

7 Usazování

Lenka Schreiberová, Pavlína Basařová

I Základní vztahy a definice

Usazování neboli sedimentace slouží k oddělování částic od tekutiny v gravitačním poli. Hustota částic se proto musí lišit od hustoty kapalného prostředí. Rozdíl těchto hustot rozhoduje o tom, kterým směrem nastane usazování a významnou měrou (vedle dalších faktorů) podmiňuje rychlost pohybu částice. Usazovací rychlost částice je základní veličinou pro výpočet usazovacích zařízení (např. gravitačních usazováků průtočných či periodických).

Rychlost usazování izolované částice se liší od rychlosti stejné částice, usazující se v přítomnosti dalších částic, neboť dochází k jejich vzájemnému ovlivňování. Tento případ označujeme jako rušené usazování. Při výpočtech usazováků však vzájemné ovlivňování částic často zanedbáváme, zejména při nízké koncentraci suspendovaných částic, a usazování tedy považujeme za nerušené.

Uvažujeme *pohyb izolované částice v nehybném tekutém prostředí*. Pro případ kladné orientace ve směru gravitační síly lze pohyb částice popsat podle druhého Newtonova zákona skalární rovnicí pro jednosměrný pohyb (všechny síly působí ve vertikálním směru) ve tvaru

$$V_p \rho_p g - V_p \rho g - \text{sign}(v) \zeta_u S_p \rho g \frac{v^2}{2} = V_p \rho_p \frac{dv}{d\tau} \quad (7-1)$$

kde V_p je objem částice, S_p - plocha průmětu částice do roviny kolmé ke směru jejího pohybu, ρ_p a ρ - hustoty částice a prostředí, g - gravitační zrychlení, v - okamžitá rychlost částice vzhledem k okolní tekutině a ζ_u - součinitel odporu prostředí proti pohybu částice.

Člen na pravé straně rovnice (7-1) vyjadřuje časovou změnu hybnosti částice. Na levé straně jsou postupně vyjádřeny síly působící na částici: tíhová $F_G = m_p g$, vztlaková neboli Archimedova síla $F_A = V_p \rho g$ a síla odporu prostředí $F_R = \zeta_u S_p \rho v^2/2$, která působí vždy v opačném směru pohybu částice; tato skutečnost je vyjádřena veličinou $\text{sign}(v)$, která je rovna +1 v případě pohybu částice v kladném směru (směr tíhové síly), nebo je rovna -1 v případě opačného směru pohybu částice.

V uspořádání obvyklém pro usazování dochází v poměrně velmi krátké době (zlomky sekundy) od počátku děje ke stavu, kdy výslednice všech sil působících na částici je rovna nule, tj. síly jsou v rovnováze. Zrychlení částice je potom také nulové a částice se dále pohybuje rovnoměrně přímočaře. Předpokládáme-li, že ve vztahu (7-1) je hustota částice větší než hustota tekutiny ($\rho_p > \rho$), bude se částice pohybovat ve směru gravitačního zrychlení konstantní rychlostí, kterou nazýváme *usazovací rychlostí* v_u .

Z rovnice (7-1) pak plyne

$$V_p g (\rho_p - \rho) = \zeta_u S_p \rho \frac{v_u^2}{2} \quad (7-2)$$

Dále vyjádříme objem V_p a plochu S_p pro případ *kulové částice* vzorci:

$$V_p = \frac{\pi d_p^3}{6}, \quad S_p = \frac{\pi d_p^2}{4}, \quad (7-3)$$

kde d_p je průměr částice. Po spojení rovnic (7-2) a (7-3) obdržíme

$$g d_p^3 (\rho_p - \rho) = \frac{3}{4} \zeta_u \rho d_p^2 v_u^2 \quad (7-4)$$

K určení usazovací rychlosti v_u z této rovnice je však nutno znát součinitel odporu ζ_u výpočtem nebo měřením. Bylo zjištěno, že bezrozměrová veličina ζ_u závisí na usazovací rychlosti a průměru částice, hustotě a viskozitě prostředí a rovněž na geometrickém uspořádání soustavy. Z rov. (7-4) plyne definice součinitele odporu ve tvaru :

$$\zeta_u = \frac{4}{3} \frac{g d_p}{v_u^2} \frac{\rho_p - \rho}{\rho} \quad (7-4a)$$

V usazování se podobně jako je tomu v jiných hydrodynamických pochodech zavádí *Reynoldsovo kritérium* Re_u vztahem

$$Re_u = \frac{v_u d_p \rho}{\eta} = \frac{v_u d_p}{\nu} \quad (7-5)$$

kde η označuje dynamickou a ν kinematickou viskozitu prostředí. Pro kinematickou viskozitu platí $\nu = \eta/\rho$.

Závislost ζ_u na Re_u byla zjištěna experimentálně. Tato závislost se často aproximuje mocninou závislostí

$$\zeta_u = A Re_u^a \quad (7-6)$$

kde číselné konstanty A , a nabývají různých hodnot (viz tab. 7-1) v závislosti na charakteru obtékání částice tekutinou a byly rovněž určeny pokusně. V literatuře bývá tato experimentálně určená závislost $\zeta_u(Re_u)$ znázorňována graficky.

Výpočet usazovací rychlosti v_u pomocí vztahů (7-4, 5 a 6) je však nutno provést iteračně, protože rychlost v_u je obsažena jak v definici součinitele odporu ζ_u , tak i Reynoldsova kritéria Re_u .

Z teorie vyplývá, že popis usazování částic rozměrovou rovnicí (7-4) je možno zobecnit převodem do bezrozměrového tvaru na závislost mezi pouze *dvěma* kritérii; např. ve vztahu (7-6) jsou těmito kritérii součinitel odporu ζ_u a Reynoldsovo kritérium Re_u . Pro praktické výpočty se však v usazování používají kritéria definovaná tak, aby se v nich nejčastěji počítané veličiny, tj. rychlost usazování v_u či průměr částice d_p , nevyskytovaly současně.

Jedním z takovýchto kritérií je *Archimedovo kritérium* Ar , které je definováno:

$$Ar = \frac{g d_p^3 (\rho_p - \rho)}{\nu^2 \rho} = \frac{g d_p^3 \rho (\rho_p - \rho)}{\eta^2} \quad (7-7)$$

Dále se zavádí *Ljaščenkovo kritérium* $Ly = Re^3 / Ar$, které z počítaných veličin obsahuje pouze rychlost usazování a platí potom definice

$$Ly = \frac{v_u^3 \rho^2}{g \eta (\rho_p - \rho)} \quad (7-8)$$

Rovnici usazování je pak místo rov. (7-6) možno vyjádřit jako vztah mezi kritérii Ly a Ar v obdobném mocninném tvaru:

$$Ly = B Ar^b \quad (7-9)$$

který je již vhodný pro přímý výpočet buď usazovací rychlosti v_u (je obsažena jen v Ljaščenkově kritériu) nebo průměru částice d_p (je obsažen jen v Archimedově kritériu).

Konstanty B , b v rov. (7-9) jsou opět závislé na charakteru obtékání částice a jejich hodnoty, získané regresní analýzou pokusných dat, jsou pro tři odlišné oblasti obtékání uvedeny v tab. 7-1.

Tab. 7-1 Hodnoty konstant v rovnicích (7-6) a (7-9)

Charakter obtékání kulové částice		laminární (Stokesova obl.)	přechodný (Allenova oblast)	turbulentní (Newtonova oblast)
Mezní hodnoty kritérií	Re_u	$\leq 0,2$	$0,2 - 5,0 \cdot 10^2$	$5,0 \cdot 10^2 - 1,5 \cdot 10^5$
	Ar	$\leq 3,6$	$3,6 - 8,4 \cdot 10^4$	$8,4 \cdot 10^4 - 7,4 \cdot 10^9$
Hodnoty kon- stant v rovnicích (7-6) a (7-9)	A	24	18,5	0,44
	a	-1	-0,6	0
	B	$1,71 \cdot 10^{-4}$	$3,56 \cdot 10^{-3}$	5,27
	b	2	1,14	0,5

Porovnání naměřených dat s literárními výsledky. K určení veličiny v_u nebo d_p je kromě výpočtů dle vztahu (7-9) možno též využít grafické závislosti $Ly^{1/3}$ ($Ar^{1/3}$) na obr. 7-1. Pro kulové částice platí křivka označená parametrem $\psi_V = 1$.

Popis *usazování nekulových částic* je obecně složitější než pro částice kulové. Uplatňují se další faktory: tvar částice, její orientace a odchylky od pohybu ve svislém směru. Jisté zobecnění je možné pro tzv. *částice izometrické*, u nichž délkové rozměry ve třech na sebe kolmých směrech jsou zhruba stejné (např. krychle). Pro ně jsou na obr. 7-1 zakresleny čáry označené parametrem $\psi_V < 1$.

Usazovací rychlost se pak určí obdobně jako pro částice kulové s tím rozdílem, že průměr částice se nahrazuje jejím *ekvivalentním průměrem* d_{ek} , vyjádřeným vztahem

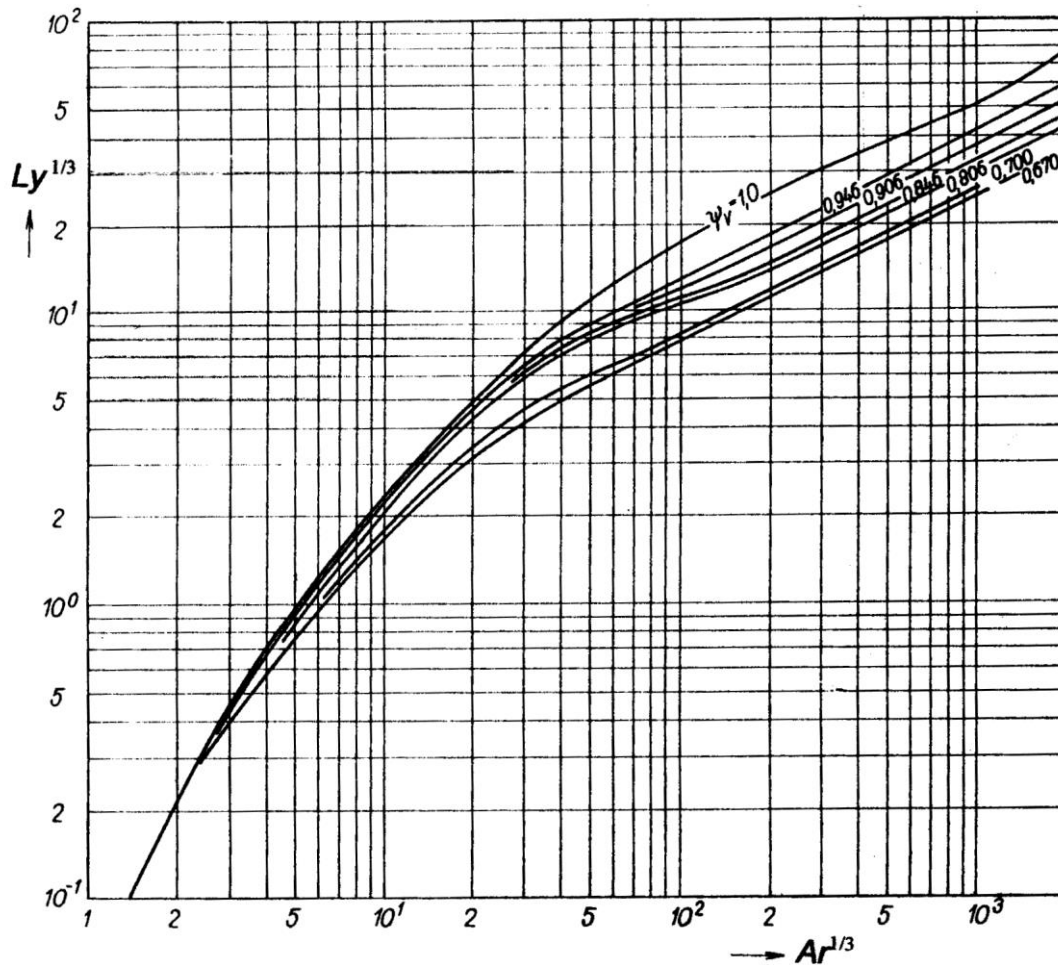
$$d_{ek} = \left(\frac{6V_{pn}}{\pi} \right)^{1/3} \quad (7-10)$$

v němž V_{pn} je objem nekulové částice. Definice d_{ek} je volena tak, že pro kouli $d_{ek} = d_p$.

Veličina ψ_V se nazývá *sféricita nekulové částice* a je definována vztahem

$$\psi_V = \frac{\pi d_{ek}^2}{A_{pn}} \quad (7-11)$$

kde A_{pn} je povrch nekulové částice.



Obr. 7-1 Závislost $Ly^{1/3}(Ar^{1/3}, \psi_v)$ pro usazování kulových a nekulových částic v přechodné a turbulentní oblasti. Parametrem křivek je sféricita ψ_v .

II Cíl práce

1. Měření usazovací rychlosti částic kulového a nekulového tvaru různé velikosti při konstantních fyzikálních vlastnostech kapaliny, výpočet výběrového průměru a rozptylu usazovací rychlosti.
2. Porovnání naměřených středních hodnot usazovací rychlosti kulových částic s hodnotami vypočtenými na základě grafu na obr.7-1 a rovnice (7-9).
3. Porovnání naměřených středních hodnot usazovací rychlosti nekulových částic s hodnotou vypočítanou pomocí sféricity.
4. Měření viskozity a hustoty kapaliny.

III Popis zařízení

Zařízení pro usazování je zobrazeno na obr. 7-2. Skleněná trubice **1** o průměru 100 mm je ve spodní části opatřena dvěma kohouty **2** a **3**, sloužícími k zachycení částic, odebrání vzorku kapaliny a vypouštění kolony. Ve spodní a horní části jsou na ní vyznačeny dvě odečí-

tací rysky, jejichž horní hrany jsou od sebe vzdáleny $L = 2,4$ m. V horní části trubice **1** se nálevkou vhadzují částice.

Dále je aparatura vybavena digitálními stopkami **4** k měření doby pádu částice a digitálním teploměrem. Stopky jsou ovládány dvěma spínači **5 a, b**, umístěnými u horní a dolní části trubice. Čerpadlo **6** se spouští spínačem **7** a slouží k promíchání kapaliny v trubici. Promíchávání kapaliny se provádí jen po doporučení asistenta.



- 1 - skleněná měřicí trubice
- 2 a 3 - kohouty
- 4 - digitální stopky a teploměr
- 5 a,b - spínače stopek
- 6 – čerpadlo
- 7 – spínač čerpadla

Obr. 7-2 Schéma zařízení pro měření usazovací rychlosti částic

Součástí aparatury je rovněž *Höpplerův viskozimetr* (viz obr. 7-3) s termostatem a příslušenstvím, sada hustoměrů, digitální hustoměr, teploměr a vytríděné částice určené k měření usazovací rychlosti.

IV Postup práce

IV.1 Příprava částic

K měření usazovacích rychlostí se používají částice předem vytríděné a zařazené do jednotlivých sad podle velikosti nebo tvaru. Pro částice kulové je zadán jejich průměr a hustota; pro částice nekulové je zadán jejich objem V_{pn} , povrch A_{pn} , největší lineární rozměr $l_{p,max}$ a hustota. Všechny tyto veličiny jsou obsaženy v tabulce, která je vyvěšena přímo u měřícího zařízení.

Čisté částice před měřením vložíme do kádinky s malým množstvím odebraného roztoku a při měření se volně vypouštějí pinzetou do nálevky, jejíž stonek zasahuje pod hladinu kapaliny v trubici **1**.

IV.2 Vlastní měření

Na začátku a na konci měření každé sady částic se změří teplota roztoku a zapíše do protokolu.

Při měření se určuje čas, který uplyne mezi průchody částice vodorovnými rovinami, proloženými v místech vyznačených horní a spodní ryskou na trubici. Před vřazováním částic otevřeme kohout **2**; usazené částice se shromažďují v prostoru nad zavřeným kohoutem **3**. Měření se zúčastňují dva pozorovatelé. Horní spouští stopky **4** v okamžiku průchodu částice rovinou horní rysky zmáčknutím tlačítka START na spínači **5a**. Spodní pozorovatel zastaví stopky tlačítkem STOP při průchodu částice rovinou spodní rysky na spínači **5b** (umístěn na zdi vedle čerpadla). Částice se vpouštějí do kolony jednotlivě a kromě měření času sledují oba pozorovatelé pád částice. V některých případech dochází k tomu, že částice se pohybuje podél stěny nebo na ni naráží. Časy nalezené pro tyto případy je třeba v protokolu zřetelně označit a nezahrnovat do výpočtu. Je třeba realizovat minimálně 15 regulérních pádů pro danou sadu částic. Po zapsání doby pádu je nutno vynulovat stopky tlačítkem „reset“ na snímači **5a**. Je-li potřeba vyjmout použité částice z kolony, uzavře se nejdříve kohout **2** a otevřením kohoutu **3** se částice vypustí přes síto, které je položeno na předem připravené sběrné nádobě. Po proměření poloviny počtu regulérních pádů je potřeba, aby se pozorovatelé vyměnili; tím se sníží subjektivní chyba měření způsobená rozdílnou dobou reakce pozorovatelů.

IV.3 Ukončení měření

Po skončení měření se usazené částice vypustí do sítky, propláchnou vodou, vysuší a uloží do nádobek. Zbylý neznečištěný roztok, odebraný jako vzorek nebo získaný při vypouš-

tění částic z trubice a shromažďovaný ve sběrné nádobě, se nalije nálevkou zpět do měřicí trubice. Vlhkým hadrem se otřou všechna znečištěná místa.

IV.4 Stanovení fyzikálních vlastností kapalin

Do experimentální práce je rovněž zařazeno měření hustoty a viskozity roztoku.

IV.4.1 Stanovení hustoty

V této práci se hustota roztoku zjišťuje jednak ponornými skleněnými hustoměry v odměrném válci temperovaném v termostatu (měření při 20 °C) a jednak digitálním hustoměrem (měření při 30 °C).

Při práci s ponornými skleněnými hustoměry je nesnadné přesně vytemperovat zkoumaný vzorek kapaliny na teplotu, která je v usazovací trubici, proto jeho hustotu dopočítáváme pomocí součinitele úměrnosti E .

V rozmezí teplot vyskytujících se při měření usazovacích rychlostí lze předpokládat, že hustota kapaliny je lineární funkcí teploty. Potom platí vztah

$$\rho(t) = \rho(t_1) + E(t - t_1) \quad (7-12)$$

kde $\rho(t)$ je hustota při teplotě t , $\rho(t_1)$ je hustota při zvolené teplotě t_1 a E je součinitel úměrnosti. Součinitel E vyjadřuje změnu hustoty při změně teploty o 1 °C, jak je vidět z jeho jednotky $[E] = \text{kg m}^{-3} \text{K}^{-1}$.

K určení hustoty při libovolné teplotě stačí tedy znát hustotu při jedné teplotě a součinitel E . Podle vztahu (7-12) určíme hodnotu E měřením hustot roztoku při dvou teplotách t_1 a t_2 , které při temperování vzorku volíme a nastavíme na termostatu tak, aby jejich rozdíl byl přibližně 10 °C a aby střední teplota roztoku t v měřicí trubici při měření jednotlivých sad částic ležela uvnitř intervalu teplot t_1 a t_2 . Při měření zanedbáváme změny objemu hustoměru s teplotou. Podle potřeby se během temperace roztok ve válci promíchává pohybem hustoměru.

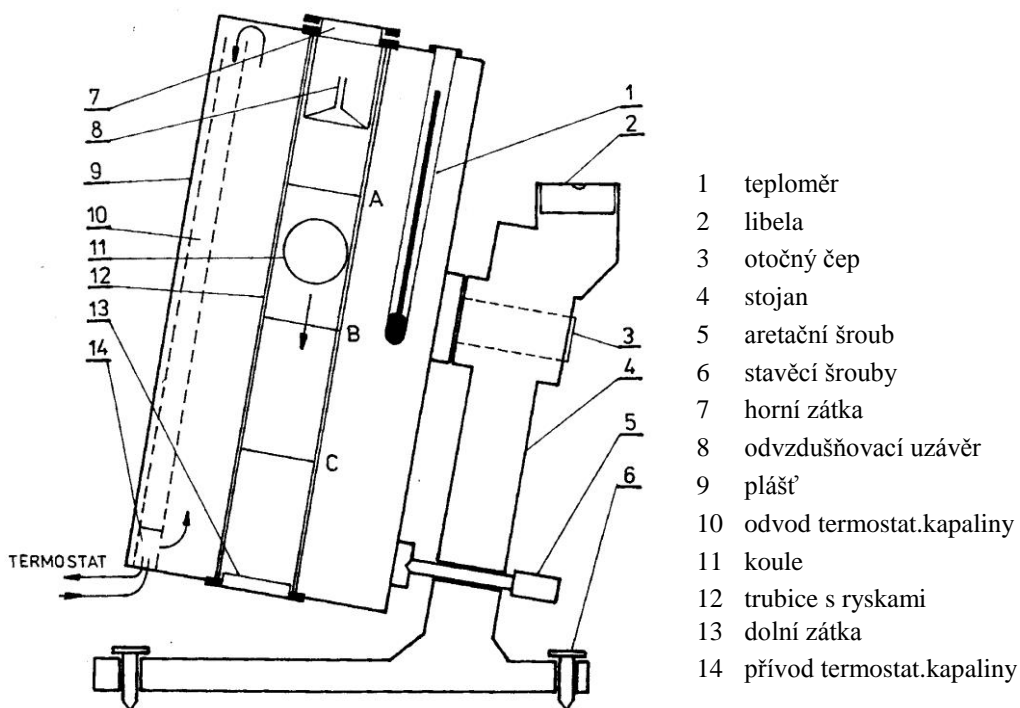
Digitální hustoměr vzorek automaticky vytemperuje podle nastavené teploty, tudíž nám stačí měření při skutečné teplotě roztoku. Pokyny k obsluze digitálního hustoměru jsou vyvěšeny v laboratoři.

IV.4.2 Stanovení dynamické viskozity

Viskozita roztoku η se v laboratoři měří *Höpplerovým viskozimetrem* s temperačním okruhem napojeným na termostat. Schéma viskozimetru je na obr. 7-3.

Velikost koule **11** a průměr trubky **12** se obecně volí tak, že kapalina protéká v prostoru mezi koulí a stěnou trubky laminárně, koule se pod vlivem gravitace pohybuje směrem dolů rovnoměrným pohybem.

Před měřením viskozimetr pomocí stavěcích šroubů **6** seřídíme do horizontální polohy podle libely **2**. Viskozimetr připojíme k termostatu a nastavíme požadovanou teplotu. Trubicí i kuličkou vyčistíme, propláchneme vodou a nakonec měřeným roztokem. Nasadíme spodní víčko **13**, nalijeme vzorek k rysce **C** a vhodíme vhodnou kouli. Poté doplníme vzorek přibližně 1 cm pod horní okraj trubice. Do trubice vložíme odvodušňovací vložku **8** (dojde k uzavření trubice bez bubliny vytlačení přebytku kapaliny do vložky). Nakonec uzavřeme trubicí víčkem **7**. Uzávěry dotahujeme opatrně, aby nedošlo k lomu trubice. Tím je přístroj připraven k měření. Tato část práce se vynechává, pokud je viskozimetr již připraven k použití.



Obr. 7-3. Schéma Höpplerova viskozimetru

Otočením viskozimetru kolem čepu 3 umístíme kouli nad rysku A. Zpětným otočením a zajištěním šroubem 5 zahájíme měření. Měří se čas potřebný pro průchod koule mezi ryskami. Obvykle se používají rysky A a C. Přesnost měření se udává 0,5% až 1%. Pádový čas pro dráhu AC = 100 mm by neměl být kratší než 30 s.

Viskozitu roztoku zjistíme při dvou zvolených teplotách t_1 a t_2 . Závislost viskozity na teplotě je obecně vyjádřena exponenciální funkcí

$$\eta = C \exp(D/T) \quad (7-13)$$

⇒ **Postup výpočtů:** Pro průměrné doby pádu kuličky τ_1 a τ_2 při dvou zvolených teplotách t_1 a t_2 vypočítáme dynamické viskozity roztoku η_1 a η_2 pomocí rovnice:

$$\eta = K (\rho_k - \rho) \tau \quad (7-14)$$

kde K je konstanta kuličky, ρ_k je hustota koule (obě veličiny jsou uvedeny na vývěsce u zařízení). Tyto viskozity spolu s příslušnými teplotami vyjádřenými v K dosadíme do (7-13), tím získáme dvě rovnice pro dvě neznámé konstanty C a D, které vyřešíme. Dosazením těchto konstant a střední teploty roztoku do vztahu (7-13) zjistíme hledanou viskozitu roztoku.

V Bezpečnostní opatření

1. Při práci s Höpplerovým viskozimetrem je nezbytné přesně dodržovat postup uvedený v odst. IV.4.2, zejména nedotahovat násilím šroubové uzávěry trubice. Kulička viskozimetru nesmí upadnout - je broušena s přesností 1 μm .
2. Při všech odběrech a pracích s roztokem mimo aparaturu dodržujte čistotu. Neznečištěné zbytky roztoku se vracejí zpět do aparatury.
3. Při rozlité roztoku se místo očistí hadrem. Pozor na zvýšené nebezpečí uklouznutí.

VI Zpracování naměřených hodnot

VI.1 Vyhodnocení experimentálních výsledků

Při měření byl pro danou sadu částic získán soubor regulérních dob pádu částic τ_i na dráze L mezi dvěma vyznačenými ryskami. Doby pádu, kdy se částice pohybovaly podél stěny nebo se jí dotýkaly, byly při zapsání do protokolu speciálně označeny a v dalších výpočtech se již neuvažují.

Poznámka: Přesně řečeno by bylo nutno uvažovat vliv stěny trubky při každém pokusu, neboť stěny obecně pádovou rychlost zmenšují. V našich pokusech je poměr průměru částice k průměru trubky malý, a proto tento vliv zanedbáváme.

Pro danou sadu částic vypočteme a zapíšeme do protokolu usazovací rychlosti jednotlivých měření podle vzorce pro rovnoměrný přímočarý pohyb

$$v_{ui} = L / \tau_i \quad (7-15)$$

Pro soubor těchto rychlostí v_{ui} podle kap. 2 o zpracování naměřených hodnot vypočteme:

- výběrový průměr \bar{v}_u ,
- směrodatnou odchylku s_{vu} ,
- interval spolehlivosti pro \bar{v}_u .

VI.2 Výpočet usazovací rychlosti z kritériálních vztahů

Do všech používaných kritérií dosazujeme hodnoty hustoty ρ a viskozity η při střední teplotě roztoku, určené jako aritmetický průměr teplot na počátku a konci pokusu.

K výpočtu ρ a η při této střední teplotě použijeme hodnot veličin E a konstant C a D , určených podle vztahů a pokynů v odst. IV.4.1 a 2.

A. Pro kulové částice vypočteme usazovací rychlost jednak pomocí rovnice (7-9), jednak pomocí grafu na obr.7-1.

Při prvním způsobu výpočtu vybereme podle hodnoty Ar vypočítané z rovnice (7-7) v tab. 7-1 příslušné hodnoty konstant B , b ; z rovnice (7-9) vypočteme Ljaščenkovo kritérium Ly a vyjádříme v_u ze vztahu (7-8).

V druhém případě výpočtu zjistíme pro příslušnou hodnotu $Ar^{1/3}$ v grafu na obr. 7-1 pomocí křivky s parametrem $\psi_V = 1$ přímo hodnotu $Ly^{1/3}$ a rychlost v_u opět vypočteme ze vztahu (7-8).

Oběma způsoby vypočtenou usazovací rychlost porovnáme s experimentálně stanovenou střední hodnotou \bar{v}_u .

B. Pro nekulové částice provedeme výpočet usazovací rychlosti v_u pomocí sféricity ψ_V . Nejprve vypočítáme d_{ek} z rov. (7-10) a pro tento průměr potom vypočteme Ar z rovnice (7-7).

Sféricitu ψ_V vypočteme z rov. (7-11) a v grafu na obr. 7-1 pro křivku s určenou hodnotou ψ_V (průběh příslušné křivky bude zřejmě nutno v obrázku interpolovat) odečteme $Ly^{1/3}$. Usazovací rychlost v_u potom vypočteme ze vztahu (7-8).

VII Symboly

A, a	konstanty v rovnici (7-6)	
A_{pn}	povrch nekulové částice	m
Ar	Archimedovo kritérium, rovnice (7-7)	
B, b	konstanty v rovnici (7-9)	
C, D	konstanty v rovnici (7-13)	
d_{ek}	ekvivalentní průměr	m
d_p	průměr kulové částice	m
E	součinitel definovaný rovnicí (7-12)	$\text{kg m}^{-3} \text{K}^{-1}$
K	konstanta kuličky viskozimetru	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$
L	vzdálenost mezi ryskami na měřicí rouře	m
$l_{p,max}$	největší lineární rozměr nekulové částice	m
Ly	Ljaščenkovo kritérium, rovnice (7-8)	
Re_u	Reynoldsovo kritérium pro usazování, rovnice (7-5)	
S_p	plocha průmětu částice do roviny kolmé ke směru jejího pohybu	m^2
V_p, V_{pn}	objem kulové, resp. nekulové částice	m^3
v	okamžitá rychlost částice vzhledem k prostředí	m s^{-1}
v_u	usazovací rychlost částice	m s^{-1}
\bar{v}_u	výběrový průměr usazovací rychlosti částice	m s^{-1}
ζ_u	součinitel odporu prostředí proti pohybu částice	
ρ_p	hustota částice	kg m^{-3}
ψ_V	sféricita nekulové částice, vztah (7-11)	

VIII Kontrolní otázky

1. Jaké experimentální částice se používají k měření (tvar částice)?
2. Jaká úprava částic je potřebná před vlastním měřením a proč.
3. Popište způsob vhažování částic do měřicí nádoby.
4. Co se stane, pokud částice padá těsně u stěny nádoby.
5. Co je sféricita částice?
6. Jaké fyzikální vlastnosti tekutiny se měří a jakou metodou?
7. Při jakých teplotách se měří fyzikální vlastnosti tekutiny?
8. Popište metodiku měření viskozity.
9. Popište metodiku měření hustoty.
10. Jaký typ teplotní závislosti vykazuje hustota a viskozita.