

1. VAJA: MEŠANJE

Datum: 20.10.2006

1. OSNOVE

Pri vaji smo opazovali vpliv tipa mešala in reoloških lastnosti medija. Mešalni reaktorji se uporabljajo za večino submerznih bioprocesov in so tipično sestavljeni iz cilindrične posode in mešala.

Pri tej vaji smo uporabljali mešalnik tipa **STC** (*standard tank configuration*) brez prezračevanja (skica v točki 3), mešali **Rushtonovo turbino** (diskasta, radialno kroženje kapljevine) in **propeler** (aksialno kroženje kapljevine) ter **vodo** in **raztopino karboksimetilceluloze** (CMC) kot medija.

Za največjo učinkovitost mešanja je potrebno poznati čas pomešanja t_m , ki je potreben za doseganje določene stopnje homogenosti i , ter moč P , tako da bomo porabili najmanj energije ob največji učinkovitosti mešanja. Čas t_m je odvisen od lastnosti zajetih v Reynoldsovem številu Re , ki ga izračunamo po spodnjih enačbah:

$$Re = \frac{\rho N D^2}{\eta} \quad \text{velja za newtonske tekočine (npr. voda),}$$

N (s^{-1})	Vrtilna hitrost
D (m)	Premer mešala
ρ (kg/m^3)	Gostota medija
η (Pa s)	Viskoznost
Re	Reynoldsovo število
τ (Pa)	Strižna napetost
$\dot{\gamma}$ (s^{-1})	Strižna hitrost
K ($Pa s^n$)	Indeks konsistence
η_a (Pa s)	Navidezna viskoznost
k_s	Brezdimenzijska konstanta strižne hitrosti mešala
Nt_m	Brezdimenzijski čas pomešanja
H (m)	Višina kapljevine v reaktorju
T (m)	Premer mešalnega reaktorja
H_m (m)	Višina od dna reaktorja do mešala
$a=1,33$	Če je $H_m=H/3$
P_0	Brezdimenzijsko število moči

kjer je $\tau = \eta \dot{\gamma}$

$$Re = \frac{\rho N^{2-n} D^2}{K k_s^{n-1}} \quad \text{velja za nenewtonske tekočine (npr. CMC, bioprocesne brozge), kjer je}$$

$\tau = K \dot{\gamma}^n$ in $\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = K \dot{\gamma}^{n-1}$, $\dot{\gamma}$ pa dobimo kot $\dot{\gamma} = k_s N$ (k_s za Rushton. turbino 11.8, za propeler 10)

Čas pomešanja lahko izpeljemo iz brezdimenzijskega časa pomešanja $N \cdot t_m$ s teorijo kroženja tekočine v turbulentnem območju ($Re > 10^4$) po enačbah

$$N \cdot t_m = 1,88 \left(\frac{aH + T}{T} \right) \left(\frac{T}{D} \right)^{\frac{13}{6}} \quad \text{za Rushtonovo turbino in}$$

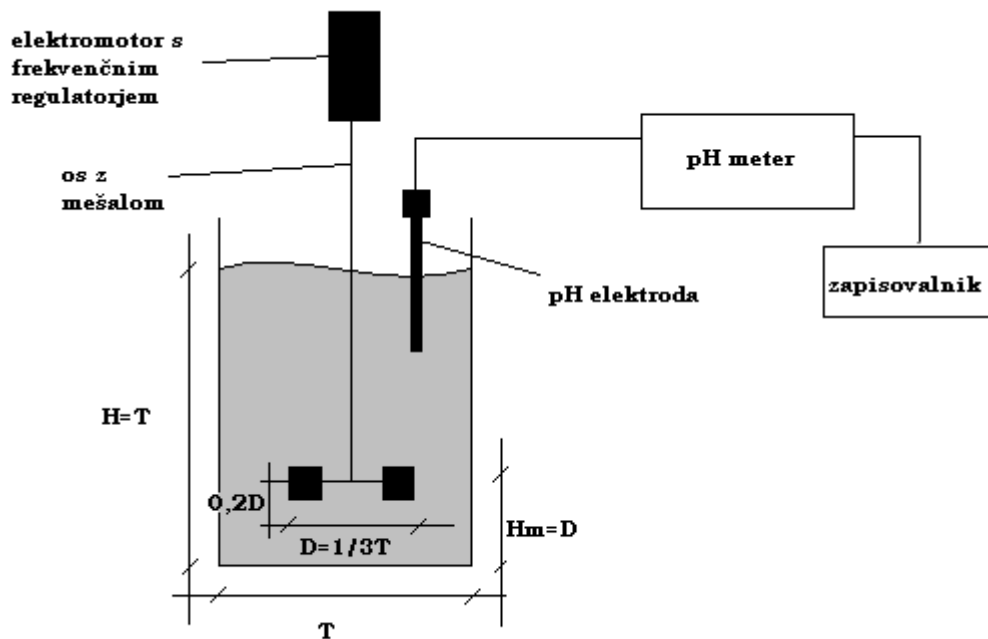
$$N \cdot t_m = 6,0 \left(\frac{2H}{D} + \frac{T}{D} \right) \left(\frac{H_m}{D} \right) \quad \text{za propeler}$$

Za izračun moči uporabimo enačbo $P = P_0 \rho N^3 D^5$, pri čemer število moči P_0 odčitamo iz diagrama P_0 v odvisnosti od Re za posamezen tip mešala.

2. NALOGA

V laboratorijskem STC-mešalniku eksperimentalno določiti t_m v vodni raztopini CMC in vodi za Rushtonovo turbino in propeler s pH-metrično metodo in metodo razbarvanja. Izračunati P ter $P \cdot t_m$ pri posameznih obratovalnih pogojih.

3. APARATURA



Mešali: Rushtonova turbina in propeler

Raztopini: vodna rzt. CMC, voda

Metoda razbarvanja: štoparica, raztopini 4N HCl in 4N NaOH, raztopina indikatorja bromkrezol zeleno

Določanje fizikalnih lastnosti: rotacijski viskozometer, areometer, termometer

4. MERITVE IN IZRAČUNI

S_τ	$S_{\dot{\gamma}}$	τ	$\dot{\gamma}$	η	$\log \tau$	$\log \dot{\gamma}$
		[Pa]	[s ⁻¹]	[Pa s]		

0,13	0,1	2,093	11,7	0,179	0,321	1,068
0,22	0,2	3,542	23,4	0,151	0,549	1,369
0,3	0,3	4,83	35,1	0,138	0,684	1,545
0,36	0,4	5,796	46,8	0,124	0,763	1,670
0,42	0,5	6,762	58,5	0,116	0,830	1,767
0,47	0,6	7,567	70,2	0,108	0,879	1,846
0,52	0,7	8,372	81,9	0,102	0,923	1,913
0,565	0,8	9,0965	93,6	0,097	0,959	1,971
0,6	0,9	9,66	105,3	0,092	0,985	2,022
0,64	1	10,304	117	0,088	1,013	2,068

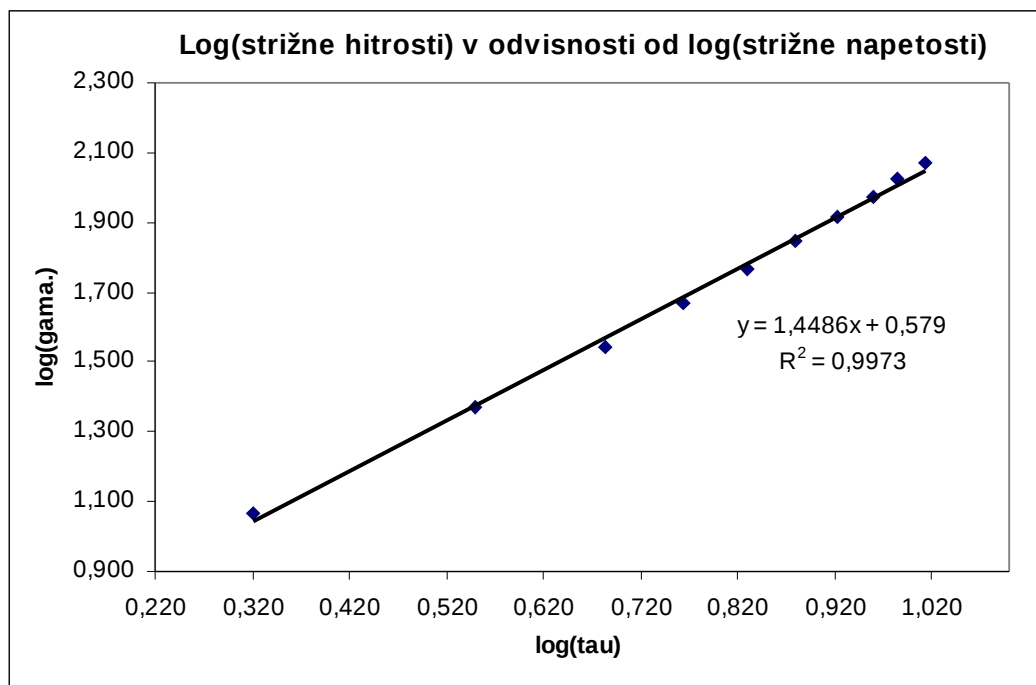
$$\tau = A \cdot \% \tau \cdot S_{\tau} \text{ [Pa]}$$

$$\% \tau = 5 \text{ in } A=3,22$$

$$\dot{\gamma} = M \cdot \% D \cdot S_{\dot{\gamma}} \text{ [s}^{-1}\text{]}$$

$$\% D = 10 \text{ in } M=11,7$$

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \text{ logaritmiramo v } \log \tau = n \cdot \log \dot{\gamma} + \log K$$



Na grafu bo **n** naklon premice, **logK** pa odsek premice na ordinatni osi.

Iz premice dobimo enačbo

$$y = 1,4486x + 0,579 \quad n = 1,4486$$

$$\log K = 0,579 \quad K = 3,7935$$

	ρ [kg/m ³]	η [Pa·s]
Voda	1000 (T=13 °C)	0,001225
CMC	1000	Ni konstanta (glej η_a)

$$H=T=0,295 \text{ m}$$

Rushtonova turbina					S pH-jem		Z razbarvanjem		
	N	N	$\dot{\gamma}$	Re	η_a	t_m	N· t_m	t_m	N· t_m
	[min ⁻¹]	[s ⁻¹]	[s ⁻¹]	[l]	[Pa s]	[s]	[l]	[s]	[l]
CMC	120	2,00	23,600	1,277	15,663	136	272	247	494
	220	3,67	43,267	1,784	20,558	66	242	24	88

	320	5,33	62,933	2,193	24,321	40	213	15	80
Voda	60	1,00		8163		50	50	11	11
	110	1,83		14966		32	59	7	12
	210	3,50		28571		28	98	4	14

Propeler					S pH-jem		Z razbarvanjem		
	N	N	$\dot{\gamma}$	Re	η_a	t_m	N· t_m	t_m	N· t_m
	[min ⁻¹]	[s ⁻¹]	[s ⁻¹]	[l]	[Pa s]	[s]	[l]	[s]	[l]
CMC	220	3,67	36,667	1,697	19,087	250	917	225	825
	320	5,33	53,333	2,087	22,580	76	405	105	560
	420	7,00	70,000	2,425	25,510	42	294	25	175
Voda	60	1,00		7213		60	60	43,5	44
	110	1,83		13224		42	77	21	39
	210	3,50		25246		40	140	12	42

Preračunani N· t_m in t_m na osnovi korelacij

	N	t_m
CMC	120	0,380
	220	0,208
	320	0,143
VODA	60	0,761
	110	0,415
	210	0,217

Rushtonova turbina

$$N \cdot t_m = 1,88 \left(\frac{aH + T}{T} \right) \left(\frac{T}{D} \right)^{\frac{13}{6}}$$

$$N \cdot t_m = 45,65$$

	N	t_m
CMC	220	0,269
	320	0,185
	420	0,141
VODA	60	0,985
	110	0,537
	210	0,281

Propeler

$$N \cdot t_m = 6,0 \left(\frac{2H}{D} + \frac{T}{D} \right) \left(\frac{H_m}{D} \right)$$

$$N \cdot t_m = 59,09$$

5. REZULTATI

Iz grafa $P_o=f(Re)$ odčitamo P_o za posamezne Re in izračunamo P ter $P \cdot t_m$.

		N [s ⁻¹]	t_m [s]	Re [l]	P_o [l]	P [Nm/s=W]	P·t_m [Ws=J]
Rushton	CMC	2,000	136	1,3	50	4,000	544,000
		3,667	66	1,8	40	19,719	1301,422
		5,333	40	2,2	30	45,511	1820,444
	VODA	1,000	50	8163	5	0,050	2,500
		1,833	32	14966	5	0,308	9,859
		3,500	28	28571	5	2,144	60,025
propeler	CMC	3,667	250	1,7	30	2,960	740,020
		5,333	76	2,1	27	5,636	428,365
		7,000	42	2,4	20	7,192	302,075
	VODA	1,000	60	7213	0,38	0,003	0,167
		1,833	42	13224	0,38	0,009	0,394
		3,500	40	25246	0,38	0,034	1,367

Grafe smo podali v obliki diagramov ločeno za CMC in vodo (in ne ločeno za različne tipe mešal, ker bi bila v takem primeru skala na abscisni osi prevelika in bi bil potek podatkov za CMC nerazviden).

