

UDK 530.17:66.063.86

Vpliv snovskih lastnosti na obratovanje fermentorja

MIRAN OPREŠNIK - MIRKO OPARA

1. UVOD

Pri mešalnih procesih sta potrebna moč in količina prenesene toplote odvisni tudi od snovskih lastnosti vsebine reaktorja. Vplivi konstrukcijskih lastnosti na prenos toplote ter vplivi obratovalnih razmer so bili že raziskani [1], [2], [3], [4]. Pri tem smo eksperimentalne vrednosti primerjali z izračunanimi po različnih modelih. Za nekatere snovske lastnosti vsebine reaktorja smo imeli zadovoljive podatke, nekaj vrednosti lastnosti pa smo morali oceniti. Ker v praksi običajno nimamo vseh želenih podatkov in smo zato prisiljeni uporabljati različne ocene, smo raziskali, kako nenatančni podatki vplivajo na izračunane vrednosti.

2. IZHODIŠČA ZA IZRAČUN

Vplive nenatančnih podatkov o snovskih lastnostih vsebine reaktorja smo vrednotili za industrijski reaktor s premerom $D = 3,3\text{ m}$, premerom turbinskega mešala $d = 1,1\text{ m}$ in štirimi mešali, nameščenimi na gredi. Razmerje med polnilno višino in premerom posode je $H/D = 2,3$. Potrebna moč je računana po Nagati [5]

$$\log \frac{P_g}{P_o} = -192 \left(\frac{d}{D} \right)^{4,38} Re^{0,115} Fr^{1,96} (d/D) Q.$$

Pri tem je P_g moč za pogon mešala ob dovajanju zraka, P_o pa moč za pogon brez dodajanja zraka

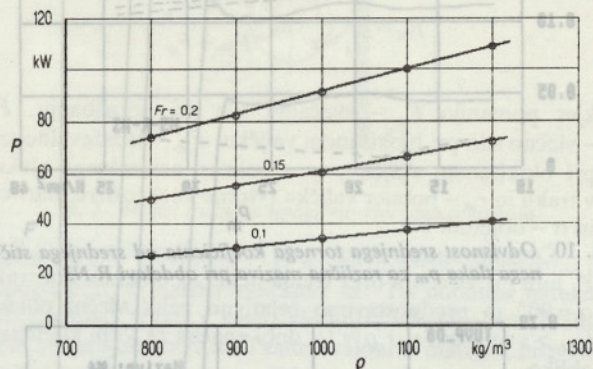
$$P_o = Ne_o Q n^3 d^5$$

z Newtonovim številom pri obratovanju brez dodajanja zraka $Ne_o = 5,19$. Pri izračunu moči je upoštevan tudi izkoristek mešala. Izračun vsakokrat upošteva tudi moč, potrebno za pogon kompresorja. Gostoto smo spreminjali za $\pm 20\%$ od srednje vrednosti. Izračun upošteva vpliv spremembe gostote vsebine na moč, potrebno za pogon mešala za različna Froudova števila Fr , vendar v vseh primerih za enak prostorninski pretok zraka, računana na normalnostanje $q_n = 800\text{ m}^3/\text{h}$. Izračun je za $Fr = 0,1$, $Fr = 0,15$ in $Fr = 0,2$ prikazan na sliki 1 in kaže zvečevanje potrebne moči z zvečevanjem gostote vsebine reaktorja.

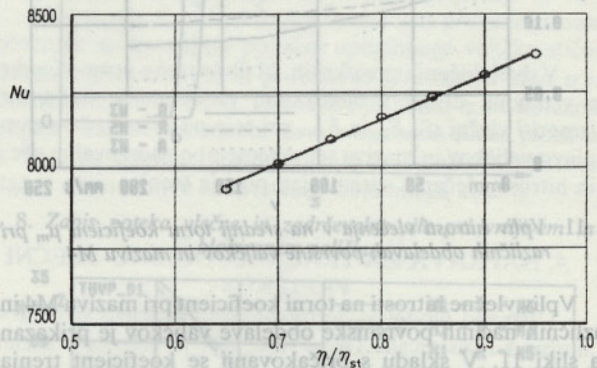
Več je vplivov na razmere pri prenosu toplote. Pri teh izračunih smo Nusseltovo število za določitev toplotne prestopnosti računali po Henzlerju [6]

$$Nu = 0,73 Re^{2/3} Pr^{1/3} (\eta/\eta_{st})^{0,14}.$$

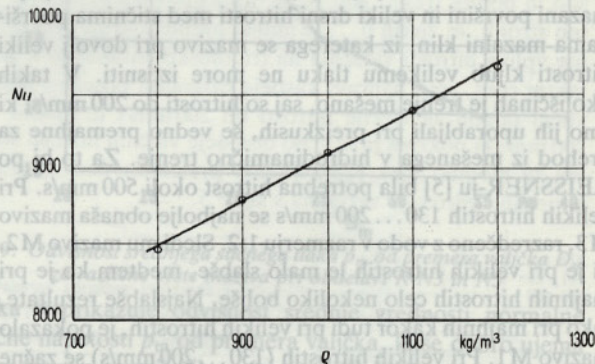
Pri tem je Reynoldsovo število $Re = n d^2/\nu$, Prandtlovo število $Pr = \rho c \nu/\lambda$ in toplotna prestopnost $\alpha_1 = Nu \lambda/D$. c je specifična toplota in λ toplotna prevodnost vsebine reaktorja. Vsi naslednji izračuni so potekali v enakih obratovalnih razmerah $n = 70\text{ vrt/min}$ in $q_n = 800\text{ m}^3/\text{h}$. Vsakokrat smo spremenili samo opazovano vrednost. Na sliki 2 je



Sl. 1: Moč za različna Fr števila v odvisnosti od gostote



Sl. 2: Vpliv kvocienta viskoznosti



Sl. 3: Vpliv gostote na Nu število

prikazan vpliv dinamične viskoznosti, ki je pri temperaturi stene η_{st} različna od viskoznosti pri temperaturi vsebine η , na sliki 3 pa je prikazan vpliv spremembe gostote vsebine na Nusseltovo število.

Pri izračunu celotne prenesene toplote smo upoštevali, da je reaktorska posoda obdana s privarjeno polcevjjo, skozi katero se pretaka hladilna voda. Nusseltovo število za določitev toplotne prestopnosti v cevi je za turbulentni tok izračunano po Gnielinskem [7]

$$Nu_o = \frac{\xi/8(Re-1000)Pr}{1 + 12,7\sqrt{\xi/8}(Pr^{2/3}-1)} \left[1 + (d_n/L) \right]^{2/3}$$

$$\xi = (1,82 \log Re - 1,64)^{-2}$$

Upoštevano je tudi povečanje Nusseltovega števila v primerjavi z ravno cevjo

$$Nu_k = Nu_o(1 + 3,54d_n/D)$$

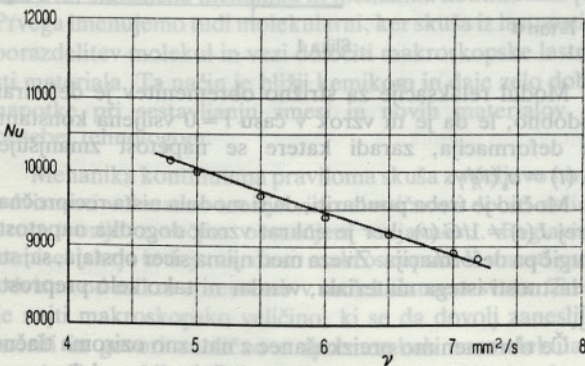
Tudi pri teh izračunih smo upoštevali enake obratovne razmere. Vstopna temperatura hladilne vode je bila $t_w = 18^\circ\text{C}$ in pretočna hitrost te vode $w = 1,5\text{ m/s}$. Pri tem je bila upoštevana toplotna prevodnost stene reaktorja $\lambda_{st} = 16\text{ W/mK}$, toplotna prehodnost pa izračunana po enačbi

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{l}{e} \frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{\epsilon\chi} \frac{s_{st}}{\lambda_{st}}$$

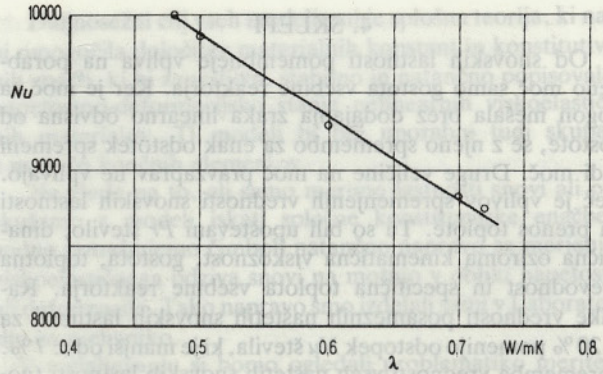
Pri tem je srednja debelina stene polcevi $e = (d_n + s)/2$ z notranjim premerom polcevi d_n in debelino stene cevi s ter

$$\epsilon = f\left(\frac{e}{l}, \frac{s_{st}}{l}\right) \text{ in } \chi = f\left(\frac{\lambda_{st}}{\alpha_1 s_{st}}, \frac{s_{st}}{l}\right)$$

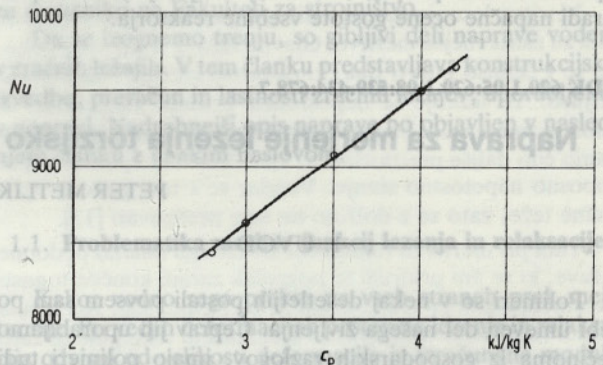
z debelino stene reaktorja s_{st} in razdelkom polcevi l . Ko- rektorna faktorja ϵ in χ pri prenosu toplote skozi stene s privarjenimi polcevimi lahko odberemo iz diagrama [7] ali pa izračunamo po ustreznih enačbah [8]. Na sliki 4 je prikazana odvisnost Nusseltovega števila od viskoznosti vsebine reaktorja. Na sliki 5 je prikazana odvisnost Nusseltovega števila od toplotne prevodnosti vsebine reaktorja in na sliki 6 odvisnost Nusseltovega števila od specifične toplote vsebine reaktorja.



Sl. 4: Vpliv viskoznosti na Nu število



Sl. 5: Odvisnost Nu števila od toplotne prevodnosti



Sl. 6: Odvisnost Nu števila od specifične toplote

3. REZULTATI IZRAČUNA

Rezultati izračuna so prikazani v preglednici 1. V prvem stolpcu so navedene veličine, ki smo jih spreminjali. V naslednjih stolpcih pa so prikazani največji odstopki posameznih izračunanih vrednosti v odvisnosti od podanih veličin, katerih vrednosti smo spreminjali v območju $\pm 20\%$. Izjema je kvocijent dinamičnih viskoznosti, ki smo ga samo zmanjšali za 20 odstotkov.

Preglednica 1

Podana veličina	Odstopki izračunanih vrednosti v %				
	P	Nu	Φ	k	α_1
ρ	± 20	$+6...-7$	$\pm 2,5$	± 3	± 7
η/η_{st}	-3				
ν	$\pm 1,5$	± 7			
λ		± 7			
c_p		± 7			
ρ, λ, ν, c_p	$+18...-23$	$+2,5$	-9	$+7...-10$	$+18...-21$

4. SKLEPI

Od snovskih lastnosti pomembneje vpliva na porabljeno moč samo gostota vsebine reaktorja. Ker je moč za pogon mešala brez dodajanja zraka linearno odvisna od gostote, se z njeno spremembo za enak odstotek spremeni tudi moč. Druge veličine na moč pravzaprav ne vplivajo. Več je vplivov spremenjenih vrednosti snovskih lastnosti na prenos toplote. Tu so bili upoštevani Pr številu, dinamična oziroma kinematična viskoznost, gostota, toplotna prevodnost in specifična toplota vsebine reaktorja. Razlike vrednosti posameznih naštetih snovskih lastnosti za $\pm 20\%$ pomenijo odstopek Nu števila, ki je manjši od $\pm 7\%$. Sprememba vrednosti vseh naštetih snovskih lastnosti (gostote, toplotne prevodnosti in viskoznosti) za $\pm 20\%$ pa pomeni pri moči približno enak odstopek, pri prenesenem toplotnem toku pa polovico manj. Največji je odstopek zaradi napačne ocene gostote vsebine reaktorja.

UDK 620.1.05:620.1.08:539.434:678.7

Naprava za merjenje lezenja torzijsko obremenjenih polimernih preizkušancev

PETER METLIKOVIČ - IGOR EMRI

1. UVOD

Polimeri so v nekaj desetletjih postali povsem sam po sebi umeven del našega življenja. Čeprav jih uporabljamo večinoma iz gospodarskih razlogov, imajo polimeri tudi precej odličnih lastnosti, zaradi katerih so nezamenljivi. Predvsem so to primeri, ko je potrebna velika elastičnost in majhni moduli (guma) in je pomembna korozijska obstojnost ter razmerje med nosilnostjo in maso (nosilni elementi, lepila, laki). Seznam uporab, v katerih so polimeri nezamenljivi ali imajo prednost pred drugimi materiali, je skoraj neomejen.

Za inženirsko prakso je zelo pomembno poznati mehanske lastnosti materiala, to pomeni poznati zvezo med napetostmi in deformacijami. Polimeri so tipičen viskoelastični material (poleg betona, lesa ...), kar pomeni, da togostne, energijske in trdnostne lastnosti niso odvisne le od velikosti deformacije, pač pa tudi od hitrosti deformiranja. Spomnimo se na žvečilni gumi, ki se lepo raztegne, če ga vlečemo počasi, in se pretrga, če ga potegnemo hitro. Ob konstantni napetosti deformacija narašča (ta pojav imenujemo lezenje), torej so mehanske lastnosti odvisne od časa. Ta časovna odvisnost modulov je odvisna od temperature, vlage, okoliškega tlaka in tudi od velikosti deformacije oziroma napetosti [1, 2, 3].

Mehanske lastnosti materialov, kakršne imajo npr. kovine v premočrtnem območju (kjer velja Hookov zakon), določimo s preprostim nateznim preizkusom. Modul elastičnosti in Poissonov koeficient popolnoma označita mehanske lastnosti materiala. Z njima lahko enolično določimo napetostno stanje, ki ga povzroči neka deformacija in nasprotno.

Za natančno označevanje značilnosti viskoelastičnih materialov je treba določiti zvezo med posledico in vzrokom dogodka, npr. povečajoča se deformacija zaradi konstantne napetosti pri lezenju. Poleg lezenja se velikokrat meri tudi relaksacija, kjer je vzrok za dogodek konstantna deformacija in posledica zmanjševana sila. Za določevanje bolj

LITERATURA

- [1] Oprešnik, M., Opara M.: Snaga potrebna za mešanje u industrijskim uredjajima. Procesna tehnika (1968) 3, 35/37.
- [2] Oprešnik, M.: Vpliv konstrukcijskih parametrov na prenos toplote v posodah z mešalom. StrojV 31 (1985) 11-12, 305/306.
- [3] Oprešnik, M., Opara, M.: Prenos toplote v posodah z mešalom. StrojV 33 (1987) 4-6, 49/51.
- [4] Oprešnik, M., Opara, M.: Najmanjša poraba energije pri fermentacijskem postopku. StrojV 32 (1986) 10-12, 149/151.
- [5] Nagata, S.: Mixing. Principles and applications. Kodanska LTD, Tokyo 1975.
- [6] Henzler, H. J.: Verfahrenstechnische Auslegungunterlagen für Rührbehälter als Fermenter. Chem.-Ing.-Tech. 54 (1982) 5, 461/476.
- [7] VDI - Wärmeatlas. 2. Aufl. VDI - Verlag GmbH, Düsseldorf 1974.
- [8] Gerdenitsch, J., Fingruth, H., Gritzner, G.: Investitionskosten und Wärmeübertragung in Rührwerksbehältern. Chem.-Ing.-Tech. 60 (1988) 3, 203/206.

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

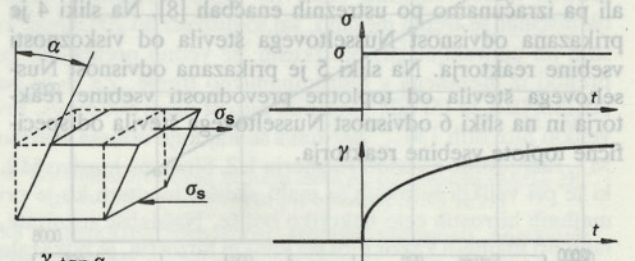
kratkotrajnih odzivov se uporablja dinamičen preizkus, kjer se napetost in deformacija spreminjata sinusno. Poleg lezenja, relaksacije in dinamičnega preizkusa obstajajo tudi drugi preizkusi, ki pa se v praksi redko uporabljajo [1].

Moduli so definirani kot razmerje med posledico in vzrokom. Modul lezenja za strižno obremenitev je definiran tako

$$J(t) = \frac{\gamma(t)}{\sigma_s} \quad (1),$$

kjer pomenita:

σ_s - konstantno, vsiljeno strižno napetost, $\gamma(t)$ - naraščajoča strižna deformacija. Shematsko je meritev prikazana na sliki 1: v času $t = 0$ izpostavimo preizkušaneč koračni napetosti in zapisujemo, kako deformacija narašča s časom.



Slika 1

Modul relaksacije za strižno obremenitev je definiran podobno, le da je tu vzrok v času $t = 0$ vsiljena konstantna deformacija, zaradi katere se napetost zmanjšuje: $G(t) = \sigma_s(t)/\gamma$.

Močno je treba poudariti, da si modula nista recipročna, torej $J(t) \neq 1/G(t)$, ker je enkrat vzrok dogodka napetost, drugič pa deformacija. Zveza med njima sicer obstaja, saj sta to lastnosti istega materiala, vendar ni tako zelo preprosta [1].

Če obremenimo preizkušaneč z natezno oziroma tlačno obremenitvijo namesto s strižno, definiramo podobno modul lezenja $D(t) = \epsilon(t)/\sigma_0$, kjer se na vsiljeno konstantno