

UDK 66-9:66.094.34:66.063.8

Vpliv razdalje med turbinskimi mešali na porabo energije pri dispergiranju

ANDREJ BOMBAČ

Poraba energije je v tehnologiji mešanja osnovna veličina, ki vpliva na čas mešanja, reakcijski čas, koeficient prenosa toplote itd. Neposredno vpliva tudi na izdelovalne stroške v farmacevtski [1] kakor tudi drugih panogah procesne industrije. Pri fermentaciji pogosto uporabljamo vitke okrogle reaktorje, opremljene z motilniki toka, obročnim razpršilnikom plina in središčno nameščenimi turbinskimi mešali.

Neprimerna razdalja med posameznimi mešali pri večstopenjski izvedbi vpliva hkrati na porabo energije ter na učinkovitost mešanja. Pri višini namestitve enega mešala $h = H/3$, kjer je H višina kapljevine v posodi, je poraba energije za dispergiranje plina v spodnjem delu posode večja kakor pri $h = H/4$ [2]. Pri namestitvi več mešal na isti gredi nas predvsem zanima, kako vpliva sprememba geometrijskih parametrov na porabo energije. Richards [3] je pri raziskavi porabe energije pri mešanju brez dodajanja zraka odkril optimalno razdaljo med mešali h_1 pri $h_1/d = 1,5$, kjer je d premer mešala. Henzler [4] je za večstopenjsko turbinsko mešalo, ki ne povzroča protismernega toka, izdelal kriterij za porabo energije, ki pa se v primerjavi z meritvami na industrijskih napravah drugih avtorjev ujema le v območju $\pm 30\%$, razdalja med mešali pa mora ustrezati pogoju $h_1/D \geq 0,75$ pri $d/D = 0,2$ do $0,42$, pri tem je D premer posode. Pri večstopenjskem mešalu je poraba energije enaka zmnožku števila mešal in porabljene energije za eno mešalo.

Po Möcklu [5] je razmerje moči P_g/P_0 pri $h_1/d = 1,83$ različno za eno, dve oziroma tri mešala. Na splošno ugotavlja, da je poraba energije višje ležčega mešala v posodi večja od porabe energije spodnjega mešala. Do podobnih ugotovitev sta prišla tudi Nienow in Lilly [6], ko sta proučevala porabo energije pri dispergiranju ob razdalji med mešali $h_1/d = 1$. Nauman [7] pojasnjuje izsledke raziskav tovarne Philadelphia Mixers. Gre za tako imenovano stožčasto porazdelitev moči po mešalih za doseganje optimalnega delovanja fermentorja. S to metodo je mogoče prihraniti do 25 odstotkov energije. V primeru tristopenjskega mešala porabi zgornje mešalo $1/6$, srednje $1/3$ in spodnje $1/2$ celotne mehanske energije. Značilna sestava takšnega sklopa je uporaba »hydrofoil« mešala za zgornje mešalo, turbinskega mešala s poševnimi lopaticami za srednje mešalo in Rushtonovega turbinskega mešala za spodnje mešalo. Moresi in Patete [8] sta za proučevanje porabe energije pri dispergiranju uporabila razmerje $h_1/d = 0,58$ do $3,16$.

Rezultate meritev sta primerjala z izračunanimi vrednostmi drugih avtorjev in ugotovila največji povprečni odstopek 24,6 %. Za izračun porabe energije večstopenjskega mešala pri dispergiranju priporočata uporabo modela, ki upošteva medsebojno oddaljenost mešal.

Da bi prikazali vpliv različne razdalje med mešali na isti gredi na porabo energije, smo na mešalni napravi s premerom posode $D = 450$ mm in s premerom mešal $d = 150$ mm razdalje med mešali spreminjali ($h_1 = 340, 270$ in 200 mm), skladno s h_1 pa tudi višino vode v posodi $H = D + h_1$. Višini namestitve prvega mešala $h = 150$ mm in obročnega razpršilnika zraka $h_r = h/2$ od dna posode pa sta bili stalno enaki. Pri različnih vrednostih Froudovega števila $Fr = n^2 d/g$, pretočnega števila $Q = q/(n d^3)$ in medsebojni razdalji med mešali h_1 smo merili vrednosti Newtonovega števila $Ne = P/(\rho n^3 d^5)$, kjer pomenijo n - vrtilno hitrost mešala, q - prostorninski tok zraka, g - zemeljski pospešek, P - moč mešala in ρ - gostoto vode. Slika 1 prikazuje rezultate meritev pri podanih geometrijskih razmerjih za različna Froudova števila. Za primerjavo so izrisane krivulje po kriteriju [5], ki velja za dve mešali

$$P_g/P_0 = 1 / \left(1 + 490 v_g / (g D)^{0,5} \right)^{0,5},$$

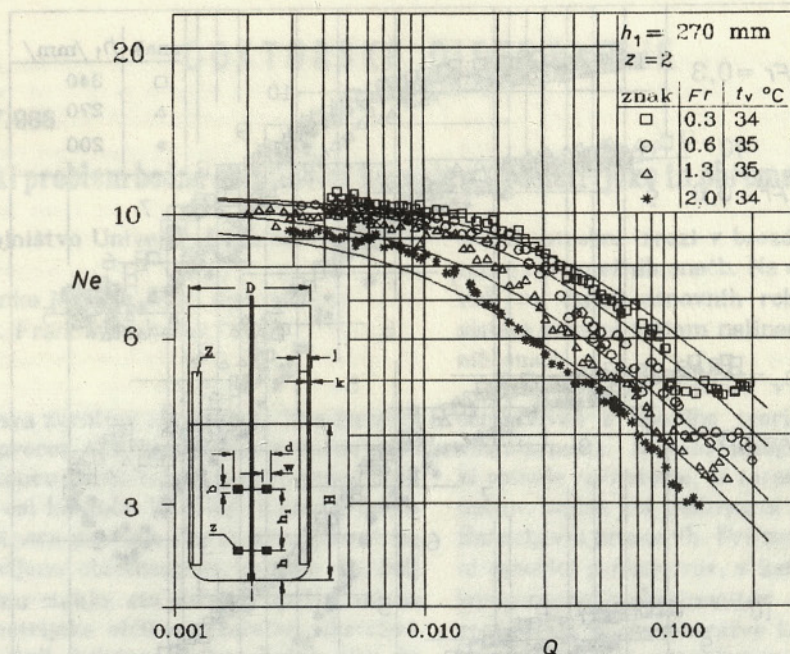
$$v_g = 4 q / \pi D^2.$$

P_0 pomeni moč mešala brez dovajanja zraka in jo izrazimo iz začetne vrednosti Newtonovega števila

$$P_0 = Ne_0 \rho n^3 d^5.$$

S slike 1 je razvidno, da so merjene vrednosti Newtonovega števila pri različnih vrednostih pretočnega števila Q v povprečju za okoli 8 odstotkov večje od izračunanih, v pasu $0,02 < Q < 0,04$ se merjene vrednosti ujemajo z izračunanimi z natančnostjo $\pm 0,7\%$, pri $Q > 0,04$ pa je povprečje merjenih vrednosti Newtonovega števila za okoli 6 odstotkov manjše od izračunanih.

Za razliko od drugih kriterijev porabe energije [4], [9], [10], [11], ki izrazijo absolutno vrednost Ne števila, po Möcklu ugotavljamo razmerje moči med mešanjem z dodajanjem zraka in brez. Za začetno vrednost Newtonovega števila smo uporabili poprej izmerjene vrednosti [12] pri različnih geometrijskih



Sl. 1. Izmerki Newtonovega števila Ne in izračunane vrednosti po Möcklu za različna Froudeova števila Fr v odvisnosti od pretočnega števila Q .

parametrih in Froudovih številih. Pri večkratnem ponavljanju meritev se je izkazalo, da začetna vrednost Newtonovega števila ob pogoju $Re > 2 \cdot 10^4$ za različna Froudeova števila ni enaka, kakor to predvidevajo nekateri avtorji [4], [9], [10], [11]. Do podobnih rezultatov so prišli tudi nekateri drugi raziskovalci pri preučevanju vpliva oblike posode, debeline diska mešala, razmerja d/D itd. na porabo energije pri dispergiranju. Preglednica podaja vpliv razdalje med mešali na začetne vrednosti Newtonovih števil:

h_1 mm	$\bar{Ne}_0$	$\Delta \bar{Ne}_0 (Fr)$	%
200	10,13	1,85	18,3
270	10,40	1,29	12,4
340	10,64	0,92	8,6

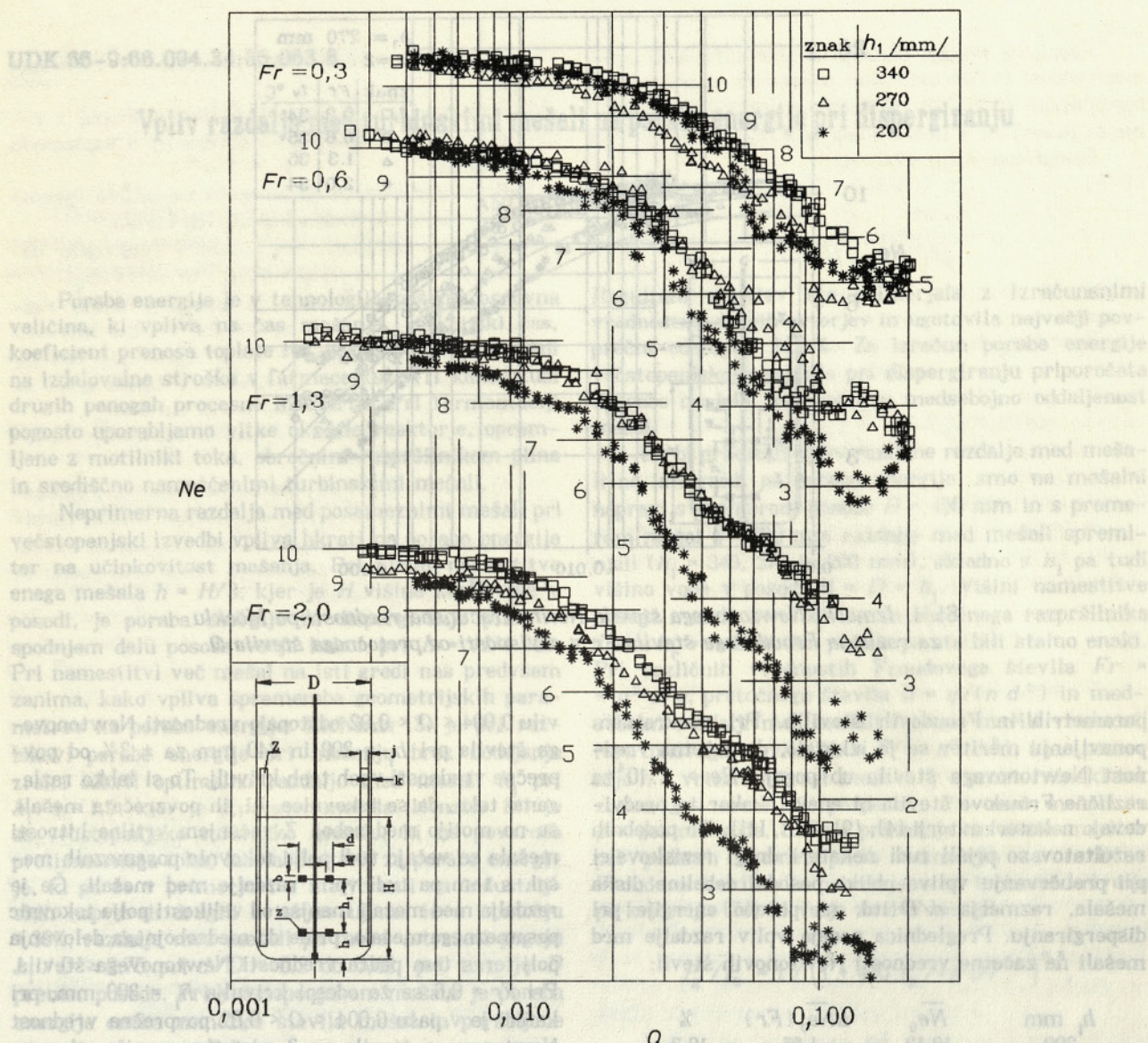
Pri tem pomeni $\bar{Ne}_0$ povprečno vrednost začetnih vrednosti Newtonovih števil pri $Fr = 0,3, 0,6, 1,3, 2,0$ in h_1 , $\Delta \bar{Ne}_0 (Fr)$ pa pomeni razliko začetnih vrednosti $\bar{Ne}_0 (0,3) - \bar{Ne}_0 (2,0)$. Vidimo, da je odstopanje od povprečne vrednosti Newtonovih števil največje pri najmanjši razdalji med mešali. Zmanjševanje razdalje med mešali torej direktno vpliva na začetne vrednosti Newtonovega števila pri posameznih Froudovih številih.

Podobne razmere veljajo tudi pri mešanju z dovajanjem zraka. Slika 2 prikazuje merjene vrednosti Newtonovega števila pri podanih razdaljah med mešali in Froudovih številih v odvisnosti od pretočnega števila. Čeprav je glede najmanjše razdalje med mešali zadoščeno več pogojem [4], [5], [8], opazimo, da se krivulje h_1 pri $Fr = 0,3$ medsebojno prepletajo, vpliv spremembe h_1 pa je zelo majhen. Pri pretočnem šte-

vilu $0,004 < Q < 0,02$ odstopajo vrednosti Newtonovega števila pri $h_1 = 200$ in 340 mm za $\pm 3\%$ od povprečne vrednosti vseh treh krivulj. To si lahko razlagamo tako, da se tokovnice, ki jih povzročata mešali, še ne motijo med seboj. Z večanjem vrtilne hitrosti mešala se večajo tudi polja tokovnic posameznih mešal, s tem pa tudi vpliv razdalje med mešali. Če je razdalja med mešali manjša od velikosti polja tokovnic posameznega mešala, pride do medsebojnega delovanja polj ter s tem padca vrednosti Newtonovega števila. Pri $Fr = 0,6$ se že odcepi krivulja $h_1 = 200$ mm, pri kateri je v pasu $0,004 < Q < 0,02$ povprečna vrednost Newtonovega števila za 3 odstotke manjša od povprečja vseh treh krivulj, pri $Fr = 1,3$ in $2,0$ pa za 11 odstotkov.

Krivulji $h_1 = 270$ mm in $h_1 = 340$ mm se pri $Fr = 1,3$ še medsebojno prepletata, pri $Fr = 2,0$ pa se že pojavi opazna razmejitev. Na zmanjšanje moči pa pri podanih razdaljah med mešali izrazito vpliva tudi pretočno število. V območju $0,04 < Q < 0,12$ in pri $Fr = 0,3$ je povprečna vrednost Newtonovega števila pri $h_1 = 200$ mm za 15 odstotkov manjša od povprečne vrednosti Newtonovega števila pri $h_1 = 340$ mm; v istem območju pretočnega števila in ob istih razdaljah med mešali ter pri $Fr = 2,0$ pa znaša ta razlika že -32% . Pri krivulji $h_1 = 200$ mm in pri vseh vrednostih Froudeovega števila opazimo velik raztros merjenih vrednosti v področju $Q > 0,1$, kar lahko ob izrazitem zmanjšanju moči pomeni poplavno stanje.

Rezultati meritev kažejo, da bi bilo v prihodnje pri izdelavi kriterija za porabo energije pri dispergiranju vsekakor treba nujno upoštevati tudi razdaljo med mešali.



Sl. 2. Izmerki Newtonovega števila Ne za različne razdalje med mešali h , v odvisnosti od pretočnega števila Q .

LITERATURA

- [1] Oprešnik, M.- Opara, M.: Najmanjša poraba energije pri fermentacijskem postopku. StrojV 32 (1986) 10, 149-151.
- [2] Bujalski, W.- Nienow, A. W.- Chatwin, S.- Cooke, M.: The Dependency on Scale of Power Numbers of Rushton Disc Turbines. Chemical Engineering Science, 42 (1987) 2, 317-326.
- [3] Richards, J. W.: Power Input to Fermenters and Similar Vessels. Brit. Chem. Eng., 8 (1963) 158-163.
- [4] Henzler, H. J.: Verfahrenstechnische Auslegungsmöglichkeiten für Rührbehälter als Fermenter. Chem.-Ing.-Tech. 54 (1982) 5, 461-476.
- [5] Möckel, H.O.- Weißgärber, H.- Börner, K.: Der Leistungseintrag in belüfteten Rührsystemen mit niedrigviskosen Medien. Chem. Techn. 35 (1983) 7, 344-347.
- [6] Nienow, A. W.- Lilly, M. D.: Power Drawn by Multiple Impellers in Sparged Agitated Vessels. Biotechnol. Bioeng., 21 (1979) 2341-2346.
- [7] Nauman, E. B.- Etchells, A. W.- Tattersson, G. B.: Mixing : The State of the Art. Chemical Engineering Progress, 84 (1988) maj, 58-69.
- [8] Moresi M.- Patete, M.: Prediction of $k_L a$ in Conventional Stirred Fermenters. J. Chem. Tech. Biotechnol. 42 (1988) 197-210.
- [9] Kipke, K. D.: Berechnung von begasten Rührorganen. EKATO Rühr- und Mischtechnik GmbH, prospekt.
- [10] Miller, D. N.: Scale up of Agitated Vessels Gas-Liquid Mass Transfer, AIChE Journal 20 (1974) 3, 445-453.
- [11] Zlokarnik, M.: Rührleistung in begasten Flüssigkeiten. Chem.-Ing.-Tech. 45 (1973) Nr.10a, 689-692.
- [12] Oprešnik, M.- Opara, M.: Poročilo C2-0531-782-88. FS, Ljubljana, 1988.

Avtorjev naslov: Andrej Bombač, dipl. inž.,
SMELT, Titova 184,
Ljubljana