

## Příkonová kritéria axiálního míchání

66.063.8  
621.929.1

Ing. RUDOLF GRÉE - Ing. LADISLAV CHLÁDEK, CSc. - JAROSLAV ŠUSTR, Výzkumný ústav potravinářského průmyslu, Praha;

Ing. RUDOLF ŽITNÝ, CSc., ČVUT, Fakulta strojní

Úspěšná fermentace technických mikroorganismů (produkce enzymů, antibiotik, výroba organických kyselin) vyžaduje sladění technických možností fermentačního zařízení s biologickými potřebami kultivovaného mikroorganismu. Úspěšnost kultivace zejména vláknitých mikroorganismů (*Aspergillus niger*, *Trichoderma reesei*, *Streptomyces albogriseolus*) vyžaduje především respektování biologických hledisek někdy i za cenu obtížnějšího řešení chemicko-inženýrských operací, zvláště míchání.

Vliv klasických rotačních míchadel na morfologii vláknitého mikroorganismu *Aspergillus niger* studoval např. Placek a kol. [1]. Bylo zjištěno, že s rostoucí frekvencí otáčení míchadla klesla délka apikálních vláken plísňe a produkce kyseliny citrónové. Obdobný jev uvádí Chládek a Grée [2], při kultivaci *Trichoderma reesei*. Pokles výtěžnosti lze pravděpodobně vysvětlit vedle nedostatečné distribuce vzduchu negativními účinky rotačního míchadla (přímý náraz lopatky míchadla, značné střížné síly v okolí rotující lopatky a prudké změny tlaku). Tento problém řešil např. Karrer [16], který pro submerzní kultivaci *Beaveria tenella* navrhl fermentační zařízení s vrtulovým míchadlem, třebaže se poukazuje na nevhodnost takového řešení.

Proto byla na našem pracovišti rozpracována nová progresivní metoda — axiální pulsační míchání, které se liší od vibračního, kde je frekvence kmitání asi 50 Hz, amplituda řádově milimetry, nízkou hodnotou frekvence kmitů (zpravidla do 1 Hz a vysokou amplitudou — řádově stovky milimetrů).

Některé problémy, tj. homogenizační testy, optimální tvar míchacího elementu a jeho geometrie, vzdušnění při axiálním pulsačním míchání byly řešeny již dříve a výsledky byly souhrnně zpracovány v literatuře [4, 5, 6].

V návaznosti na tyto práce byla dále zpracována problematika příkonových kritérií vybraných typů axiálních míchadel v laminární a přechodové oblasti. Získané výsledky jsou obsaženy v tomto článku.

Příkon míchadla lze obecně stanovit různými způsoby. Možno vycházet z analogie čerpadel, či využít dynamických vztahů popisujících pohyb tělesa v tekutině.

Vzhledem ke složitým geometrickým poměrům a tvarové různorodosti míchadel oba uvedené způsoby vyžadují značné množství doplňkových experimentálních měření. Relativně nedávno se podařilo prokázat výhody rozměrové analýzy pro výpočet příkonu a zavést pojem dnes běžně užívaného příkonového kritéria. Mezi základní práce z této oblasti pro rotační míchadlo patří práce prof. Rushtona [9].

V poslední době roste uplatnění axiálního pulsačního míchání. Znalost příkonového kritéria tohoto způsobu míchání je nezbytná pro fundovaný technický návrh míchacího zařízení. V citované práci [7] byla zpracována příkonová kritéria axiálního míchání (dále zkratka AM) pro vybrané typy axiálních míchadel v turbulentní oblasti. Bylo účelné rozšířit měření příkonových charakteristik i na oblast laminární a přechodovou.

Podle citované literatury [7] má modifikovaná forma Eulerova kritéria pro axiální pulsační míchání tvar:

$$Eu_{AM} = \frac{P}{d^2 v^3 \rho} \quad (1)$$

a modifikovaná forma Reynoldsova kritéria pro axiální pulsační míchání:

$$Re_{AM} = S_G \frac{v \rho}{\mu} \quad (2)$$

člen

$$S_G = \frac{d^2 - nd_1^2}{D + d + nd_1} \quad (3)$$

je hydraulický průměr respektující geometrické tvary daného typu míchadla a geometrii míchané nádoby.

Symbole užívané ve vztazích (1 až 3) značí:

- $P$  — příkon [W],
- $d$  — průměr míchadla [m],
- $v$  — rychlost míchadla [m.s<sup>-1</sup>],
- $\rho$  — hustota míchaného média [kg.m<sup>-3</sup>],
- $\mu$  — dynamická viskozita [Pa.s],
- $D$  — průměr nádoby [m].

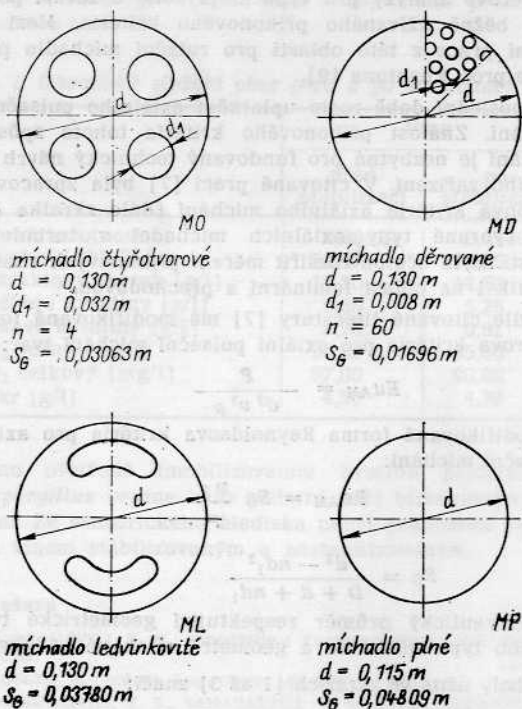
Symbole hydraulického průměru  $S_G$  [m] jsou přehledně znázorněny na obr. 1, kde jsou uvedeny vybrané typy axiálních míchadel, které byly prověřovány. Jsou to míchadla MO (míchadlo 4otvorové), MD (míchadlo děrované), ML (míchadlo ledvinkové), MP (míchadlo

Tabulka 1

Médium	Hmotnostní [%]	Teplota [°C]	Dynamická viskozita $\mu$ [Pa · s]	Hustota $\rho$ [kg · m <sup>-3</sup> ]
Čistá melasa	100	17,5 20	4,6875 3,3720	1384 1384
Ředěná melasa	66	17,5 20	0,0256 0,0233	1250 1250
Ředěná melasa	60	17,5 20	0,01151 0,01063	1210 1210
Ředěná melasa	50	17,5 20	0,0059 —	1200 —

plné). Názvy byly voleny podle charakteru a provedení otvorů v činné ploše míchadla. Geometrický simplex (poměr činné plochy míchadla k ploše horizontálního průřezu míchané nádoby) byl ve všech případech roven 0,5.

Eulerovo kritérium  $Eu_{AM}$  se vyhodnocovalo z hydraulických odporů axiálního míchadla ve zvoleném míchaném prostředí. Základním požadavkem bylo dosažení konstantní rychlosti míchadla v prostředí o známých fyzikálních veličinách (hustota, viskozita) a změření odporu, které prostředí klade vůči pohybujícímu se míchacímu elementu.

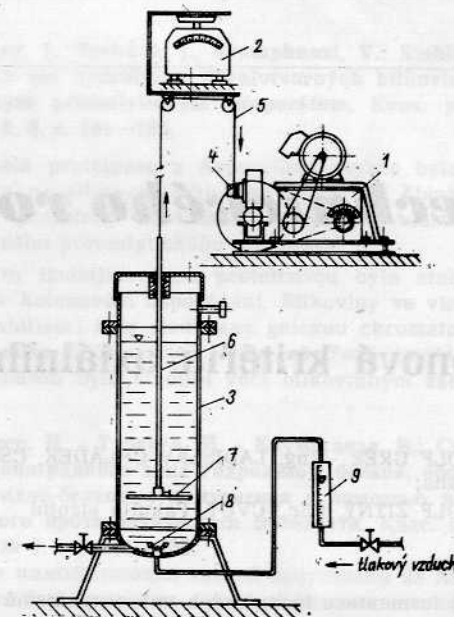


Obr. 1. Typy axiálních míchadel

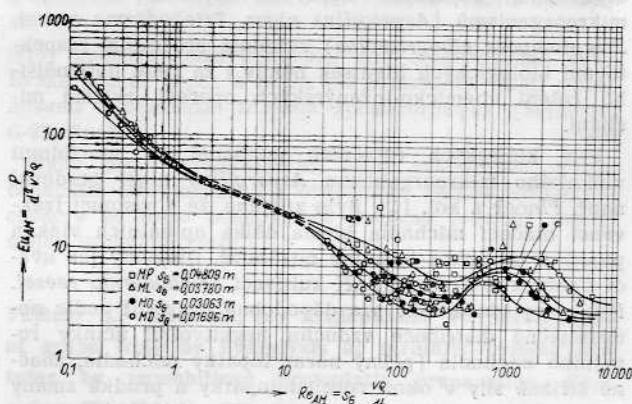
#### NAVRŽENÉ MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ

Schematicky je použité měřicí zařízení naznačeno na obr. 2. Náhonová jednotka 1 je tvořena elektromotorem, variátorem a šnekovou převodovkou. Na jejím výstupním hřídeli jsou umístěny navijecí válečky 4, na které se navíjí vlákno vedené přes kladičky uchycené na váze 2. Vlákno je dále uchyceno na vodící tyče 6 axiálního

ního míchadla 7. Míchaná nádoba 3 je skleněný válec, v horní i dolní části opatřený kovovými přírubami. Do dna nádoby je situováno šroubení pro uchycení distributoru vzduchu 8. Množství tlakového vzduchu přiváděného do míchaného systému lze odečíst na rotametru 9.



Obr. 2. Schéma zařízení pro měření příkonových charakteristik



Obr. 3. Příkonové charakteristiky axiálních míchadel typu MP, ML, MO, MD

#### Specifikace použitých zařízení

— **Náhonová jednotka** — tvořena elektromotorem, variátorem a šnekovou převodovkou (převodový poměr  $i = 25$ ). Celkové zpřevodování soustrojí dovoluje dosáhnout na výstupním hřídeli frekvenci otáčení 25,5 až 4 min<sup>-1</sup>.

— **Váha stolní** — Transporta, váhivost 100 g až 10 kg, dělení 5 g. Váha má upravenou plošinu pro uchycení vodících kladiček tak, aby zatížení bylo osové.

— **Míchaná nádoba** — skleněný válec zn. Simax,  $D = 160\text{ mm}$ ,  $L = 500\text{ mm}$ , užitečný objem 10 dm<sup>3</sup>.

— **Rotametr** — laboratorní s rozsahem 0 až 15 dm<sup>3</sup> · min<sup>-1</sup>, při teplotě 20 °C.

Výstupní frekvence otáčení hřídele náhonové jednotky byla přesně nastavena a žádaná změna obvodové (navijecí) rychlosti byla dosažena výměnou navijecího válečku. Tím bylo dosaženo definovaných hodnot rychlostí míchadla při jednotném nastavení variátoru.



## MÍCHANÁ KAPALNÁ MÉDIA

Pro měření byly užity tři druhy kapalin — voda, ředěná cukrovarnická melasa a 100% melasa. Potřebné hodnoty hustoty  $\rho$  a dynamické viskozity  $\mu$  byly prověřeny v externí spolupráci s FS ČVUT. Dynamická viskozita byla stanovena na přístroji Rheotest 2, fy Prüfgeräte Werk Medingen, NDR.

## METODIKA MĚŘENÍ

Na míchadlo ponořené v míchaném prostředí působí při pohybu několik sil majících osový směr. Je to především vlastní tíha míchadla  $G$ , vztlak  $V$ , tření vodících elementů  $T$  a odpor prostředí  $R$ .

$$R = M + V - G - T \quad (4)$$

Tření  $T$  bylo omezeno na minimum bezdotykovým vedením v horní přírubě válce a užitím vážících kladíček uložených v kuličkách. Vztlak  $V$  velmi znatelně ovlivňoval měření a byl samozřejmě proměnný po celé měřicí dráze vzhledem k postupně se vynořující centrální trubici míchadel. Proto byl vztlak i vlastní tíha eliminovány tím, že ve zvolené výši ponoření byl systém vyvážen [nulová poloha na škále váhy], a pak při průchodu touto polohou byla odečítána výchylka z nulové polohy 2 M. Systém použití dvou kladíček dovozoval tedy odečítat hodnoty odporu s dvojnásobnou přesností. Pak poloviční údaj na škále váhy značil hodnotu odporu  $R$ .

Vláknem se navijelo na navijecí váleček náhonové jednotky, čímž udělovalo míchadlu konstantní rychlost danou nastavenou frekvencí otáčení válečku a jeho průměrem  $d_v$ . Po dosažení horní úvratě se pohyb zastavil, chod pohonné jednotky byl reverzován do dolní úvratě a měření opakováno. Pro každou zvolenou rychlost a médium bylo uskutečněno pět měření a z nich brán aritmetický průměr. Celkem bylo provedeno 1500 měření.

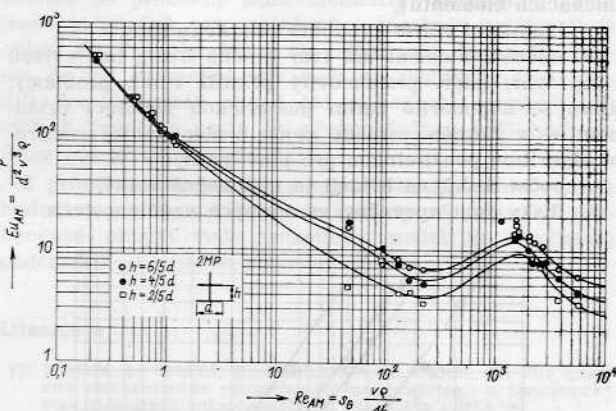
## VÝSLEDKY MĚŘENÍ

V laminární a přechodové oblasti, tj.  $Re_{AM}$  [0,1 až  $10^4$ ] byly proměřovány 4 základní typy míchadel (obr. 1). Pro měření byla využita tři uvedená média (voda, ředěná melasa, 100% melasa) a dvě hodnoty frekvence otáčení 25,5 až  $18 \text{ min}^{-1}$ . Výsledky jsou patrné z grafu na obr. 3. V soulase s dosavadními poznatky z oboru rotačních míchadel se hodnota kritického  $Re_{AM}$  u axiálního míchání rovněž pohybuje v rozmezí hodnot  $Re_{AM}$  (10–100). Z výsledků plyne i poznatek o vlivu hydraulického poloměru (vliv geometrie AM) na velikost kritériálního čísla  $Eu_{AM}$ . Čím je větší hydraulický průměr  $S_C$ , tím vyšší hodnoty nabývá příkonové číslo. Pořadí typů míchadel podle stoupající příkonové náročnosti je: MD, MO, ML, MP.

Pro stejný obor  $Re_{AM}$  byl zjišťován příkon pro dvě stejná míchadla typu MP umístěná na jednom hřídelu v závislosti na vzdálenosti  $h$  mezi míchadly. Byly zvoleny tři vzdálenosti  $h = \frac{2}{5}d$ ,  $\frac{4}{5}d$  a  $\frac{6}{5}d$ , kde  $d$  je průměr míchadla. Bissela a kol. uvádí pro dvě vrtulová míchadla, že příkon  $N_2$  je menší, nebo nejvýše roven dvojnásobku příkonu jednoho míchadla  $N_1$ . Uvedená závislost platí v turbulentní oblasti.

Jak plyne z výsledného grafu na obr. 4 i u axiálního míchání podobně jako u rotačního v laminární oblasti existuje závislost vyššího příkonu na zvětšující se vzdálenosti  $h$  obou míchadel. Markantní rozdíl se jeví v oboru  $Re_{AM} > 1000$ . V oboru  $Re_{AM}$  [0,1 až 1] jsou však rozdíly již zanedbatelné a nepostihnutebné. Průběh grafu dovozuje předpoklad, že v oblasti turbulentní by rozdíly byly průkaznější (větší). Srovnáním průběhu příkonového

kritéria pro míchadlo MP na obr. 3 (MP) a grafu na obr. 4 lze pozorovat větší příkonovou náročnost u dvou užitých míchadel. Zvláště patrné je v rozmezí  $Re_{AM}$  [0,1 až 1]. Jedno míchadlo MP může být považováno za dvě míchadla typu MP ( $h = 0$  „míchadla na sobě“) není-li uvažována jejich tloušťka.



Obr. 4. Příkonové charakteristiky dvojice míchadel MP

Další měření bylo věnováno otázce vztahu mezi příkonem a tvarem míchadel AM při vzdušnění promíchávané kapaliny. Kapalinou byla voda 18 °C teplá, o objemu 10 dm<sup>3</sup>. Vzdušnění bylo dáno hodnotou VVM 0,5. Distributorem vzduchu byla pružná tryska naší konstrukce. Poměrně nízká hodnota VVM byla volena záměrně, protože při hodnotách VVM blízké 1 množství vzduchu a jeho pohyb v systému již znatelně ovlivňoval (rozklíňoval) měřicí zařízení a jeho údaje nebyly reprodukovatelné. Vzhledem k možnostem zařízení ( $v_{max} = 12 \cdot 10^{-2} \text{ m.s}^{-1}$ ) a užitému médiu bylo měření omezeno na oblast  $Re_{AM}$  (200–4.10<sup>3</sup>). Byla zde možnost pracovat i s hodnotami  $Re_{AM} > 200$  užitím možných médií 100% melasa a ředěná melasa. Ovšem při aeraci médií tohoto typu vznikl jev tzv. „pudinkový efekt“, kdy vytvořené maxibubliny (spojení více bublin do jedné) vytvářely na hladině fumarolovitě prohlubně. Měření se provádělo při pohybu míchadla směrem vzhůru.

Byly prověřovány tyto typy míchadel: MP, MD, MO, ML. Získaná závislost je vynesena do grafu na obr. 5. V daném oboru je průběh příkonových charakteristik přímkový pro všechny čtyři typy AM při stejných hodnotách směrnice. I pro vzdušný systém se potvrdilo pravidlo o stoupající příkonové náročnosti se stoupající hodnotou hydraulického průměru  $S_C$ .

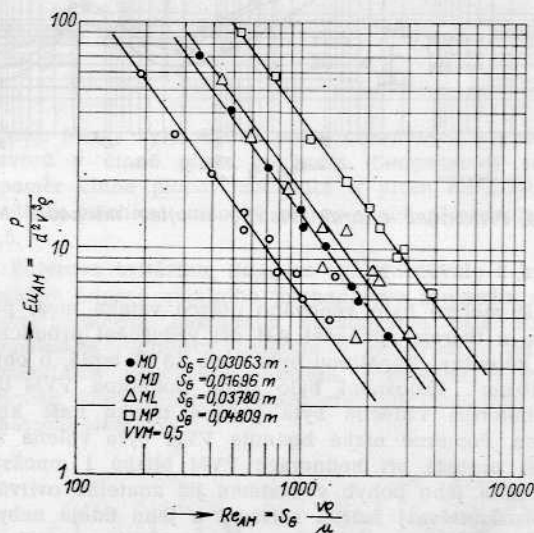
Problém při axiálním míchání je určení vztahu mezi množstvím plynu [VVM], rychlostí pohybu míchadla ( $v$ ) a vzestupnou rychlostí bublinek ( $v_b$ ). Zajímavá je oblast pro hodnoty  $v - V_b = 0$ , tj., kdy míchadlo je v relativním klidu vůči bublinkám. Problém by zasluhoval dostatečně prostudovat.

Pro obor rotačních míchadel bylo experimentálně potvrzeno (Karwat, Oyama, Aiba, Calderbank, Kafarov, Kudrna, Soifer aj.) [11], že při uvádění plynu do promíchávané kapaliny klesá příkon potřebný pro míchání. Tento pokles může být značný a uvádí se hodnota poklesu o 50–70 % vzhledem k příkonu pro míchané neaerované kapaliny. Pro orientační posouzení vlivu aerace na hodnotu příkonu pro axiální míchání byl vynesena graf na obr. 6. Z průběhů příkonových křivek není zatím potvrzený přílišný vliv aerace na pokles příkonu. Dokonce míchadlo MP (plné) má v případech aerace poněkud vyšší příkon ve střední oblasti užitých  $Re_{AM}$ .

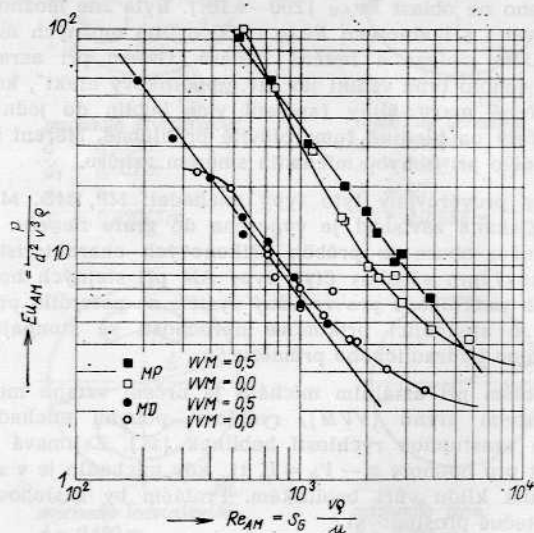
## MATEMATICKÝ POPIS PROUDĚNÍ V SYSTÉMU

Proudění v systému bylo modelováno řešením Navier-Stokesových rovnic. Byla uvažována maximálně zjednodušená varianta:

- stacionární stav (rovnoměrná translační rychlost míchacích elementů),
- laminární režim proudění (do  $Re_{AM} 100$ ),
- míchací element má tvar plného disku bez výřezu (jiný tvar, např. prstencovitý přináší velké problémy, které se nepodařilo zatím numerickou simulací zvládnout — v žádném případě nejde o mechanické rozšíření algoritmu použitelného pro plný disk),
- počet disků na hřídeli je nekonečně velký,
- disky jsou upevněny ve stejných vzdálenostech.



Obr. 5. Příkonové charakteristiky AM při aeraci



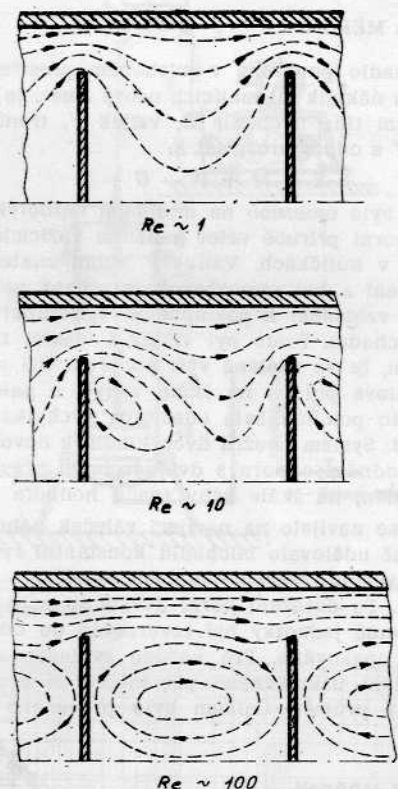
Obr. 6. Porovnání příkonových charakteristik

Pro numerické řešení byla použita metoda sítí a konvektivní členy byly nahrazeny tzv. protiproudými diferencemi, zajišťujícími stabilitu řešení pro libovolné hodnoty Reynoldsova kritéria. Oblast řešení je omezena dvěma sousedními disky a okrajové podmínky na hranici této oblasti jsou dvojího typu:

- zadávaná rychlost na stěnách (na povrchu disku) válcové nádoby,

— podmínka periodicity — totožnosti rychlostních profilů v mezikruhovém štěrbině mezi diskem a válcem.

Výsledkem řešení jsou hodnoty proudové funkce a vřivosti v uzlových bodech rovnoměrné sítě. Z nich jsou pak odvozovány axiální a radiální složky rychlostí. Kvalitativní obrázek o proudovém poli lze získat grafickým znázorněním proudnic (obr. 7).



Obr. 7. Grafické znázornění vypočtených proudnic

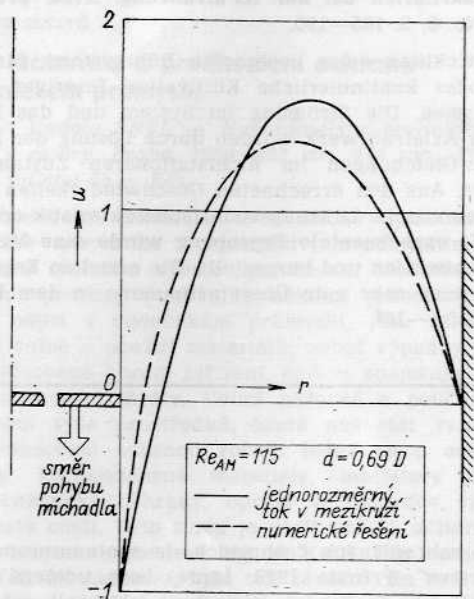
Z těchto obrázků je patrné, že při vyšších hodnotách Reynoldsova kritéria se vytváří mimo zóny cirkulující kapaliny v centru i zkratový tok v mezikruží.

Maximální hodnoty gradientu rychlostí jsou v každém případě na hraně disku a lze je odhadnout z vypočtených rychlostních profilů ve vstupní (výstupní) štěrbině (obr. 8). Plně vykreslený rychlostní profil odpovídá případu, kdy jednotlivé disky jsou nahrazeny plným souvislým válcem a numerické řešení (čárkovaná čára) naznačuje, že gradient rychlosti na obvodě disku bude vyšší než ten, který odpovídá uvedenému zjednodušenému modelu.

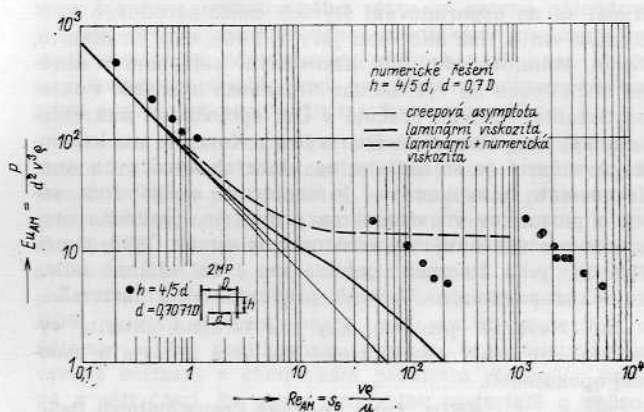
Z vypočtených rychlostí bylo možné stanovit i distribuci dissipovaného výkonu v celém sledovaném objemu míchadla a souhrnně tedy i příkonovou charakteristiku, aniž by bylo nutné zjišťovat rozložení pole tlaku. Průběh výkonu je patrný z obr. 8. Je zajímavé, že pro odhad příkonu jsou naprosto nepoužitelné charakteristiky disku v neomezeném prostředí ( $Eu = 8/Re$  v creepové oblasti), protože takto vypočtené  $Eu$  by byly řádově menší než skutečné. Vzhledem k tomu, že při vyšších hodnotách Reynoldsova kritéria se v mezikruží u stěny dissipuje až 80 % příkonu, blíží se vypočtené charakteristiky (plná čára) případu, kdy disky jsou nahrazeny plným válcem. Skutečný příkon v oblasti  $Re_{AM} > 100$  bude nepochybně vyšší než vypočtený, protože se projeví vliv numerické viskozity důsledkem protiproudého diferenčního přepisu (přírůstek dissipované energie korespondující numerické viskozitě je rovněž možné do řešení



alespoň přibližně zahrnout — čárkovaná čára) a současně přestává platit předpoklad laminarity toku. Průběh příkonové charakteristiky bylo nutno zjistit v této oblasti experimentálně.



Obr. 8. Axiální rychlostní profil ve štěrbině mezi plným diskem a pláštěm AM



Obr. 9. Numericky vypočtené příkonové charakteristiky — srovnání s experimentem

## SOUHRN VÝSLEDKŮ

Pro vybrané typy axiálních míchadel byly zjišťovány příkonové charakteristiky v závislosti na modifikovaných kritériálních číslech  $Eu_{AM}$  a  $Re_{AM}$  v oblasti laminární a přechodové. Použité zařízení umožnilo měření v rozsahu  $Re_{AM}$  {0,1—5,5.10<sup>3</sup>}. Bylo určeno pořadí typů proměřovaných míchadel podle stoupající příkonové náročnosti. Dále byla zjištěna příkonová charakteristika pro dvojici míchadel MP a příkonové charakteristiky míchadel při aeraci.

Charakter toku média při axiálním pulsačním míchání má zřejmě svá vlastní specifika oproti rotačnímu způsobu míchání, což se projevuje na průběhu příkonových charakteristik. Analogický průběh lze předpokládat u oblasti čistě laminární. Oblast přechodovou lze předpokládat u AM užší oproti RM.

U rotačního míchání existují dvě definované oblasti proudění, které na sebe přímo nenavazují, tj. oblast

čistě laminární a oblast vyvinuté turbulence. Existuje spojovací oblast — přechodová — kde setrvačné i viskózní síly jsou řádově stejné a přibližně stejně ovlivňují příkon. Tato oblast není skoková, což je zdůvodněno tím, že např. v oblasti míchadla je již proudění turbulentní a ve vzdálenějších oblastech míchaného objemu je proudění ještě laminární. Rozdělení turbulence je značně nerovnoměrné a zasahuje tudíž velkou oblast  $Re$ . Pravděpodobně lze odhadnout, že na šíři pásma  $Re$  má stoupající vliv hodnota rostoucího simplexu  $d/D$ . Pro sledovaný případ AM se hodnota simplexu  $d/D$  blíží k jedné a proto je předpokládána užší hodnota  $Re_{AM}$  pro přechodovou oblast.

Z průběhu teoretických a experimentálně stanovených hodnot je patrna dobrá shoda v creepové oblasti. V přechodové oblasti vede teoretický model ke značnému podcenění potřebného příkonu.

## Literatura

- [1] PLACEK, J., UJCOVÁ, E., MUSÍLKOVÁ, M., FENCL, Z.: Vliv intenzity mechanického promíchávání na morfologii a fyziologický stav vláknitých mikroorganismů. Přednáška CHISA '80.
- [2] CHLÁDEK, L. - GRÉE, R. a kol.: Experimentální provoz fermentoru 50 dm<sup>3</sup>. ZZ, VÚPP—OPI Praha 1979.
- [3] STREK, F.: Míchání a míchací zařízení. SNTL, Praha 1977.
- [4] CHLÁDEK, L. a kol.: Hydromechanika průtokových systémů pro potravinářské kapaliny z hlediska kontinuální procesy přenosu hmoty — axiální míchání, experimentální stanovení konstant, funkční model extrakčního stupně. ZZ, VÚPP—OPI, Praha 1976.
- [5] CHLÁDEK, L. a kol.: Intenzifikace přenosu hmoty — axiální míchání, experimentální stanovení konstant, funkční model extrakčního stupně. ZZ, VÚPP—OPI, 1977.
- [6] CHLÁDEK, L. a kol.: Intenzifikace přenosu hmoty — prohloubení teorie axiálního míchání. ZZ, VÚPP—OPI, 1978.
- [7] CHLÁDEK, L. a kol.: Intenzifikace přenosu hmoty — ověřování teorie pomocí funkčních modelů. ZZ, VÚPP—OPI, 1979.
- [8] REKTORYS, K.: Přehled užité matematiky. SNTL, Praha 1963.
- [9] RUSHTON, J. H. a kol.: Chem. Eng. Progr. 46, 1950, č. 8, s. 395.
- [10] NAGATA, S.: Mixing-principles and Applications (1975).
- [11] CALDERBANK, P. H., MOO-YOUNG, M. B.: Chem. Eng. Sci. 16, 1961, s. 39.
- [12] LINEK, V., VLČEK, V. aj.: Některé problémy při míchání kapalin s plyny. Sborník přednášek ČVTS, Dům techniky, Brno 1977, s. 42.
- [13] BIRD, R. B. a kol.: Přenosové jevy. Academia ČSAV, Praha 1968.
- [14] AIBA, S.: Bioinženýrství. Academia, Praha 1972.
- [15] Kolektiv: Míchání, stavba míchacích zařízení, ucpávky. Dům techniky, Brno 1977.
- [16] KARRER, D. - EINSELE, A. - FIECHTER, A.: Reactor Design for high Mass transfer rates and mixing efficiency. „Abstracts of 5th International Fermentation Symposium“, Z. Berlín, 1976.

Grée, R. - Chládek, L. - Šustr, J. - Žitný, R.: Příkonová kritéria axiálního míchání. Kvas. prům., 27, 1981, č. 8, s. 185—190.

Vývoj vhodného typu míchání pro šaržovitou nebo kontinuální kultivaci vláknitých mikroorganismů. Proudění v systému, míchaném axiálním míchadlem, bylo modelováno řešením Navier-Stokesových rovnic v nestacionárním stavu. Z vypočtených rychlostí byla stanovena teoretická příkonová charakteristika. Pro experimentální ověření byla navržena a vyrobena měřicí aparatura. Získané výsledky prokázaly velmi dobrou shodu v oblasti  $Re$  0,1—10<sup>4</sup>.

Грээ, Р. - Хладек, Л. - Шустр, Я. - Житны, Р.: Критерии потребляемой мощности аксиального перемешивания. Квас. прум., 27, 1981, № 8, стр. 185—190.

Разработка удобного способа перемешивания для культивирования по партиям или непрерывно волоконно-образных микроорганизмов. Течение в системе, перемешивание при помощи аксиальной мешалки моделировалось при помощи решения уравнений Навьер-Стокса в нестационарном состоянии. Из вычисленных скоростей

была установлена теоретическая потребляемая мощность. Для экспериментальной проверки была предложена и создана измерительная аппаратура. Полученные результаты показали весьма удовлетворительное сходство в области  $Re$  0,1—10<sup>4</sup>.

**Grée, R. - Chládek, L. - Šustr, J. - Žitný, R.: The Power Functions of Axial Mixing.** Kvas. prům. 27, 1981, No. 8, pp. 185—190.

The development of a suitable type of mixing for the batch or continuous fermentation of the fibrous micro-organism. The streaming in the system, the mixing by the axial stirrer was formed by solving the Navier-Stokes' equations in the non-steady state. From the calculated velocity values was determined the theoretical power function. For the experimental verification was proposed and realised the measuring device. The

obtained results have shown a very good concord in the range  $Re$  number 0,1—10<sup>4</sup>.

**Grée, R. - Chládek, L. - Šustr, J. - Žitný, R.: Leistungsbedarfskriterien bei der Axialrührung.** Kvas. prům. 27, 1981, No. 8, S. 185—190.

Entwicklung eines geeigneten Rührsystems für chargen- oder kontinuierliche Kultivation faseriger Mikroorganismen. Die Strömung im System und das Rühren mittels Axialrührwerk wurden durch Lösung der Navier-Stokes-Gleichungen im nichtstationären Zustand modelliert. Aus den errechneten Geschwindigkeiten wurde die theoretische Leistungsbedarfscharakteristik ermittelt. Für die experimentale Erprobung wurde eine Meßapparatur entworfen und hergestellt. Die erzielten Ergebnisse zeigen eine sehr gute Übereinstimmung in dem Bereich von  $Re$  0,1—10<sup>4</sup>.