málo účinné [12]. Z hlediska disipace energie platí závěry Kolmogorovy teorie lokální izotropní turbulence. Podle ní se na disipaci energie podílejí především fluktuace vyšších řádů. Čím vyšší je střední Reynoldsovo číslo, tím více fluktuačních stupňů je v kapalině [13].

V literatuře nebyl dosud uveřejněn experimentální údaj o vlivu narážek na přenos kyslíku. Dále nebyla zkoumána otázka vlivu vzájemné polohy směru narážky a vektoru rychlosti tekutiny vytékající z míchadla.

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 1. Popis zařízení

Zkoušky byly konány nejprve ve čtvrtprovozním zařízení ve fermentoru průměru 63 cm, výšky 100 cm a objemu 300 l [7]. K míchání a rozptýlu vzduchu bylo použito turbínové míchadlo. Pro zkoušky v poloprovozním měřítku byl použit fermentor průměru 230 cm, výšky 270 cm, s celkovým objemem 10 m<sup>3</sup>. Oxidovaný objem se pohyboval v rozmezí 5 až 7 m<sup>3</sup>. K míchání bylo použito turbínové míchadlo, shodného typu jako u čtvrtprovozního



ního zařízení. Chlazení bylo uskutečněno šesti chladičmi žebry a nárazkami.

## 2. Analytická metoda

Při pokusech ve čtvrtprovozním měřítku bylo použito roztoku siřičitanu sodného za přítomnosti katalyzátoru. Přestože siřičitanový roztok není adekvátním modelem pro aerobní fermentaci, lze této metody použít především tam, kde má sloužit jako měřítko pro vzájemné srovnávání výkonu fermentoru a zjištění vlivu jednotlivých veličin, ovlivňujících přenos kyslíku. Touto metodou lze stanovit optimální podmínky pro přenos kyslíku, lze zjistit potřebné závislosti jednotlivých parametrů co do tvaru křivek a polohy extrémních bodů. Pouze absolutní hodnoty je nutno korigovat. Siřičitanová metoda poskytuje hodnoty vyšší asi o 25 až 30 % skutečnosti.

Po provedení rozsáhlé série zkoušek ve čtvrtprovozním měřítku byly vyhodnoceny zajímavé oblasti a byly ověřeny v poloprovozním měřítku. Zde bylo použito opět siřičitanové metody. Každý údaj dále uvedený je průměrem ze tří hodnot opakovaných pokusů.

## 3. Pracovní program a charakteristika pokusů

Experimentální část bylo nutno zaměřit především na otázky, které dosud řešeny nebyly. Dále bylo vhodné ověřit uvedený omezený rozsah informací, které byly z literatury k dispozici. Byly řešeny tyto otázky:

### a) Příkon a specifická oxidace jako funkce počtu nárazek

Tato otázka je pro intenzivní fermentory zvláště důležitá se zřetelem na možnosti zařazení většího počtu chladicích ploch — je to jeden z nejdůležitějších problémů. Jde o to, zda bude u velkoobjemových fermentorů možno vzniklé teplo odvést pouze chladicími registry, nebo zda bude nutno použít externího chlazení. To ovlivní jak investiční, tak provozní náklady.

Proto byly u čtvrtprovozního modelu uskutečněny pokusy s turbínovým míchadlem o průměru 8 a 15 cm, šířka nárazek byla 20 cm (tj. 31,8 % průměru nádoby). Průtok vzduchu 48 l/min, objem oxidované kapaliny 100 l. Pro míchadlo o průměru 15 cm bylo použito 680–1350–1900 ot/min, tj. obvodová rychlost byla 5,35 až 10,6–14,9 m/s. Pro míchadlo o průměru 8 cm bylo použito 1900 a 4270 ot/min, tj. obvodová rychlost byla 7,9 a 17,8 m/s. Počet nárazek byl pro každý pokus regulován takto: 1–2–4–6–8–12–16. Počet pokusů s míchadlem o  $\varnothing$  15 cm byl 43, s míchadlem o  $\varnothing$  8 cm byl 14. V poloprovozním měřítku nebyl tento problém dále řešen.

### b) Příkon a specifická oxidace jako funkce šířky nárazek

Shodně s počtem nárazek je nutno se zřetelem na požadavek maximální plochy zvětšovat i jejich velikost, a to do krajní míry a nad běžné zvyklosti. Základní otázku, kterou je nutno zodpovědět, je zjištění, zda se zvyšováním šířky nárazek až do určité krajní meze nějak podstatně mění (klesá nebo roste) přenos kyslíku a jaká tato změna je. Druhou otázkou je prověření výše uvedeného vlivu na příkon.

Ve čtvrtprovozním měřítku bylo provedeno celkem 28 druhů pokusů s míchadlem  $\varnothing$  8 a 15 cm. U míchadla  $\varnothing$  8 cm byly použity otáčky  $n = 4270$ /min, obvodová rychlost  $W = 17,8$  m/s, u míchadla  $\varnothing$  15 cm bylo použito 1350 a 1900 ot/min, obvodová rychlosti byla 10,6 a 14,9 m/s. Šířka nárazek byla postupně regulována takto  $l = 5 - 12 - 20 - 23,7 - 27,2$  cm, tj. velikost mezery mezi obvodem míchadla a koncem nárazky byla postupně pro míchadlo o  $\varnothing$  8 cm: 22,5–15,5–7,5–0,3 cm, pro míchadlo o  $\varnothing$  15 cm: 19–12–4–0,3 cm.

V poloprovozním měřítku byla tato otázka dále sledována. Na rozptýl a velikost bublinek vzduchu vznikajících na obvodu míchadla má vliv tečná síla, působící na vznikající bublinku. To je podmíněno mírou roztáčení kapaliny míchadlem. Proto byly porovnány pokusy při použití běžných nárazek s pokusy, kdy byly zařazeny nárazky sahající téměř k míchadlu. Při pokusech bylo použito turbíny  $\varnothing$  800 mm, 190 ot/min, obvodová rychlost 7,9 m/s, lopatky byly umístěny po obou stranách míchadla, výstupní úhel lopatek byl  $31^\circ$ , průtok vzduchu 650 a 1120 m<sup>3</sup>/h. Šíře registrů byla v jednom případě 50 cm, v druhém extrémním případě 74 cm, tj. šíře mezery mezi míchadlem a koncem registru byla buď 25 cm, nebo 1 cm.

### c) Příkon a specifická oxidace jako funkce úhlu nárazek

Tento problém nebyl dosud sledován. Při pokusech byly dosud běžně používány nárazky kolmé k tečně fermentoru v daném bodu. Vzhledem k tomu, že kapalina vytéká spolu se vzduchem z míchadla v jiném směru, než mají nárazky, bylo zajímavé zjistit, zda je užitečné pro přestup kyslíku a spotřebu energie, aby směry nárazek a vytékající kapaliny byly rozdílné či nikoliv, tj. zda je užitečné maření energie v oblasti mezi nárazkami, a to převedením energie vytékající tekutiny na víření, tj. na makrovíry. Možnost natáčení nárazek by měla dále význam pro zvětšování šířky těchto nárazek.

Pokusy byly provedeny s turbínovým míchadlem  $\varnothing$  15 cm. Poměr průměru míchadla a nádoby byl 0,238, nárazky byly široké 20 cm, šířka mezery mezi míchadlem a nárazkou byla 4 cm, počet nárazek 6. Průtok vzduchu byl 60 l/min, objem oxidované kapaliny 100 l. Byly použity otáčky: 680 — 1350 — 1900 — 3220/min, tj. obvodová rychlost se pohybovala od 5,3 do 25,3 m/s. Jako základ byla použita poloha nárazek označená jako  $90^\circ$  — tj. kolmé nárazky. Výsledky byly porovnány s pokusy provedenými za použití nárazek natočených o  $30^\circ$  proti směru otáčení míchadla, tj. označené  $60^\circ$ .

Protože na čtvrtprovozním zařízení byl zjištěn velký význam polohy nárazek na hodnotu příkonu a specifického příkonu, přičemž nebyl ovlivněn přenos kyslíku, bylo nutno tento poznatek ověřit ve větším měřítku, tj. v poloprovozu. Průměr míchadla byl 800 mm, výstupní úhel lopatek  $31^\circ$ , obvodová rychlost 7,9 m/s, otáčky 190/min, průtok vzduchu 650 m<sup>3</sup>/h. Při pokusech byla postupně regulována poloha nárazek, a to z radiální polohy ( $90^\circ$ ) proti směru otáčení míchadla do polohy  $76^\circ - 62^\circ - 48^\circ$ .

## ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT

### 1. Vliv počtu nárazek

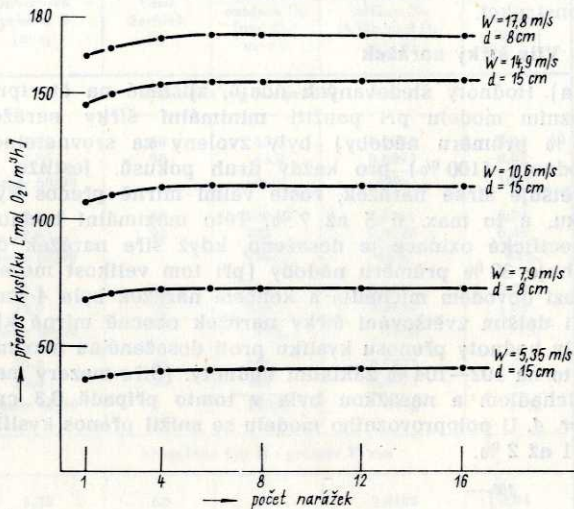
a) Vztah mezi přenosem kyslíku a počtem nárazek je zobrazen na obr. 1, a to pro dva průměry míchadla a 5 druhů obvodové rychlosti. Z grafu je zřejmé, že počet nárazek rozsahu 1 až 4 má malý vliv na přenos kyslíku, další zvyšování počtu nárazek již nemá prakticky žádný vliv v tomto směru. Z tabulky 1 je patrné, že přenos kyslíku při použití 16 nárazek je o 5 až 10 mol O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. h větší (tj. o 5 až 15 %) než při použití nárazky jedné. Zvýší-li se počet nárazek z jedné na 4 vzroste přenos kyslíku o 4 až 8 %, tj. o 3 až 8 mol O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. h v porovnání s původní hodnotou.

b) S rostoucím počtem nárazek roste i příkon míchadla. V literatuře byl uveden příslušný vztah  $\pi = (n/4)^{0,43}$ . Na obrázku 2 jsou uvedeny v logaritmických souřadnicích vztahy mezi příkonem a počtem nárazek ( $n/4$ ) pro 4 obvodové rychlosti míchadla. Všechny závislosti vykazují exponenciální vztah  $N = f(n/4)^x$ .



V proměřeném rozsahu proměnných byly získány tyto relace:

$N_1 = a_1 (n/4)^{0,027}$  pro obvodovou rychlost  $w = 17,8$  m/s  
 $N_2 = a_2 (n/4)^{0,0570}$  pro obvodovou rychlost  $w = 14,9$  m/s  
 $N_3 = a_3 (n/4)^{0,1039}$  pro obvodovou rychlost  $w = 10,6$  m/s  
 $N_4 = a_4 (n/4)^{0,1296}$  pro obvodovou rychlost  $w = 7,9$  m/s



Obr. 1. Vliv počtu nárážek na přenos kyslíku

Je patrné, že uvedené exponenty jsou funkcí obvodové rychlosti míchadla. Jak je zřejmé z obr. 3 vyhovují tyto exponenty lineárnímu vztahu:  $X = -0,01024 \cdot w + 0,21$ . Výše uvedené rovnice lze tak shrnout do tohoto obecného vztahu:

$$N = a (n/4)^{(-0,01024 \cdot w + 0,21)}$$

Tyto skutečnosti znamenají, že hodnota exponentu příslušného invariantu je nižší, než bylo publikováno a dále tato mocnina není konstantní, nýbrž je funkcí počtu otáček — obvodové rychlosti míchadla. Hodnota exponentu klesá s růstem obvodové rychlosti. Celkový

vzestup příkonu při přechodu z jedné nárážky na 16 je 8 až 33 % původní hodnoty. Zařazením většího počtu

Tab. 1. Vliv počtu nárážek

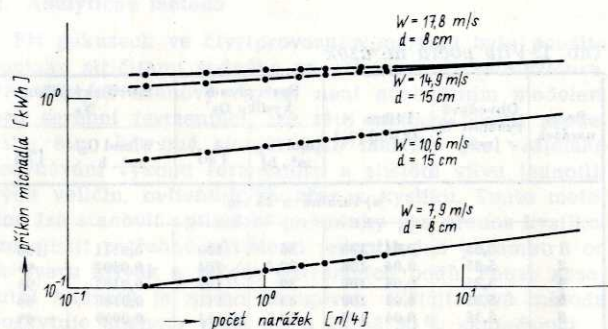
Počet nárážek	Obvodová rychlost W [m/s]	Příkon N [kWh] [%]	Spec. přenos kyslíku Os		Specifický příkon N <sub>s</sub>		
			[mol O <sub>2</sub> / m <sup>3</sup> · h]	[%]	[kW/mol O <sub>2</sub> / m <sup>3</sup> · h	[%]	
a) turbína Ø 15 cm							
1	5,35	0,04 100	36	100	0,0111	100	
2	5,35	0,04 100	37,5	104	0,0107	96	
4	5,35	0,04 100	39	108	0,0103	93	
6	5,35	0,04 100	40	111	0,0100	90	
8	5,35	0,04 100	40,5	113	0,0099	89	
12	5,35	0,04 100	41,5	115	0,0096	87	
16	5,35	0,04 100	41,5	115	0,0096	87	
1	10,6	0,45 100	106	100	0,0424	100	
2	10,6	0,48 107	109	103	0,0440	104	
4	10,6	0,51 113	112	106	0,0455	107	
6	10,6	0,53 118	113	107	0,0469	111	
8	10,6	0,55 122	113	107	0,0487	115	
12	10,6	0,57 127	113	107	0,0505	119	
16	10,6	0,60 133	113	107	0,0531	125	
1	14,9	1,05 100	145	100	0,0724	100	
2	14,9	1,09 104	148	102	0,0736	102	
4	14,9	1,14 108	153	106	0,0745	103	
6	14,9	1,17 111	154	106	0,0760	105	
8	14,9	1,19 113	154	106	0,0773	107	
12	14,9	1,21 115	155	107	0,0781	108	
16	14,9	1,22 116	155	107	0,0787	109	
b) turbína Ø 8 cm							
1	7,9	0,10 100	67,5	100	0,0148	100	
2	7,9	0,11 110	70	104	0,0157	106	
4	7,9	0,12 112	72	107	0,0167	113	
6	7,9	0,13 113	72	107	0,0180	122	
8	7,9	0,13 113	72	107	0,0180	122	
12	7,9	0,14 114	72,5	107	0,0193	130	
16	7,9	0,14 114	72,5	107	0,0193	130	
1	17,8	1,20 100	165	100	0,0727	100	
2	17,8	1,21 101	168	102	0,0720	99	
4	17,8	1,22 102	171	104	0,0713	98	
6	17,8	1,24 103	173	105	0,0717	99	
8	17,8	1,26 105	173	105	0,0728	100	
12	17,8	1,28 107	173	105	0,0740	102	
16	17,8	1,29 108	173	105	0,0746	103	

Tab. 2. Vliv šířky nárážek

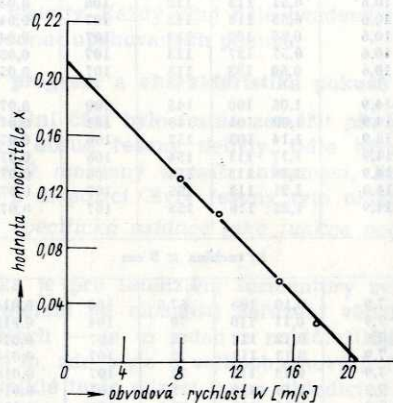
Šířka nárazek I [cm]	[I : D]	Vzdálenost míchadlo-nárazka: m'			Obvodová rychlost: W [m/s]	Příkon N		Přenos kyslíku O <sub>s</sub>		Specifický příkon N <sub>s</sub>	
		[cm]	[m/d]	[I/d]		[kWh]	[%]	[mol O <sub>2</sub> / m <sup>3</sup> · h]	[%]	[kWh/mol O <sub>2</sub> [m <sup>3</sup> · h]	[%]
a) turbína Ø 15 cm - objem 300 l											
5	0,0795	19	1,27	0,33	14,9	1,05	100	145	100	0,072	100
12	0,191	12	0,83	0,80	14,9	1,09	104	148	102	0,074	103
20	0,317	4	0,266	1,33	14,9	1,17	111	154	106	0,076	106
23,7	0,376	0,3	0,020	1,58	14,9	1,20	114	149	103	0,081	112
5	0,0795	19	1,27	0,33	10,6	0,45	100	106	100	0,042	100
12	0,191	12	0,83	0,80	10,6	0,49	109	107	101	0,046	109
20	0,317	4	0,266	1,33	10,6	0,53	118	113	107	0,047	122
23,7	0,376	0,3	0,020	1,58	10,6	0,55	122	110	104	0,050	119
b) turbína Ø 8 cm - objem 300 l											
5	0,0795	22,5	2,82	0,625	17,8	1,10	100	165	100	0,067	100
12	0,191	15,5	1,94	1,500	17,8	1,18	107	172	104	0,069	103
20	0,317	7,5	0,94	2,50	17,8	1,24	113	173	105	0,072	107
27,2	0,376	0,3	0,0375	3,40	17,8	1,32	120	168	102	0,079	118
c) turbína Ø 80 cm - objem 10 000 l, průtok 650 m <sup>3</sup> /h											
50	0,217	25	0,312	0,625	7,9	9,6	100	242	100	0,0396	100
74	0,322	1	0,0125	0,925	7,9	10,0	104	240	99	0,0417	105
d) turbína Ø 80 cm - objem 10 000 l, průtok vzduchu 1 120 m <sup>3</sup> /h											
50	0,217	25	0,312	0,025	7,9	6,2	100	264	100	0,0234	100
74	0,322	1	0,0125	0,925	7,9	6,5	105	258	98	0,0252	108



nárážek než 4 se dále podstatně zvyšuje příkon (což je rozdíl při hodnocení tohoto vlivu na přenos kyslíku).



Obr. 2. Vliv počtu nárážek na spotřebu energie



Obr. 3. Vliv obvodové rychlosti na mocnítele výrazu

$$\left(\frac{n}{4}\right)^x$$

c) Při zvyšování počtu nárážek roste specifický příkon, tj. příkon potřebný na přenos 1 molu kyslíku za hodinu do 1 m<sup>3</sup> kapaliny. Vzrůst specifického příkonu se pohybuje v rozmezí 3 až 30 % původní hodnoty při použití jedné nárážky. Čím vyšší byla obvodová rychlost míchadla, tím byl pomalejší vzrůst specifického příkonu. (Poznámka: údaje o specifickém příkonu v tab. 1 při použití obvodové rychlosti 5,35 m/s jsou zkráceny hodnotou příkonu, která nebyla měřena na 3 desetinná místa.)

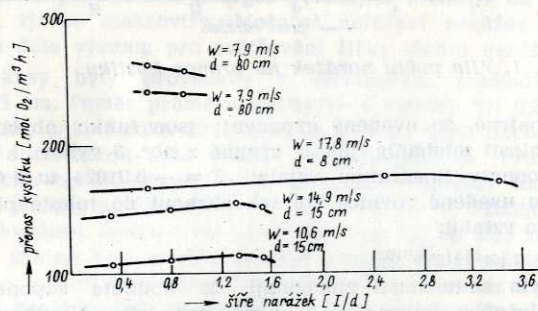
d) Z výsledku plyne, že za normálních podmínek není výhodné použití velkého nebo nadbytečného počtu nárážek. Pokud by ovšem problém odvodu tepla ze zařízení, tj. problém chladicích ploch představoval otázku řešitelnou pouze za cenu mimořádných konstrukčních úprav a tím i vyšších investičních nákladů, je účelné zvážit přírůstek těchto předpokládaných investičních nákladů ve srovnání se zvýšenými provozními náklady, neboť s růstem počtu nárážek se nezhoršuje přenos kyslíku.

e) Vyskytly se názory, že při použití nárážek — chladicích registrů ve fermentoru (místo chladicího hadu), se zvýší přenos kyslíku z hodnoty 30–60 mol O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·h na 150 i více mol O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·h, tj. zvýšení by mělo představovat 250 až 500 % původní hodnoty. Tento závěr nemá žádné opodstatnění, a to nejen vzhledem k uvedeným pokusům provedeným ve čtvrtprovozním měřítku, ale také vzhledem k údajům ověřeným při provozním chodu fermentoru o obsahu 200 m<sup>3</sup>. Byl vyhodnocen provoz kvasných kádí po dobu 4 měsíců v jarním období. V té době byly kádě vybaveny chlazením v po-

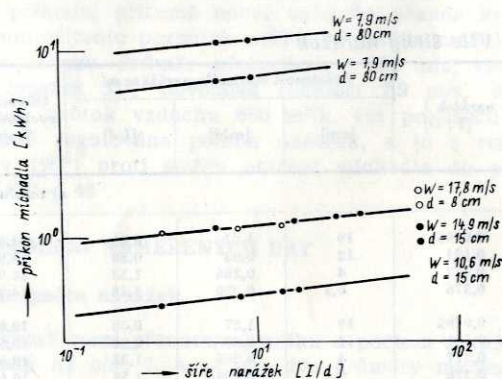
době chladicího hadu a duplikátoru. V dalším půlroku bylo chlazení rekonstruováno a nahrazeno chladicími registry v podobě nárážek. V jarních měsících dalšího roku byl opět vyhodnocen několikaměsíční provoz, a to zcela shodným postupem. Bylo zjištěno, že se průměrná produkce za celé vyhodnocované období lišila pouze o 2 % od hodnoty průměrné produkce zjištěné před rekonstrukcí.

## 2. Vliv šířky nárážek

a) Hodnoty sledovaných údajů, zjištěné na čtvrtprovozním modelu při použití minimální šířky nárážek (8 % průměru nádoby) byly zvoleny za srovnatelnou hodnotu (100 %) pro každý druh pokusů. Jestliže se zvětšuje šířka nárážek, roste velmi mírně přenos kyslíku, a to max. o 5 až 7 %. Těto maximální hodnoty specifické oxidace je dosaženo, když širší nárážek dosahuje 32 % průměru nádoby (při tom velikost mezery mezi obvodem míchadla a koncem nárážek byla 4 cm). Při dalším zvětšování šířky nárážek obecně mírně klesaly hodnoty přenosu kyslíku proti dosaženému maximu, a to na 102–104 % základní hodnoty. (Širší mezery mezi míchadlem a nárážkou byla v tomto případě 0,3 cm) obr. 4. U poloprovozního modelu se snížil přenos kyslíku o 1 až 2 %.



Obr. 4. Vliv šířky nárážek na přenos kyslíku



Obr. 5. Vliv šířky nárážek na spotřebu energie

b) Se zvětšující se šířkou nárážek roste pozvolně spotřeba elektrické energie pro pohon míchadla. Vzrůst je exponenciální (obr. 5). Směrnice přímků v logaritmic- kých souřadnicích se pohybují v rozmezí 0,087–0,107, a to bez patrného vlivu průměru míchadla, počtu otáček a obvodové rychlosti. Průměrná hodnota této směrnice je asi 0,10, tj. příslušný invariant má tvar  $\pi = (l/d)^{0.1}$ . Toto bylo ověřeno jak na čtvrtprovozním, tak na polo- provozním zařízení.

c) Růst hodnoty příkonu při zvětšování šířky nárážek je rychlejší než růst hodnoty specifické oxidace. Hodnota specifického příkonu vzrostla ze základní porovnává-



né hodnoty o 5 až 12 % (při dosažení maxima přenosu kyslíku), nebo o 12 až 19 % (při extrémním zvětšení šíře nárazky).

Tab. 3. Vliv úhlu nárazek (objem 300 l)

Obvodová rychlost W [m/s]	Úhel nárazek [°]	Specifická oxidace Os [mol O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> · h]	Specifický příkon Ns [kWh/mol O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> · h]	Příkon N [kWh]
a) turbína typ A - průměr 15 cm				
5,35	60	45,5	0,0088	0,04
5,35	90	43,0	0,0093	0,04
Poměr 60/90		106%	95%	100%
10,6	60	130	0,0261	0,34
10,6	90	125	0,0320	0,40
Poměr 60/90		104%	82%	85%
14,9	60	158	0,0494	0,78
14,9	90	159	0,0635	1,01
Poměr 60/90		99%	78%	77%
19,8	60	196	0,0877	1,72
19,8	90	187	0,0973	1,82
Poměr 60/90		105%	90%	94%
b) turbína typ B - průměr 15 cm				
5,35	60	37	0,0108	0,04
5,35	90	36,7	0,0109	0,04
Poměr 60/90		101%	99%	100%
10,6	60	105	0,0238	0,25
10,6	90	105	0,0333	0,35
Poměr 60/90		100%	72%	71%
14,9	60	153	0,0261	0,40
14,9	90	152	0,0415	0,63
Poměr 60/90		101%	63%	63%
25,3	60	179	0,067	1,20
25,3	90	179	0,072	1,29
Poměr 60/90		100%	93%	93%

Tab. 4. Nárazky v poloze (60° : 90°) (%)

Obvodová rychlost [m/s]	Specifická oxidace [mol O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> · h]	Specifický příkon [kWh/mol O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> · h]	Příkon [kWh]
a) turbína typ A			
5,3	106	95	100
10,6	104	82	85
14,9	99	78	77
19,8	105	90	94
b) turbína typ B			
5,3	101	99	100
10,6	100	72	71
14,9	101	63	63
19,8	100	93	93

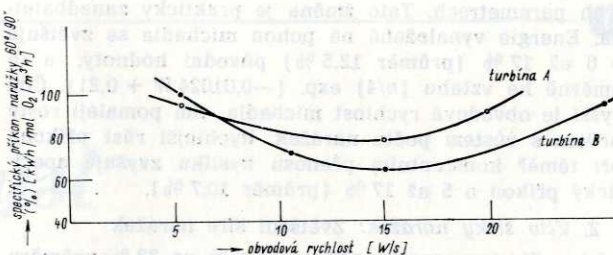
### 3. Vliv úhlu nárazek

a) Natočením nárazek z hodnoty 90° do polohy 60° (proti směru otáčení míchadla) se přenos kyslíku prakticky nezměnil (tab. 3). Údaje kolísaly v mezích od 99 do 106 % původní hodnoty, pouze v jednom případě byl zjištěn pokles pod 100 %. V celkovém průměru se zvýšil přenos kyslíku o 1 %. Uvedené kolísání hodnot nevykazuje žádnou tendenci a je nahodilé. U poloprovazních zkoušek nastal při postupném natáčení nárazek mírný pokles specifického přenosu kyslíku, a to max. o 4 %, v průměru o 3 % původní hodnoty zjištěné při poloze nárazek 90°.

b) Celková spotřeba energie klesá při natočení nárazek

Tab. 5. Vliv úhlu nárazek (objem 10 000 l)

Úhel nárazek [°]	Specifická oxidace		Příkon		Specifický příkon	
	[mol O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> · h]	[%]	[kWh]	[%]	[kWh/mol O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> · h]	[%]
90	242	100	9,6	100	0,0397	100
76	233	96	8,8	92	0,0378	95
62	238	98	8,0	83	0,0336	85
48	234	97	7,5	78	0,0321	81



Obr. 6. Vliv úhlu nárazek na specifický příkon

žek na 60° až o 37 % původní hodnoty. Největší pokles byl zjištěn při 1900 ot/min (= 14,9 m/s). V průměru hodnota příkonu na pohon motoru klesla o 15 % při natočení nárazek. Také u zkoušek v poloprovazním zařízení byl pozorovaný jev potvrzen. Původní hodnota příkonu 9,6 kW (100 %) klesla postupně o 23 % na hodnotu 7,5 kW (78 %). Uvedená diference v příkonu představuje neúčelné maření energie.

c) Poloha nárazek 60° ovlivňuje ve svých důsledcích hodnotu specifického příkonu tak, že ji snižuje až o 33 % (u čtvrtprovozního zařízení). Na obr. 6 jsou vynešeny příslušné údaje určující změnu specifického příkonu vyjádřenou v % jako funkci obvodové rychlosti. Je patrné, že při nízkých obvodových rychlostech (asi 5 m/s) jsou výsledky pokusů provedených s nárazkami 60° až 90° téměř stejné. Při zvyšování obvodové rychlosti se snižuje specifický příkon u nárazek natočených, a to plynule až do hodnoty obvodové rychlosti 12 až 14 m/s. Zde je pro oba případy (tj. 2 druhy míchadel) shodné minimum specifického příkonu, dále při dalším růstu obvodové rychlosti roste hodnota specifického příkonu až při obvodové rychlosti 20 až 25 m/s dosahuje asi 90 % hodnoty specifického příkonu zjištěného při nárazkách radiálních. To znamená, že směr nárazek 60° se při obvodové rychlosti míchadla 12–16 m/s shoduje s vektorem výtokové rychlosti systému voda–vzduch. Obdobně při zkouškách na poloprovazním zařízení se postupně plynule snižovaly hodnoty příkonu ze 100 % na 81 % původní hodnoty při postupném natáčení nárazek (v tomto případě nebylo možno provést zkoušky s různými obvodovými rychlostmi míchadla). Znamená to, že výsledky pokusů ve čtvrtprovozním a poloprovazním modelu se navzájem velmi dobře shodují.

### CELKOVÉ ZÁVĚRY

Průmyslová velkovýroba krmných bílkovin přináší řadu nových technologických i konstrukčních problémů. Orientace na nové suroviny pro kultivaci mikroorganismů (alkoholy, uhlovodíky apod.) znamená zvětšení reakčního tepla o 50 až 120 % ve srovnání s poměry při kultivaci na melasovém substrátu. Používání fermentorů s objemem značně přesahujícím 100 m<sup>3</sup> opět představuje růst nároků na odvod tepla. Odvod tepla je proto jedním z nejdůležitějších konstrukčních problémů, a to zejména u velkoobjemových fermentorů. Dosavadní praxe, po-



užívající 4 radiálních nárážek upravených jako chladič plochy o šířce 10 % průměru nádoby, nevyhovuje. Bylo tedy nutno ověřit možné úpravy těchto nárážek vzhledem k přenosu kyslíku, spotřebě energie na pohon míchadla a spotřebě energie na přenos jednoho molu kyslíku. Takto byl ověřen význam zvětšování počtu nárážek, zvětšování jejich šíře a změny úhlu natočení těchto nárážek. Byly zjištěny tyto skutečnosti:

1. **Vliv počtu nárážek:** Zvýšením počtu nárážek ze 4 na 16 se zvyšuje přenos kyslíku o 0,8 až 6 % (průměr 2,1 %) původní hodnoty v závislosti na ostatních použitých parametrech. Tato změna je prakticky zanedbatelná. Energie vynaložená na pohon míchadla se zvětšuje o 6 až 17 % (průměr 12,5 %) původní hodnoty, a to úměrně ke vztahu  $(n/4)^{exp. (-0,01024W + 0,21)}$ . Čím vyšší je obvodová rychlost míchadla, tím pomaleji roste příkon s růstem počtu nárážek. Rychlejší růst příkonu při téměř konstantním přenosu kyslíku zvyšuje specifický příkon o 5 až 17 % (průměr 10,7 %).

2. **Vliv šířky nárážek:** Zvětšení šíře nárážek

a) u čtvrtprovozního zařízení z 8 % na 32 % průměru nádoby,

b) u poloprovozního zařízení z 22 % na 32 % zvyšovalo přenos kyslíku,

a) o 5–7 % (průměr 6 %) původní hodnoty,

b) snižovalo o 1–2 %.

Změna hodnoty přenosu kyslíku je opět téměř zanedbatelná. Změna v šířce nárážek zvyšovala příkon

a) o 11–18 % ( $\varnothing$  14 %) původní hodnoty

b) o 4–5 %.

Hodnota příkonu roste úměrně ke vztahu  $(l/d)^{exp. (0,1)}$ . [Velikost exponentu není v tomto případě funkcí obvodové rychlosti míchadla]. S rychlejším růstem spotřeby energie roste specifický příkon, a to

a) o 6–12 % ( $\varnothing$  8 %),

b) o 5–8 % ( $\varnothing$  6,5 %).

Extrémní zvětšení šířky nárážek tak, aby mezera mezi obvodem míchadla a koncem nárážky odpovídala řádově milimetrům vede k rychlejšímu růstu spotřeby energie a k mírnému snížení rychlosti přenosu kyslíku. Tento způsob není v žádném případě výhodný,

3. **Vliv úhlu nárážek:** Natáčení nárážek z radiální polohy do polohy posunutých proti směru otáčení míchadla

a) o 30°,

b) o 52°

působilo velmi malé změny v přenosu kyslíku, a to

a) zvyšovalo o 0–6 % (průměr 2 %) původní hodnoty,

b) snižovalo o 2–4 % (průměr 3 %).

Tyto změny jsou prakticky zanedbatelné. Spotřeba elektrické energie však při natáčení nárážek výrazně klesla. Při nejvhodnějším natočení nárážek bylo dosaženo poklesu spotřeby elektrické energie

a) o 32 %,

b) o 22 %.

To ve svých důsledcích znamená snížení specifické spotřeby elektrické energie

a) o 37 %,

b) o 19 %.

4. **Obecně lze uvést,** že změny v počtu, šířce a úhlu nárážek prakticky neovlivňují intenzitu přenosu kyslíku. Naopak růst počtu a šířky nárážek zvyšuje vždy příkon a specifický příkon, a to o 4 až 18 %. Použití natočených nárážek tak, aby směr vytékající tekutiny se shodoval se směrem nárážek, snižuje příkon i specifický příkon o 19 až 37 %. Veškeré tyto údaje posky-

tuji mnohem větší vliv v rozhodování při konstrukci chladičích ploch fermentorů v případech, jestliže množství odvedeného tepla je na hranici dosavadní konstrukční praxe.

## Literatura

- [1] REAVELL B. N.: Trans. Inst. Chem. Engrs. **29**, 1951, s. 301
- [2] Firemní literatura T. ZEISE, Hamburg - Altona, NSR
- [3] Oborová norma 69-1011: Normy míchacích zařízení, Čepos
- [4] ŠTROS, ČASLAVSKÝ, TOMÍŠEK: Kvasný průmysl, **14**, 1968, č. 5, s. 109
- [5] Čs. patent 16 0216
- [6] Čs. patent 16 1605
- [7] AUNICKÝ, ŠTROS, ZÁBOJNÍK: Kvasný průmysl **17**, 1971, č. 4, s. 884
- [8] ŠTROS, HOSPODKA, ČASLAVSKÝ, BERAN: Zpráva o posouzení účinnosti větracích systémů, VULK, Praha 1961
- [9] PŘIHODOVÁ, M.: Diplomová práce č. 68/255 — ČVUT Praha
- [10] ŠTĚRBÁČEK, TAUSK: Míchání v chem. průmyslu, SNTL Praha 1959
- [11] RUSHTON, J., EVERETH, H.: Chem. Eng. Progress **46**, 1950, s. 395
- [12] NEWITT, D., SHIPP, G.: Trans. Inst. Chem. Engrs **29**, 1951, s. 278
- [13] KOLMOGOROV, A.: Doklady Akademii Nauk, 1941, č. 4

**Aunický, Z.: Vliv nárážek fermentorů na průběh kultivace.** Kvas. prům. **22**, 1976, č. 12, s. 275–281.

Na čtvrtprovozním a poloprovozním modelu se sledoval příkon a specifická oxidace jako funkce počtu, šířky a polohy (úhlu) nárážek. Zjistilo se, že změny těchto veličin neovlivňují intenzitu přenosu kyslíku. Zvyšování počtu a šířky nárážek však zvyšuje vždy příkon a specifický příkon, a to o 4 až 18 %. Natočení nárážek do směru vytékající tekutiny naopak snižuje příkon a specifický příkon o 19 až 37 %. Tyto údaje poskytují mnohem větší vliv v rozhodování o konstrukci chladičích ploch fermentorů, jestliže množství odvedeného tepla je na hranici dosavadní konstrukční praxe.

**Ауницки, З.: Влияние отражателей в броидильных аппаратах на ход культивации.** Квас. прум., **22**, 1976, № 12, стр. 275–281.

Для изучения зависимости между потребляемой броидильными аппаратами мощностью и удельным окислением с одной стороны и числом, шириной и углом наклона отражателей с другой стороны были сконструированы опытные установки с масштабами 4:1 и 2:1 по сравнению с нормальной производственной установкой. Результаты изучения доказывают, что изменения перечисленных параметров отражателей на интенсивность передачи кислорода не влияют. С увеличивающимся числом и шириной отражателей увеличиваются, однако, на 4–18 % как потребляемая мощность, так и удельная. Оба эти показателя можно снизить на 18–37 % путем установки отражателей в направлении сходном с направлением потока вытекающей жидкости. Видно, что максимальная теплопередача в броидильных аппаратах можно добиться при разных конструктивных решениях их охлаждающих поверхностей.

**Aunický, Z.: What Effects Have Baffle Plates in Fermenters Upon the Cultivation Process.** Kvas. prům. **22**, 1976, No. 12, pp. 275–281

Two plants modelling industrial installation in 4:1 and 2:1 scales were built to study energy input and specific oxidation as a function of the number, width and angle of baffle plates in fermenters. It has been established that the intensity of oxygen transfer does not depend on the mentioned parameters of baffles, but with their increasing numbers and width energy input, as well as specific energy input are higher by 4 to 18 %. Both energy input and specific energy input can



be reduced by 19 to 37 % by setting the baffles in the direction of liquid flow. Maximum heat transfer can be, consequently, achieved with various designs of cooling surfaces.

**Aunický, Z.: Einfluß der Anschläge der Fermentoren auf den Verlauf der Kultivation.** Kvas. prům. 22, 1976, No. 12, S. 275—281

Auf einem Klein- und Halbbetriebsmodell wurde die zugeführte Leistung und die spezifische Oxydation als

Funktion der Zahl, der Breite und des Einstellwinkels der Anschläge verfolgt. Es wurde festgestellt, daß die Änderungen dieser Parameter die Intensität der Sauerstoffübertragung nicht beeinflussen. Die Erhöhung der Zahl und der Breite der Anschläge vermindert jedoch immer die zugeführte Leistung und die spezifische Leistung um 19 bis 37 %. Diese Angaben bieten eine viel grössere Freiheit in der Entscheidung über die Konstruktion der Kühlflächen der Fermentoren, wenn die Menge der abgeführten Wärme an der Grenze der bisherigen Konstruktionspraxis liegt.