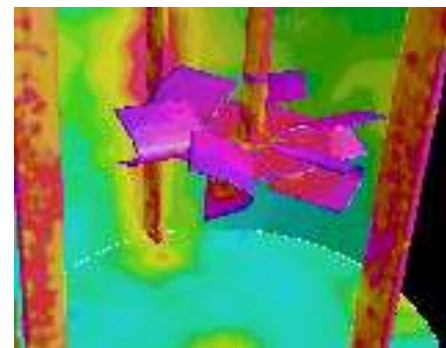




Fluidna dinamika

Mešanje

Mešanje



Hidrodinamska operacija: je posledica relativnega gibanja delcev tekočine.

Pri majhnih hitrostih in veliki viskoznosti je tok laminaren

Mešanje je posledica deformacije tekočine v plasti in molekularne difuzije

Pri visoki hitrosti in manj viskozni tekočini je gibanje turbulentno

Mešanje je posledica intenzivnega in neurejenega turbulentnega vrtnčenja v tekočini.

Namen mešanja:

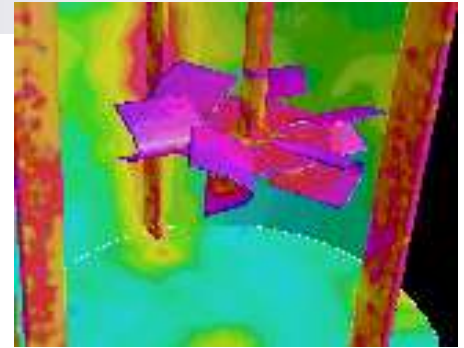
- Homogenizacija

doseganje enotne sestave in temperature medija, suspendiranje trdnih delcev, dispergiranje tekočine v tekočini

- Pospeševanja prenosa toplote

- Pospeševanje medfaznega snovnega prenosa:

ionska izmenjava, ekstrakcija, kemijska reakcija med plini in tekočino, tekočinami in trdnimi snovmi npr.: pospešitev prenosa kisika iz mehurčkov v tekočino pospešitev, prenosa hranil in metabolnih produktov



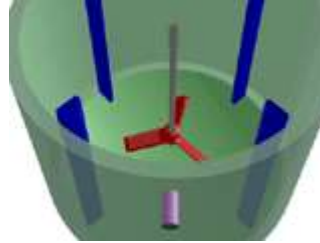
Mešanje v posodah:

pomembna: oblika mešalne posode in oblika mešala

Tvorba lijaka: pregrade 1/10

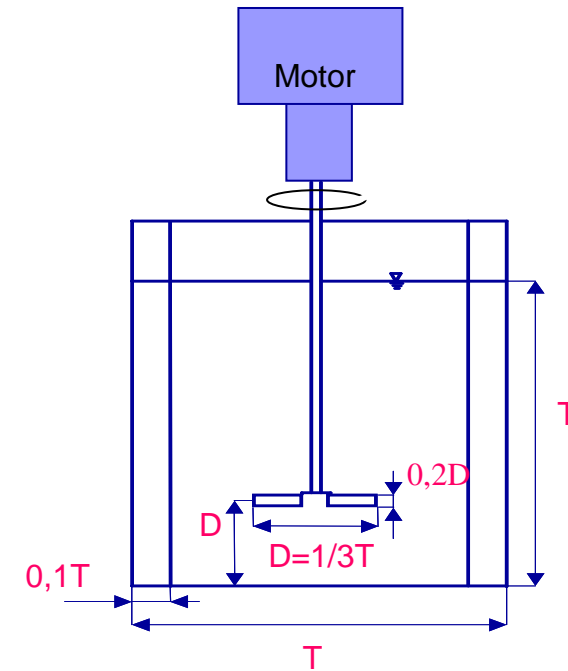
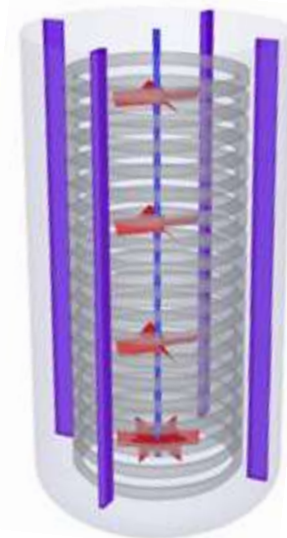
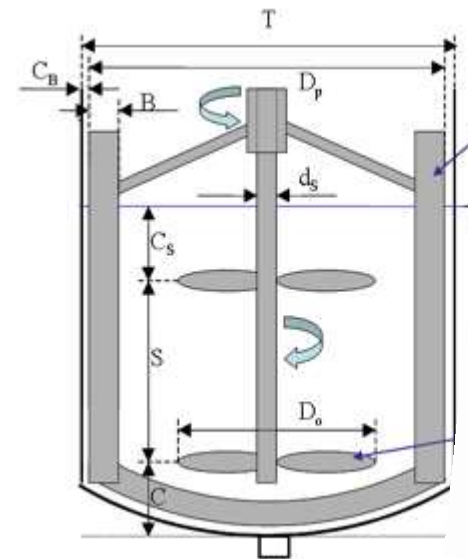
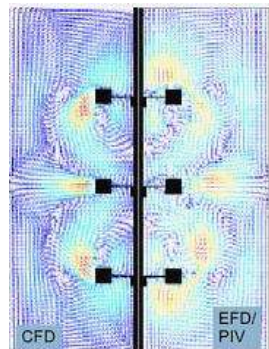
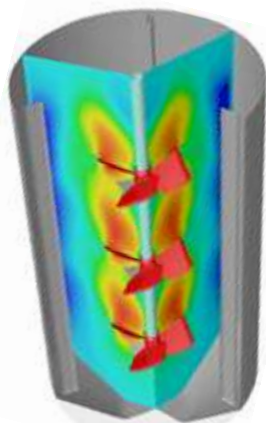
pri višji viskoznosti so ožje 1/20

pri visoki viskoznosti in ob prisotnosti delcev so odmaknjene



Oblika mešalnika :

- STC konfiguracija
- Drugačne geometrijske konfiguracije: npr. kolone: razmerje med višino in premerom veliko več kot 1, (solventna ekstrakcija, absorbcija plinov)
- Na osi več turbinskih mešal, razdalja med njimi $1-1.5 D_m$ (da ni mrtvih con)



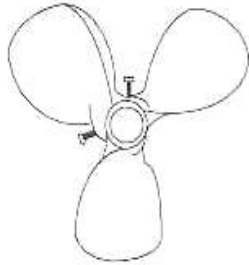
Oblike mešal



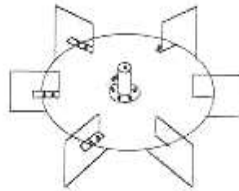
Da preprečimo tvorbo lijaka, vstavimo v mešalnik pregrade



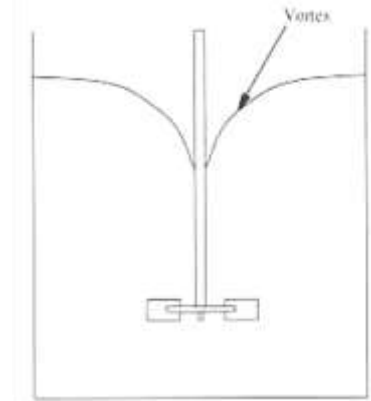
Anchor



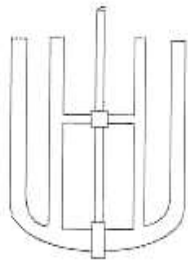
Propeller



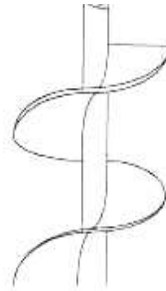
6-blade disk turbine



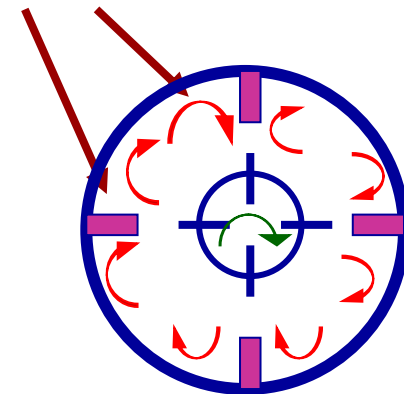
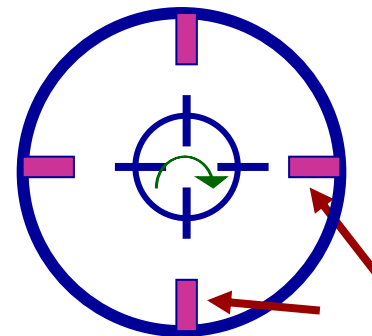
Paddle



Gate anchor



Helical screw



Oblika mešala

Glede na viskoznost medija, potrebne intenzivnosti mešanja, vrste toka

viskoznost medija:

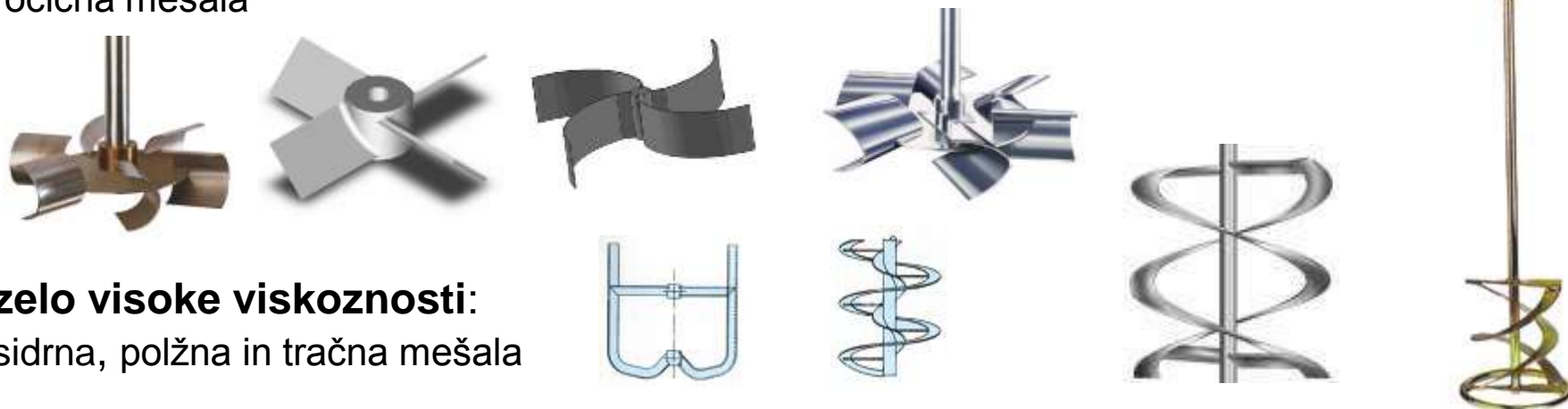
nizka in srednja viskoznost:

hitro vrteča se turbinska in propelerska mešala



srednje viskoznosti:

mešala z večjimi odzivnimi ploskvami, manjše vrtilne hitrosti:
ročična mešala

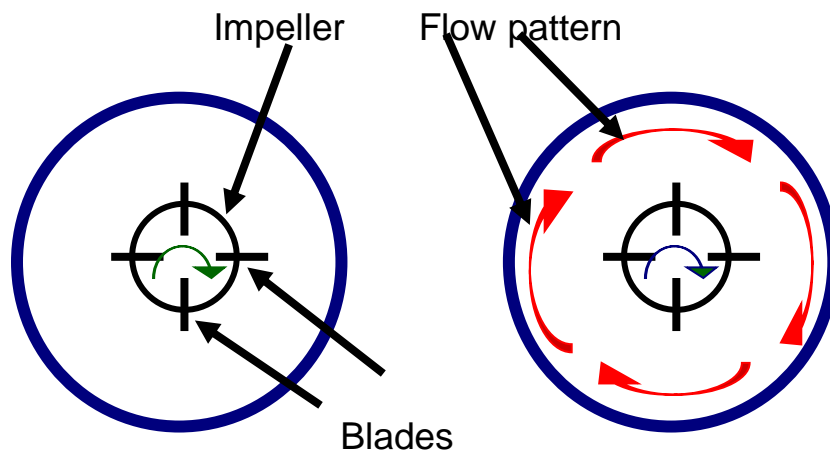
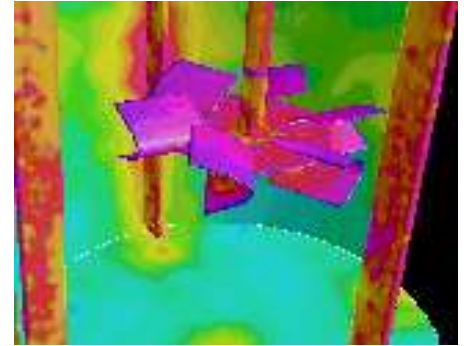


zelo visoke viskoznosti:

sidrna, polžna in tračna mešala

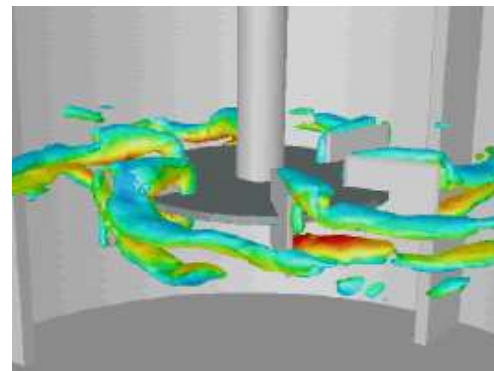
Vrste toka:

Tangencialen tok: tekočina se giblje vzporedno s stenami posode, kroži po posodi, slab mešalni učinek, slab centrifugalni učinek: ročična mešala za visoko viskozne tekočine

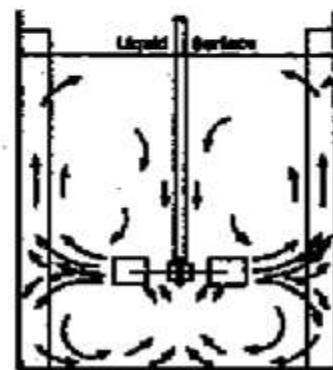


Vrste toka:

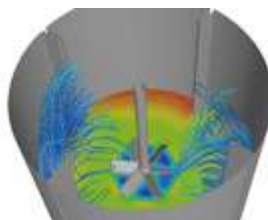
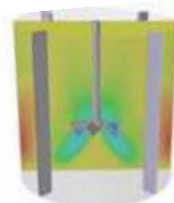
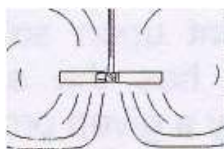
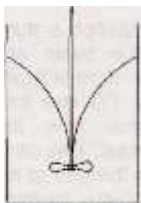
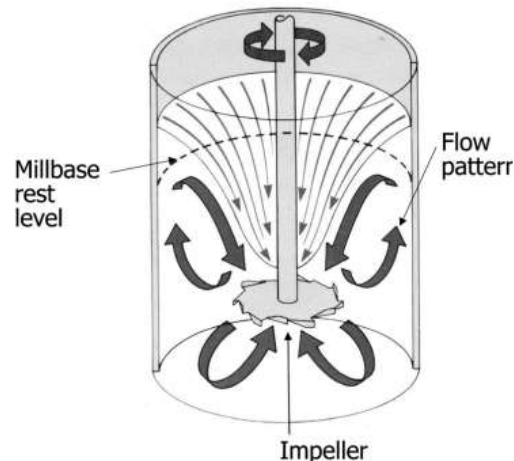
Radialen tok: lopatice zaradi centrifugalne sile odmetavajo tekočino proti stenam posode, strujanje tekočine se razdeli v tok navzgor in navzdol, večji učinek turbulence: turbine z ravnimi lopaticami...
Dispergiranje plinov



Aksialen tok: mešalo tekočino potiska v smeri vzporedno z osjo mešala propelerska mešala in turbine z nagnjenimi lopaticami.... Suspendiranje trdnih delcev



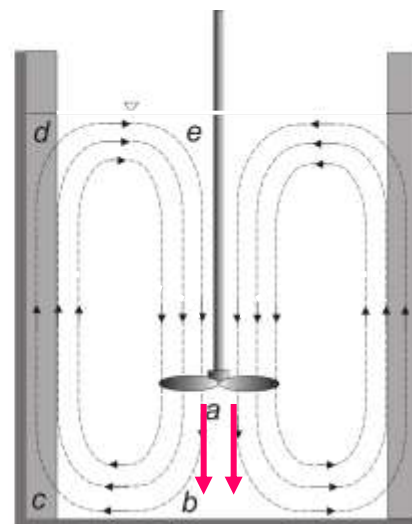
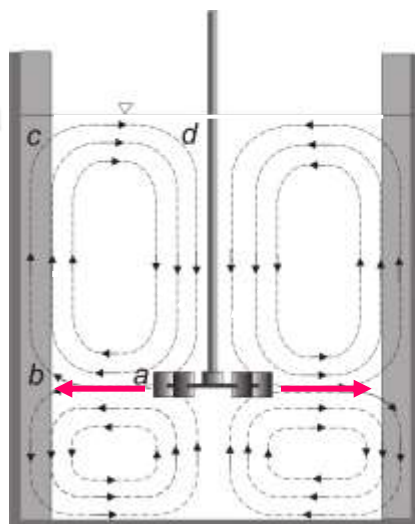
Radial-Flow Turbine Mixer



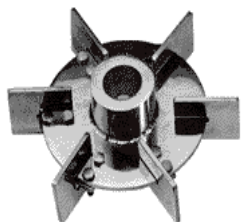
Način mešanja je odvisen od oblike mešala:

radialni tok

aksialni tok



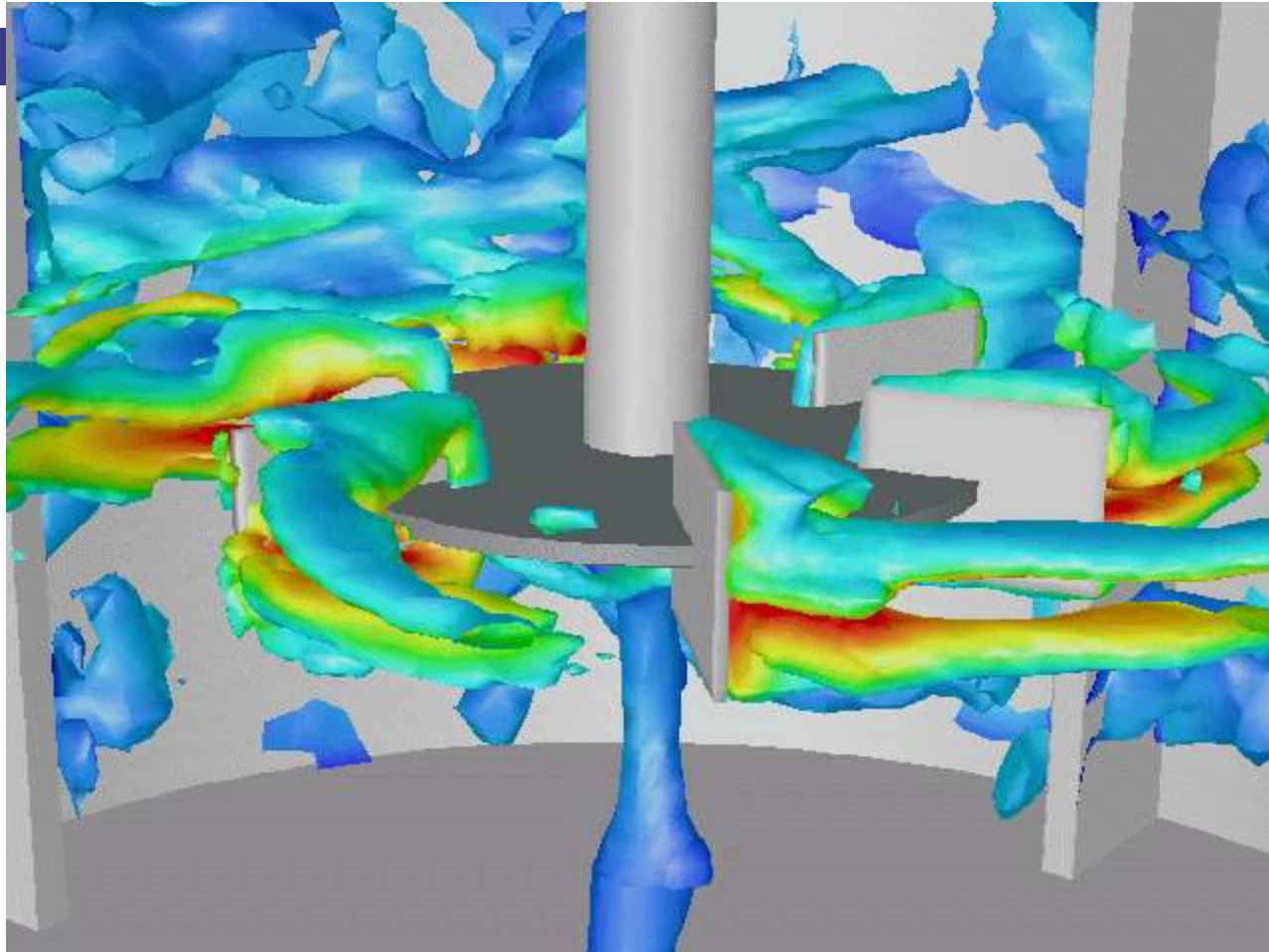
Rushtonova turbina



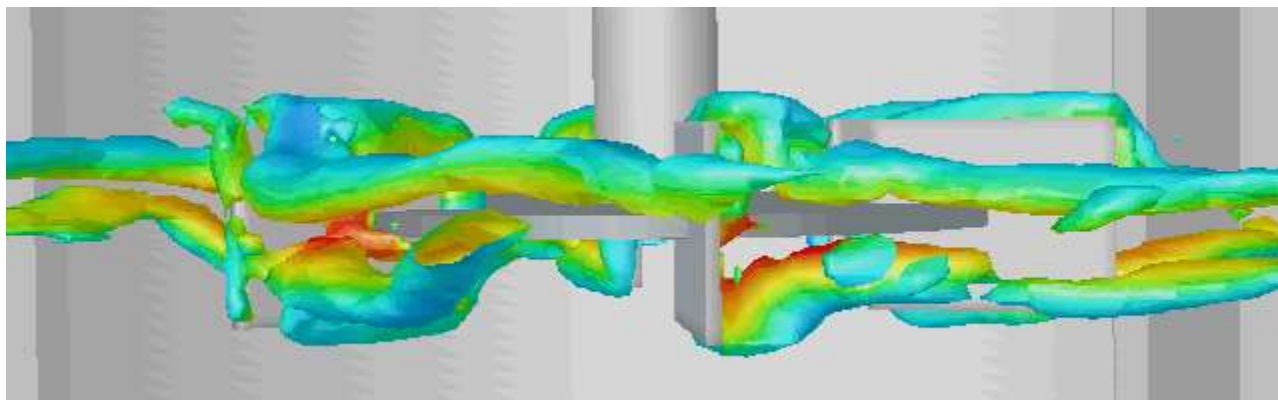
Propeler



pregrade: preprečujejo tvorbo lijaka

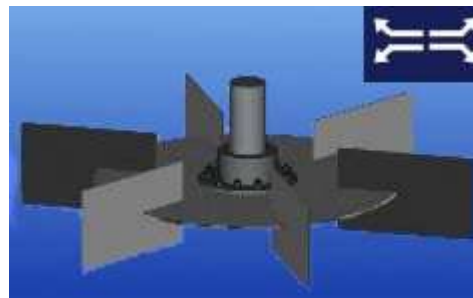
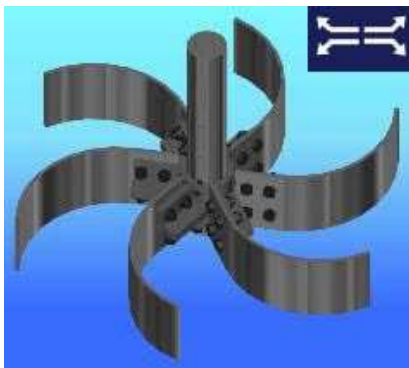
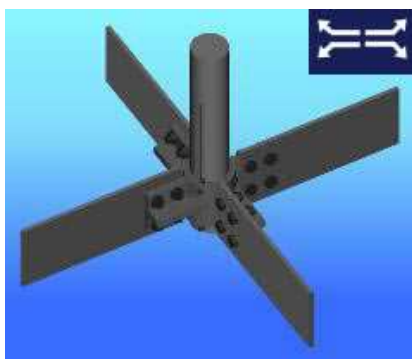
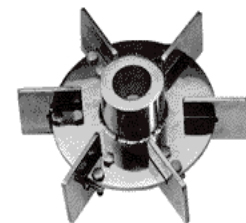


Rushtonova turbina; radialen tok: simulacija hitrostne porazdelitve

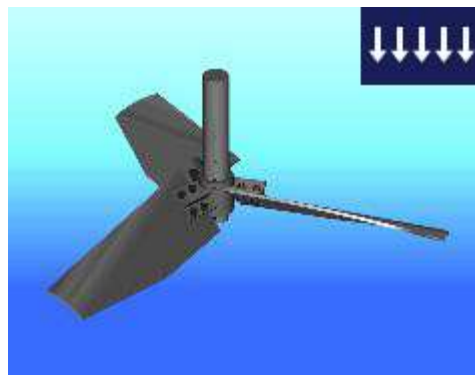
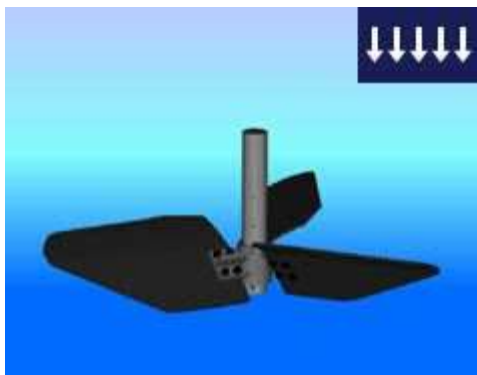


Oblika mešala

Turbinska mešala: hitro vrteča se mešala, najpogosteje v rabi: Rushtonova turbina



Propelerska mešala: hitro vrteča se mešala za razmešanje tekočin s trdnimi delci, ki se usedajo, za mešanje v odprtih posodah brez pregrad, tvorbo lijaka preprečimo z namestitvijo mešala pod kotom



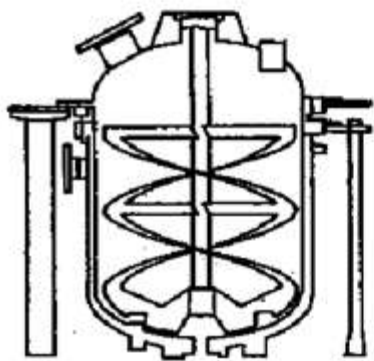
Oblika mešala

Ročična mešala: je mešalo z dvema ravnima lopaticama, potiskajo tekočino po krožni poti po posodi, delujejo pri nizkih obratih, hitro se pojavi lijak (nizek Re); za visoko viskozne tekočine, različne izvedenke, npr. z večjimi lopaticami)

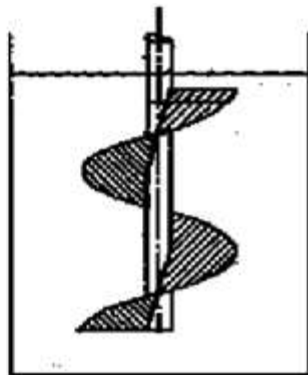


Oblika mešala

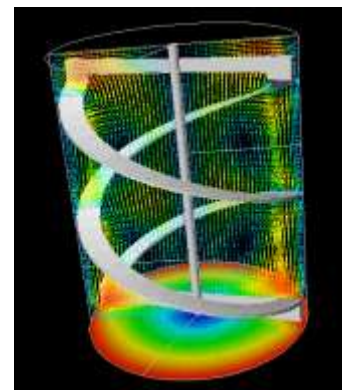
Polžna in tračna mešala: polž nosi tekočino iz dna posode proti površini, tekočina odpade in drsi navzdol po posodi



Open-Helical Blade Mixer

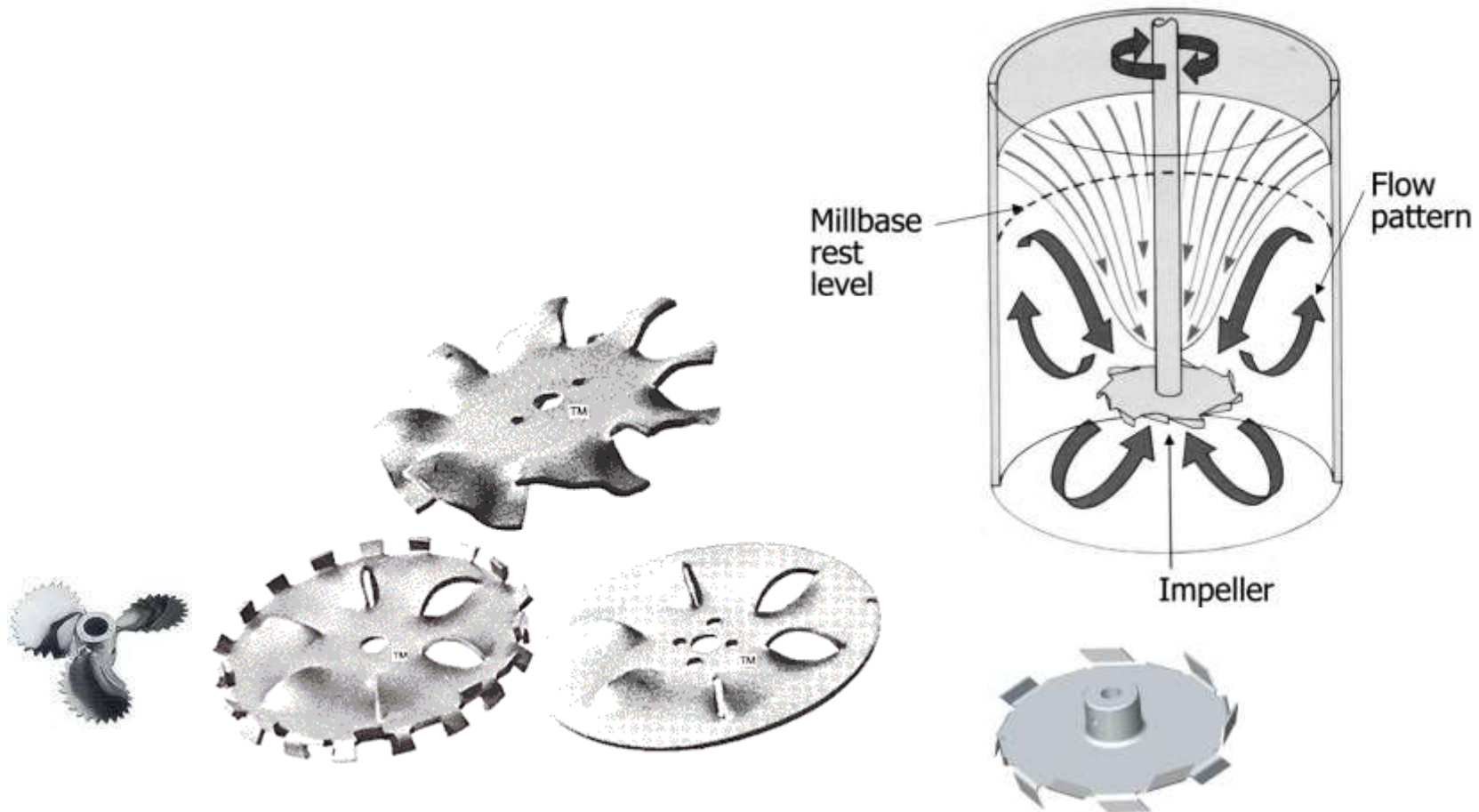


Auger-Type Blade Mixer



Oblika mešala

Mešala ki povzročijo močno lokalno turbulenco: so zelo hitro vrteča se mešala, uporabimo kadar želimo pripraviti čim manjše delce (pigmentne suspenzije, emulzije). Za tvorbo turbulence ob mešalu je treba ustvariti čim večji strig in čim manjše razgibavanje celotne tekočine: diskasta mešala, površina lopatic zelo maihna



Dimenzioniranje mešalnikov

Mešanje je kompleksen proces, ki ga z ustreznimi hidrodinamskimi enačbami ne moremo enostavno opisati.

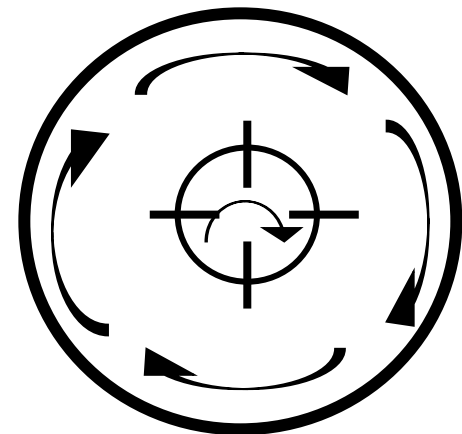
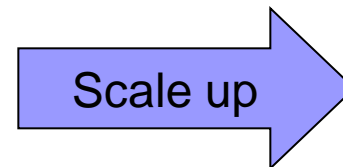
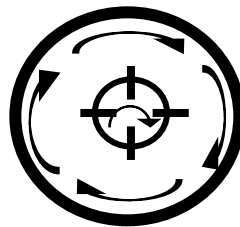
Težko izračunati potrebno velikost mešalnika, potrebnega števila obratov mešala in potrebne moči

Za dimenzioniranje mešalnikov so potrebni modelni poizkusi v geometrijsko podobnih posodah: več metod povečevanja: metode, ki so osnovane na rezultatih modelnih poskusov, metode ki so osnovane na kriterijih podobnosti:

Povečevanje mešalnikov glede na moč
dimenzijska analiza

Povečevanje glede na rezultat mešanja

- enak volumski vnos moči $P/V = \text{konst.}$,
- enaka obodna hitrost $ND = \text{konst.}$,
- enako Reynoldsovo št. $Re = \text{konst.}$



Povečevanje mešalnikov glede na moč dimenzijska analiza

Z dimenzijsko analizo spremenljivke uredimo tako, da dobimo izraz za obnašanje mešalnega sistema zapisanega v obliki splošne odvisnosti brezdimenzijskih števil; število spremenljivk mora biti minimalno.

V geometrijsko podobnih mešalnikih je potrebno zagotoviti dinamično podobnost – brezdimenzijska števila so razmerja med silami v mešalnem sistemu

$$P_0 = f(\text{Re}, \text{Fr}, \text{We})$$

P_0 : Število moči: strižne sile / vztrajnostne sile =

Re: Reynoldsovo število: sile vstrajnosti / sile viskoznosti

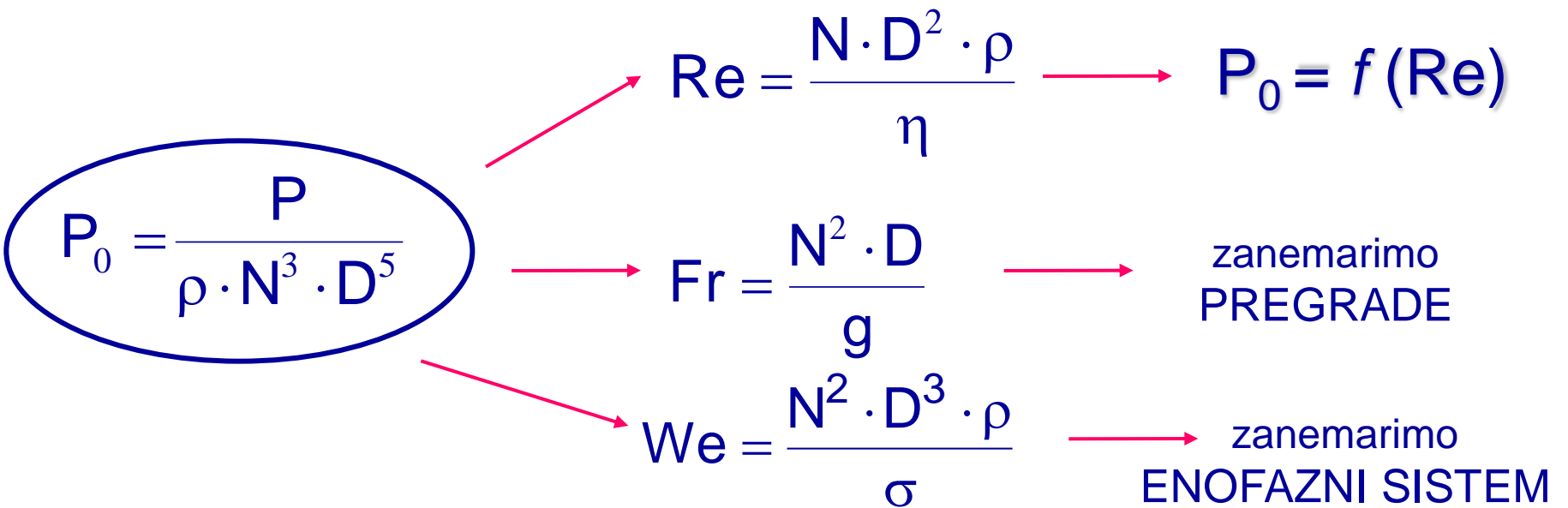
Fr: Froudovo število: sile vstrajnosti / gravitacijske sile

We: Webrovo število: sile vstrajnosti / sile površinske napetosti

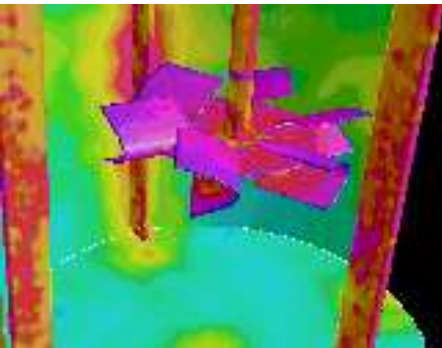


Povečevanje mešalnikov glede na moč
dimenzijska analiza

$$P_0 = f(Re, Fr, We)$$



σ ... površinska napetost Nm /m



Krivulja moči : $P_0 = f(\text{Re})$

$$P_0 = K \cdot \text{Re}^x \quad x = f(\text{Re})$$

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

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

K ... konstanta odvisna od geometrije sistema (oblike mešala in mešalne posode)

- Laminarno območje: $\text{Re} < 10$ je $x = -1$ (je krivulja premica z naklonom -1)

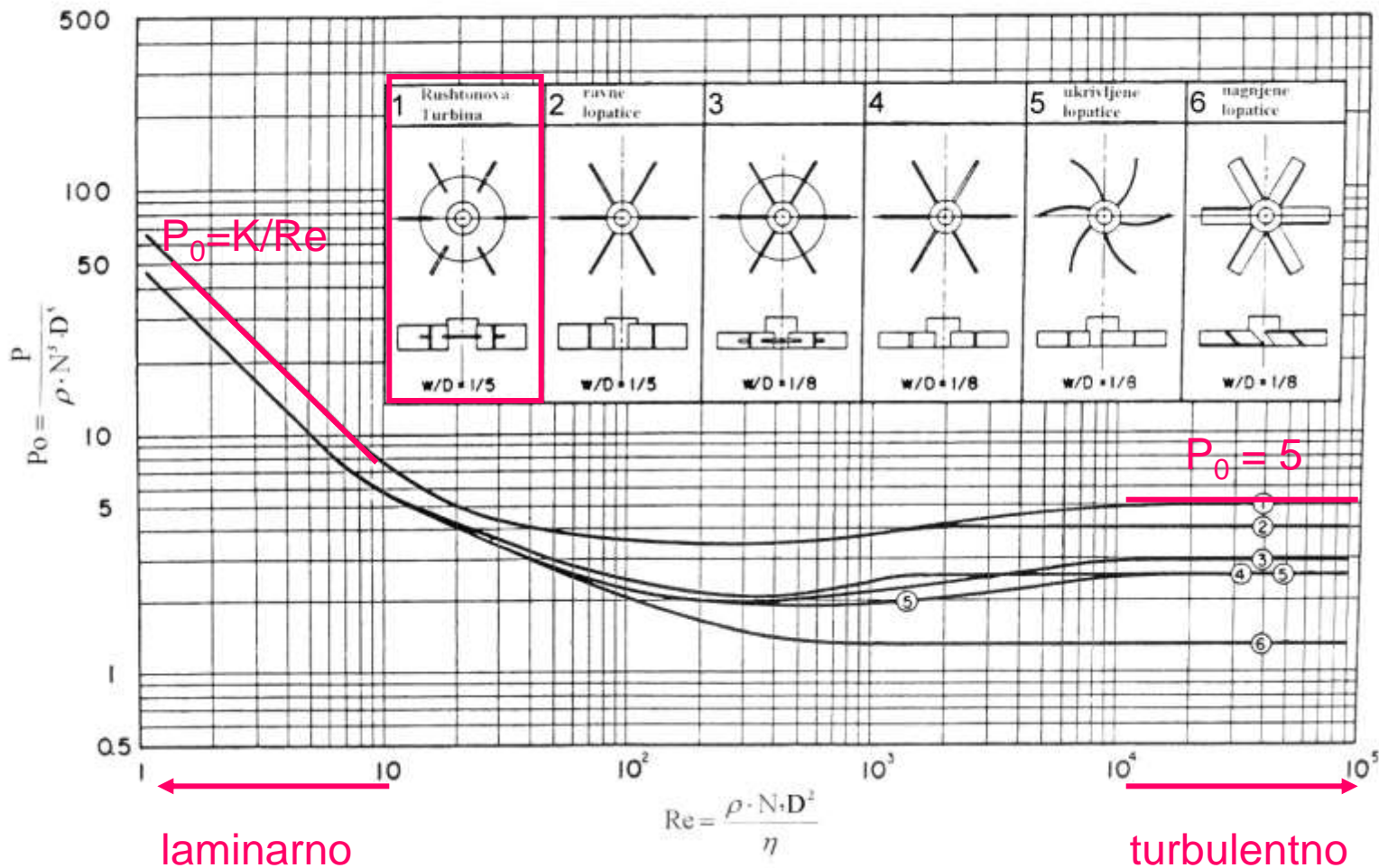
$$P_0 = K/\text{Re} \Rightarrow P = K \cdot \eta \cdot N^2 \cdot D^3 \quad \text{sorazmerna viskoznosti medija}$$

- Turbulentno območje: $\text{Re} > 10^4$ je $x = 0 \rightarrow P_0 = \text{konst.}$

$$P_0 = K \Rightarrow P = P_0 \rho N^3 D^5 \quad \text{sorazmerna gostoti medija}$$

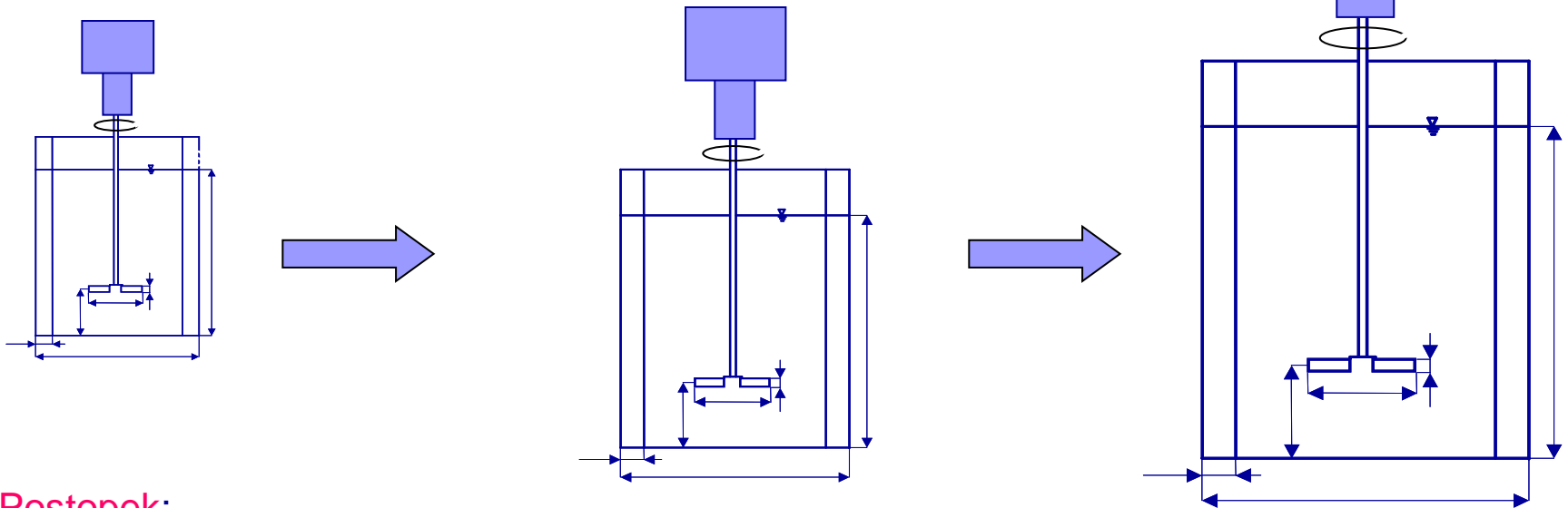
Krivulje moči : $P_0 = f(Re)$ za različne turbine

So odvisne od oblike mešala, niso odvisne od velikosti mešalnika



Dimenzioniranje mešalnikov glede na rezultat mešanja:

Za dimenzioniranje mešalnikov so potrebni **modelni poizkusi v geometrijsko podobnih posodah**: več metod povečevanja: metode, ki so osnovane na rezultatih modelnih poskusov metode ki so osnovane na kriterijih podobnosti



Postopek:

tri modelni mešalniki enake oblike in različne velikosti določimo hitrost mešala, ki da zadovoljiv rezultat mešanja izračunamo vrednosti možnih povečevalnih kriterijev

Povečevanje glede na rezultat mešanja

- enak volumski vnos moči $P/V = \text{konst.}$,
- enaka obodna hitrost $ND = \text{konst.}$,
- enako Reynoldsovo št. $Re = \text{konst}$

Povečevanje mešalnikov glede na rezultat mešanja

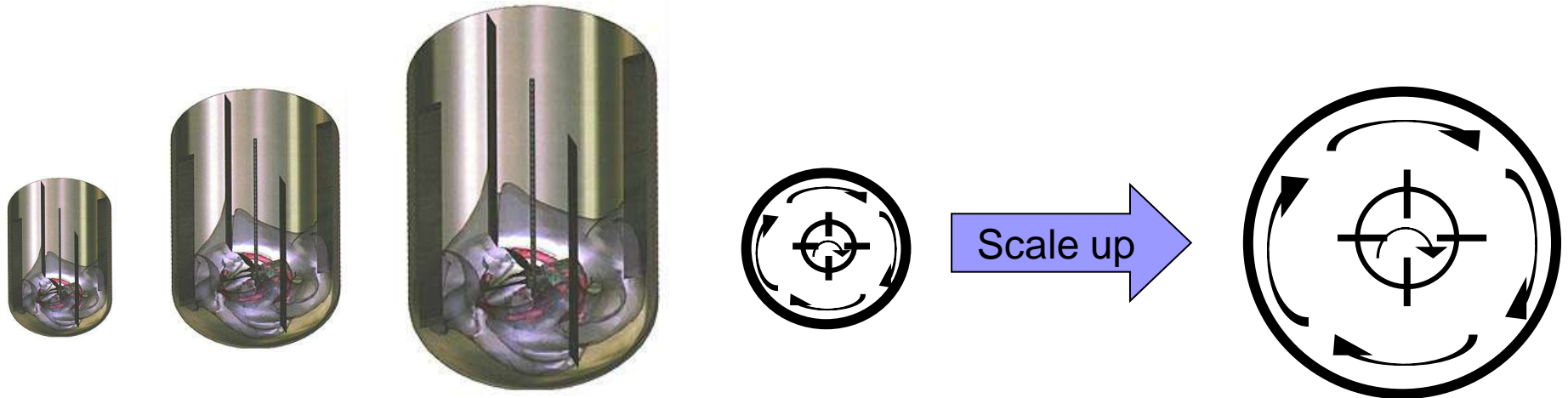
S pomočjo modelnih poskusov

Pomembno: izbira mešala, pravilna oddaljenost mešala od dna posode.

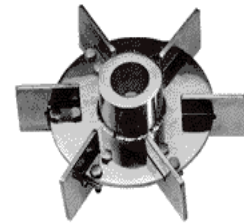
Ko je mešanje zadovoljivo v modelni posodi, je treba izbrati primeren povečevalni kriterij:

- enak volumski vnos moči $P/V = \text{konst.}$,
- enaka obodna hitrost $ND = \text{konst.}$,
- enako Reynoldsovo št. $Re = \text{konst}$

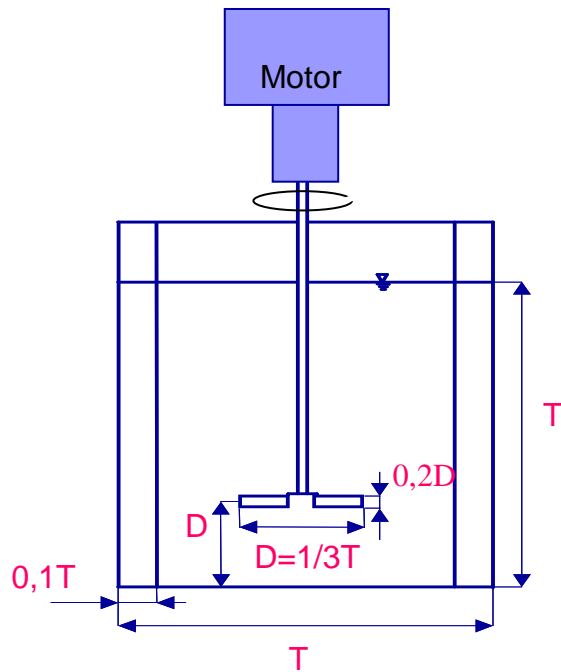
Noben od predstavljenih kriterijev ni združljiv z drugim, kateri je pravilen določimo na osnovi poskusov



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: $D = 0.1 \text{ m}$

$Re > 10^4$

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

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

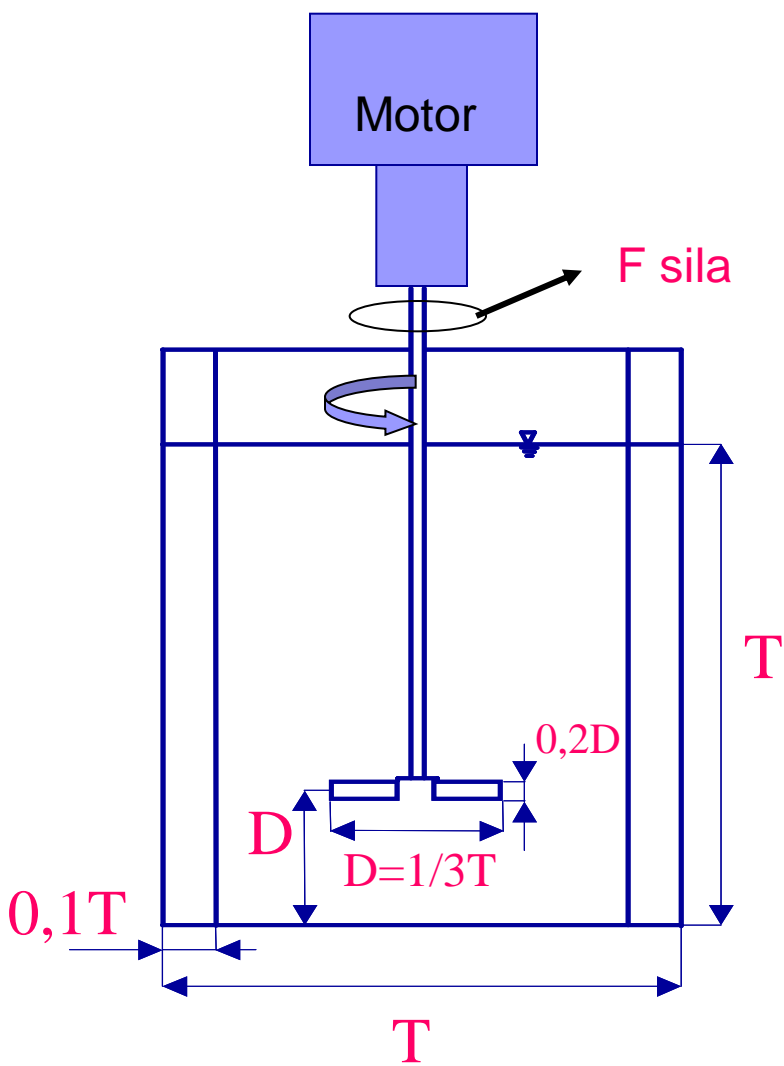
$$P_0 = \frac{P}{\rho \cdot N^3 \cdot D^5}$$

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

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

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

Mešanje



Mehansko mešanje:

Zunanja sila premaguje napetosti v sami kapljevini

$$P = M \cdot \omega = (F \cdot R) \cdot (2 \cdot \pi \cdot N)$$

P: moč (W)

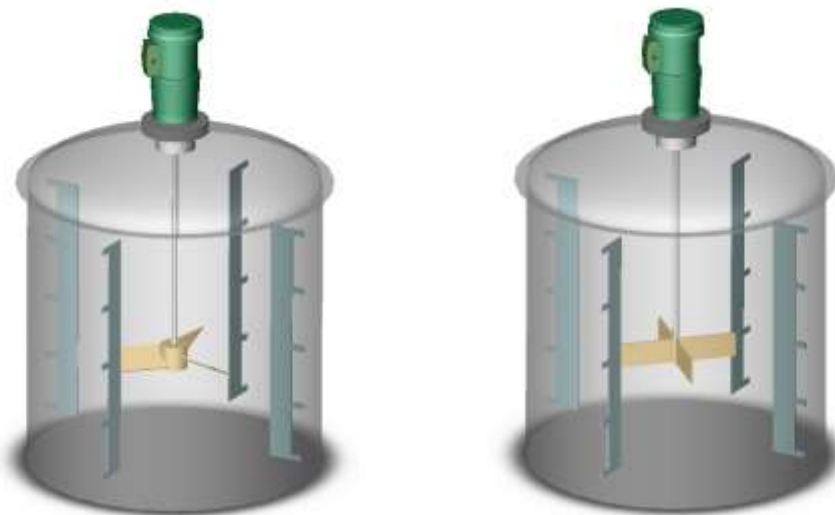
M: Navor (Nm)

ω : frekvenca, (rad/s)

N: število obratov mešala (s^{-1})

F: sila (N)

R: ročica (m)



Povečevanje mešalnikov z ozirom na MOČ (P)

Krivulja moči : $P_0 = f(Re)$

- od lastnosti snovi (ρ, η, γ)
- gravitacijsko polje
- od mešala (N, D)

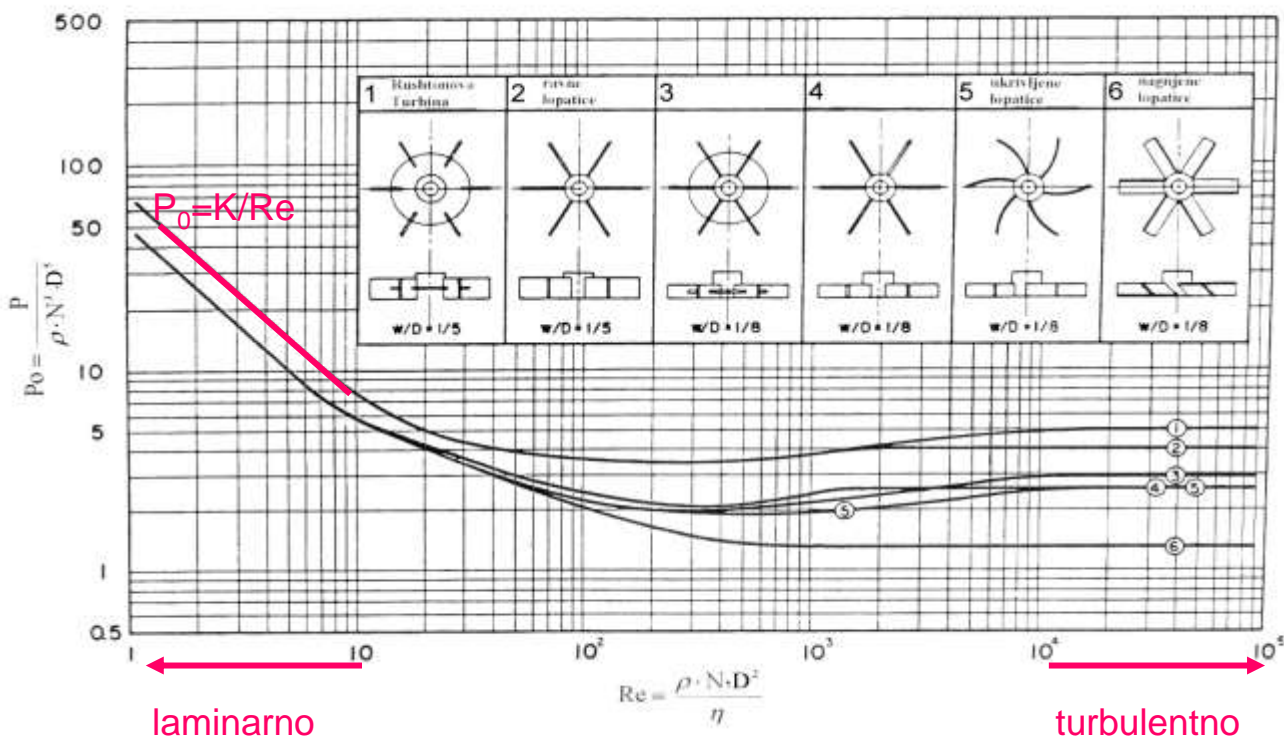
Brezdimenzijsko število:

število moči P_0

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

$$P = M \cdot \omega = (F \cdot R) \cdot (2 \cdot \pi \cdot N)$$

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



Primer 2: Melaso, ki je newtonska tekočina, z viskoznostjo 5 Pa.s in gostoto 995 kg/m³ želimo mešati s propelerskim 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	



$$P_0 = K/Re$$

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

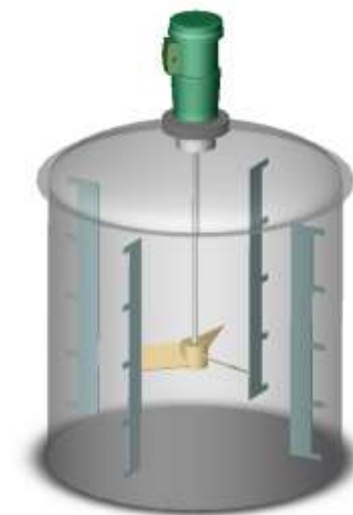
$$P_0 = 40/8 = 5$$

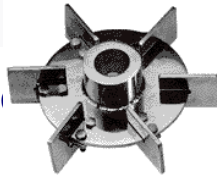
$$Re = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\eta} \quad Re = \frac{4 \cdot 0.1^2 \cdot 995}{5} = 8$$

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

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

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





Primer 3: V STC mešalniku mešamo rastlinsko olje z gostoto 980 kg/m^3 in viskozno $\eta = 2 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Proces mešanja z Rushtonovo turbino, premera 0.15 m , poteka v laminarnem tokovnem 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 $\frac{P}{V} = 1 \text{ Wm}^{-3}$

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

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

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

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

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

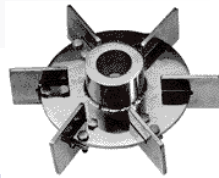
$$P_0 = K/\text{Re}$$

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

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

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

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



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?

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

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

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

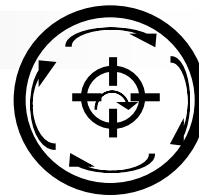
$$P_0 = 72/10 = 7.2$$

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

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



Scale up



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 $P_0 = 2.6$

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

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

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

(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: $N \cdot D = \text{konst}$

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

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

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

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?

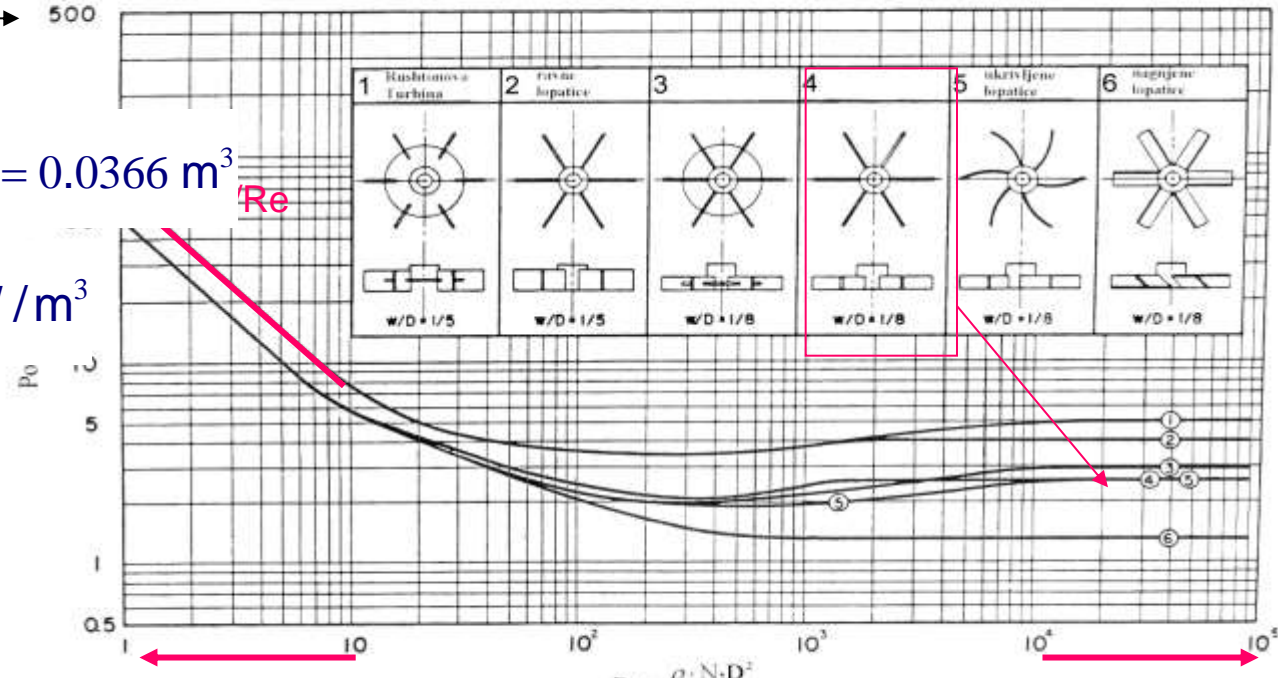
$$Re = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\eta} = \frac{6 \cdot 0.12^2 \cdot 1050}{8 \cdot 10^{-3}} = 11340$$

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

$$P_0 = \frac{P}{\rho \cdot N^3 \cdot D^5} = 2.6 \rightarrow 500$$

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

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



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?

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

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

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

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

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

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

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

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

N število obratov (s^{-1})

D premer mešala (m)

ρ gostota tekočine (kg/m^3)

η viskoznost (Pa.s)

Newtonske tekočine:

viskoznost ni odvisna od jakosti strižnega polja (pri mešanju – od hitrosti mešala, N)

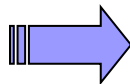
Ne newtonske tekočine:

viskoznost je odvisna od jakosti strižnega polja (pri mešanju – od hitrosti mešala, N)

Poznati je treba reološke lastnosti tekočine

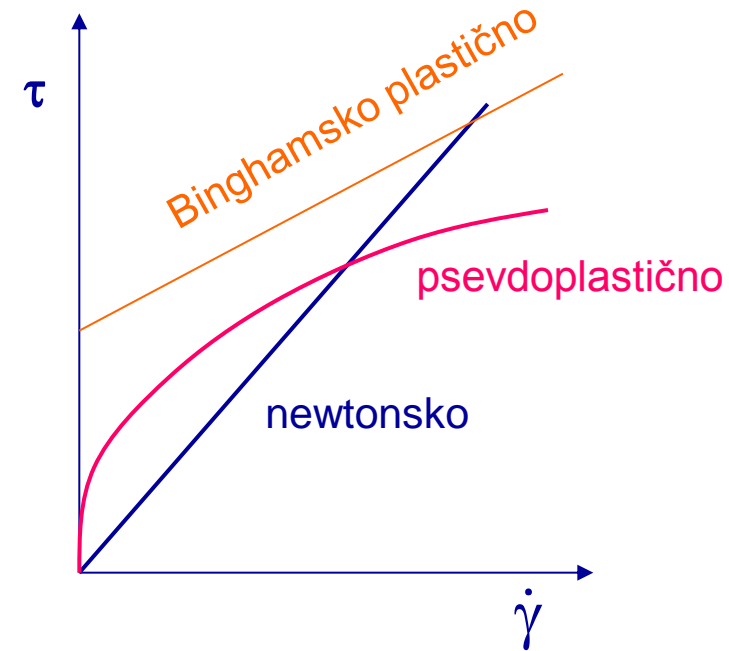
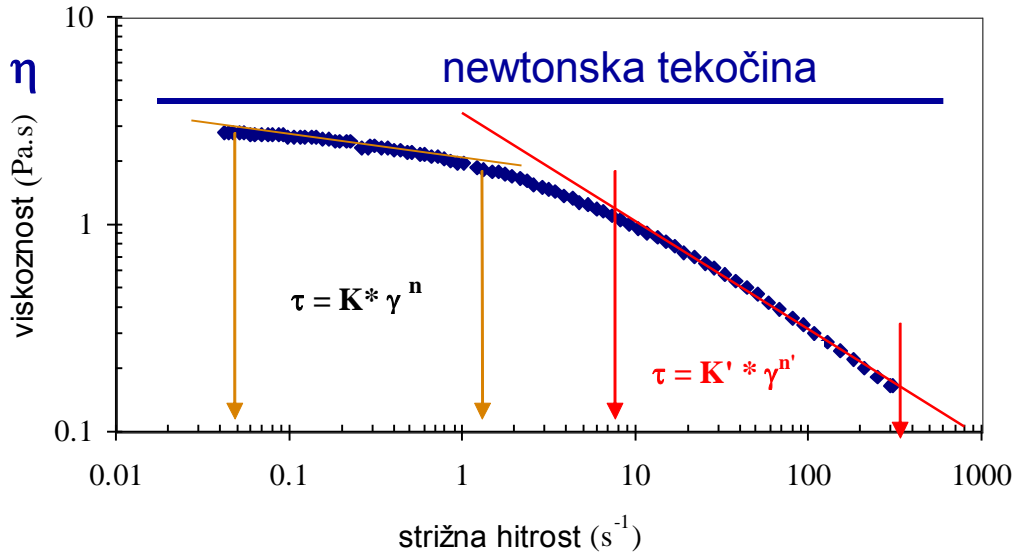
η viskoznost = f (N)

določiti je treba odvisnost



viskoznost tekočine merimo
z viskozimetrom pri pogojih
enostavnega striga

Izračun Reynoldsovega števila za primer pseudoplastične in plastične tekočine



Pseudoplastična tekočina: power law

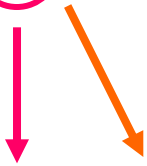
$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \Rightarrow \tau = k \cdot \dot{\gamma}^n \Rightarrow \eta = k \cdot \dot{\gamma}^{(n-1)}$$

Binghamsko plastična tekočina : $\tau = \tau_0 + \eta_p \cdot \dot{\gamma} \Rightarrow \eta = \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} + \eta_p$

Proces mešanja:

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

η



Pseudoplastična tekočina

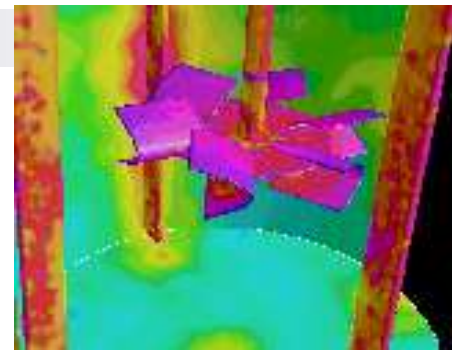
$$\eta = k \cdot \dot{\gamma}^{(n-1)}$$



$$\eta = k \cdot (K_s \cdot N)^{n-1}$$



$$Re = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{k \cdot (K_s \cdot N)^{n-1}}$$



Strižna hitrost v mešalniku: Otto – Meznerjevo pravilo

$$\dot{\gamma} = K_s \cdot N$$

K_s ... Strižna konstanta –odvisna od tipa mešala

Za standardizirana mešala je podana v literaturi, (priročniki, proizvajalci mešal)

Turbinska mešala: $K_s = 12$; propeler: $K_s = 10$

pri posebnih izvedbah mešal jo določimo eksperimentalno

Binghamsko plastična tekočina

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

$$Re = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\frac{\tau_0}{K_s \cdot N} + \eta_p}$$



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 $\dot{\gamma} = 25 \cdot N$ [s^{-1}]. 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:

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

$$\text{Re} = 10 \quad P_0 = 7$$

$$20 < \text{Re} < 10^3 \quad P_0 = 4$$

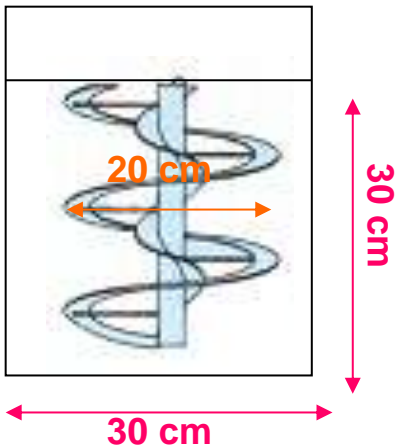
$$\text{Re} = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\eta}$$

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

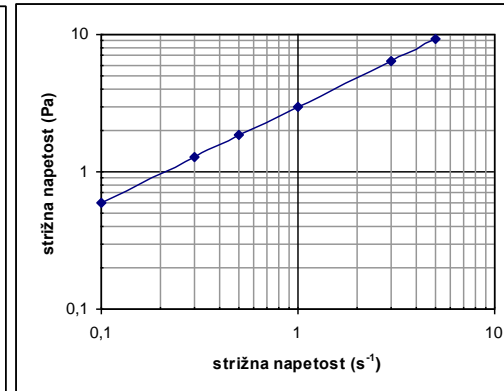
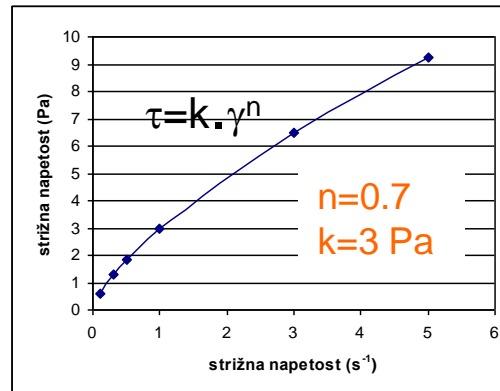
} Laminaren tok: $P_0 = K \cdot \text{Re}^x$

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

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



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



$\dot{\gamma}$	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

$$Re = 1$$

$$Re = 10$$

$$20 < Re < 10^3$$

$$P_0 = 70$$

$$P_0 = 7$$

$$P_0 = 4$$

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



$$P_0 = K/Re$$

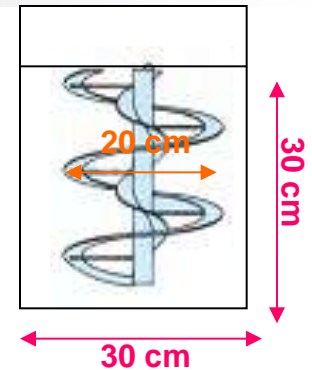
$$70 = K/1 \text{ ali } 7 = K/10 \Rightarrow K = 70$$

$$P_0 = 70/6.95 = 10$$

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

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

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

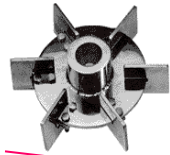


Primer 7: V mešalniku standardne konfiguracije (STC) premera 60 cm želimo mešati newtonsko tekočino gostote 1000 kg/m^3 . Viskoznost tekočine smo določili z merjenjem reoloških lastnosti, ki so podane v priloženi tabeli. Strižne pogoje v mešalniku lahko ocenimo z Otto-Metznerjevo zvezo: $\dot{\gamma} = 12 \text{ N (s}^{-1}\text{)}$. 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:

$$Re = 10, P_0 = 7$$

$$Re = 30, P_0 = 4.6$$

$$Re = 40, P_0 = 4$$



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

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

$$P_0 = 4.2$$

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

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

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

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

Binghamsko plastična tekočina

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

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



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

