

Míchání

Úvod:

Mícháním se urychluje dosažení koncentrační a teplotní homogenity, které podstatně ovlivňují průběh tepelných a difuzních operací, reakcí v reaktorech a bezpečnost chemických provozů, která bývá ohrožena i koncentrační a teplotní nehomogenitou. Nejjednodušším míchacím zařízením je lopatkové míchadlo v míchací nádobě bez narážek, s kterým budeme pracovat v laboratorním cvičení,

Úkol:

- 1) Sestavit funkčně stabilní laboratorní zařízení respektující předepsané geometrické simplexu,
- 2) měřit doby homogenizace při různých frekvencích otáčení a stanovit závislost doby homogenizace na frekvenci otáčení formou tabulky a grafu,
- 3) měřit proud a napětí na svorkách elektromotoru míchacího zařízení, vypočítávat skutečné příkony a vyjádřit závislost skutečného příkonu na frekvenci otáčení formou tabulky a grafu,
- 4) vypočítávat teoretické příkony podle grafu závislosti příkonových čísel na Reynoldsově čísle pro míchání a příslušných geometrických simplexech, vypočítávat mechanické účinnosti míchacích zařízení a formulovat jejich závislost na frekvenci otáčení,
- 5) vypočítávat praktické spotřeby energie na homogenizaci závisle na frekvencích otáčení a vyjádřit jejich závislost shora uvedenými formami,
- 6) ověřit platnost Strouhalova kriteria zápisem v tabulce.

Teoretický úvod:

Příkon na míchací zařízení závisí na jeho konstrukci (geometrickém uspořádání) vyjádřené geometrickými simplexu (poměrem dvou charakteristických délek) a to: poměrem výšky náplně míchací nádoby H ku jejímu průměru D (H/D), poměrem výšky lopatky h ku průměru míchací nádoby D (h/D), poměrem průměru lopatky d ku průměru míchací nádoby D (d/D) a Reynoldsově čísle Re_M pro míchání

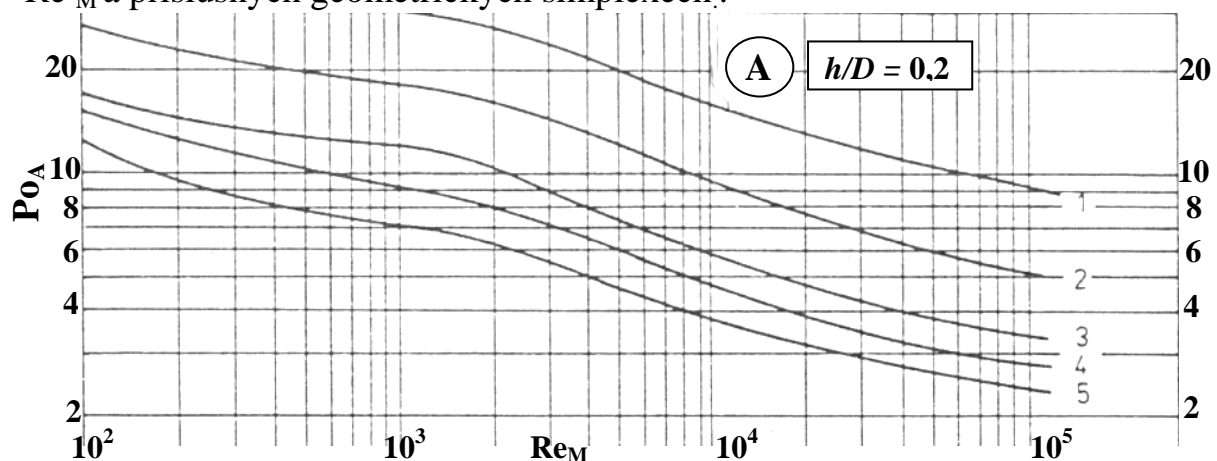
$$Re_M = \frac{d^2 f \rho}{\eta} \quad (1)$$

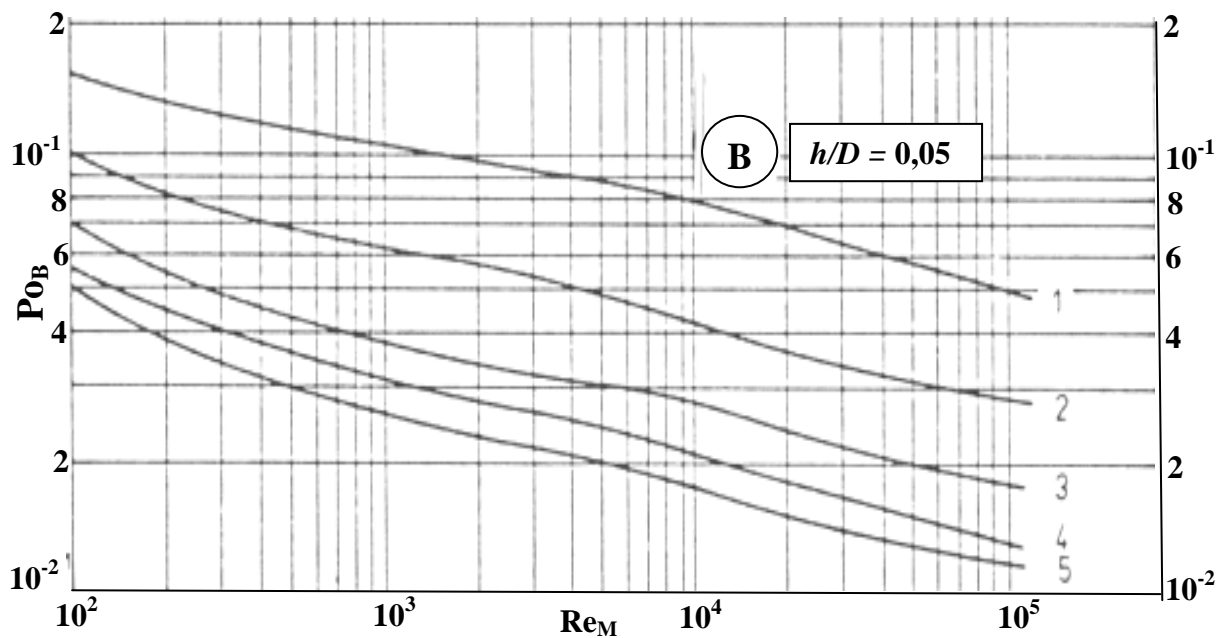
kde d je průměr míchadla, f frekvence otáčení, ρ hustota kapaliny, η její dynamická viskozita. Běžně se míchá při $Re > 1 \cdot 10^4$.

Teoretický příkon $P_{0,t}$ na míchadlo vypočteme podle rovnice

$$P_{0,t} = Po \rho f^3 d^5 \quad (2)$$

Příkonové číslo Po odečítáme z grafu jeho závislosti na Reynoldsově čísle Re_M a příslušných geometrických simplexech:





Křivky 1 až 5 v obou grafech platí pro základní geometrii $H/D = 1$ a geometrie

křivka	1	2	3	4	5
d/D	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9

Skutečný příkon $P_{0,s}$ na míchadlo vypočteme ze změřeného stejnosměrného proudu I a napětí U na svorkách elektromotoru míchadla

$$P_{0,s} = I U \quad (3)$$

Mechanická účinnost míchání η se vypočítá obvyklým způsobem:

$$\eta = P_{0,t} / P_{0,s} \quad (4)$$

Spotřebu energie E na homogenizaci vypočteme ze skutečného příkonu $P_{0,s}$ a doby homogenizace τ :

$$E = P_{0,s} \tau \quad (5)$$

Doba homogenizace τ a tím i spotřeba energie závisí též na zvolené nebo zadané výšce h_2 spodní hrany míchadla nade dnem míchací nádoby, definované obvykle simplexem h_2/D .

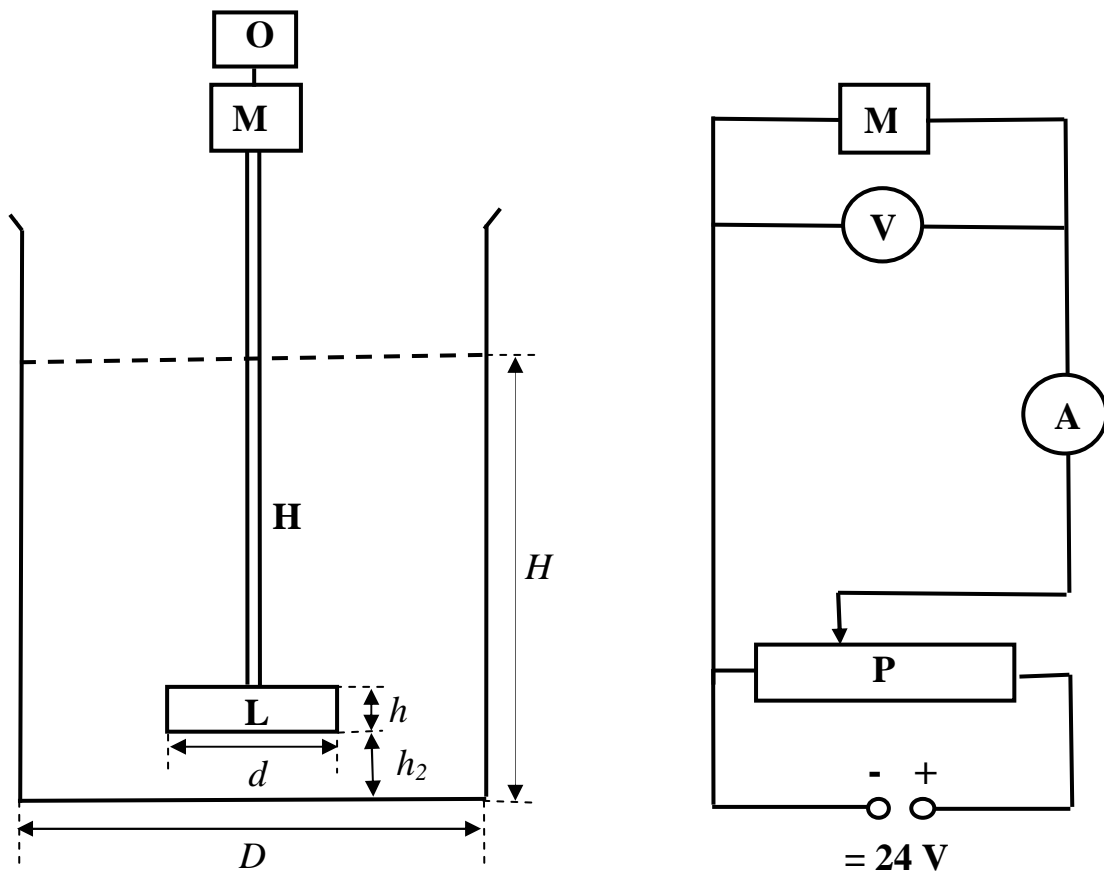
Strouhalovo kritérium

$$Sl = \tau f \quad (6)$$

by mělo být pro dané míchadlo, danou geometrii míchání a pro stejnou kapalinu konstantní.

Sestava aparatury:

Aparaturu sestavíme podle zadaných nebo vhodně zvolených geometrických simplexů a měřicí přístroje zapojíme podle obrázků



V obrázcích znamená **O** – počítadlo počtu otočení míchadla, **M** - elektromotorek, **H** - hřídel míchadla, **L** - lopatka míchadla, **V** - voltmetr, **A** - ampérmetr, **P** - potenciometr

Postup při měření:

Sestavení aparatury

Sestavíme aparaturu podle obrázku. Do výřezu hřídele zasuneme a šroubem upevníme lopatku míchadla. Její spodní hranu umístíme v míchací nádobě do zadané nebo zvolené výšky nad jejím dnem. Změříme a zapíšeme všechny délky potřebné pro výpočet hodnot geometrických simplexů potřebných pro odečítání příkonového čísla z uvedeného grafu včetně výšky spodní hrany míchadla ode dna míchací nádoby. Při sestavování aparatury je třeba dodržet svislou polohu hřídele míchadla ve středu míchací nádoby a souměrné upevnění lopatky. Do držáku uchytneme obyčejnou skleněnou nálevku s krátkým a dostatečně širokým stonkem (násypku), umožňujícím prakticky okamžité vyprázdnění nalitého roztoku, co nejlíže vodní hladině. Kmitání hřídele míchadla omezíme vhodně nastaveným, mírně pootočeným držákem tak, aby nekladl odpor otáčení hřídele. Míchací nádobu (v našem případě širokou kádinku obsahu 2500 ml) naplníme vodovodní vodou do výšky $H = D$. **Po sestavení se nesmí měnit vzájemná poloha částí míchacího zařízení.**

Zapojení měřicího obvodu

Součásti měřicího obvodu zapojíme podle schématu. Abychom předešli zdlouhavému hledání závad propojení (většinou špatné kontakty, někdy i funkce přepínacích kontaktů rozsahu měřicích přístrojů), doporučuje se zapojit napřed okruh bez měřicích přístrojů a přezkoušet odezvu frekvence otáčení míchadla na polohu jezdce potenciometru. Po kladném výsledku nebo odstranění závady

zkontrolujeme napětí baterií měřicích přístrojů. Pak zapojíme ampérmetr na rozsahu 1 A a opět zkontrolujeme jeho odezvu na polohu jezdcy potenciometru, případně odstraníme závadu. Nakonec zapojíme voltmetr na rozsahu = 30 V, nejlépe přímo na svorky elektromotorku a opět zkontrolujeme odezvy obou měřidel případně upravíme rozsahy.

Kontrola počítadla otáček

Potenciometrem nastavíme vhodnou frekvenci otáčení míchadla pro kontrolu funkce počítadla. Po proběhnutí rysky na kotouči pohonu míchadla před očima stiskneme nulování počítadla a začneme počítat počet otočení. Asi po 50 otočeních vypneme zdroj napětí, odečteme údaj počítadla a případně vypočteme korekční součinitel. Odečteme-li údaj počítadla např. 52 při skutečně napočítaných 50 otočeních, musíme údaj počítadla při měřeních korigovat součinitelem $k = 50/52 = 0,96$. Pak můžeme začít měřit.

Vlastní měření

Z odměrného válečku nalijeme 10 ml 1M roztoku NaOH a 3 ml roztoku fenolftaleinu (koncentrace 10 g fenolftaleinu / l lihového roztoku) do míchací nádoby (kádinky) s vodou. Zapneme zdroj stejnosměrného napětí, potenciometrem zvolíme vhodnou frekvenci otáčení zhomogenizujeme náplň a změříme její teplotu. Do malé kádinky připravíme dvojnásobek ekvivalentního množství silné kyseliny (např. 10 ml 1M roztoku kys.sírové nebo 20 ml 1M roztoku kys. chlorovodíkové). Potenciometrem nastavíme výchozí frekvenci otáčení míchadla a po ustálení tvaru povrchu hladiny odečteme údaje ampérmetru a voltmetru. Pak současně vynulujeme počítadlo, rychle vlijeme nálevkou do obarveného roztoku hydroxidu odměřené množství kyseliny a stopkami začneme měřit dobu homogenizace. Jakmile se roztok odbarví, vypneme zdroj napětí a současně zastavíme stopky. Na stopkách odečteme dobu homogenizace, na počítadle počet otočení. Náplň míchací nádoby vypustíme hadicovou násoskou do podstavené nádoby (kbelíku) nebo do výlevky (trvá déle), abychom nezměnili geometrii. Měření opakujeme do dosažení tří uspokojivých výsledků. Pak pokračujeme v měření při alespoň pěti změněných frekvencích otáčení tak, aby frekvence otáčení splňovaly možnosti odečítání z grafu závislosti P_o na Re_M . Změřené údaje zapíšeme do tabulky.

Vyhodnocení výsledků měření:

Hodnoty změřených a vypočtených veličin, např. pro míchání vody při teplotě 15 °C ($\rho = 999 \text{ kg m}^{-3}$, $\eta = 1,1374 \text{ mPa s}$), korekčním součinitelem počítadla $k = 1$ v míchací nádobě o průměru $D = 14,3 \text{ cm}$, výšce klidové náplně $H = 14,3 \text{ cm}$, průměru lopatky míchadla $d = 9,2 \text{ cm}$, a její výšce $h = 2,6 \text{ cm}$ vzdálenosti spodní hrany lopatky 3 cm ode dna míchací nádoby a při hodnotách geometrických simplexů $H/D = 1$, $h/D = 0,18$ ($\approx 0,2$), $d/D = 0,64$ a $h_2/D = 0,21$, zapíšeme do tabulky

č.měř.	1	2	3	4	5
$n = \text{Sl} / 1$	17				
τ / s	6,66				
U / V	4,0				

I/A	0,30				
f/s^{-1}	2,55				
$P_{o,s}/W$	1,2				
$Re_M/10^4$	1,90				
$Po/1$	2,8				
$P_{o,t}/W$	0,31				
$\eta/1$	0,26				
E/J	8,0				

Frekvenci otáčení f vypočteme z počtu otočení míchadla n na počítadle, skutečný příkon $P_{o,s}$ podle rov.3, Reynoldsovo číslo Re_M podle rov.1, příkonové číslo $Po = 2,8$ odečteme z grafu jeho závislosti na hodnotě Re_M jako pořadnici průsečíku úsečky pro $Re_M = 1,90$ s myšlenou křivkou pro geometrii $d/D = 0,64$ probíhající mezi křivkami 2 a 3. teoretický příkon vypočteme podle rov.2, účinnost η podle rov.4 a spotřebu energie podle rov.5.

Podle výsledků měření nakreslíme grafy závislostí doby homogenizace, skutečného, teoretického příkonu, účinnosti a spotřeby energie na homogenizaci na frekvenci otáčení míchadla nebo Reynoldsově čísla pro míchání.

Diskuse výsledků:

Slovně zhodnotíme průběh grafů a konstantnost Strouhalova kriteria.

Příloha:

Shora uvedené grafy závislostí

Kontrolní otázky:

- 1) Definujte stupeň nehomogenity a uveďte meze hodnot, kterých může nabývat.
- 2) Uveďte faktory ovlivňující dobu homogenizace, teoretický a skutečný příkon na míchací zařízení a spotřebu energie na homogenizaci.
- 3) Jak souvisí Reynoldsovo číslo pro míchání s číslem pro proudění tekutin potrubím? Zdůvodněte souvislost matematickým zápisem.
- 4) Jak vypočtete frekvenci otáčení míchadla, hodnotu Reynoldsova čísla, příkonového čísla, skutečný a teoretický příkon na míchadlo, spotřebu energie na homogenizaci a účinnost míchacího zařízení?
- 5) Pokuste se odvodit jednotkovou (rozměrovou) analýzou vzorec pro výpočet příkonu míchadla víte-li, že je funkcí příkonového čísla zahrnujícího Reynoldsovo číslo a geometrii míchání, hustoty, frekvence otáčení míchadla a jeho průměru.
- 6) Vysvětlete grafický výpočet hodnoty příkonového čísla.
- 7) Pokuste se zdůvodnit, proč není ve výčtu shora uvedených geometrických simplexů uveden simplex h/d .