

UDK 66-9: 66.063. 8

Zanesljivost določevanja moči pri dispergiranju s turbinskim mešalom

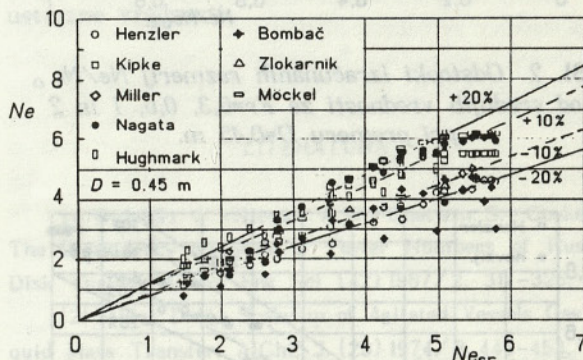
MIRAN OPREŠNIK - MIRKO OPARA

Potrebno moč za pogon turbinskega mešala pri dispergiranju zraka lahko računamo z različnimi enačbami. Vprašanje pa je, s kolikšno zanesljivostjo lahko danes izračunamo ustrezne vrednosti, saj se rezultati posameznih avtorjev med seboj precej razlikujejo. Zato smo izbrali enačbe nekaterih avtorjev ter po njih izračunali ustrezne vrednosti za mešanje kapljavine z lastnostmi vode v območju njihovih veljavnosti.

Iz vseh teh vrednosti smo določili srednje vrednosti za Froudova števila $Fr = d n^2 / g = 0,3, 0,6, 1$ in 2 , za premere reaktorskih posod $D = 0,2, 0,45, 1$ in 3 m ter za pretoke zraka, ki ustrezajo pretočnim številom $Q = q / (n d^3) = 0,002$ do $0,2$. Pri enem mešalu na gredi je bilo razmerje med višino polnjenja H in premerom posode $H/D = 1$, razmerje med premerom mešala d in premerom posode pa $d/D = 0,33$. Tudi pri večstopenskem mešalu je bilo razmerje med reducirano višino polnitve $H^* = H - (z - 1)h$ in premerom posode $H^*/D = 1$. Pri tem je z število mešal na gredi, h pa razdalja med posameznimi mešali. Rezultate prikazujemo v obliki Newtonovega števila $Ne = P / (\rho n^3 d^5)$ ali pa v obliki razmerja Ne/Ne_0 , kjer je Ne_0 začetna vrednost Newtonovega števila pri pogonu brez dovajanja zraka. Ta drugi prikaz je bolj ustrezen, saj izloči vpliv začetnih vrednosti, ki se pri različnih avtorjih in pri različnih izvedbah zelo razlikujejo, od $2,47$ do $6,4$ pri enem mešalu na gredi [1], [2], [3], [4].

Pri raziskavi smo uporabili enačbe naslednjih avtorjev: Millerja [2], Henzlerja [3], Kipkeja [4], Nagate [5], Hughmarka [6], Möckla in sodelavcev [7], Zlokarnika [8] in Bombača [9]. Miller vzame začetne vrednosti po Rushtonu, za naš primer obdelave smo vzeli vrednost $Ne_0 = 6$, Henzler operira z vrednostjo $4,9$.

Pri Kipkeju smo iz njegovega diagrama Ne, Q skorelirali enačbo, po strukturi podobno Zlokarnikovi, ki pa zajema tudi Froudova števila. Začetna vrednost je $5,5$. Bombač računa začetne vrednosti v odvisnosti od razdalje med mešali, Reynoldsovega števila in višine polnitve. Drugi avtorji vedno računajo z razmerjem med močjo pri dovodu zraka in močjo brez dovajanja zraka. Pri računanju Ne števil smo pri teh avtorjih upoštevali začetno vrednost po Millerju.

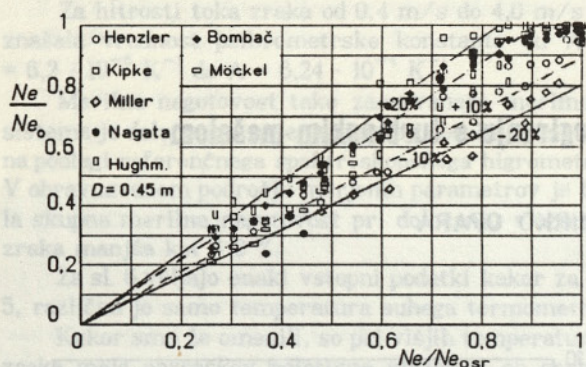


Sl. 1. Odstopki izračunanih vrednosti Ne števil od srednjih vrednosti za $Fr = 0,3, 0,6, 1$ in 2 pri premeru $D = 0,45$ m

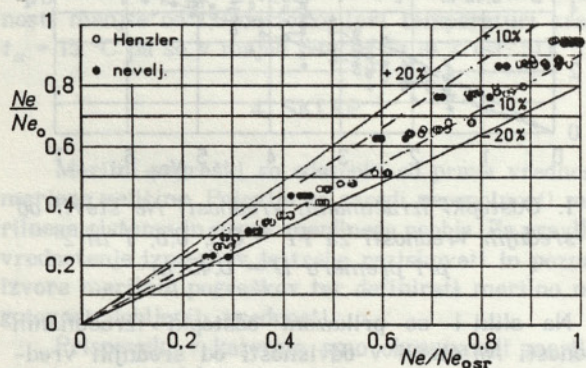
Na sliki 1 so prikazani odstopki izračunanih vrednosti Ne števil v odvisnosti od srednjih vrednosti Ne_{sr} pri premeru posode $D = 0,45$ m. V diagram so za informacijo vnesene tudi vrednosti, ki pri izračunu srednjih vrednosti niso bile upoštevane, ker so prekoračile veljavnost danih modelov. Tu so vidni predvsem veliki odstopki pri Bombaču pri $Fr = 2$, kjer je npr. Reynoldsovo število prekoračilo omejitev veljavnosti. Ta primer lepo potrjuje, da je ekstrapolacija vrednosti vedno vprašljiva. Pri večjih pretokih in večjih Froudovih številih se precej razlikujejo tudi vrednosti po Nagati v negativni smeri ter vrednosti po Hughmarku v pozitivni smeri. Opazimo lahko tudi, da so veliki odstopki pri Henzlerju, kar pa je razumljivo, saj so vrednosti začetnega Newtonovega števila $Ne_0 = 4,9$ majhne v primerjavi z drugimi. V celoti so odstopki posameznih izračunanih vrednosti od srednjih v območju ± 30 odstotkov.

Na sliki 2 so prikazana izračunana razmerja Newtonovih števil Ne/Ne_0 v odvisnosti od srednjih vrednosti. Tudi tu velja enaka ugotovitev kot prej za vrednosti po Nagati in Hughmarku, nekoliko večji odstopki v negativni smeri pa kažejo vrednosti po Millerju, v pozitivni pa po Kipkeju. Vse druge vrednosti so zajete v območju ± 20 odstotkov.

Odstopki vrednosti posameznih avtorjev od srednjih vrednosti so bolj razvidni na posameznih prikazih. Tako so na sliki 3 prikazani odstopki razmerij po Henzlerju za vsa izračunana Fr števila in



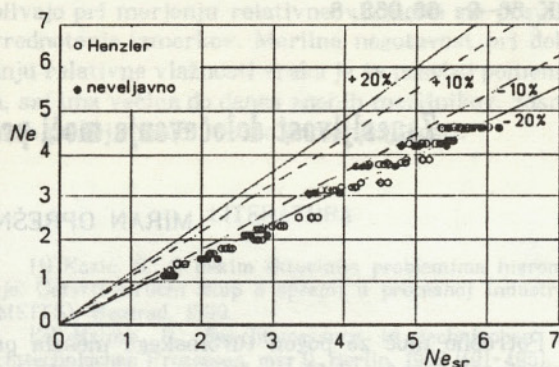
Sl. 2. Odstopki izračunanih razmerij Ne/Ne_0 od srednjih vrednosti za $Fr=0,3, 0,6, 1$ in 2 pri premeru $D=0,45$ m.



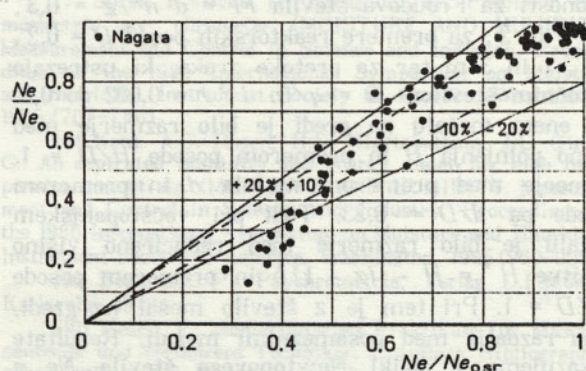
Sl. 3. Odstopki po Henzlerju izračunanih razmerij Ne/Ne_0 od srednjih vrednosti za $Fr=0,3, 0,6, 1$ in 2 pri premerih $D=0,2, 0,45, 1$ in 3 m. Pri $Fr=2$ je prekoračena veljavnost enačbe.

za vse premere posod. Prikazane so pa tudi vrednosti pri $Fr = 2$, čeprav je pri tej vrednosti veljavnost enačbe že prekoračena. Za veljavne vrednosti so odstopki v območju od $+10\%$ do -16% . Veliko manjše vrednosti pokaže slika 4, kjer so nanesena Ne števila. Vidimo, da so izračunane vrednosti bistveno manjše od srednjih, kar ustreza manjši vrednosti začetnega števila Ne_0 . Zanimiva je še primerjava vrednosti po Nagati (sl. 5), kjer se lepo vidijo že prej omenjeni veliki odstopki.

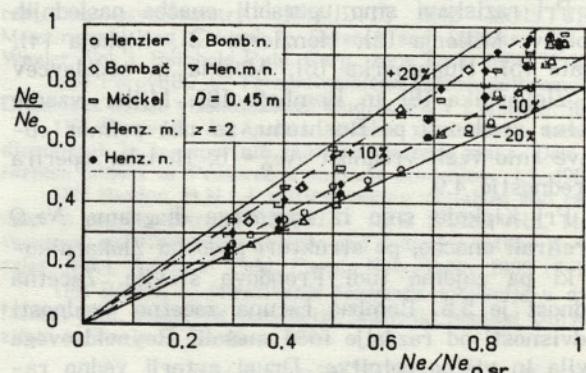
Za dve mešali na gredi smo uporabili modele po Henzlerju, Möcklu in Bombaču. Dodatno pa smo izračunali in prikazali tudi modificirane vrednosti po Henzlerju z začetno vrednostjo $Ne_0 = 6$. Vrednosti so izračunane za premer posode $D = 0,45$ m. Na sliki 6 so prikazana razmerja Ne/Ne_0 . Pri tem so vrisane tudi nekatere neveljavne vrednosti. Vidimo, da so vrednosti zajete v območju ± 20 odstotkov. Vrednosti Ne števil pa se razlikujejo tudi za več ko 40 odstotkov od srednjih vrednosti.



Sl. 4. Odstopanje po Henzlerju izračunanih vrednosti Ne števil od srednjih vrednosti za $Fr=0,3, 0,6, 1$ in 2 pri premerih $D=0,2, 0,45, 1$ in 3 m. Pri $Fr=2$ je prekoračena veljavnost enačbe.

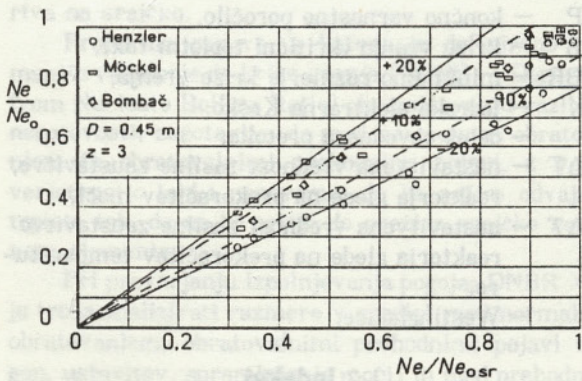


Sl. 5. Odstopki po Nagati izračunanih razmerij Ne/Ne_0 od srednjih vrednosti za $Fr=0,3, 0,6, 1$ in 2 pri premerih $D=0,2, 0,45, 1$ in 3 m.



Sl. 6. Odstopki izračunanih razmerij Ne/Ne_0 od srednjih vrednosti za $Fr=0,3, 0,6, 1$ in 2 pri $D = 0,45$ m in dvostopenjskem mešalu.

Pri treh mešalih na gredi je razmerje Ne števil za premer posode $D = 0,45\text{ m}$ prikazano na sliki 7. Tu je območje veljavnosti pri Bombaču samo za $Fr = 0,3$ in $0,6$, pri Henzlerju pa še za $Fr = 1$. Izračunane vrednosti po Möcklu so zelo velike. Tako je npr. pri $Fr = 1$ in $Q = 0,002$ Newtonovo število po Möcklu $Ne_{Mö} = 17,49$, po Henzlerju pa $Ne_H = 13,84$, pri $Q = 0,2$ pa je $Ne_{Mö} = 6,82$ in $Ne_H = 3,85$. Razen pri Henzlerju so tudi tu razmerja v območju ± 20 odstotkov.



Sl. 7. Odstopki izračunanih razmerij Ne/Ne_0 od srednjih vrednosti za $Fr = 0,3, 0,6, 1$ in 2 pri $D = 0,45\text{ m}$ in tristopenjskem mešalu.

Zanimiva je še primerjava začetnih vrednosti Newtonovega števila Ne_0 . V območju veljavnosti smo vrednosti izračunali po Bujalskem s sodelavci [1], ki je določil zelo natančne vrednosti Newtonovih števil Ne_0 in po Bombaču [9], za primerjavo pa dodali še vrednosti po Henzlerju, Kipkeju in Millerju. Vrednosti Ne_0 so prikazane v naslednji preglednici (v oklepaju so vrednosti, ki so prekoračile veljavnost enačbe):

Henzler	4,9	Miller _{min}	6
Kipke	5,5	Miller _{maks}	6,4

$D\text{ [m]}$	0,2	0,45	1	3
Bujalski _{min}	4,10	4,32	4,55	(4,89)
Bujalski _{maks}	5,66	5,96	6,28	(6,74)
Bujalski _{sr}	4,88	5,14	5,42	(5,82)
Bombač _{min}		4,21		
Bombač _{maks}		5,27		

Iz navedenega izhaja, da so vrednosti razmerij Ne/Ne_0 pri večini uporabljenih modelov v območju $\pm 20\%$ od srednjih vrednosti, medtem ko se lahko vrednosti Ne števil pri posameznih modelih močno razlikujejo. Na to vplivajo začetne vrednosti Newtonovih števil Ne_0 , ki pa jih danes morda vsaj pri manjših premerih posod že kar zadovoljivo določimo. Izkaže se tudi, da dajo posamezni modeli pri določenih obratovalnih pogojih nesprejemljive rezultate (npr. sl. 5 pri vrednostih $Ne/Ne_{0sr} < 0,5$). Zato je koristno izračunati vrednosti po več modelih in se šele na temelju zadostnega ujemanja odločiti za ustrezne vrednosti.

LITERATURA

[1] Bujalski, W. – Nienow, A.W. – Chatwin, S. – Cooke, M.: The Dependency on Scale of Power Numbers of Rushton Disk Turbine. Chem Eng Sci (42) 1987/2. 317-326.
[2] Miller, D.N.: Scale-up of Agitated Vessels Gas-Liquid Mass Transfer. AIChE J. (20) 1974/3. 445-453.
[3] Henzler, H.-J.: Verfahrenstechnische Auslegungsbilder für Rührbehälter als Fermenter. Chem.-Ing.-Tech. (54) 1982/5. 461-476.
[4] Kipke, K.: Berechnung von begasten Rührorganen. EKATO Rühr- und Mischtechnik.
[5] Nagata, S.: Mixing. Zal.: Kodanska LTD. Tokyo 1975.
[6] Hughmark, G.: Power Requirements and Interfacial Area in Gas-Liquid Turbine Agitated Systems. Ind. Engng. Chem. Proc. Des. Dev. (19) 1980/4. 638-641.
[7] Möckel, H.-O. – Weißgärber, H. – Börner, K.: Der Leistungseintrag in belüfteten Rührsystemen mit niedrigviskosen Medien. Chem. Techn. (35) 1983/7. 344-347.
[8] Zlokarnik, M.: Rührleistung in begasten Flüssigkeiten. Chemie-Ing.-Techn. (45) 1973/10a. 689-692.
[9] Bombač, A.: Poraba energije pri dispergiranju zraka v vodi s turbinskim mešalom. Magisterij. Fakulteta za strojništvo. Ljubljana. 1990.

Naslov avtorjev: prof. dr. Miran Oprešnik, dipl. inž.,
Fakulteta za strojništvo, Ljubljana,
prof. dr. Mirko Opara, dipl. inž.,
SMELT, Ljubljana.