

STROJNIŠKI VESTNIK

LETNIK 33

LJUBLJANA, APRIL—JUNIJ 1987

ŠTEVILKA 4—6

UDK 536.2:621.64

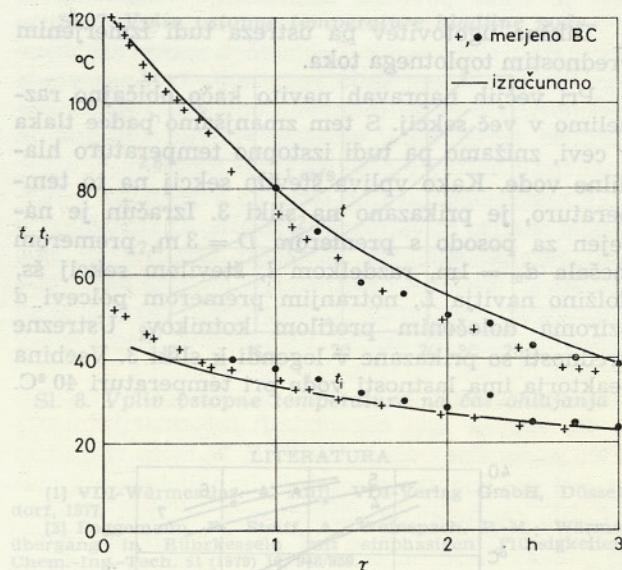
Prenos toplote v posodah z mešalom

M. OPREŠNIK — M. OPARA

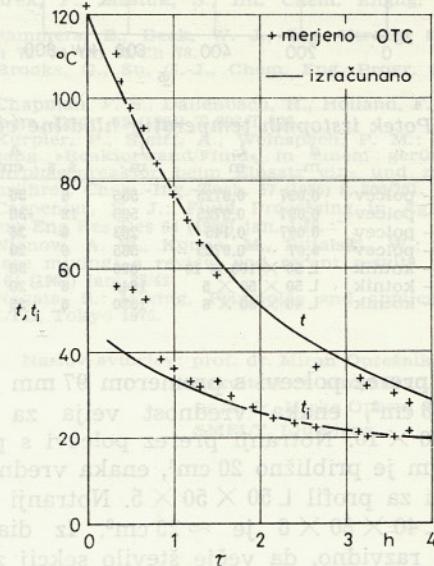
Prenos toplote v posodah z mešalom se običajno opravi ali s hlajenjem ali gretjem stene posode oz. s potopljenimi cevnimi snopi. Stena je lahko dvojni plašč, plašč z vlitimi cevmi ali pa plašč, ki ima na zunanjih/notranjih strani privarjene cevi, polcevi ali kotne profile. Potopljenih cevnih snopov raje ne uporabljamo, saj je čiščenje notranjosti brez njih lažje. Pri večjih napravah so zato najbolj običajne izvedbe s privarjeno polovično cevno kačo ali pa privarjenim kotnim profilom.

Za izvedbo s polovično cevno kačo je bil izdelan matematični model za računanje procesnih parametrov v posodah z mešalom. Za toplotno prestopnost v cevni kači smo Nusseltovo število računali po Gnielinskem [1]. Zajeli smo tudi povečanje Nusseltovega števila, ki upošteva ukrivljenosť navite cevi v primerjavi z ravno. Prestopnost na notranjo površino stene smo računali po različnih avtorjih. Primerjava teh vplivov je prikazana kasneje (gl. sl. 5). V nadalnjem izračunu smo upoštevali srednje vrednosti, kakršne so ugotovili Poggemann in drugi [2]. S tako izračunanimi toplotnimi prestopnostmi smo določili toplotne prehodnosti ob upoštevanju korekturnih faktorjev, ki zajemajo tudi konstrukcijske parametre [3]. Na podobnih osnovah je bil izdelan tudi model za privarjeni kotni profil. V [3] je prikazan vpliv konstrukcijskih parametrov na prenos toplote za polcev in kotni profil.

Emisijsko bilanco fermentorja smo s preizkusi naredili v Tovarni zdravil KRKA, Novo mesto [4] na fermentoru s premerom $D = 3,3$ m z vgrajenimi štirimi turbinskimi mešali. Za ohlajanje je fermentor opremljen z zunaj privarjeno polovično cevno kačo. Vsebina fermentorja je ustrezna brozga za izdelavo bacitracina (BC). Lastnosti so podane v delu [5]. Primerjava rezultatov preizkusa in izračuna pri ohlajanju je prikazana na sliki 1. Ujemanje poteka temperatur vsebine reaktorja t in izstopnih temperatur hladilne vode t_i med izračunanimi in izmerjenimi vrednostmi je dokaj dobro. Podobna ugotovitev velja tudi za izračunane in izmerjene vrednosti temperatur pri ohlajanju brozge, ki je namenjena za proizvodnjo oksitetraciklina (OTC), kar je prikazano na sliki 2. Večji odstopki izstopnih temperatur t_i v začetnem delu ohlajanja so posledica za skoraj 30 odstotkov manjšega pretoka hladilne vode pri preizkusu.



Sl. 1. Časovni potek ohlajanja bacitracina



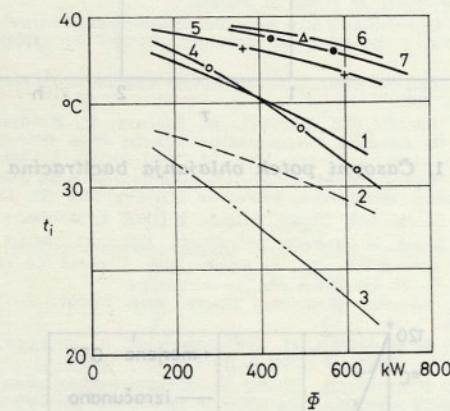
Sl. 2. Časovni potek ohlajanja oksitetraciklina

Model je bil preverjen tudi v času fermentacijskega postopka tako pri proizvodnji BC kakor tudi pri proizvodnji OTC. V splošnem so bile izračunane vrednosti odvedenih topotnih tokov nekoliko večje od izmerjenih. To velja tudi za izračunate moči P [6], [13], [14]. To pa seveda pomeni, da bo ob danem reakcijskem topotnem toku Φ_R resnični odvedeni topotni tok Φ manjši od izračunane, saj je ob zanemaritvi preostalih izgub

$$\Phi = \Phi_R + P.$$

Takšna ugotovitev pa ustrez tudi izmerjenim vrednostim topotnega toka.

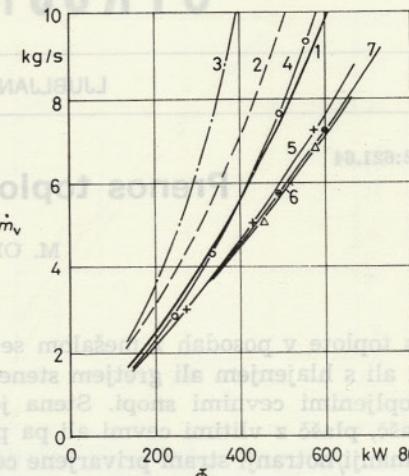
Pri večjih napravah navito kačo običajno razdelimo v več sekcijs. S tem zmanjšamo padce tlaka v cevi, znižamo pa tudi izstopno temperaturo hladilne vode. Kako vpliva število sekcijs na to temperaturo, je prikazano na sliki 3. Izračun je narejen za posodo s premerom $D = 3$ m, premerom mešala $d_m = 1$ m, razdelkom l , številom sekcijs šs, dolžino navitja L , notranjim premerom polcevi d oziroma določenim profilom kotnikov. Ustrezne vrednosti so prikazane v legendi k sliki 3. Vsebina reaktorja ima lastnosti vode pri temperaturi 40 °C.



Sl. 3. Potek izstopnih temperatur hladilne vode

	d m	l m	L m	š. s.	A cm^2
1 — polcek	0,097	0,0725	565	6	36
2 — polcek	0,097	0,0725	565	12	36
3 — polcek	0,097	0,145	283	6	36
4 — polcek	0,07	0,0725	565	6	20
5 — kotnik	L 50 × 100 × 10		820	6	36
6 — kotnik	L 50 × 50 × 5		1640	6	20
7 — kotnik	L 40 × 80 × 6		1030	6	25

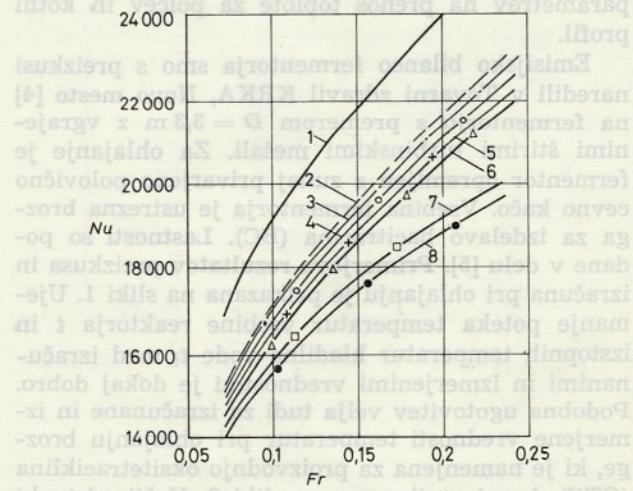
Notranji prerez polcevi s premerom 97 mm je približno 36 cm^2 , enaka vrednost velja za profil L 50 × 100 × 10. Notranji prerez polcevi s premerom 70 mm je približno 20 cm^2 , enaka vrednost pa velja tudi za profil L 50 × 50 × 5. Notranji prerez profila L 40 × 80 × 6 je $\approx 25 \text{ cm}^2$. Iz diagrama (sl. 3) je razvidno, da večje število sekcijs znižuje izstopno temperaturo hladilne vode, povečuje pa potrebeni masni tok vode, kar vidimo na sliki 4.



Sl. 4. Masni tok hladilne vode
Legenda kakor pri sliki 3.

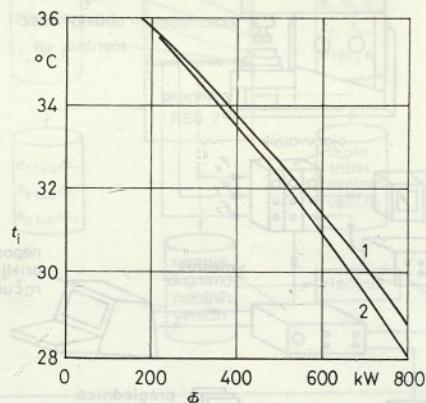
Enaka ugotovitev velja tudi za primer večjega razdelka pri navitju in s tem krajše dolžine navite polcevi. Polcev z enakim pretočnim prerezom kot ustrezni kotni profil daje manjše izstopne temperature hladilne vode, vendar pa večje potrebne masne tokove vode. To je razumljivo, saj je neposredna stična površina pri kotnem profilu večja.

Že zgoraj smo omenili, da smo prestopnost na notranjo steno posode računali po enačbah različnih avtorjev. Za primerjavo smo vrednosti računali za zgornji primer z osmimi sekcijsami in razdelkom 0,0725 m. Izračunane so bile vrednosti po Streku [7], Strek-Masiuku [8], Stammers-Beeku [9], Brooks-Suju [10], Poggemann-Steff-Weinspachu [2], Chapman-Dallenbach-Hollandu [11], Kurpier-Steff-Weinspachu [12] in Nagati [15]. Potez tako izračunanih Nusseltovih števil v odvisnosti od Froudovih števil Fr je prikazan na sliki 5. Iz diagrama so razvidne



Sl. 5. Vpliv različnih modelov za notranjo prestopnost
Krivulje: 1 — Nagata, 2 — Strek, 3 — Strek-Masiuk, 4 — Stammers-Beek, 5 — Brooks-Su, 6 — Poggemann-Steff-Weinspach, 7 — Chapman-Dallenbach-Holland, 8 — Kurpier-Steff-Weinspach

dokaj velike razlike. Največje so vrednosti, izračunane po Nagati, najmanjše pa vrednosti po Kurpiersu. Če pa s temi vrednostmi računamo izstopno temperaturo hladilne vode t_i , pa največje razlike izračunanih vrednosti ne presežejo 30 odstotkov. To je razvidno iz diagrama na sliki 6, kjer je narisani samo potek za največje vrednosti, ki so bile izračunane po Nagata in potek za najmanjše vrednosti, izračunane po Kurpier-Steiff-Weinspachu.

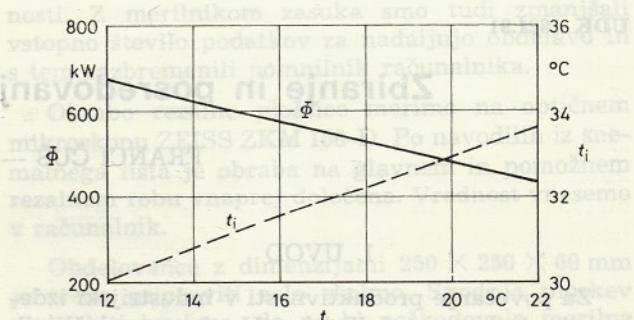


Sl. 6. Najvišje in najnižje izstopne temperature Krivulji: 1 — Nagata, 2 — Kurpier-Steiff-Weinspach

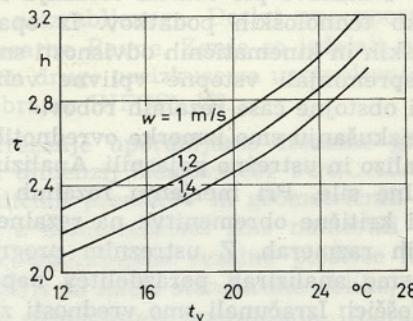
Vse druge vrednosti ležijo vmes. Kurpier-Steiff-Weinspachova enačba velja sicer za izvedbo z dve mašaloma, avtorji pa navajajo, da se z navedeno enačbo lahko prikažejo razpoložljivi eksperimentalni podatki z natančnostjo $\pm 20\%$. Primerjava sedaj izračunanih in izmerjenih vrednosti pa tudi potrjuje njihovo ugotovitev, da velikost naprave v sistemih z vpihanjem zraka pri mešanju ne vpliva bistveno na prestop toplotne na notranji steni reaktorja.

Vpliv vstopne temperature hladilne vode t_v na odvedeni toplotni tok in izstopno temperaturo hladilne vode pri konstantnem masnem toku hladilne vode je prikazan na sliki 7. Na sl. 8 pa je prikazana časovna odvisnost ohlajanja od temperature 120 °C na 40 °C v odvisnosti od vstopne temperature hladilne vode za različne pretočne hitrosti w . Iz prikaza je razvidno, kako se da vplivati na skrajšanje neproduktivnega časa ohlajanja.

Primerjava izračunanih in izmerjenih vrednosti kaže, da se lahko procesne karakteristike pri prenosu toplotne v posodah z mašalom ob vpihanju zraka prikažejo dokaj zanesljivo. S tem je omogočena ocena vplivov posameznih parametrov in dana možnost za optimalno projektiranje in obravnavanje teh naprav.



Sl. 7. Vpliv vstopne temperature hladilne vode



Sl. 8. Vpliv vstopne temperature na čas ohlajanja

LITERATURA

- [1] VDI-Wärmeatlas. 2. Aufl. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1977.
- [2] Poggemann, R., Steiff, A., Weinspach, P.-M.: Wärmeübergang in Rührkesseln mit einphasigen Flüssigkeiten. Chem.-Ing.-Tech. 51 (1979) 10, 948/959.
- [3] Oprešnik, M.: Vpliv konstrukcijskih parametrov na prenos toplotne v posodah z mašalom. StrojV 31 (1985) 11–12, 305/306.
- [4] Energijska bilanca fermentorja. Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1985.
- [5] Jurečić, R., Berović, M., Steiner, W., Koloini, T.: Mass Transfer in Aerated Fermentation Broths in a Stirred Tank Reactor. Canad. J. Chem. Eng. 62 (1984) junij, 334/339.
- [6] Oprešnik, M., Opara, M.: Snaga potrebna za mešanje u industrijskim uređajima. Procesna tehnika (1986) 3, 35/37.
- [7] Strek, F., Int. Chem. Engng. 3 (1963) 4, 533/556.
- [8] Strek, F., Mastuk, S., Int. Chem. Engng. 7 (1967) 4, 693/702.
- [9] Stammers, E., Beek, W. J., Ing. Utrecht 82 (1970) 48, Ch 63/Ch 72 50 Ch 73/Ch 78.
- [10] Brooks, G., Su, G.-J., Chem. Eng. Progr. 55 (1959) 10, 54/57.
- [11] Chapman, F. S., Dallenbach, H., Holland, F. A., Trans. Instn. Chem. Engr. 42 (1964) T 398/T 406.
- [12] Kurpier, P., Steiff, A., Weinspach, P. M.: Zum Wärmeübergang „Reaktorwand/Fluid“ in einem gerührten Ein- und Mehrphasenreaktor beim Einsatz ein- und zweistufiger Scheibenrührer. Chem.-Ing.-Tech. 57 (1985) 8, 700/701.
- [13] Carpenter, K. J.: Fluid Processing in Agitated Vessels. Chem Eng Res Des 64 (1986) jan. 1/10.
- [14] Nienow, A. W., Konno, M., Bujalski, W.: Studies on three-phase mixing: a review and recent results. Chem Eng Res Des 64 (1986) jan. 35/42.
- [15] Nagata, S.: Mixing. Principles and applications. Kodansha LTD, Tokyo 1975.
- Naslov avtorjev: prof. dr. Miran Oprešnik, dipl. inž., Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, prof. dr. Mirko Opara, dipl. inž., SMELET, Ljubljana