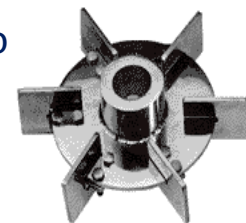
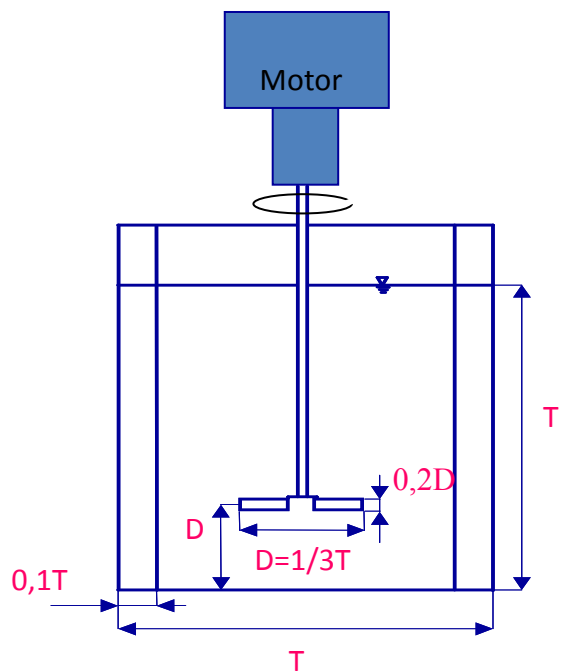


Primer 1: V STC mešalniku premera 30 cm mešamo z Rushtonovo turbino vodno raztopino etanola z gostoto 940 kg/m^3 in viskoznostjo $0.5 \text{ m Pa}\cdot\text{s}$. Kako hitro se mora najmanj vrteti mešalo, da še zagotovimo popolnoma razvit turbulentni režim mešanja, pri katerem velja $P_0 = 5$. Kakšen je v tem primeru volumski vnos moči?



Volumski vnos moči: $\frac{P}{V}$



Premer mešala: $D = 0.1 \text{ m}$

$Re > 10^4$

$$Re = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\eta}$$

$$N = \frac{Re \cdot \eta}{D^2 \cdot \rho} = \frac{10^4 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3}}{0.1^2 \cdot 940} = 0.532 \text{ s}^{-1}$$

$$P_0 = \frac{P}{\rho \cdot N^3 \cdot D^5}$$

$$P = P_0 \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D^5 = 5 \cdot 940 \cdot 0.532^3 \cdot 0.1^5 = 7.08 \cdot 10^{-3} \text{ W}$$

$$V = \frac{\pi \cdot D_M^2}{4} \cdot D_M = \frac{\pi \cdot D_M^3}{4} = \frac{\pi \cdot 0.3^3}{4} = 0.0212 \text{ m}^3$$

$$\frac{P}{V} = \frac{7.08 \cdot 10^{-3}}{0.021} = 0.337 \text{ W/m}^3$$

Primer 2: Melaso, ki je newtonska tekočina, z viskoznostjo 5 Pa.s in gostoto 995 kg/m³ želimo mešati s propellerskim mešalom. Proces mešanja izvajamo v STC posodi premera 30 cm. Kakšna bo sila, ki jo med vrtenjem mešala izmerimo na ročici (12.7 cm), ki je pritrjena na ohišju, če se mešalo vrti s hitrostjo 240 obr./min?

Krivuljo moči za uporabljeno plopelersko mešalo lahko ovrednotimo:

Re = 2	P ₀ = 20	} Laminaren tok: P ₀ = K · Re ^x
Re = 10	P ₀ = 4	
30 < Re < 10 ³	P ₀ ≈ 1	
Re > 10 ⁴	P ₀ = 0.35	



$$P_0 = K/Re$$

$$20 = K/2 \text{ ali } 4 = K/10 \Rightarrow K = 40$$

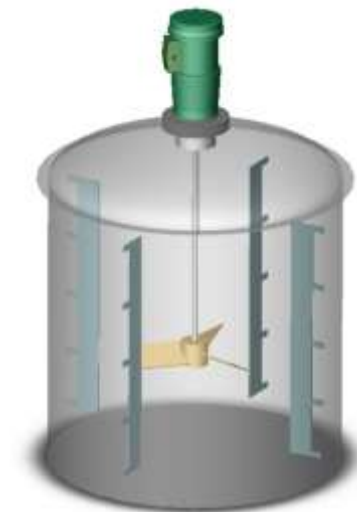
$$P_0 = 40/8 = 5$$

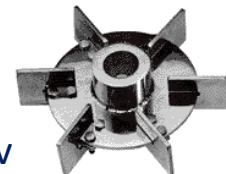
$$P = P_0 \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D^5 = 5 \cdot 995 \cdot 4^3 \cdot 0.1^5 = 3.2 \text{ W}$$

$$Re = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\eta} \quad Re = \frac{4 \cdot 0.1^2 \cdot 995}{5} = 8$$

$$P = M \cdot \omega = (F \cdot R) \cdot (2 \cdot \pi \cdot N) = 3.2 \text{ W}$$

$$F = \frac{3.2}{2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 0.127} = 1.06 \text{ N}$$





Primer 3: V STC mešalniku mešamo rastlinsko olje z gostoto 980 kg/m^3 in viskoznostjo $\eta = 2 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Proces mešanja z Rushtonovo turbino, premera 0.15 m , poteka v laminarnem tokov režimu.

(a) Kako hitro se mora vrteti mešalo, da je volumski vnos moči 1 W/m^3 ?

(b) Kako hitro se največ lahko vrti mešalo, da še zagotovimo laminarni tokovni režim mešanja? Kakšen je v tem primeru volumski vnos moči?

Krivulja moči za Rushtonovo turbino je podana tabelarično:

$$\text{Re} = 1 \quad P_0 = 72$$

$$\text{Re} = 8 \quad P_0 = 9$$

(a) Kako hitro se mora vrteti mešalo, da je

$$\frac{P}{V} = 1 \text{ Wm}^{-3}$$

$$D_{\text{mešala}} = 0.15 \text{ m} \rightarrow D_{\text{mešalnika}} = 0.45 \text{ m}$$

$$V = \frac{\pi \cdot D_M^2}{4} \cdot D_M = \frac{\pi \cdot D_M^3}{4} = \frac{\pi \cdot 0.45^3}{4} = 0.07156 \text{ m}^3$$

$$P = 1 \text{ W/m}^3 \cdot 0.07156 \text{ m}^3 = 0.07156 \text{ W}$$

$$N = \sqrt{\frac{P}{K \cdot \eta \cdot D^3}} = \sqrt{\frac{0.0715}{72 \cdot 2 \cdot 0.15^3}} = 0.384 \text{ s}^{-1}$$

$$P_0 = K \cdot \text{Re}^x$$

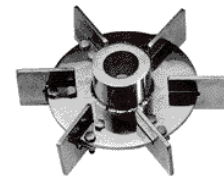
$$P_0 = K/\text{Re}$$

$$72 = K/1 \Rightarrow K = 72$$

$$\text{Re} = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\eta}$$

$$P_0 = \frac{P}{\rho \cdot N^3 \cdot D^5} = \frac{K}{\text{Re}} = \frac{K \cdot \eta}{\rho \cdot N \cdot D}$$

$$P = K \cdot \eta \cdot N^2 \cdot D^3$$



Primer 3:

(b) Kako hitro se največ lahko vrti mešalo, da še zagotovimo laminarni tokovni režim mešanja?
Kakšen je v tem primeru volumski vnos moči?

$$\text{Re} = 10$$

$$\frac{P}{V} = ?$$

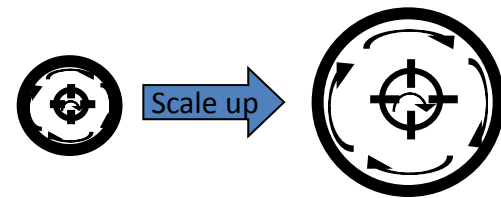
$$\text{Re} = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\eta} \quad \longrightarrow \quad N_1 = \frac{\text{Re} \cdot \eta}{\rho \cdot D^2} = \frac{10 \cdot 2}{980 \cdot 0.15^2} = 0.907 \text{ s}^{-1}$$

$$P_0 = K/\text{Re}$$

$$P_0 = 72/10 = 7.2$$

$$P = P_0 \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D^5 = 7.2 \cdot 980 \cdot 0.907^3 \cdot 0.15^5 = 0.4 \text{ W}$$

$$P/V = 0.4 \text{ W} / 0.07156 \text{ m}^3 = 5.6 \text{ W/m}^3$$



Primer 4: V modelnem mešalniku standardne konfiguracije (STC) premera 30cm smo dobili primerno pomešanje newtonske raztopine fruktoze z gostoto 998 kg/m^3 pri volumskem vnosu moči 100 W/m^3 .

(a) Kolikšna je bila vrtilna hitrost turbine z 6-ukrivljenimi lopaticami, če pri danih hidrodinamskih pogojih upoštevamo, da je število moči konstantno, $P_0 = 2.6$.

(b) Kakšna naj bo vrtilna hitrost enakega mešala v geometrijsko podobnem mešalniku volumna 5 m^3 , če kot povečevalni kriterij upoštevamo enakost obodnih hitrosti.



(a) vrtilna hitrost turbine $P_0 = 2.6$

$$P = \frac{P}{V} \cdot V = 100 \cdot 0.0212 = 2.12 \text{ W}$$

$$V = \frac{\pi \cdot D_M^2}{4} \cdot D_M = \frac{\pi \cdot D_M^3}{4} = \frac{\pi \cdot 0.3^3}{4} = 0.0212 \text{ m}^3$$

$$N = \sqrt[3]{\frac{P}{P_0 \cdot \rho \cdot D^5}} = \sqrt[3]{\frac{2.12}{2.6 \cdot 998 \cdot 0.1^5}} = 4.3 \text{ s}^{-1}$$

Preveriti bi bilo treba Re število v majnem in velikem mešalniku, zato moramo poznati viskoznost ($\eta = 1.8 \text{ m Pa}\cdot\text{s}$)

(b) Geometrijsko podoben mešalnik volumna 5 m^3

$$D_M = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 5}{\pi}} = 1.85 \text{ m}$$

$$D_m = 1/3 D_M = 0.618 \text{ m}$$

Povečevalni kriterij:

enakost obodnih hitrosti: $N \cdot D = \text{konst}$

$$(N \cdot D)_{\text{mali}} = (N \cdot D)_{\text{veliki}}$$

$$N_{\text{veliki}} = 4.3 \cdot 0.1 / 0.681 = 0.63 \text{ s}^{-1}$$

Primer 5: V modelnem mešalniku standardne konfiguracije (STC) premera 36 cm smo z turbino s 6-ravnimi lopaticami dobili primerno pomešanje suspenzije z gostoto 1050 kg/m³ in viskoznostjo 8 mPa.s pri 360 obr/min.

(a) Kolikšen je bil volumski vnos moči?

(b) Kakšna naj bo vrtilna hitrost enakega mešala za mešanje enake suspenzije v geometrijsko podobnem mešalniku volumna 3 m³, če kot povečevalni kriterij upoštevamo enak volumski vnos moči?

(a) Kolikšen je bil volumski vnos moči?

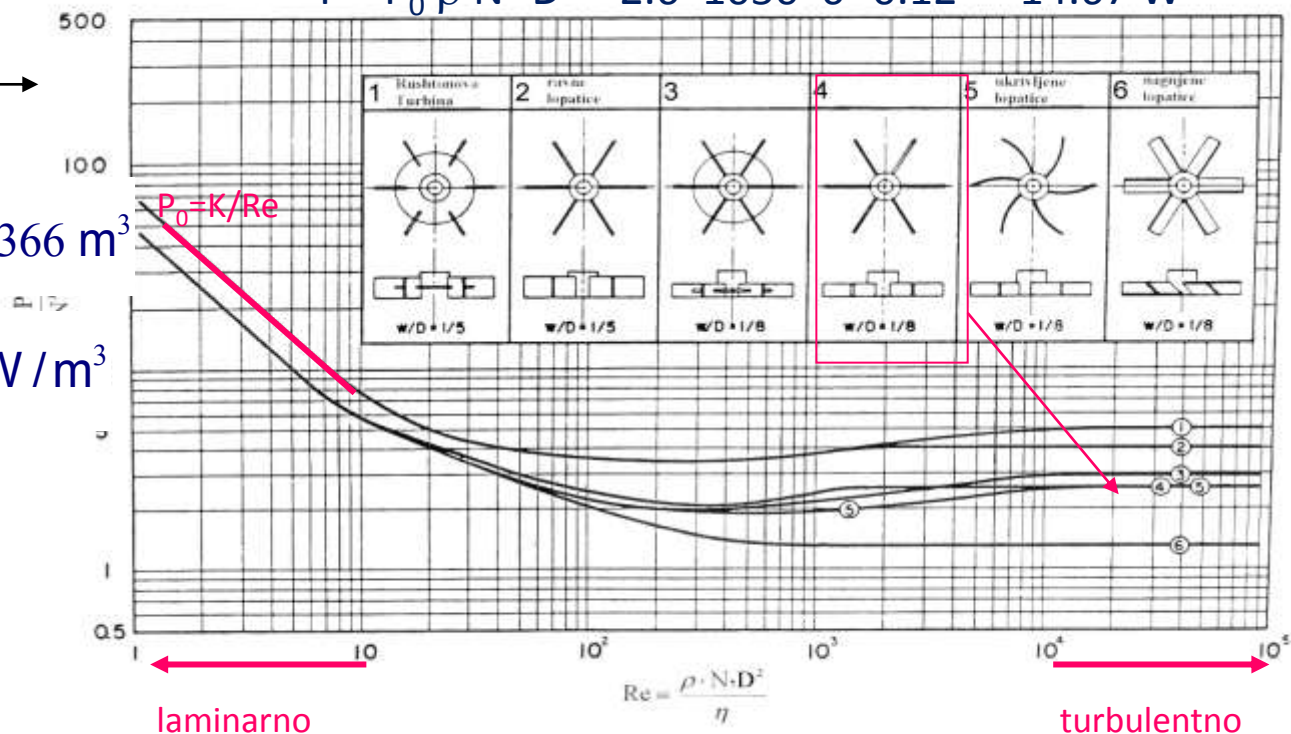
$$Re = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\eta} = \frac{6 \cdot 0.12^2 \cdot 1050}{8 \cdot 10^{-3}} = 11340$$

$$P = P_0 \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D^5 = 2.6 \cdot 1050 \cdot 6^3 \cdot 0.12^5 = 14.67 \text{ W}$$

$$P_0 = \frac{P}{\rho \cdot N^3 \cdot D^5} = 2.6 \rightarrow$$

$$V = \frac{\pi \cdot D_M^3}{4} = \frac{\pi \cdot 0.36^3}{4} = 0.0366 \text{ m}^3$$

$$\frac{P}{V} = \frac{14.67}{0.0366} = 401 \text{ W/m}^3$$



Primer 5

(b) Kakšna naj bo vrtilna hitrost enakega mešala za mešanje enake suspenzije v geometrijsko podobnem mešalniku volumna 3 m^3 , če kot povečevalni kriterij upoštevamo enak volumski vnos moči?

$$\frac{P}{V} = \text{konst.} = 401 \text{ W / m}^3$$

$$P_{\text{velik}} = \left(\frac{P}{V} \right)_{\text{mali}} \cdot V_{\text{velik}} = 401 \cdot 3 = 1203 \text{ W}$$

$$P_0 = \frac{P_{\text{vel}}}{\rho \cdot N_{\text{vel}}^3 \cdot D_{\text{vel}}^5} = 2.6$$

$$D_M = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 3}{\pi}} = 1.56 \text{ m}$$

$$D_m = 1/3 D_M = 0.52 \text{ m}$$

$$N = \sqrt[3]{\frac{P}{P_0 \cdot \rho \cdot D^5}} = \sqrt[3]{\frac{1203}{2.6 \cdot 998 \cdot 0.52^5}} = 2.3 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Re} = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\eta} = \frac{2.3 \cdot 0.52^2 \cdot 1050}{8 \cdot 10^{-3}} = 81\,627$$

Primer 6: S tračnim mešalom premera $D_m = 20 \text{ cm}$ mešamo ne-newtonsko tekočino gostote 950 kg/m^3 . Reološke lastnosti tekočine so bile izmerjene z rotacijskim reometrom. Odvisnost strižne hitrosti od strižne napetosti so pdane v spodnji tabeli. Za tračno mešalo velja Otto Metznerjeva zveza, ki podaja razmerje med strižno hitrostjo in številom obratov mešala $\dot{\gamma} = 25 \cdot N \text{ [s}^{-1}\text{]}$. Izračunajte kakšen je volumski vnos moči pri 18 obr/min, če je premer posode, $D_{\text{posode}} = 30 \text{ cm}$ in je višina polnitve enaka premeru posode. Krivulja moči je podana tabelarično:

$Re = 1$ $P_0 = 70$
 $Re = 10$ $P_0 = 7$
 $20 < Re < 10^3$ $P_0 = 4$

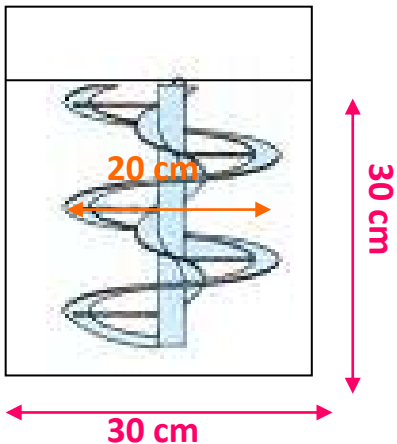
$$Re = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\eta}$$

$$Re = \frac{0.3 \cdot 0.2^2 \cdot 950}{1.64} = 6.95$$

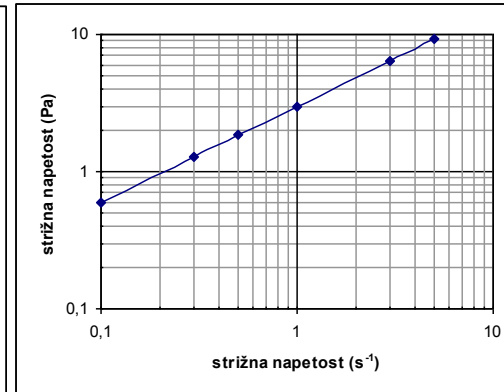
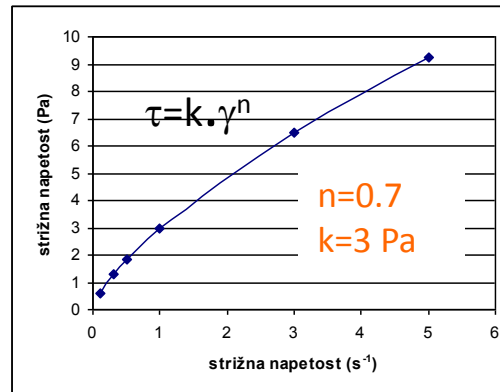
} Laminaren tok: $P_0 = K \cdot Re^x$

$$N = 18 \text{ obr/min} = 0.3 \text{ obr/s}$$

$$\dot{\gamma} = 25 \cdot N = 25 \cdot 0.3 \text{ (s}^{-1}\text{)}$$



$$\eta = k \cdot \dot{\gamma}^{(n-1)} \quad \longrightarrow \quad \eta = 3 \cdot (25 \cdot 0.3)^{(0.7-1)} = 1.64 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$



$\dot{\gamma}$	τ
0,10	0,60
0,30	1,29
0,50	1,85
1,00	3,00
3,00	6,47
5,00	9,26

$$\text{Re} = 1 \quad P_0 = 70$$

$$\text{Re} = 10$$

$$20 < \text{Re} < 10^3$$

$$P_0 = 7$$

$$P_0 = 4$$

} Laminaren tok: $P_0 = K \cdot \text{Re}^x$



$$P_0 = K/\text{Re}$$

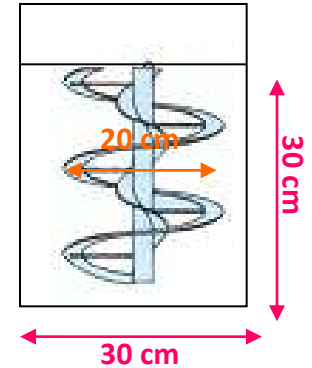
$$70 = K/1 \text{ ali } 7 = K/10 \Rightarrow K = 70$$

$$P_0 = 70/6.95 = 10$$

$$P = P_0 \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D^5 = 10 \cdot 950 \cdot 0.3^3 \cdot 0.2^5 = 8.2 \cdot 10^{-2} \text{ W}$$

$$V = \frac{\pi \cdot D_M^2}{4} \cdot D_M = \frac{\pi \cdot D_M^3}{4} = \frac{\pi \cdot 0.3^3}{4} = 0.0212 \text{ m}^3$$

$$\frac{P}{V} = \frac{8.2 \cdot 10^{-2}}{0.021} = 3.91 \text{ W/m}^3$$

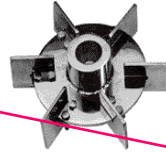


Primer 7: V mešalniku standardne konfiguracije (STC) premera 60 cm želimo mešati ne-newtonsko tekočino gostote 1000 kg/m^3 . Viskoznost tekočine smo določili z merjenjem reoloških lastnosti, ki so podane v priloženi tabeli. Strižne pogoje v mešalniku lahko ocenimo z Otto-Metznerjevo zvezo: $\dot{\gamma} = 12 \cdot N$ (s^{-1}). Ugotovljeno je bilo, da z Rushtonovo turbino dobimo primerno pomešanje pri 90 obr./min. Ocenite s kakšno močjo deluje motor mešalnika, če iz krivulje moči za Rushtonovo turbino odčitamo:

$$Re = 10, P_0 = 7$$

$$Re = 30, P_0 = 4.6$$

$$Re = 40, P_0 = 4$$



$$Re = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\eta}$$

$$Re = \frac{1.5 \cdot 0.2^2 \cdot 1000}{0.55} = 36$$

$$P_0 = 4.2$$

$$P = P_0 \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D^5 = 4.2 \cdot 1000 \cdot 1.5^3 \cdot 0.1^5 = 13.8 \cdot 10^{-2} \text{ W}$$

$$\tau = 1 + 0.5 \cdot \dot{\gamma} \Rightarrow \eta = \frac{1}{18} + 0.5 = 0.55 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$\dot{\gamma} = 12 \cdot N = 12 \cdot 1.5 = 18 \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \cdot \dot{\gamma} \Rightarrow \eta = \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} + \eta_p$$

Binghamsko plastična tekočina

$$\tau_0 = 1 \text{ Pa}$$

$$\eta_p = 0.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$



$\dot{\gamma} (\text{s}^{-1})$	$\tau (\text{Pa})$
0,1	1,05
0,3	1,15
0,5	1,25
1	1,5
3	2,5
5	3,5

